



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Centro de Investigaciones en  
Ecosistemas

SISTEMAS AGROFORESTALES Y  
MANEJO DE LA BIODIVERSIDAD:  
EL CASO DE LAS ZONAS ÁRIDAS DEL  
VALLE DE TEHUACÁN

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**DOCTORA EN CIENCIAS**

P R E S E N T A

ANA ISABEL MORENO CALLES

TUTOR PRINCIPAL: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ

COMITÉ TUTOR:  
DR. JAVIER CABALLERO NIETO  
DR. OMAR MASERA CERUTTI

TUTOR INVITADO: DR. LUIS GARCÍA BARRIOS

MÉXICO, D.F.

OCTUBRE, 2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

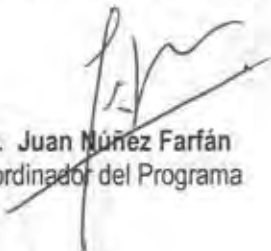
**Dr. Isidro Ávila Martínez**  
**Director General de Administración Escolar, UNAM**  
**Presente**

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 9 de agosto del 2010, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de DOCTORA EN CIENCIAS de la alumna **MORENO CALLES ANA ISABEL** con número de cuenta **93249685**, con la tesis titulada: "**Sistemas agroforestales y manejo de la Biodiversidad: El caso de las zonas áridas del Valle de Tehuacán**", bajo la dirección del **Dr. Alejandro Casas Fernández**.

Presidente:	Dr. Rafael Lira Saade
Vocal:	Dr. Víctor Manuel Toledo Manzur
Vocal:	Dr. Javier Caballero Nieto
Vocal:	Dra. Marcia Leticia Durand Smith
Secretario:	Dr. Alejandro Casas Fernández
Suplente:	Dra. Marta Astier Calderón
Suplente:	Dr. Omar Raúl Maserá Cerutti

Sin otro particular, quedo de usted.

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, D.F., a 27 de septiembre del 2010,

  
**Dr. Juan Núñez Farfán**  
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente de la interesada

## AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas UNAM (PCBIOL), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) y a la Coordinación General de Estudios de Posgrado (CEP) por el apoyo económico otorgado a través de las becas para la realización de mis estudios de posgrado.

A las siguientes instituciones y programas por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto. Programa de Apoyo a proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), por medio de los proyectos “Bases Ecológicas para el Aprovechamiento y Conservación de Recursos Vegetales en las Zonas Áridas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán” (IN220005) y “Manejo y conservación *in situ* de los recursos vegetales de las zonas áridas de México: un enfoque ecológico y etnobotánico” (IN219608). Fondos sectoriales SEMARNAT-CONACYT por apoyar el proyecto “Recursos Genéticos de México: manejo *in situ* y Bioseguridad” (2002-C1-0544) 2010-2013, así como al proyecto CONACYT, Ciencia Básica “Manejo y conservación *in situ* de recursos genéticos de zonas áridas de México: un enfoque etnobotánico, ecológico y evolutivo (Proyecto CB-2008-01-103551)”. El Royal Botanic Gardens Kew, que apoyo el proyecto “Integral Study of the columnar cacto of the Tehuacan-Cuicatlán Biospher Reserve”.

Agradezco a mi tutor el Dr. Alejandro Casas Fernández por su asesoría, sabiduría, enseñanzas, apoyo y confianza. Al Dr. Javier Caballero Nieto, Dr. Omar Masera Cerutti y Dr. Luis García Barrios, miembros de mi Comité Tutorial por sus comentarios, observaciones y consejos durante el desarrollo de esta investigación. A los miembros del jurado por sus valiosas aportaciones para la culminación de este trabajo, Dr. Víctor Manuel Toledo Manzur, Dra. Marta Astier Calderón, Dra. Leticia Durand Smith y Dr. Rafael Lira Saade.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A la Universidad Nacional Autónoma de México, una de las pocas instituciones de nuestro México por la que vale la pena luchar por su permanencia, gratuidad y masividad.

Al Dr. Alejandro Casas Fernández por su humanidad, perseverancia, sensibilidad, congruencia y por contagiarme la pasión por su diario quehacer en la diversidad biocultural de las zonas áridas y en la enseñanza de las ciencias ambientales.

Al técnico Edgar Pérez Negrón por su apoyo en laboratorio y campo. A Heberto Ferrerira Medina y Alberto Valencia García por su apoyo en las redes y en las telecomunicaciones. A Atzimba López Maldonado por su disposición y apoyo en la Biblioteca. A Dolores Rodríguez Guzmán, Lilia Espinoza, Lilia Jiménez por su apoyo y facilitación administrativa.

A mis compañeros del laboratorio de Ecología y Recursos Vegetales, he aprendido mucho de ustedes, creo que son seres muy valiosos, cada uno con sus intereses y habilidades propias: Nacho, América, Fabiola, Citlalli, Susana, Danae, Chalino, Leo. Agradezco a la vida la oportunidad de conocerlos.

Al Dr. Alfonso Valiente-Banuet, por compartirme su pasión por las zonas áridas y la ecología, por recibirme en su laboratorio y por todo su apoyo en esos momentos tan difíciles, lo que me diste Vali jamás se me olvidara.

A la comunidad de San Luis Atolotitlán, en particular a la familia Ortega y a la señora Emilia y su esposo Don Guadalupe por su hospitalidad y amistad en el desarrollo del trabajo de campo.

A los compañeros de mi primer laboratorio, Ecología de Comunidades de Zonas Áridas, que me arrojaron en mi entrada a la maestría: Pedro, Adolfo, Nadia y Arnoldo.

A los amigos y compañeros de la materia de Manejo: “Chilangos somos y en Morelia andamos”, Mariana, Erika y Toño, gracias por creer y hacer cosas para que este mundo sea un poquito mejor.

A mis amigas y amigos que han sido amor, compañía, apoyo y honestidad cuando pierdo la brújula como acostumbro hacerlo: Selene, mi absoluta admiración y respeto, pocas personas son tan solidarias y sistemáticas; José, mi gran hermano, gracias por compartir y siempre escuchar; Gisela, tu inteligencia, sentido común y compañía han sido un remanso, eres un ser muy especial en mi vida; Consuelo, por las charlas filosóficas, las confesiones y los dolores compartidos, eres mi metafísica más admirada; Paulina, gracias por esos bellos días en la casa, sin ti el duelo por mi pequeña habría sido mucho más difícil, y desde luego por enseñarme a Sabina; A Mirna, hermana del alma, admiro tu calidad humana y si hay un lugar al que quiera ir cuando siento que he perdido todo, sé que es a tu lado.

A Andrés Camou, Charly, Adela, Tona, Sol, David, Isa, Aketzalli, Juan Pablo y a todos los chicos de la LCA por compartir esta promesa y compromiso por un mundo mejor.

A mi familia, Tía Cristina, Mamá Tina, que ya nos abandonaron, pero que marcaron mi vida. A mi mamá Chabela, mi papa Paco, Héctor y Toño los quiero con todo mi corazón. A mis tías Maty, Maruca, Peral, y a mis primos José Francisco, Cris, Malena, Sonia, y todos los primos y sobrinos que faltan, por su apoyo en los momentos más difíciles y en los de celebración también.

A mi Abel que ha sido un compañero amable durante la etapa final de la tesis, gracias por tu amor, apoyo, honestidad, comprensión y paciencia.

A mi madre que me ha apoyado siempre, ella ha sido el motor de mi vida, ejemplo de perseverancia, de generosidad. Me enseñaste a decir lo que pienso, y a esforzarme por hacer lo correcto, a estudiar con ahínco. Gracias por el apoyo que me diste con Brenda, en el hospital y en la casa. Mil gracias por el libro, por continuar la vida a pesar del dolor.

Finalmente a mi pequeña Estrella de Lucha (Brenda Citlalli) que aunque ya no esta aquí en la tierra, sé que me acompaña siempre y que con su sonrisa, ejemplo y amor a la vida, me regalo la oportunidad de vivir y tratar de ser una persona mejor. Esta tesis es para ti mi amor. Te amo y te extraño mucho.

**A todas las mujeres, hombres, niñas y niños que con su imaginar, pensar y andar diario nos regalan la promesa de otro mundo posible. En particular a las comunidades rurales de nuestro *México profundo* que luchan, proponen y construyen *la otra modernidad: la modernidad alternativa*.**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	3
<b>CAPITULO I</b>	
Moreno-Calles A, Casas A (2008) Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del Valle de Tehuacán, México. <i>Zonas Áridas</i> 12: 13-35.....	19
<b>CAPITULO II</b>	
Moreno-Calles A, Casas A, Blancas J et al. (En prensa) Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central México. <i>Agroforestry Systems</i> .....	43
<b>CAPITULO III</b>	
Moreno-Calles A, Casas A, García-Frapolli E, Torres I (Enviado) Traditional agroforestry systems in the arid Tehuacán Valley: their management and role in people's livelihoods. <i>Agricultural Systems</i> .....	66
<b>CAPITULO IV</b>	
Moreno-Calles A, Casas A (2010) Agroforestry systems: Perspectives for restoration of semiarid zones of the Tehuacán Valley, Central Mexico <i>Ecological Restoration</i> 38: 361-368.....	92
<b>DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES</b> .....	101

## RESUMEN

En este trabajo estudiamos el manejo que los y las campesinas realizan en los sistemas agroforestales (SAF) de cactáceas columnares (chichipera, garambullal y jiotillal) en el Valle de Tehuacán, Puebla (VTC). Se abordaron cuatro preguntas generales sobre: i) la capacidad de los SAF para conservar diversidad de plantas nativas; ii) los procesos socio-económicos y culturales que determinan las decisiones de manejo de los SAF; iii) los cambios que sufren los SAF y su efecto en el aprovechamiento y conservación de la biodiversidad; y iv) los SAF como base para el desarrollo de procesos de conservación, recuperación de la biodiversidad y la satisfacción de las necesidades humanas.

Encontramos que los SAF de cactáceas columnares mantienen en promedio 59% de la riqueza de plantas nativas en comparación con sus contrapartes silvestres, pero las especies raras frecuentemente se pierden en el sistema. En San Luis Atlotitlán el SAF de chichipera proporciona 75% de los requerimientos de frijol y maíz criollo y 50% de de maíz forrajero. El 75% de las especies encontradas son útiles, principalmente con uso forrajero, combustible y alimenticio, el 52% son manejadas y el 26% tienen valor comercial o de intercambio. La utilidad de las especies, los valores y las reglas de uso favorecen el mantenimiento de los SAF y de la biodiversidad de plantas. Procesos como la migración, el envejecimiento de las y los campesinos, los cambios en el clima, la fragmentación de las parcelas agroforestales, los programas gubernamentales y la intensificación han incidido en la cobertura vegetal en el centro de las parcelas agrícolas la cual es variable (2-20%). Con estos cambios se han perdido las islas de vegetación y las franjas contra la erosión así como las especies que pueden tolerarse en el centro de las parcelas agroforestales. Se identificaron los riesgos que pueden ocurrir para la diversidad de plantas y la satisfacción de las comunidades humanas que dependen de los SAF. Finalmente, se discuten las posibles interacciones entre el conocimiento ecológico tradicional campesino y el de la ciencia de la ecología como base para las estrategias de conservación y restauración en el VTC.

**Palabras clave:** Sistemas agroforestales, Mesoamérica, agricultura tradicional, manejo de plantas, aprovechamiento, conservación y restauración de biodiversidad, conocimiento tradicional.



## ABSTRACT

The role of agroforestry systems (AFS) in biodiversity conservation was investigated in the semiarid Tehuacán Valley (TCV), Central México. Richness and diversity of native plant species were compared between agroforestry systems and the following forests dominated by columnar cacti: (i) “chichipera” dominated by *Polaskia chichipe*, (ii) “jiotillal” dominated by *Escontria chiotilla*, and (iii) “garambullal” dominated by *Myrtillocactus schenckii*. Our information on genetic variation of dominant arboreal species in the study sites was reviewed and included in the analysis. Factors influencing household’s decisions to maintain vegetation cover were studied through a survey and interviews. On average, the whole sample of agroforestry systems studied maintained nearly 59% plant species and 94% genetic variation of dominant cacti occurring in the forests studied, although their ability to preserve endemic rare species is limited. We made an in depth study of the chichipera AFS, in which agroforestry practices maintain 109 native species of wild, ruderal and domesticated plants. During years of higher rainfall (~745 mm) AFS supply nearly 75% of maize grain and 50% of fodder required by local households, and 78% of plant species occurring in the system provide useful products. During drier years provide fodder, forest products, and seeds for subsequent agricultural practices. Social factors favoring maintenance of perennial species in agricultural plots include collective rules, households traditions, use of the plants maintained in the systems, and environmental information from NGOs, the local Biosphere Reserve, and researchers. However, AFS are losing capacity to maintain vegetation cover, mainly because of: i) decreasing amount of land managed by households, determined by a progressive fragmentation of the land area given to new families, ii) adoption of technologies to intensify agriculture, and iii) governmental programs penalizing presence of vegetation patches within agricultural lands since they are considered “useless” areas. Policies to stop degradation of the agroforestry systems and to improve their conservation capacity are discussed. We too reviewed ecological and ethnobotanical information on forests and AFS of (TCV) to analyze the usefulness of traditional management techniques for ecological restoration of semiarid zones of Mexico.

**Key words:** agroforestry systems, biodiversity conservation, Mesoamerica, plant management, traditional ecological knowledge, traditional agriculture

## **INTRODUCCIÓN GENERAL**

## INTRODUCCIÓN GENERAL

### 1. La crisis de la diversidad biológica y cultural

Desde los años ochenta del siglo XX comenzó a considerarse la crisis de la biodiversidad como un problema de interés académico y público. Hoy en día se reconoce que el signo más claro de tal crisis es la pérdida de diversidad biológica que alcanza magnitudes sin precedentes, y se ha adjudicado este proceso al impacto negativo de la humanidad sobre el medio ambiente (Wilson 1988). Esta crisis tiene distintas causas, magnitudes y expresiones relacionadas con los contextos ecológico, social, cultural e histórico en los que se ha desarrollado. De tal manera, la pérdida de biodiversidad es un fenómeno complejo y diverso y no todas las sociedades tienen el mismo efecto perjudicial sobre su entorno; incluso, numerosas culturas tienen un importante papel en la generación de la diversidad biológica y en la solución de la propia crisis ambiental (Oviedo *et al.* 2000).

Sin duda la crisis de la diversidad biológica forma parte de la crisis ambiental que vive el mundo contemporáneo, y que involucra no sólo la pérdida de biodiversidad, sino también de la cultura y, en general, del modelo civilizatorio predominante (Toledo 2006). Por sus factores causales, su escala, intensidad y ritmo, autores como Leff (2004) la han considerado también como una crisis de la especie humana. La crisis ambiental es ecológica pero también es la crisis de un modelo económico, científico, social, tecnológico, cultural y espiritual que ha afectado a la naturaleza y que ha infravalorado y afectado a otros modelos de civilización (Toledo 2009). La pérdida de diversidad biológica y cultural alcanza una amplia dimensión, en la que los paradigmas hegemónicos pueden conducir al colapso de la sociedad occidental y de otras sociedades. Pero el riesgo más grande, es no

sólo la disminución de la base material del sustento de los procesos productivos, sino también la pérdida de valores universales y específicos de cada cultura. En el *Manifiesto por la vida por una ética para la sustentabilidad* (2002) se plantea una postura sobre la ética humana en distintas culturas, en la cual la diversidad, la justicia, la equidad, la paz, el respeto, la comprensión, la solidaridad, la tolerancia y la participación parecen constituir los valores universales más preciados. Pero son justamente estos valores también de los más amenazados por la crisis de civilización que se vive actualmente.

### 2. ¿Nace o se hace?: Mesoamérica como región biocultural

En la concepción dominante del mundo que funda a la civilización occidental, la idea de la naturaleza se refiere a lo prístino, lo que no es manipulado, lo que no ha sido intervenido, lo que debe ser aún dominado y controlado. Sin embargo, esta visión hegemónica de la relación entre el hombre y la naturaleza no es compartida por otras civilizaciones (Caballero y Cortés 2001, Leff 2004, McNeely 2004) y por otras corrientes intelectuales de Occidente (Latour 2007). Para esas otras visiones, la naturaleza no nace, se hace, y junto con los seres humanos conforma lo que Boege (2008) y Toledo y Barrera-Bassols (2008) han denominado complejos bioculturales. En este marco conceptual alternativo se reconoce el impacto destructivo del ser humano sobre la biodiversidad; pero también, que parte de esa diversidad biológica resulta de la interacción de distintos procesos de diversificación humana que incluyen la creación humana de nuevas especies, variantes y paisajes (Boege 2008, Toledo y Barrera-Bassols 2008).

Mesoamérica es una región biocultural dinámica, un territorio donde confluyen elementos culturales,

históricos, sociales, biológicos y ecológicos que la definen (Matos-Moctezuma 1994). Destaca su riqueza cultural, que actualmente comprende 56 grupos étnicos indígenas, herederos de culturas que han interactuado por miles de años con la diversidad de ecosistemas de la región (Toledo 2000). Y es una región reconocida también por su gran riqueza biológica que incluye alrededor de 24,000 especies de plantas, cifra que podría llegar hasta 29,000 especies (Villaseñor 2003); 1193 especies de aves; 521 especies de mamíferos; 685 especies de reptiles y 460 especies de anfibios (Myers *et al.* 2000).

Denevan (1992) plantea que la idea occidental de que la Mesoamérica precolombina era un “mundo de disturbio humano imperceptible” es equivocada. Según este autor los establecimientos humanos modificaron la composición de los bosques templados favoreciendo la dominancia de especies de pinos y encinos, expandieron los pastizales e incluso modelaron el paisaje actual en las selvas tropicales a partir del enriquecimiento gradual de especies útiles en los barbechos a partir de la selección, siembra, trasplante y protección de plantas útiles en tales espacios. Para las zonas tropicales, Gómez-Pompa *et al.* (1991) hicieron referencia a las “selvas artificiales” mayas, donde la abundancia de los árboles útiles es muy alta, los autores plantean que estos espacios pudieron ser manejados para la agricultura y la silvicultura de manera análoga a como lo hacen los actuales indígenas mayas. También en las zonas áridas se ha registrado el manejo *in situ* de especies de plantas de vida larga como algunos árboles, agaves y cactáceas columnares y que tienen efecto en la composición actual de las comunidades vegetales (Casas *et al.* 1999, Casas *et al.* 2007). Es notable también el caso de los palmares de *Brahea edulis* y *B. nitida* donde la abundancia de estas especies se incrementa en sistemas agroforestales de maíz-palma y en áreas manejadas a partir del uso de fuego. Un ejemplo similar son los bosques dominados por

*Juniperus flaccida* y *J. deppeana* y los dominados por *Alnus acuminata*, en los que la perturbación antropogénica parece ser el factor que moldea el estado de la vegetación (Casas *et al.* 2008).

Es sabido también que la larga interacción entre biodiversidad y seres humanos determina que Mesoamérica sea una de las principales cunas de la agricultura en el mundo (Flannery 1973, Harlan 1975, MacNeish 1967). Otra expresión de tan larga interacción es el gran número de especies conocidas y utilizadas en el área. Así por ejemplo, la Base de Datos de Plantas de México (BADEPLAM) ha registrado cerca de 5500 especies de plantas útiles y se estima que éstas podrían ser alrededor de 7000 (Caballero y Cortés 2001). Estudios florísticos y etnobotánicos detallados en distintas regiones del país (Tabla 1) permiten estimar que en promedio 38.48% (D.E=13.47) de las especies que componen las floras regionales son especies de plantas útiles. Esto significa que para la flora nacional (22,351 especies, Villaseñor 2003) sería esperable la documentación de cerca de 8601 las especies de plantas con algún uso, a su vez Toledo (1993) propuso alrededor de 30,000 especies, lo cual significaría 12,000 especies de plantas útiles en México.

El manejo de las plantas en Mesoamérica ha contribuido a la domesticación de más de 200 especies, que incluyen al maíz, los frijoles, los chiles, las calabazas, el amaranto y el algodón entre los cultivos más importantes en el mundo actual (Casas *et al.* 2007). También se han documentado formas de manejo que incluyen diferentes niveles de intensidad de selección artificial para alrededor de 600 especies de plantas nativas de importancia cultural regional o local e incluyen a los guajes (*Leucaena* spp.), los nopales (*Opuntia* spp.), las cactáceas columnares (*Stenocereus* spp., *Polaskia* spp., *Escontria chiotilla*), los magueyes (*Agave* spp.), los frutales (*Annona* spp., *Spondias* spp., *Sideroxylon* spp., *Pouteria* spp.) y algunas verduras anuales ó los “quelites” (*Crotalaria*

Tabla 1. Estudios florísticos y etnoflorísticos de algunas regiones de México

Región	No. total de especies	Referencia	No. de spp. de plantas útiles	Referencia	% de flora útil
Valle de Tehuacán-Cuicatlán	2,621	Dávila <i>et al.</i> (2002)	1608	Lira <i>et al.</i> (2009)	61.2%
Sierra de Manantlán	2774	Vazquez <i>et al.</i> (1995)	650	Benz <i>et al.</i> (1994)	23.4%
Selva Lacandona	1660	Toledo <i>et al.</i> (1995)	415	Toledo <i>et al.</i> (1995)	24.9%
Tuxtla	814	Toledo <i>et al.</i> (1995)	274	Toledo <i>et al.</i> (1995)	33.7%
Tuxtepec	737	Toledo <i>et al.</i> (1995)	296	Toledo <i>et al.</i> (1995)	40.2%
Uxpanapa	800	Toledo <i>et al.</i> (1995)	336	Toledo <i>et al.</i> (1995)	40.6%
Península de Yucatán	1,900	Rzedowski (1993)	1,000	Flores <i>et al.</i> (1999)	23.4%
Sian Ka'an	558	Toledo <i>et al.</i> (1995)	316	Toledo <i>et al.</i> 1995	56.6%
Montaña de Guerrero	800	Casas <i>et al.</i> (1994)	430	Casas <i>et al.</i> (1994)	53.75%
Zonas áridas y semi-áridas	6,000	Rzedowski (1993)	2,000	Casas <i>et al.</i> (en prensa)	33.3%
Sierra Huichola	1652	Nieves <i>et al.</i> (1999)	532	Nieves <i>et al.</i> (2004)	32. 20%

spp., *Anoda cristata*, *Amaranthus* spp.) (Casas *et al.* 2007, Casas y Parra 2007, Blancas *et al.*, enviado). La mayor parte de estos procesos de manejo incipiente constituyen estrategias que buscan asegurar la disponibilidad de recursos y que pueden contribuir sustancialmente a la conservación de la biodiversidad. Asimismo, la mayor parte de estos procesos se encuentran asociados a sistemas agroforestales.

Los pueblos mesoamericanos han sufrido procesos de dominación, explotación y de interacción con culturas de otros continentes, y tales procesos también han tenido efecto en la modificación de los ecosistemas, conocimientos, valores y prácticas alrededor de la biodiversidad. No obstante lo accidentado de nuestra historia, las actuales comunidades humanas han podido sobrevivir a partir de la aprehensión, asimilación y agregación de elementos provenientes de su exterioridad, tomando todo lo que les ha sido útil para su mantenimiento y perpetuación, lo cual se expresa en los paisajes, las comunidades bióticas, las especies y los genes (Boege 2008, Toledo y Barrera-Bassols

2008). Uno de los diseños más exitosos a nivel mundial de los procesos descritos son los sistemas agroforestales, que constituyen el tema de estudio de este trabajo.

### 3. Los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son sistemas de uso de la tierra en los que se pueden identificar los siguientes componentes (Torquebiau 1990, Somarriba 1992, Nair 1998, Sinclair 1999): i) forestal ó silvícola, que puede involucrar plantas anuales o perennes, nativas o exóticas, las cuales pueden ser silvestres, ruderales, arvenses y naturalizadas, manejadas mediante prácticas como la tolerancia, el fomento, la protección, el manejo-*in situ* y *ex-situ* (Blancas *et al.* enviado); ii) agrícola, que involucra plantas perennes o anuales, nativas o exóticas cultivadas y con niveles avanzados de domesticación; iii) pecuario, que puede incorporar especies de animales silvestres, en proceso de domesticación o domesticados; y iv) unidades sociales

de producción, que realizan el manejo de los distintos componentes con objetivos específicos.

Los componentes del sistema agroforestal deben establecer interacciones ecológicas y económicas (estructura) que cumplen con las funciones del sistema dentro de un contexto particular (Torquebiau 1990). Los sistemas agroforestales son sistemas complejos, pues reúnen los siguientes atributos: i) heterogeneidad de sus componentes, que tienen distinta naturaleza e incluyen los bióticos y abióticos como las plantas, los animales, el agua y el suelo, pero también los culturales, sociales y económicos como la tenencia de la tierra, el conocimiento local, las instituciones y reglas de uso, por ejemplo; y ii) interdefinibilidad de sus funciones a partir de sus componentes; cada función del sistema está determinada por las características de los componentes pero sobre todo por la interacción de estos componentes en el contexto de totalidades organizadas (García 2007). Tales características hacen necesario que estos sistemas sean estudiados por aproximaciones interdisciplinarias, incluyendo la agroforestería, la biología, la ecología, la etnoecología, la antropología, la sociología y la economía, entre otras (Krishnamurthy y Ávila 1999).

Debido a los distintos contextos en que se desarrollan, la diversidad, las características de sus componentes y su dinámica existe una alta diversidad de expresiones de sistemas agroforestales. Se han hecho varios intentos para clasificarlos (Torquebiau, 1990, Somarriba 1992, Nair 1998, Sinclair 1999, Perfecto y Vandermeer 2008, Scales y Marsden 2008), pero ha sido difícil generar consensos (Scales y Marsden 2008). No obstante, los criterios más comunes se basan en los siguientes aspectos: i) componentes del sistema forestal, agrícola o pecuario (sistemas agrosilvícolas, sistemas silvopastoriles, sistemas agrosilvopastoriles); ii) escalas y arreglos espaciales en las que se desarrollan (zonal, horizontal, vertical, mixto); iii) escalas temporales (simultáneos, componente forestal y agrícola al mismo tiempo;

secuenciales, componente forestal y agrícola a distintos tiempos en la misma unidad de tierra); iv) función del sistema (obtención de forraje, incremento de la fertilidad, multifuncional); v) contexto agroecológico en el que se desarrollan (zonas templadas, tropicales o áridas); y vi) régimen de manejo (tradicional o intensivo).

#### **4. Manejo de la biodiversidad y las funciones de los sistemas agroforestales**

El concepto de manejo involucra la intervención, adecuación ó transformación por los seres humanos de paisajes, tipos de vegetación, especies y genes con uno o varios objetivos (Casas *et al.* 2007, Parra 2008; Blancas *et al.* en prensa). Blancas *et al.* (en prensa), han caracterizado estas prácticas de manejo de acuerdo si son llevadas a cabo *in situ* ó *ex situ*. Entre las prácticas *in situ* se describen las siguientes: i) recolección sistemática o planeada, la cual implica estrategias de extracción explícitamente diseñadas para mantener o recuperar los recursos; ii) tolerancia de plantas en áreas perturbadas, principalmente en sistemas agroforestales; iii) fomento deliberado de especies de plantas útiles o de fenotipos; iv) protección de plantas de factores socio-ecológicos que amenazan su permanencia. El manejo *ex situ* implica: i) la siembra de semillas; ii) la propagación vegetativa; y iii) el trasplante de individuos completos.

En los sistemas agroforestales se desarrollan prácticas de manejo a escala de plantas, de sistemas de producción o de paisaje con objetivos dirigidos al aprovechamiento, la conservación y la restauración de la biodiversidad.

##### **4.1. Aprovechamiento de la biodiversidad**

El análisis de la biodiversidad y su manejo es altamente influenciado por una perspectiva de valor de uso, pero involucra además otros tipos de valores que se modifican de acuerdo con las visiones, preferencias de cada sociedad y de los sectores que la componen (Swift *et al.* 2004). Entre estos valores destacan:

i) Valor intrínseco, también llamado de no uso de la biodiversidad y que comprende beneficios culturales, sociales, éticos y estéticos.

ii) Valor opcional, el cual asume que la biodiversidad puede no tener un valor para las generaciones actuales pero podría tenerlo para las generaciones futuras o para condiciones extraordinarias.

iii) Valor utilitario, el cual se refiere a los beneficios de la biodiversidad que pueden incluir el autoconsumo o beneficios comerciales para uno o muchos sectores de la sociedad. Mientras que las especies que son utilizadas en la agricultura tecnificada pueden ser no más allá de 70 especies, se establece un amplio contraste con el número de especies que es posible encontrar en numerosos sistemas tradicionales que suelen ser sistemas agroforestales o policultivos (Altieri 1999). En el caso de especies que son reconocidas por su valor utilitario se incluyen a las cultivadas convencionalmente en sistemas agroforestales tropicales (Ver Donald 2004). Pero mucho más numerosas y menos conocidas son las especies de árboles, arbustos y, en general, especies perennes no domesticadas nativas o en procesos de domesticación. Estas se incorporan en sistemas agroforestales “tradicionales”, y han sido descritas como “especies cenicientas” (Leakey 1999, Simons y Leakey 2004). Se denominan así, porque han sido frecuentemente subestimadas por la ciencia y los programas del desarrollo, pero son relevantes porque contribuyen a la subsistencia de numerosas comunidades rurales proporcionando combustibles, frutos, alimentos, forrajes, medicinas, leña o materiales para construcción (Akinnifesi *et al.* 2008).

iv) Valor funcional, que es la contribución de la biodiversidad para la preservación de la estructura ecológica, la integridad y las funciones de los ecosistemas y los agroecosistemas. Este valor se basa en la relación entre la biodiversidad y atributos de los sistemas silvestres y manejados, tales como la productividad, el ciclaje de nutrientes, la estabilidad y

la resiliencia (Chapin III *et al.* 2000, Mooney *et al.* 1996, Loreau *et al.* 2002, Hooper *et al.* 2005). En una revisión reciente, Shibu (2009) ha identificado un importante papel de los sistemas agroforestales en diversas funciones relevantes para la humanidad como son el almacenamiento de carbono, el enriquecimiento del suelo, y el mejoramiento de la calidad del agua y del aire. La biodiversidad también puede contribuir a la agricultura incrementando la productividad de los cultivos ó disminuyendo las entradas de capital al sistema. Esta situación puede ser más importante en los sistemas de pequeña escala, en los que las entradas de capital pueden ser limitadas y la biodiversidad de las plantas domesticadas y silvestres suelen ser manejadas para regular plagas y enfermedades, favorecer el ciclaje de nutrientes, controlar el microclima local y regular los procesos hidrológicos (Altieri 1999). Otro aspecto de la biodiversidad incluido en este valor es la reducción del riesgo. En numerosos sistemas agroforestales tradicionales las formas de reducción del riesgo involucran el manejo de numerosas especies con las mismas funciones, o bien del mantenimiento de una alta reserva de diversidad genética. Esta estrategia permite la obtención de cuando menos una cosecha en el caso de las plantas cultivadas, o bien del mantenimiento de especies silvestres que toleren distintas condiciones ambientales, sociales y culturales (Main 1999). Los ecólogos han argumentado que a pequeñas escalas un incremento en la riqueza de especies en los sistemas manejados favorece el traslape de grupos funcionales, lo que incrementa la diversidad funcional y favorece la estabilidad ecológica (Hooper *et al.* 2005), y la resiliencia (Holling 2001). La capacidad de un sistema para mantenerse en un estado frente a perturbaciones habituales (estabilidad) o de regresar a su estado después de perturbaciones extraordinarias (resiliencia) puede aumentar mediante el uso de una amplia gama de tecnologías y manejo de la biodiversidad (Pascual y Perrings 2007).

#### 4.2. Sistemas agroforestales y conservación de la biodiversidad

Los sistemas agroforestales son ampliamente reconocidos por su papel en la conservación de la biodiversidad (McNeely 2004, Schroth *et al.* 2004, Bhagwat *et al.* 2008, Shibu 2009), particularmente reconocidos son los cafetales y cacaoales (Moguel y Toledo 1996; Perfecto *et al.* 2003, Somarriba *et al.* 2004) Diversos estudios de sistemas a pequeña escala y los “tradicionales” en distintas zonas ecológicas (Altieri y Nicholls 2000, Altieri y Toledo 2005, McNeely y Schroth 2006, Scales y Marsden 2008) han permitido dilucidar algunas premisas teóricas que ayudan a analizar el valor de este tipo de uso de la tierra en la conservación de biodiversidad de plantas. Entre tales premisas destacan las siguientes:

i) Capacidad de protección de especies y plantas nativas. Los sistemas agroforestales tradicionales, son sistemas de múltiples propósitos, en los que además de la producción agrícola, también se manejan relictos del bosque, franjas de vegetación y árboles aislados que se emplean para la obtención de alimentos, fibras, materiales y otros usos, contribuyendo al mantenimiento de la diversidad biológica (Vandermeer *et al.* 1998, Schroth *et al.* 2004). En una revisión reciente en sistemas agroforestales tropicales, Bhagwat *et al.* (2008) encontraron en promedio la riqueza de especies de plantas, aves, insectos y mamíferos incluyen cerca del 60% de los encontrados en las zonas silvestres, aunque esto puede ser muy variable entre sistemas y taxa diferentes (Perfecto *et al.* 2003). Por su parte, Noble y Dirzo (1997) sugirieron que esta diversidad puede ser del 50-80% del pool regional de especies. Además, estos espacios pueden generar refugios ó nichos para algunas especies que no pueden establecerse en otros sitios ó que no son toleradas bajo sistemas de manejo modernos (Vandermeer *et al.* 1998). Es factible esperar además que en sitios que son originalmente de alta riqueza de especies, los sistemas

manejados derivados de éstos mantengan una mayor cantidad de especies (Scales y Marsden 2008).

ii) Disturbio medio. Los sistemas agroforestales tradicionales con un grado intermedio de intensificación o disturbio, pueden promover mayor diversidad de especies que sus contrapartes no manejadas (Janzen 1973, Swift *et al.* 1996). En su modelo clásico sobre la relación entre diversidad y disturbio, Grime (1973) planteó que la diversidad de especies es mayor en sitios con niveles intermedios de estrés y disturbio que en sitios con bajos o altos niveles de éstos, debido a que pocas especies son capaces de tolerar tales condiciones. Adicionalmente, el cambio de sistemas silvestres a sistemas agroforestales puede incrementar la disponibilidad de recursos tales como biomasa de las plantas, flores y frutos benéficos para aves, mamíferos e insectos (Tscharntke *et al.* 2005).

iii) Heterogeneidad a escala de hábitat y de paisaje. Los diversos mosaicos creados por la agricultura de baja intensidad favorecen paisajes complejos, y la heterogeneidad de ambientes puede incrementar el número de especies e incluso favorecer el establecimiento de especies que no se encuentran en los sistemas naturales (Tscharntke *et al.* 2005) Además, frecuentemente estos sitios constituyen pequeñas unidades de manejo en los que la composición de especies de árboles y arbustos puede ser muy diferente entre ellas de acuerdo al manejo de cada agricultor, situación que favorece una mayor contribución de especies a nivel de paisaje (Bhagwat *et al.* 2008).

iv) Disminución de la deforestación y de la presión sobre los remanentes de vegetación natural. Los sistemas agroforestales pueden ayudar a reducir la presión de la deforestación de nuevas áreas para la agricultura si se adoptan como alternativas a otras prácticas de uso de la tierra menos sustentables. También pueden ser fuentes de extracción de recursos forestales (Schroth *et al.* 2004), y éstos pueden aún incrementarse en las zonas agroforestales mediante



prácticas de manejo y domesticación (Simons y Leakey 2004).

### 4.3. La restauración de la biodiversidad

En Mesoamérica como en el resto del mundo, uno de los retos más importantes es poder combinar la satisfacción de las necesidades de las comunidades humanas con la conservación y la recuperación de la biodiversidad (Harvey *et al.* 2009). Los sistemas agroforestales tradicionales pueden ser formas de uso de la tierra que se aproximan a ambos propósitos. Las prácticas de restauración suelen ser similares a las que se realizan en numerosos sistemas agrícolas y agroforestales. Los campesinos frecuentemente han desarrollado estrategias locales para aminorar los efectos de las limitaciones de humedad, nutrientes, competencia ó facilitación entre especies y el efecto de las plagas. Estas limitaciones suelen ser los mismos obstáculos que enfrenta la restauración ecológica (Vieira *et al.* 2009). Además, los estudios sobre agricultura y agroforestería han producido una vasta literatura acerca de las interacciones del manejo deliberado de dos o más especies, lo cual puede dar buenos ejemplos para las hipótesis generadas por la ciencia de la restauración (Harper 1987).

Al perturbar las interacciones bióticas, los seres humanos pueden modificar la diversidad genética de las poblaciones y la composición de las comunidades vegetales al alterar procesos tales como la reproducción, la dispersión o el reclutamiento de las especies (Young *et al.* 2005). Cuando se modifican negativamente interacciones como la facilitación, la polinización o la dispersión de semillas, el efecto en especies de vida corta es la ocurrencia de procesos rápidos de extinción de poblaciones, y en especies de vida larga, lo que Janzen (2001) ha denominado “muertos vivientes”, plantas adultas que persisten pero que no determinan nuevos reclutamientos, los sistemas agroforestales pueden contribuir a revertir o cambiar el curso de estos procesos. “La diversidad genera diversidad”, es una de las premisas para la restauración

de la diversidad biológica mediante la reforestación con especies nativas (Shibu 2009). Los sistemas agroforestales “tradicionales” manejan una elevada biodiversidad nativa, y ello suele ser la base para el mantenimiento e incorporación de la biodiversidad denominada “asociada” (Vandermeer *et al.* 2002). Además, estos sistemas pueden disminuir las barreras que se establecen entre poblaciones y comunidades de plantas y animales, a partir de numerosas prácticas como la tolerancia, la protección, el fomento y el cultivo de muchas especies. También pueden incrementar la abundancia de especies que bajo condiciones naturales no logran establecerse, elevar la oferta de recursos para atraer más polinizadores y dispersores de semillas, o modificar el medio para el establecimiento de otras especies. Además, la diversidad de especies y la variabilidad genética intraespecífica encontrada en los sistemas agroforestales adquiere mayor relevancia cuando se visualiza el mantenimiento de especies dentro de una matriz de ambientes que incluye fragmentos de zonas silvestres, sistemas agroforestales y cultivos como un continuo a través del paisaje. Siendo los sistemas agroforestales puentes ó corredores para estas conexiones ó bien formas de disminuir las barreras de aislamiento entre poblaciones y comunidades (Leakey 1999). Finalmente, el estado de los componentes abióticos suele ser un elemento clave en la restauración de la biodiversidad. En numerosos sistemas agroforestales de barbecho, comúnmente se introducen especies para acelerar la recuperación de la fertilidad del suelo, disminuir el efecto de la erosión, de la insolación y del “splash” (golpeteo de las gotas de lluvia sobre el suelo). Las especies empleadas suelen ser de valor cultural y/o económico para las comunidades humanas que las manejan, lo cual incrementa el éxito de la restauración (Rocheleau *et al.* 1988).

## 5. Procesos de transformación de los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales del mundo, en particular los tradicionales, están bajo la presión de diversos factores. Los efectos de estos factores han sido cambios negativos para la biodiversidad en la mayoría de los casos, incluyendo la disminución en la riqueza y la diversidad a escala local y de paisaje, cambios en la composición de especies, disminución de especies nativas, introducción de especies exóticas, incremento de malezas y dominancia de especies con mayor valor de mercado (Backes 2001, Barrow y Mlengen 2003). Actualmente alrededor del 80% de la vegetación en Mesoamérica ha sido convertida a la agricultura, lo cual ha fragmentado los bosques remanentes, pero no sólo la biodiversidad está siendo amenazada a partir de este proceso; las fuerzas de los mercados globales, la industrialización agrícola, la migración, los cambios en las políticas públicas y los cambios culturales están dirigiendo la transformación de los sistemas biodiversos hacia la pérdida de la cobertura de árboles, barbechos, diversidad del hábitat y conectividad del bosque (Harvey et al. 2008). Estos procesos también pueden vulnerar el papel de los sistemas agroforestales en el aprovisionamiento de numerosos recursos de los cuales dependen las comunidades, su capacidad de conservación de la biodiversidad ó el potencial de recuperación frente a eventualidades.

Entonces, las propuestas para conservar la diversidad biológica y cultural y para satisfacer las necesidades de las comunidades que habitan esta región no pueden basarse en el modelo de separar áreas protegidas y áreas productivas y la intensificación estas últimas (Green et al. 2005). Más bien, deben basarse en la integración de los remanentes de vegetación y de la matriz en la cual estos se encuentran embebidos, incluyendo sistemas de manejo agrícola, forestal y agroforestal (Harvey et al. 2008, Perfecto y Vandermeer 2008).

## 6. El Valle de Tehuacán: tiempo, cultura y biodiversidad

El Valle de Tehuacán es una zona semiárida del Centro de México, su alta diversidad de clima, suelos, geoformas e interacciones ecológicas, han influido la diversidad y riqueza de las comunidades vegetales que ahí se desarrollan (Valiente-Banuet et al. 2000). En esta región, los bosques de cactáceas columnares suelen ser los elementos más conspicuos del paisaje (Valiente-Banuet et al. 2000). Pero el modelado del paisaje también ha sido influenciado por los seres humanos, que han habitado el área desde hace aproximadamente 10,000 años (MacNeish 1967). Hombres y mujeres han interactuado con este difícil medio, modificando el paisaje como una matriz compleja de fragmentos de vegetación silvestre, donde se realiza la recolección de diversas plantas y el pastoreo de cabras, burros y vacas. También hay milpas de temporal intercaladas con vegetación silvestre e introducida (sistemas agroforestales), zonas agrícolas con riego para cultivos como la caña de azúcar y el maíz y casas con solares con numerosas plantas silvestres, en proceso de domesticación, domesticadas y cultivadas (Casas et al. 2008).

Como en otras zonas áridas del mundo, se están desarrollando procesos tales como la intensificación en las prácticas de manejo, la sobreexplotación de recursos bióticos y abióticos, la degradación de tierras silvestres y de cultivo, el incremento de la pobreza y de la migración, todos los cuales significan riesgos para la sobrevivencia de las comunidades indígenas y mestizas que han habitado estos sitios (Valiente-Banuet et al. 2006). En este contexto, es altamente relevante la búsqueda de propuestas para mantener y recuperar la diversidad biológica así como sus funciones en el ecosistema. Pero también lo es generar opciones para optimizar el uso de recursos naturales buscando mejorar las condiciones de subsistencia de las comunidades humanas que ahí habitan. La experiencia técnica de los habitantes del Valle de Tehuacán ha

tenido una larga trayectoria de invención de sistemas de manejo de recursos naturales, y ésta constituye una sólida base sobre la que descansarán las innovaciones tecnológicas para hacer frente a los retos actuales (Casas *et al.* 2001). Una expresión de lo anterior es el conocimiento etnobotánico de alrededor de 1608 especies de plantas útiles, y el manejo de 610 de ellas, de las cuales el 68% son nativas, incluyendo el manejo silvícola de 123 especies integradas en diferentes sistemas agroforestales (Casas *et al.* 2008, Lira *et al.* 2009; Blancas *et al.* en prensa).

### **7. Los sistemas agroforestales de bosques de cactáceas columnares**

En el Valle de Tehuacán-Cuicatlán los sistemas agroforestales ocupan: i) las zonas templadas de las montañas que rodean al valle; ii) los sistemas de temporal de laderas y pie de monte de las zonas secas ocupados por bosques de cactáceas columnares; iii) los valles aluviales de la región, donde han sido desplazados por agricultura intensiva de riego y ya sólo quedan algunos relictos (Casas *et al.* 2008). En las zonas secas del Valle de Tehuacán, los sistemas agroforestales más relevantes por su extensión e importancia cultural, son los bosques de cactáceas columnares (Valiente-Banuet *et al.* 2000). En particular destacan los de bosques de “chichipera” en donde predominan las cactáceas *Polaskia chichipe* y *P. chende*, los de “jiotillal” dominados por *Escontria chiotilla* y los de “garambullal” donde *Myrtillocactus schenckii* es la especie más abundante (Blancas *et al.* 2009). Estos sistemas se encuentran sobre suelos de origen volcánico, los cuales determinan mejores condiciones para la agricultura que los suelos calizos que predominan en la región (Valiente-Banuet *et al.* 2000). Junto a la agricultura, en estos sistemas se toleran relictos del bosque, en los contornos de las parcelas, en pequeñas franjas, islas de vegetación o individuos aislados de plantas perennes que se dejan en pie dentro de las parcelas durante el aclareo de la vegetación para cultivo (Casas *et al.* 2008). En algunos

casos incluso la gente preserva individuos a través de la plantación de propágulos vegetativos o mediante el trasplante de plántulas e individuos juveniles dentro de las parcelas, promoviendo así la abundancia de algunas especies, principalmente de cactáceas y agaves (Casas *et al.* 2001).

Algunos estudios previos en la zona sugieren que los sistemas agroforestales tradicionales tienen capacidad de mantener altos niveles de diversidad de especies comparados con la vegetación original (Torres 2004, Vivar 2004), frecuentemente incorporando especies útiles no nativas ó que son consideradas malezas en otros contextos (Blanckaert *et al.* 2007). Otros estudios sugieren que estos sistemas son capaces de mantener altos porcentajes de la diversidad genética que existen en poblaciones silvestres de algunas especies (Blancas *et al.* 2006). Además, el estudio de Farfán-Heredia (2006) documentó la alta capacidad de regeneración de algunas poblaciones de especies dominantes en los sistemas naturales originales y que son manejadas bajo este sistema. No obstante las ventajas para la conservación de la diversidad biológica y de las estrategias de manejo, se ha documentado que en estos sistemas se están desarrollando procesos tales como disminución de la precipitación, políticas públicas destinadas a incrementar el área agrícola, transformaciones en las prácticas de manejo del ganado, el incremento del área arable de las parcelas agrícolas, la disminución de los ciclos de descanso y la fragmentación de las parcelas agrícolas (Casas *et al.* 2008, Farfán-Heredia 2006). Estos procesos, destinados a incrementar la productividad agrícola, en un medio ambiente tan impredecible como lo es el de la región podrían afectar la cobertura vegetal, las prácticas agroforestales y de manejo de plantas que se realizan en este sistema. También podrían afectar la diversidad de plantas y la capacidad de estos sistemas para satisfacer las necesidades de la comunidad humana aumentando la presión sobre los sistemas forestales análogos (Casas *et*

al. 2006, Casas *et al.* 2008). En este contexto el siguiente estudio se propuso contestar las siguientes preguntas:

- i) ¿Qué proporción de la diversidad vegetal existente en los bosques de cactáceas columnares es mantenida por los sistemas agroforestales?
- ii) ¿Cuáles son los procesos colectivos e individuales que influyen las decisiones del manejo de las especies de plantas nativas e introducidas en los sistemas agroforestales?
- iii) ¿Qué cambios están ocurriendo en la capacidad de mantener la biodiversidad y manejo de plantas y qué consecuencias tienen estos cambios en las funciones de aprovechamiento, conservación y restauración de la biodiversidad de los sistemas agroforestales tradicionales?
- iv) ¿Qué estrategias se pueden llevar a cabo para recuperar la capacidad de mantener la diversidad vegetal de los sistemas agroforestales analizados?

## **HIPÓTESIS GENERALES**

- i) Se esperaba que, de acuerdo con los patrones encontrados en otros sistemas agroforestales mesoamericanos, tropicales tradicionales: a) la riqueza de plantas nativas encontrada en los sistemas agroforestales estudiados fuera alrededor del 50-80% de la descrita en los bosques ; b) la diversidad de especies fuera similar a la de los bosques circundantes; c) se encontraran ciertas diferencias en riqueza y composición entre tipos de sistemas agroforestales debidas a la introducción de especies de plantas exóticas, malezas, ruderales e invasoras; d) ausencia de especies raras en los sistemas agroforestales a diferencia de los bosques y e) aumento en la abundancia de las especies más importantes para la comunidad.
- ii) Los sistemas agroforestales como sistemas complejos están sujetos a una gran diversidad de procesos individuales y colectivos que influyen las decisiones en el manejo de la diversidad de plantas.

Entre los procesos que pueden favorecer el mantenimiento de la diversidad se esperaba: a) la existencia de reglas colectivas de uso de recursos; y b) la presencia mesoamericana de los valores, usos, conocimientos, y prácticas de manejo de la diversidad de plantas. Por otro lado, se esperaba también la existencia de procesos afectando de forma negativa a la diversidad, entre ellos: a) la disminución en el área de tierra disponible para la siembra; b) el efecto de los programas gubernamentales incentivando la productividad agrícola y c) la disminución de la productividad agrícola y la consecuente búsqueda de incrementarla a costa de sacrificar elementos forestales.

- iii) Se esperaba que las transformaciones de los sistemas agroforestales tales como el incremento de la aridez y la disminución de la cobertura vegetal silvícola tuvieran efecto disminuyendo la capacidad de conservación de la biodiversidad así como en el aprovisionamiento de los recursos forestales.
- iv) Las estrategias locales de manejo de biodiversidad proveen bases tecnológicas para la recuperación de numerosas especies de valor ecológico y cultural y para aumentar su potencial para la restauración.

## **OBJETIVOS GENERALES**

### **1. Objetivo General**

Analizar el manejo de plantas en los sistemas agroforestales de cactáceas columnares del Valle de Tehuacán, su dinámica y su papel en las funciones de aprovechamiento, conservación y restauración de la biodiversidad.

### **2. Objetivos Particulares**

- i) Evaluar la capacidad de los sistemas agroforestales para mantener riqueza y diversidad de especies y variabilidad genética intraespecífica en los bosques de cactáceas columnares.

ii) Caracterizar las prácticas agroforestales y de manejo de plantas en los sistemas agroforestales de cactáceas columnares.

iii) Analizar procesos sociales, económicos y culturales con base en los cuales la gente decide mantener plantas en los sistemas agroforestales derivados de bosques de cactáceas columnares.

iv) Analizar en profundidad el sistema agroforestal derivado de bosques de chichipera, con el fin de caracterizar en los ámbitos ecológicos, culturales y en el manejo de plantas, así como sus efectos en la satisfacción de las necesidades locales, y la conservación y restauración de biodiversidad.

v) Analizar el estado actual del conocimiento ecológico y cultural de las prácticas tradicionales realizadas en estos sistemas y de su potencial para la generación de estrategias de restauración de zonas áridas.

El Capítulo I, denominado “Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del Valle de Tehuacán, México”, es un artículo publicado en la revista *Zonas Áridas*. En éste se revisaron hipótesis generales sobre el potencial de los sistemas agroforestales para mantener biodiversidad e interacciones bióticas, así como sobre los factores que influyen en tales procesos en zonas áridas. Se analizaron tales supuestos con base en información (a nivel de especies y variabilidad genética) obtenida en sistemas de las zonas áridas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Se discuten nuevas hipótesis y prioridades de investigación en este tema para los sistemas agroforestales de esta región y para los de otras zonas áridas. Finalmente, se discute la contribución de la diversidad vegetal mantenida en los sistemas agroforestales en la conservación de la diversidad biológica de las áreas silvestres que los circundan así como en la productividad, estabilidad y resiliencia del sistema.

El Capítulo II, “Agroforestry Systems and Biodiversity Conservation in Arid Zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central México”, es un

artículo aceptado para su publicación en la revista *Agroforestry Systems*. Analiza el papel de conservación de biodiversidad de plantas, a nivel de especies y de variabilidad genética en los sistemas agroforestales derivados de bosques de cactáceas. Se analizan también los procesos individuales y colectivos que influyen las prácticas de manejo de las plantas y su papel en el mantenimiento, incremento ó disminución de la biodiversidad.

En el Capítulo III, titulado “Traditional agroforestry systems in the arid Tehuacán Valley: their management and role in people’s livelihoods, el cual fue enviado a la revista *Agricultural Systems* se analiza el caso específico de sistemas agroforestales derivados de bosques de chichipera. Se caracteriza el sistema a partir de los subsistemas agrícolas, forestales, pecuarios y unidades sociales de producción y sus interacciones. Se analizan las transformaciones del sistema y sus consecuencias en el manejo de plantas, en la conservación de la biodiversidad, en aprovisionamiento de recursos vegetales así como en aspectos funcionales en las distintas dimensiones utilitarias, funcionales, opcionales e intrínsecas del valor de la diversidad de plantas.

El Capítulo IV es conformado por el artículo *Agroforestry Systems: Perspectives for Restoration of Semiarid Zones in the Tehuacan Valley, Central México*, aceptado para su publicación en la revista *Ecological Restoration*. Se basa en información ecológica y etnobotánica generada para los bosques de cactáceas columnares y los sistemas agroforestales que se derivan de ellos. Se discute la utilidad de las técnicas de manejo tradicional para la restauración de zonas áridas.

Finalmente, en la Discusión General se presenta una reflexión sobre los supuestos generales planteados en la presente sección, una reflexión sobre los alcances y limitaciones de estudio efectuado, y una perspectiva para abordar nuevas preguntas de investigación.

## REFERENCIAS

- Akinnifesi, F. K., R. R. B. Leakey, O. C. Ajayi, O. C. Sileshi, Z. Tchoundjeu, P. Matakala, y F. R. Kwesiga. 2008. *Indigenous Fruit Trees in the Tropics. Domestication, Utilization and Commercialization*. CAB International. World Agroforestry Center, UK.
- Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19-31.
- y C. Nicholls. 2000. *Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México, D.F.
- y V. M. Toledo. 2005. Natural resources management among small-scale farmers in semi-arid lands: Building on traditional knowledge and agroecology. *Annals of Arid Zone* 44:365-385.
- Backes, M. M. 2001. The role of indigenous trees for the conservation of biocultural diversity in traditional agroforestry land use systems: The Bungoma case study. *Agroforestry Systems* 52: 119-132.
- Barrow, E., y W. Mlengi. 2003. Trees as key to pastoralist risk management in semiarid landscapes in Shinyanga, Tanzania and Turkana, Kenya. Rural Livelihoods, Forest and Biodiversity, Bonn Germany.
- Benz, B. F., F. J. Santana, M. R. Pineda, J. Cevallos, I. Robles, y D. De Níz. 1994. Characterization of Mestizo plant use in the Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima, Mexico. *Journal of Ethnobiology* 14: 23-41.
- Bhagwat, S. H., K. J. Willis, J. Birks, y W. R. 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution* 23: 261-267.
- Blancas, J., F. Parra, D. Lucio, M. Ruíz-Durán, E. Pérez-Negrón, A. Otero-Arnaiz, A. Pérez-Nasser, y A. Casas. 2006. Manejo tradicional y conservación de la biodiversidad de *Polaskia* spp. (Cactaceae) en México. *Zonas Áridas* 10: 20-40.
- , J., A. Casas, R. Lira, y J. Caballero. 2009. Traditional management and morphological patterns of *Myrtillocactus schenckii* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central México. *Economic Botany* 63(4):375-387.
- , C. A., S. Rangel-Landa, A. Moreno-Calles, I. Torres, E. Pérez-Negrón, L. Solís, A. Delgado-Lemus, A. Parra, Y. Arellanes, J. Caballero, L. Cortés, R. Lira, y P. Dávila. En prensa. Plant Management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany*.
- Blanckaert, I., K. Vancraeynest, R. L. Swennen, F. J. Espinosa-García, D. Piñero, y R. Lira. 2007. Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semiarid production of Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 39-48.
- 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*. INAH: Comisión Nacional Para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, México, D.F.
- Caballero, J., y L. Cortés. 2001. Percepción, uso y manejo tradicional de los recursos vegetales de México. En: B. Rendón, S. Rebollar, J. Caballero, y M.A. Martínez-Alfaro, (Eds.) *Plantas, cultura y sociedad*. Estudios sobre la relación de seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D.F. pp 79-100
- Casas, A., J. L. Viveros, y J. Caballero. 1994. *Etnobotánica Mixteca: sociedad, recursos naturales y subsistencia en la Montaña de Guerrero*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes/Instituto Nacional Indigenista. México.
- , J. Caballero, y A. Valiente-Banuet. 1999. Use, management and domestication of columnar cacti in south-central Mexico: a historical perspective. *Journal of Ethnobiology* 19(1):71-95.
- , A. Valiente-Banuet, J. L. Viveros, y J. Caballero. 2001. Plant resources of the Tehuacán Valley, México. *Economic Botany* 55: 129-166.
- , J. Cruse, E. Morales, A. Otero-Arnaiz, y A. Valiente-Banuet. 2006. Maintenance of phenotypic and genotypic diversity of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) by indigenous peoples in Central México. *Biodiversity and Conservation* 15: 879-898.
- , A. Otero-Arnaiz, E. Pérez-Negrón, y Valiente-Banuet A. 2007. *In situ* Management and Domestication of Plants in Mesoamerica. *Annals of Botany* 100: 1101-1115.
- , y F. Parra. 2007. Agrobiodiversidad, parientes silvestres y cultura. *LEISA Revista de Agroecología* 23:5-8.
- , S. Rangel-Landa, I. Torres-García, E. Pérez-Negrón, L. Solís, F. Parra, A. Delgado, J. J. Blancas, B. Farfán, y A. Moreno-Calles. 2008. *In situ* Management and Conservation of Plant Resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: An Ethnobotanical and Ecological Perspective. Páginas 1–25 en U. P. De Albuquerque and M. Alves-Ramos, eds. *Current Topics in Ethnobotany*. Research Signpost, Kerala, India.
- , A. Valiente-Banuet, L. Solís y E. Pérez-Negrón. En prensa. El manejo de la biodiversidad en el desierto: el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. En Toledo, V. M. (Coord.). *La Biodiversidad de México: inventarios, usos, manejos, conservación e importancia cultural*. Serie Biblioteca Mexicana, Fondo de Cultura Económica.

- Chapin III, F. S., E. S. Zavaleta, V. T. Eviner, R. L. Naylor, P. M. Vitousek, H. L. Reynolds, D. H. Hooper, S. Lavorel, O. Sala, S. H. Hoobie, M. S. Mack, y S. Díaz. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405: 234-242.
- Dávila, P., M. C. Arizmendi, A. Valiente-Banuet, J.L. Villaseñor, A. Casas, y R. Lira (2002). Biological Diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 11:421-441.
- Denevan, W. M. 1992. The Pristine Myth: The Landscape of the Americas in 1492. *Annals of the Association of American Geographers* 82: 369-385.
- Donald, P. F. 2004. Biodiversity Impacts of Some Agricultural Commodity Production Systems. *Conservation Biology* 18: 17-37.
- Farfán-Heredia, B. 2006. *Efecto del manejo silvícola en la estructura y dinámica poblacional de Polaskia chichipe Backeberg en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán.
- Flannery, K. V. 1973. The Origins of Agriculture. *Annual Review of Anthropology* 2: 271-310.
- Flores, J. S. 1999. *Etnobotánica de las leguminosas de la Península de Yucatán: uso y manejo entre los Mayas*. PhD tesis. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Gómez-Pompa, A. 1991. Learning from traditional ecological knowledge: insights from Mayan silviculture. En: Gómez-Pompa A, T.C. Whitmore, M. Handley (Eds.). *Rain forest regeneration and management*. París: UNESCO/The Parthenon Publishing Group, pp. 335-341.
- Green, R. E., S. J. Cornell, J. P. W. Scharlemman, y A. Balmford. 2005. Farming and the Fate of Wild Nature. *Science* 307: 550-555.
- Grime, J.P. 1973. Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature* 242:344-347.
- Harlan, J. R. 1975. *Crops and man*. American Society of Agronomy, Madison.
- Harper, J. L. 1987. *Restoration Ecology: A synthesis approach to ecological research*. University Press, Cambridge.
- Harvey, C. A., O. Komar, C. Robin, B. G. Ferguson, B. Finegan, D. M. Griffith, M. Martínez-Ramos, H. Morales, R. Nigh, L. Soto-Pinto, M. Van Breugel, y M. Wishnie. 2008. Integrating Agricultural Landscapes with Biodiversity Conservation in the Mesamerican hotspot. *Conservation Biology* 22: 8-15.
- Holling, C. S. 2001. Understanding the Complexity of Economic, Ecological and Social Systems. *Ecosystems* 4: 390-405.
- Hooper, D. U., F. S. Chapin III, J. J. Ewel, A. Hector, P. Inchausti, S. Lavorel, J. H. Lawton, D. M. Lodge, M. Loreau, S. Naeem, B. Schmid, H. Setälä, A. J. Symstad, J. Vandermeer, y D. A. Wardle. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*: 75 (1): 3-35.
- Janzen, D. H. 1973. Tropical Agroecosystems. *Science* 182: 1212-1219.
- . 2001. Latent extinctions: the living dead. Pages 689-699 in L. S.A., (Ed.) *Encyclopedia of Biodiversity*. Academic Press, NY, USA.
- Krishnamurthy, L., y M. Ávila. 1999. *Agroforestería Básica*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México, D.F.
- Latour, B. 2007. *Nunca fuimos modernos. Ensayo de antropología simétrica*. Siglo xxi, Buenos Aires.
- Leakey, R. 1999. Agroforestry for biodiversity in farming systems. En: W. W. Q. Collins, C.O., eds. *Biodiversity in agroecosystems*. CR PRESS, New York, pp 127-145.
- Leff, E. 2004. *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Siglo xxi editores, S.A. de C.V., México, D.F.
- Lira, R., A. Casas, R. Rosas, M. Paredes, E. Pérez-Negrón, S. Rangel-Landa, L. Solís, I. Torres, y P. Dávila. 2009. Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán- Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany* 63(3):271-287.
- Loreau, M., S. Naeem, y P. Inchausti. 2002. *Biodiversity and Ecosystem Functioning*. University Press, Oxford.
- MacNeish, R. S. 1967. A Summary of Subsistence. en D. S. Byers, (Ed.) *The Prehistory of the Tehuacán Valley*. University of Texas Press, Austin, pp 290-309.
- Main, A. R. 1999. How much biodiversity is enough. *Agroforestry Systems* 45: 23-41.
- Matos-Moctezuma, E. 1994. Mesoamérica. En L. Manzanilla y L. López-Luján, (Eds.) *Historia Antigua de México*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Universidad Nacional Autónoma de México, Porrúa, México, D.F., pp 49-73.
- McNeely, J. A. 2004. Nature vs. nurture: managing relations between forests, agroforestry and wild biodiversity. *Agroforestry Systems* 61: 155-165.
- McNeely, J. A., y G. G. Schroth. 2006. Agroforestry and biodiversity conservation-traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity Conservation* 15: 549-554.
- Moguel, P. y V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Mooney, H. A., J. H. Cushman, E. Medina, O. Sala, y E. D. Schulze. 1996. *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. JohnWiley y Sons, Chichester. New York. Brisbane. Toronto. Singapore.

- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca, y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Nair, P. K. R. 1998. Directions in tropical agroforestry research: past, present and future. *Agroforestry Systems* 38: 223-245.
- Nieves H., G., J. A. Vázquez-García, H. Luquín S, E. Iracheta R., y Y.L. Vargas Rodríguez. 1999. *Plantas vasculares del Norte de Jalisco y zonas adyacentes de Durango, Nayarit y Zacatecas*. Mexicoa 1(1): 41-77.
- \_\_\_, G., J. A. Vázquez-García, M. de J. Chazaro, y M. Vázquez G. 2004. Uso tradicional de la flora de la Región Huichola. 2004. En J.A. Vázquez-García, M. de J. Chazaro, Nieves H., G., Y. L. Vargas-Rodríguez, M. Vázquez G., y A. Flores. *Flora del Norte de Jalisco y Etnobotánica Huichola*. Universidad de Guadalajara, 93-101.
- Noble, I., y R. Dirzo. 1997. Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277: 522-525.
- Oviedo, G., L. Maffi, y P. B. Larsen. 2000. Indigenous and Traditional Peoples of the World and Ecoregion Conservation. An Integrated Approach to Conserving the World's Biological and Cultural Diversity. WWF-International-Terra Lingua, Gland, Suiza.
- Parra, F., N. Pérez-Nasser, D., Pérez Salicrup, R., Lira, y A. Casas. 2008. Populations genetics and process of domestication of *Stenocereus pruinosus* in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Arid Environments* 72: 1997-2010.
- Pascual, U., y C. Perrings. 2007. Developing incentives and economic mechanism for *in situ* biodiversity conservation in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 256-268.
- Perfecto, I., A. Mas, T. Dietsch, y J. Vandermeer. 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity Conservation* 12: 1239-1252.
- \_\_\_ y J. Vandermeer. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: new conservation paradigm. *Annual New York Academic Science* 1134: 173-200.
- Pretty, J. N., 1995. Regenerating agriculture: policies and practices for sustainability and self-reliance, Earthscan, Londres.
- PNUMA. 2002. Manifiesto por la Vida. Por una Ética de la Sustentabilidad. [www.rolac.unep.mx](http://www.rolac.unep.mx)
- Rocheleau, D., F. Weber, y A. Field-Juma. 1988. *Agroforestry in Dryland Africa*. ICRAF.
- Rzedowski, J. 1993. Diversity and origins of phanerogamic flora of Mexico. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot, A. y J. Fa. eds.. *Biological Diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press. Oxford: pp. 129-144.
- Scales, B. R., y S. J. Marsden. 2008. Biodiversity in small-scale tropical agroforests: a review of species richness and abundance shifts and the factors influencing them. *Environmental Conservation* 35: 160-172.
- Schroth, G. G., d. F. A. B., C. A. Harvey, C. Gascon, H. L. Vasconcelos, y A. M. N. Izac. 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, USA.
- Shibu, J. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76: 1-10.
- Simons, A. J., y R. R. B. Leakey. 2004. Tree domestication in tropical agroforestry. *Agroforestry Systems* 61: 167-181.
- Sinclair, F. 1999. A general classification of agroforestry practice. *Agroforestry Systems* 161: 161-180.
- Somarriba, E. 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19: 233-240.
- Somarriba, E., C. A. Harvey, M. Samper, F. Anthony, J. González, C. Starver y R. A. Rice. 2004. Biodiversity conservation in Neotropical coffee (*Coffea arabica*) plantations. En Schroth, G. G., d. F. A. B., C. A. Harvey, C. Gascon, H. L. Vasconcelos, y A. M. N. Izac, *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, USA.
- Swift, M. J., A. M. N. Izac, y M. van Noordwijk. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes-are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 113-134.
- Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong, y B. A. Hawkins. 1996. *Biodiversity and Agroecosystem Function*. en H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. Sala, y E. D. Schulze, eds. *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto and Singapore., pp 262-294.
- Toledo, V. M., 1994. La diversidad biológica de México. Nuevos retos para la investigación en los noventa. *Ciencias* 34.
- \_\_\_, A. I. Batis, R. Becerra, E. Martínez, y C. H. Ramos. 1995. La selva útil: etnobotánica cuantitativa de los grupos indígenas del trópico húmedo de México. *Interciencia* 20: 177-187.
- \_\_\_ 2000. Biodiversity and indigenous people. En S. A. Levin, (Ed.) *Encyclopedia of biodiversity*. Academic Press, San Diego, CA, 451-463.
- \_\_\_, y N. Barrera-Bassols. 2008. *La Memoria Biocultural: La importancia de las sabidurías tradicionales*. Icaria editorial, Barcelona.
- \_\_\_ 2009. Otro mundo es realmente posible? Reflexiones frente a la crisis. *Papeles* 105: 105-112.



- Torquebiau, E. 1990. Conceptos de agroforestería: una introducción in L. Krishnamurthy, ed. *Agroforestería para el Ecodesarrollo*. XVII Curso Internacional de Entrenamiento. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Chapingo, México.
- Torres, I., 2004. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Tscharntke, T., A. M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter, y C. Thies. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters* 8: 857-874.
- Valiente-Banuet, A., A. Casas, A. Alcántara, P. Dávila, N. Flores-Hernández, M. C. Arizmendi, J. L. Villaseñor, y J. Ortega. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67: 25-74.
- Valiente-Banuet, A., D. P., A. Casas, M. C. Arizmendi, y J. Ortega-Ramírez. 2006. Diversidad biológica y desarrollo sustentable en la reserva de la biosfera Tehuacán Cuicatlán. Pages en K. Oyama y A. Castillo, (Eds.) *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México*, Universidad Nacional Autónoma de México, 248-277.
- Vandermeer, J., D. Lawrence, A. Symstad, y S. Hobbie. 2002. Effect of biodiversity on ecosystem functioning in managed ecosystems en M. Loreau, S. Naeem, y P. Inchausti, (Eds.) *Biodiversity and Ecosystem Functioning*. University Press, Oxford.
- Vandermeer, J., M. Noordwijk, J. Anderson, C. Ong, y I. Perfecto. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 67: 1-22.
- Vazquez, G. J. A., R. Cuevas, T.S. Cochrane, H.H. Iltis, F.J. Santana, y L. Guzmán. 1995. Flora de Manantlán. SIDA, Botanical Miscellany no. 13. Bot. Rest. of Texas, Universidad de Guadalajara, University of Wisconsin-Madison, CONABIO.
- Vieira, D. L. M., K. D. Holl, y F. M. Peneireiro. 2009. Agro-Sucesional Restoration as a Strategy to Facilitate Tropical Forest Recovery. *Restoration Ecology* 17: 451-459.
- Villaseñor, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28(3): 160-167.
- Vivar, D. 2004. *Determinación de la sustentabilidad en el manejo del quiotillal en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México*. Facultad de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Wilson, E. O. 1988. *Biodiversity*. National Academy Press, Washinton, D.C.
- Young, T. P., D. A. Petersen, y J. J. Clary. 2005. The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecology Letters* 8: 662-673.

## **CAPITULO I**

Moreno-Calles A, Casas A (2008) Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del Valle de Tehuacán, México. *Zonas Áridas* 12: 13-35.

# Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del valle de Tehuacán, México

ANA ISABEL MORENO-CALLES, ALEJANDRO CASAS

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, APARTADO POSTAL 27-3

(SANTA MARIA DE GUIDO), MORELIA, MICHOACÁN 58190, MÉXICO.

Email: [acasas@oikos.unam.mx](mailto:acasas@oikos.unam.mx)

## RESUMEN

Se revisaron hipótesis generales sobre el potencial de los sistemas agroforestales para mantener biodiversidad e interacciones bióticas, así como sobre los factores que influyen en tales procesos en zonas áridas. Se analizaron estas hipótesis con base en información (a nivel de especies y variabilidad genética) obtenida en sistemas de las zonas áridas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. En esta región los sistemas agroforestales derivados de bosques de cactáceas columnares son capaces de mantener entre el 50 y 90% de la riqueza de especies de plantas que existe en los sistemas silvestres, y en promedio cerca del 93% de la diversidad genética de poblaciones silvestres de las especies de cactáceas representativas de los bosques originales. No obstante, se identificó su limitada capacidad para mantener especies raras. Se abordan nuevas hipótesis y prioridades de investigación en este tema para los sistemas agroforestales de esta región en particular y para los de zonas áridas en general. Finalmente, se discute la contribución de la diversidad vegetal mantenida en los sistemas agroforestales en la conservación de la diversidad biológica de las áreas silvestres que los circundan y en la productividad, estabilidad y resiliencia del sistema. Todos estos atributos cruciales para la comprensión del estado de sustentabilidad, y de las intervenciones que se requieren para mejorarlo.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, conservación de la biodiversidad, Valle de Tehuacán-Cuicatlán, cactáceas columnares, intensificación agrícola, sustentabilidad.

## ABSTRACT

*General hypotheses were reviewed on the potential of agroforestry systems to maintain biodiversity and biotic interactions, as well as factors influencing such processes. We analyzed information (at species and genetic variation levels) from cases of agroforestry systems, derived from columnar cacti forests in the arid areas of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, central Mexico. Agroforestry systems of this region maintain 50 to 90% of the plant species richness existing in wild forests, and in average nearly 93% genetic diversity of wild populations of the dominant columnar cacti species. However, a limited capacity of these systems to maintain rare species was identified. New hypotheses and research priorities are discussed for agroforestry systems of the Tehuacán Valley in particular and for agroforestry systems of arid zones in general. Finally, we analyze the role of the plant diversity*

*maintained in agroforestry systems to the general maintenance of biodiversity of wild forest areas and to the productivity, stability, and resilience of the systems, crucial attributes for understanding their state of sustainability and for designing action to improve them.*

Las zonas áridas y semiáridas presentan humedad limitada debido a la baja precipitación y altas tasas de evaporación que las caracterizan. También presentan suelos delgados y baja productividad primaria, y todos estos elementos en su conjunto hacen a los ecosistemas secos particularmente vulnerables en comparación con los de otras áreas (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Ha sido común la idea de que las zonas secas son áreas con diversidad biológica muy limitada y por ende han recibido menor atención en programas de conservación que otros ecosistemas. Y es hasta recientemente cuando se ha reconocido que las zonas áridas albergan una alta diversidad biológica de importancia tanto ecológica como cultural (Darkoh, 2003). En México, por ejemplo, cerca del 60% del territorio son zonas áridas y semiáridas, y en éstas se han identificado cerca de 6000 especies de plantas vasculares (aproximadamente el 25% del total estimado para el territorio nacional), siendo endémicas aproximadamente 60% de éstas (Rzedowski, 1976; 1993). El número de especies en las zonas áridas es menor en comparación con las zonas húmedas, y por ello la pérdida de especies en esas zonas tiene un impacto relativamente más alto, más aún si se considera el elevado porcentaje de endemismos que representan (McNeely, 2003).

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán es una zona árida ubicada entre los estados de Oaxaca y Puebla, en el centro de México (Fig. 1). Se considera como uno de los principales reservorios de diversidad biológica de las zonas áridas de Norteamérica (Dávila *et al.*, 2002) y tiene una historia cultural de entre 12,000 y 14,000 años de antigüedad (MacNeish, 1967). Tan larga historia de interacción entre las culturas y la diversidad biológica locales ha resultado en una de las mayores riquezas de saberes y técnicas de manejo de los recursos y ecosistemas de México (Casas *et al.*, 2001; 2008). Por ejemplo, el conocimiento etnobotánico comprende alrededor de 1600 especies de plantas útiles, incluyendo el cultivo de 190 especies mesoamericanas y el manejo silvícola de cerca de 123 especies nativas dentro de diferentes sistemas agroforestales (Casas *et al.*, 2008; Lira *et al.*, en prensa). La estrategia de subsistencia de los pueblos que habitan esta región se basa en la agricultura de riego y de temporal, la cría de cabras y vacas bajo el sistema de libre pastoreo y la recolección de recursos forestales, y en todas estas actividades se involucra el aprovechamiento y manejo de numerosas especies vegetales (Casas *et al.* 2001). No obstante, esta zona es afectada por problemas tales como cambios en el uso de la tierra, deforestación, saqueo de especies, sobreexplotación de recursos bióticos y abióticos, degradación de tierras de cultivo, incremento de la pobreza y de la migración (Valiente-Banuet *et al.*, 2006). Todos estos procesos, aunados a las sequías recurrentes propias de estas zonas, significan riesgos para la sobrevivencia de las comunidades indígenas y mestizas que han habitado estos sitios. Es altamente relevante la búsqueda de propuestas para mantener y recuperar la diversidad biológica y cultural del área, pero también los es generar opciones para optimizar el uso de recursos naturales buscando mejorar las condiciones de subsistencia de las comunidades

humanas que ahí habitan. La experiencia técnica de los habitantes del Valle de Tehuacán ha tenido una larga trayectoria de invención de sistemas de manejo de recursos naturales, y ésta constituye una sólida base sobre la que descansarán las innovaciones tecnológicas para hacer frente a los retos actuales. Entre tales sistemas destacan sin duda los agroforestales, los cuales favorecen el mantenimiento de la diversidad biológica, al mismo tiempo que proporcionan numerosos recursos y servicios ecosistémicos a las comunidades humanas que los practican. En este trabajo revisamos la información disponible y el papel de estos sistemas para mantener diversidad biológica, en términos de riqueza y diversidad de especies, variabilidad genética e interacciones bióticas; analizamos también cómo los procesos de intensificación de la producción agrícola afectan tales capacidades y las posibles alternativas para que estos sistemas mantengan su papel en atributos (productividad, estabilidad y resiliencia) que tienen efecto en la sustentabilidad de los sistemas manejados.

Los sistemas agroforestales han sido estudiados recientemente en diversos ecosistemas de la tierra; sin embargo, los estudios sobre sistemas de zonas áridas son aún escasos y en ello busca contribuir este análisis de la experiencia técnica de los pueblos del Valle de Tehuacán–Cuicatlán.

## EL PAPEL DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

### Diversidad de especies

Los sistemas agroforestales comprenden prácticas que integran árboles y otras plantas leñosas dentro de sistemas agrícolas, ya sea conservando plantas que se encontraban en los bosques antes del aclareo de las parcelas, o bien mediante la propagación, cuidado, o tolerancia del rebrote de algunas de esas plantas (Schroth *et al.*, 2004). En las zonas campesinas de Latinoamérica son comunes los paisajes que incluyen fragmentos de vegetación silvestre, barbechos de distintas edades y campos cultivados. También es común que al realizar el aclareo de la vegetación los campesinos manejen dentro de las parcelas agrícolas relictos del bosque, franjas de vegetación y árboles aislados que se usan como alimentos, fibras, materiales y otros múltiples usos (Vandermeer *et al.*, 1998). Bajo tal forma de manejo, los paisajes pueden mantener una alta proporción de la riqueza de especies de plantas, aves, insectos y mamíferos de las zonas forestales silvestres. Por ejemplo, Nobel y Dirzo (1997) estimaron que los sistemas agroforestales tradicionales pueden mantener entre 50 y 80% de un pool regional de especies, mientras que en una reciente revisión de estudios al respecto Bhagwat *et al.* (2008) estimaron que estos sistemas mantienen en promedio cerca del 60% de especies de los ecosistemas forestales.

Diversos estudios aportan información que permite apreciar que un sistema agroforestal tiende a mantener un mayor número de especies cuando: i) Los ecosistemas forestales poseen una alta diversidad  $\alpha$  y  $\beta$  y existe en tales áreas una larga historia de interacción entre los humanos y tal diversidad (Casas *et al.*, 2008); ii) los sistemas tradicionales de manejo se basan en una estrategia de uso de los recursos para múltiples propósitos (Wilken, 1977; Toledo *et al.*, 2002; Altieri & Nicholls, 2006); iii) los sistemas forestales han sido recientemente

convertidos en sistemas agroforestales y con el tiempo la selección es dirigida a especies en particular (Augusseau *et al.*, 2006; Bhagwat *et al.*, 2008); iv) el manejo permite el desarrollo de procesos sucesionales y la incorporación de nuevas especies y variedades vegetales (Casas *et al.* 2007); v) el manejo del sistema agroforestal se encuentra sujeto a un nivel intermedio de intensificación o disturbio (Janzen, 1973; Swift *et al.*, 1996; Bhagwat *et al.*, 2008; Perfecto y Vandermeer, 2008); y vi) la cobertura de árboles nativos es alta (Bhagwat *et al.*, 2008).

En algunos estudios realizados en zonas áridas de distintas partes del mundo se han encontrado condiciones similares entre sí que sugieren un patrón de capacidad de conservación de entre 50 y 90% de las especies de plantas de los sistemas forestales silvestres de los que se derivan (véase Cuadro 1). En el Valle de Tehuacán se practican sistemas agroforestales en las zonas templadas de las montañas que rodean el Valle, en las zonas irrigadas de las partes bajas en el valle aluvial, así como en las zonas de temporal en las laderas de zonas secas (Casas *et al.*, 2008). Son los sistemas de estas últimas zonas sobre los cuales se centró la atención de la presente.

Los sistemas agroforestales más relevantes de las zonas secas referidas, por su extensión e importancia cultural, son los establecidos en bosques de cactáceas columnares (*sensu* Valiente-Banuet *et al.*, 2000) dominados por diferentes especies de este grupo de plantas. En particular, los de mayor importancia son los derivados de la vegetación denominada “chichipera” en donde predominan las cactáceas *Polaskia chichipe* y *P. chende* (Fig. 2), la que recibe el nombre de “jiotillal” (Valiente-Banuet *et al.*, 2000) dominada por *Escontria chiotilla* (Fig. 2), y la llamada “garambullal” dominada por *Myrtillocactus schenckii* (Blancas, 2006; Casas *et al.*, 2008, Fig. 2). En estos sistemas agroforestales es posible apreciar el mantenimiento de un elevado número de plantas perennes, principalmente aquellas que los campesinos toleran al realizar el aclareo de la vegetación para abrir campos de cultivo. Estas plantas pueden encontrarse formando parte de los contornos de las parcelas, o en el interior de éstas formando islas de relictos de la vegetación original, pequeños manchones, franjas dispuestas deliberadamente de manera perpendicular a la pendiente, o árboles aislados (Casas *et al.*, 2008).

En muestreos de vegetación llevados a cabo en los sistemas agroforestales y en bosques de cactáceas columnares por los autores, encontramos que éstos pueden mantener en promedio 72% de las especies de plantas registradas en el bosque de chichipera, 58% de las encontradas en los jiotillales, y hasta 97% de las encontradas en los garambullales. Se encontró que incluso algunas especies endémicas pueden incrementar su abundancia bajo este manejo, como es el caso de *Escontria chiotilla*. Sin embargo, también se detectó que algunas especies raras frecuentemente están ausentes del sistema, lo que permite identificar una importante limitación en su capacidad de conservación, que amerita establecer explícitamente objetivos para subsanarla.

A escalas de paisaje algunos sistemas agroforestales pueden contribuir a incrementar la diversidad que se encuentra en los sistemas forestales silvestres. Por ejemplo, Blanckaert *et al.* (2007) encontraron dentro de sistemas agrícolas en la zona árida de Tecomavaca, Oaxaca, (también dentro del Valle de Tehuacán) 161 especies pertenecientes a 103 géneros y 40 familias de plantas. De éstas sólo 49% de las especies herbáceas están presentes en los sistemas

naturales, mientras que 51% de las especies sólo se encontraban en las zonas manejadas, incrementando de esta manera los niveles de diversidad en el paisaje. Alrededor de 26% de las especies registradas por Blanckaert *et al.* (2007) tenían una distribución restringida a una parcela, lo que indica que cada parcela contribuye con distintas especies a la diversidad general a nivel de paisaje.

El patrón de mantenimiento de especies en cercos vivos, franjas y manchones de vegetación o árboles aislados, se encuentra frecuentemente en otros sistemas agroforestales tradicionales de zonas áridas. Particularmente en Latinoamérica se han documentado en Nicaragua (Malpasillo), México (Durango, Sonora, Zacatecas, Hidalgo), Bolivia (Aiquile, Sacaca y Chipaya) y Perú (Centro Salvadoreño de Tecnología Apropiaada, 2007). No obstante, aún se requiere profundizar en la caracterización y en el potencial de estos sistemas para mantener diversidad biológica y de los factores que están favoreciendo o desfavoreciendo los procesos que otorgan tal capacidad de conservación. Asimismo es importante generar estudios que destaquen el papel de otras actividades, como por ejemplo el pastoreo, que pueden tener efecto en el incremento de la diversidad en estos sitios. En el caso del pastoreo, estudios previos han documentado el papel del ganado en la dispersión de semillas (Baraza & Valiente-Banuet, 2008), y (dentro de un cierto umbral de disturbio) en el incremento de la abundancia de algunas especies endémicas como es el caso de *Mammillaria pectinifera* (Martorell y Peters, 2005).

### Diversidad genética

La biodiversidad encontrada en estos sistemas agroforestales es una manifestación de su capacidad de conservación, pero tal capacidad adquiere mayor relevancia cuando visualizamos el mantenimiento de especies dentro de una matriz de ambientes que incluye fragmentos de zonas silvestres, sistemas agroforestales y cultivos como un continuo a través del paisaje (Leakey, 1999). Generalmente los fragmentos de zonas silvestres mantienen una mayor diversidad de especies y de variabilidad genética que los sistemas transformados, incluyendo los agroforestales. Pero es posible que los sistemas transformados, generalmente más pobres en biodiversidad, funcionen como puentes o corredores que permitan el movimiento de organismos, propágulos y gametos (flujo génico) de algunas especies, y la capacidad para funcionar como tales dependerá de la cobertura vegetal y de la diversidad de especies que mantenga. En consecuencia, es posible diseñar estrategias de conservación dirigidas a optimizar esta función, en las que una matriz de fragmentos de zonas silvestres y sistemas agroforestales de alta diversidad (tanto en términos de especies como de variabilidad genética) mantenga vías que aseguren el flujo de organismos y genes (véase Perfecto y Vandermeer, 2008). Así, si bien la fragmentación de los hábitats y la disminución del tamaño de los fragmentos de zonas forestales silvestres favorecen la endogamia y la disminución de la diversidad genética de una especie, los sistemas agroforestales pueden constituir una importante estrategia para incrementar el flujo génico y contrarrestar los efectos de la endogamia. Incluso, las áreas agroforestales pueden constituir áreas manejadas para promover la retención de diversidad genética (o la introducción de variantes que la incrementen) de las especies de plantas

perennes manejadas por los agricultores (Leakey, 1999), y aún de especies forestales altamente utilizadas o especies raras afectadas por los cambios de uso del suelo. Un ejemplo de manejo tradicional que favorece el mantenimiento de flujo génico entre manchones de vegetación se documentó en las especies de cactáceas columnares *Stenocereus stellatus*, *S. pruinosus*, *Escontria chiotilla*, *Polaskia chichipe* y *P. chende* en el Valle de Tehuacán (Casas *et al.* 2007). Los frutos de estas especies tienen un valor económico relativamente alto, y son recolectados de las poblaciones silvestres, pero también las plantas suelen ser toleradas o propagadas dentro de sistemas agroforestales y pueden constituir el primer lugar en cuanto a abundancia e índices de dominancia dentro de las comunidades manejadas de chihipera, garambullal y jiotillal (Casas *et al.*, 1999). Los estudios que compararon la diversidad genética de poblaciones silvestres y la de poblaciones en sistemas agroforestales de estas especies indican que la variación genética es muy similar y en el caso de *S. stellatus* incluso superior (Cuadro 2). Este patrón, en el caso de las especies de *Stenocereus*, puede atribuirse al manejo tradicional que involucra un continuo reemplazo e introducción de plantas desde distintas zonas silvestres a los sistemas agroforestales (Casas *et al.*, 2006; Parra *et al.*, 2008). Se ha documentado en todos los casos mencionados una baja diferenciación genética y un alto flujo genético entre poblaciones silvestres y agroforestales, que también contribuyen a explicar la alta diversidad genética de las poblaciones en sistemas agroforestales (Lucio, 2005; Otero-Arnaiz *et al.* 2005, Tinoco *et al.* 2005; Blancas, 2006; Casas *et al.*, 2006; Ruíz-Duran, 2007; Parra *et al.*, 2008). Tan alto flujo génico se explica por la participación de murciélagos (*Leptonycteris curasoë* y *Choeronycteris curasoë*) y abejas (*Xylocopa mexicanorum*, *Plabeia mexicana*, *Bombus pensylvanicus* y *Apis mellifera*) en la polinización, así como diversas especies de aves y otros murciélagos como dispersores de semillas (Valiente-Banuet, 2002), y la activa participación humana en la dispersión de semillas y propágulos vegetativos. Interacciones bióticas como las mencionadas pueden ser mantenidas por medio de los sistemas agroforestales como se discute adelante.

### Interacciones bióticas

Cuando disminuye la cobertura de los sistemas forestales silvestres se puede esperar la reducción de la diversidad y abundancia de las especies que los componen, pero también se afectan las interacciones bióticas. Estas últimas son de gran relevancia en el mantenimiento de las comunidades bióticas en general y particularmente en los sistemas de zonas áridas, como se discute en el párrafo anterior y como lo han analizado diversos autores como Yeaton (1978), Valiente-Banuet y Ezcurra (1991), Sosa y Fleming (2000), Gutiérrez y Squeo (2004), Valiente-Banuet *et al.*, (2006). La forma en que tales procesos pueden afectar las interacciones bióticas puede incluir, por ejemplo, la disminución de las especies de plantas nodrizas y por lo tanto de sitios seguros para la regeneración de poblaciones de un importante número de especies suculentas. También pueden afectar el abatimiento de la notoriedad de las poblaciones atrayentes ó la disminución de recursos atrayentes (polen, néctar o frutos) y con ello debilitar las interacciones de polinización y frugivoría, determinando una baja producción y dispersión de semillas (Leakey, 1999). En tales contextos, el mantenimiento e introducción de especies



perennes nativas en los sistemas agrícolas podría aumentar la probabilidad de conservar la ocurrencia de tan importantes interacciones.

Es sabido que algunas plantas de zonas áridas y semiáridas proveen protección a sus plántulas o a las de otras especies, mientras éstas crecen lo suficiente para hacer frente a las condiciones difíciles o bien para llegar a ser plantas adultas, fenómeno al que se le denomina nodricismo (Nobel, 1998). Por ejemplo, este tipo de interacción está bien documentado para la asociación entre *Mimosa luisana* (arbusto) y *Neobuxbaumia tetetzo* (cactácea columnar), en la que la sombra del arbusto tiene un efecto disminuyendo la radiación solar directa y, consecuentemente, menores temperaturas diarias y menor demanda evaporativa en las plántulas de la cactácea (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991). Pero también se ha documentado que los murciélagos y aves que consumen los frutos de la cactácea frecuentemente perchan en el arbusto, bajo cuya sombra depositan las semillas del fruto consumido (Godínez –Alvarez y Valiente-Banuet, 2000). *Mimosa luisana*, puede no ser muy relevante en términos económicos, pero de su presencia depende la regeneración de esta cactácea columnar, cuya dominancia en la vegetación permite valorar su gran importancia ecológica, y cuyos botones florales y frutos se emplean y comercializan localmente para consumirse como alimentos.

Además del papel de “puentes” para permitir o incrementar el flujo génico entre poblaciones silvestres y cultivadas referido anteriormente, otro efecto positivo del mantenimiento de plantas en sistemas agrícolas es el incremento de recursos atrayentes para los polinizadores y dispersores que benefician directamente a los cultivos. Por ejemplo, se ha descrito la vulnerabilidad en la reproducción de algunos grupos de plantas del Valle de Tehuacán, frente a la escasez de sus polinizadores ocasionada por cambios en el uso de la tierra. En esta región, 14 especies de cactáceas de los géneros *Pachycereus*, *Stenocereus*, *Mitrocereus* y *Neobuxbaumia* sólo producen frutos después de haber sido visitadas por murciélagos, y en todas ellas los murciélagos también consumen la pulpa de sus frutos y son importantes dispersores de sus semillas (Valiente-Banuet *et al.*, 2006). Aunque se ha documentado que los murciélagos y aves pueden tener largas distancias de vuelo (Valiente-Banuet, 2002), el costo de forrajeo a tales distancias es elevado y es probable que ocurra con menor frecuencia que el forrajeo a cortas distancias, por lo que la fragmentación estaría limitando realmente el flujo de polen y semillas entre parches distantes, a menos que existan parches de vegetación a distancia intermedia. Otras especies que constituyen el 6% de las cactáceas son polinizadas por insectos como abejas, lo cual ocurre en los géneros *Escontria*, *Polaskia* y *Myrtillocactus* otro 6% (como en el caso de *Acanthocereus*) es polinizado por esfíngidos o mariposas nocturnas (Valiente-Banuet, 2002). Estos animales tienen rangos de vuelo mucho más cortos que los de los murciélagos y las aves, de tal manera que sin puentes entre poblaciones silvestres, podría disminuirse las conexiones entre éstas. En tales casos, la ausencia de parches de vegetación intermedios puede tener un efecto aún más drástico en la limitación del flujo génico.

Otra expresión de la importancia de las interacciones mantenidas en sistemas agroforestales es la relación entre la diversidad de plantas y la diversidad de micorrizas. Se ha documentado que a mayor diversidad de plantas generalmente existe una mayor diversidad de micorrizas, debido a la especificidad de la interacción entre tales organismos (Camargo-Ricalde, 2008) y

en particular esta asociación se ha registrado con cactáceas columnares como *Neobuxbaumia tetetzo* (Reyes-Quintanar *et al.*, 2008) y con varias especies del género *Mimosa* (Mimosaceae), las cuales funcionan como trampas de las esporas de las micorrizas fungales. Se ha encontrado que el suelo debajo de estas plantas tiene un mayor nivel de nutrientes que otras condiciones de suelo, de manera que conforman islas de recursos (Camargo-Ricalde y Dhillion, 2003). Esto puede tener importantes efectos en la producción agrícola, así como en el favorecimiento de la diversidad vegetal en el sistema. Especies de la familia Agavaceae y Cactaceae de gran importancia ecológica y cultural en la comunidad, pueden beneficiarse del alto número de propágulos de micorrizas arbusculares (Camargo-Ricalde, 2008).

### **Intensificación agrícola, sistemas agroforestales y biodiversidad**

Bajo la consideración de que la demanda de alimentos a nivel mundial se duplicará para el año 2050 (Tilman *et al.*, 2002), algunos autores pronostican que el área para la agricultura se incrementará en un 25% en ese intervalo de tiempo y que los impactos serán más dramáticos en las zonas tropicales (Balmford *et al.*, 2005). Cifras similares se esperan para las zonas áridas, donde habita la tercera parte de la población mundial (Millenium Ecosystem Assesment, 2005). Como consecuencia, tales autores plantean que será inminente la pérdida de una importante cantidad de biodiversidad y de los servicios asociados a ella (Norris, 2008). La contundencia de este planteamiento debe tomarse con reservas pues, de acuerdo con otros autores (véase por ejemplo Chossudovsky, 2008), el origen de la crisis alimentaria radica en los excedentes de producción, más que en su déficit, y está más relacionado con la pobreza y la desigual distribución de los recursos (Matson *et al.*, 1997). Ello muestra que la crisis alimentaria requiere soluciones eminentemente políticas y económicas, no sólo productivas. Sin embargo, el desarrollo de tecnología que concilie la producción de alimentos con la conservación de la biodiversidad es, de cualquier manera, un tema de alta prioridad. En este contexto ha adquirido fuerza la propuesta de generar soluciones a partir de incrementar la producción agrícola intensificando las zonas actualmente cultivadas. Esta ha sido vista como una forma de reducir la presión sobre las áreas forestales, y se le conoce como estrategia de intensificación agrícola o “land sparing” (Green *et al.*, 2005). Bajo tal propuesta se esperan cambios en la estructura de los agroecosistemas y en las prácticas de manejo dirigidos a intensificar la producción (Swift *et al.*, 1996). Pero también se esperan consecuencias negativas de tal proceso de intensificación. Por ejemplo, se ha observado que los procesos de intensificación frecuentemente determinan una reducción de la calidad de la vida rural y urbana debido al decremento de la calidad de los alimentos por la erosión y la contaminación por pesticidas y fertilizantes (Altieri, 1999). Además se ha documentado que en distintas áreas estos procesos involucran generalmente una elevación de la actividad económica, mayor demanda de productos y servicios, aumento de migración, el desplazamiento de los pequeños agricultores y los trabajadores agrícolas (quienes se establecen entonces en las tierras marginales) y todos estos procesos en interacción pueden elevar los índices de deforestación y pérdida de biodiversidad (Perfecto y Vandermeer, 2008). También es probable que varios sistemas agroforestales que actualmente son importantes en la conservación de la biodiversidad sufran cambios hacia formas de agricultura más intensiva.

En este caso es necesario entender cómo se expresan tales procesos, cuáles son las causas que los dirigen y cuáles serán los posibles efectos sobre la diversidad que sostienen y los recursos que proporcionan y sobre los procesos ecológicos de las zonas forestales silvestres adyacentes (Jackson *et al.*, 2007).

La intensificación agrícola tiene expresiones a escala local o de paisaje. Autores como Swift *et al.* (1996), Matson *et al.* (1997), Vandermeer *et al.* (2002), Tshartneke *et al.* (2005) y Perfecto y Vandermeer (2008) (véase Cuadro 3), han destacando entre éstas la disminución del tiempo de rotación o descanso de la tierra, el aumento de las intervenciones de manejo, la sustitución del control biológico por control económico, la especialización en los procesos de producción, la reducción de la diversidad y el aumento en la relación con la economía de mercado. Los estudios sobre la relación entre la intensificación y la biodiversidad en sistemas agrícolas sugieren dos hipótesis (Swift *et al.*, 1996; Vandermeer *et al.*, 2002; Perfecto y Vandermeer, 2008): i) la biodiversidad se abate dramáticamente cuando algún hábitat es perturbado por cualquier intervención agrícola y ii) la biodiversidad declina poco a niveles bajos de intensificación, y declina dramáticamente a niveles altos de intensificación. Ambas hipótesis, sin embargo, han sido sustentadas con pocos trabajos (Donald *et al.*, 2001; Perfecto *et al.*, 2003), y no es posible aún establecer generalizaciones acerca de lo que sucede en gradientes de intensificación, en distintos ecosistemas y con diferentes taxa (Perfecto y Vandermeer, 2008).

La intensificación puede tener expresiones muy variadas incluso en sistemas de manejo muy parecidos. En los sistemas agroforestales de cactáceas columnares de la zona árida del Valle de Tehuacán, por ejemplo, en el sistema agroforestal derivado de chichiperas, se ha detectado un proceso de disminución de la cobertura vegetal y de pérdida de prácticas tradicionales de propagación de plantas útiles y una disminución de la riqueza de árboles y arbustos (Casas *et al.*, 2008); pero este proceso no se encuentra acompañado de un aumento en el uso de agroquímicos, irrigación, o empleo de maquinaria. En los sistemas agroforestales derivados de garambullal, la intensificación está ocurriendo asociada a la introducción de la cactácea epífita *Hylocereus undatus* (“pitahaya”), cuyo fruto es destinado al mercado. La producción de esta planta requiere agroquímicos y riego, y aunque la cobertura de especies arbóreas se mantiene, pues la “pitahaya” requiere de tutores para desarrollarse, las especies de tutores son muy específicas, lo que tiende a disminuir la riqueza de especies del sistema. Otra consecuencia ha sido la disminución de cultivos básicos como el maíz y el frijol, los cuales tienen que adquirirse en el mercado. No obstante, la intensificación agrícola ha favorecido prácticas como la elaboración de composta y la construcción de terrazas; y así, aunque disminuye la diversidad de plantas, la de otros taxa de la biota del suelo puede aumentar bajo estos procesos.

### Sistemas agroforestales y sustentabilidad

Algunos sistemas manejados se han mantenido a lo largo del tiempo, lo que, hipotéticamente, está relacionado con su capacidad de favorecer procesos y funciones con efectos positivos en la productividad, resiliencia, equidad y autogestión del sistema (Maser *et al.*, 1999). Desde una perspectiva ecológica, se ha planteado que los cambios en la diversidad biológica afectan estos

atributos y la sustentabilidad del sistema. Sin embargo, autores como Green (2005) y Pascual y Perrings (2007) advierten que aunque la promoción del mantenimiento de la diversidad en los sistemas agroforestales puede ser una buena estrategia de conservación, puede afectar otras características del sistema como la producción de los cultivos, lo que hace necesarias medidas que compensen los beneficios para los agricultores, lo cual es difícil de lograr. Bajo esta consideración, la clave para desarrollar alternativas que optimicen las prácticas de manejo radica en abordar el problema desde una perspectiva sistémica, que permita identificar cómo las plantas perennes y la diversidad en su conjunto pueden favorecer a los cultivos dentro de los sistemas agroforestales y a los atributos de la sustentabilidad del sistema.

### **Productividad**

En los sistemas manejados la productividad puede ser definida como la capacidad de un sistema para brindar el nivel requerido de bienes y servicios en un tiempo determinado (Maser *et al.*, 1999) y es, por lo tanto, un atributo relevante de la sustentabilidad. En los sistemas agroforestales tradicionales, la productividad debe visualizarse en términos de la productividad de los cultivos, pero también en términos de los bienes y servicios proporcionados por otras especies presentes. La diversidad de plantas en los sistemas agroforestales depende de la interacción que establecen las especies perennes con los cultivos, las cuales no siempre son positivas; y depende también de la selección de las especies, de las prácticas de manejo y de la limitación de recursos del medio en que se encuentran (García-Barrios & Ong, 2004). Tal interacción puede evaluarse por el efecto de la diversidad en su conjunto, así como por el efecto de algunas especies en particular que modifican funciones de los agroecosistemas que repercuten en la productividad de los cultivos, como las que se describen a continuación:

1. Procesos del paisaje y del suelo. En sistemas áridos, el viento y el flujo del agua son los mecanismos principales de transporte de sedimentos; tales procesos disminuyen su efecto conforme aumenta la cohesión del suelo y se mejora la calidad y cantidad de la materia orgánica. Estas propiedades del suelo pueden favorecerse por la presencia de especies con baja palatabilidad, raíces profundas, y que contribuyan más a la acumulación que a la rápida mineralización que ocurre en las zonas áridas (Van Noordwijk & Ong, 1999). También pueden mejorarse mediante prácticas de podas, cosechas controladas y manejo de densidades adecuadas de cultivos y plantas leñosas. La distribución compacta de los componentes vegetales reduce la erosión del suelo por agua, actuando como una barrera física contra las corrientes de agua superficiales, mejorando la infiltración del agua debido a mejores estructuras del suelo, y fungiendo como barreras rompevientos que disminuyen la erosión eólica e hídrica debido que el dosel intercepta la lluvia y el viento (Kryshnamurthy & Ávila, 1999). No obstante, también se ha documentado que el dosel de los árboles puede tener efectos negativos al favorecer la coalescencia de las gotas de lluvia en las hojas, generando gotas más grandes cuyo poder erosivo es superior al de la lluvia (Donald *et al.*, 2001).
2. Movimiento y disponibilidad del agua. Los cambios en la composición de la comunidad de

plantas puede afectar tanto la disponibilidad como el movimiento del agua (Eviner, 2003). Las especies con más biomasa disminuyen la evaporación desde el suelo (Evans y Young, 1970) y la cantidad de agua usada por las especies también altera la disponibilidad de agua y puede ser independiente de la biomasa (Gordon y Rice, 1993). Cuando cambia la composición de las especies, es probable que existan cambios en la disponibilidad del agua en distintos estratos del suelo debido a diferencias en los índices de transpiración, en la interceptación del dosel y en la infiltración (Le Maitre *et al.*, 1999). Las plantas de zonas áridas poseen mecanismos para obtener agua, pueden extender sus raíces a distintas profundidades, bombear el agua desde zonas muy profundas, o redirigir el flujo hacia las raíces por medio de sus brazos, además un dosel denso y cerrado puede controlar la evaporación y la disponibilidad del agua en el suelo, pero la distribución espacial en mosaicos o islas de vegetación puede maximizar la cosecha total de agua, pues las zonas aparentemente desnudas están cubiertas por raíces superficiales que absorben agua (Pugnaire *et al.*, 1996). No obstante, también se ha propuesto (Shachak *et al.*, 2005) que en un sistema limitado por agua, diferencias en características de las plantas tales como eficiencia en el uso del agua, o en la resistencia a la sequía, pueden tener un profundo efecto en la producción de biomasa. En áreas donde las especies se traslapan y no son complementarias en el uso del agua, hay un costo para el funcionamiento del ecosistema cuando el número de especies se incrementa; y la pérdida de especies que son inferiores en su uso del agua puede tener un efecto positivo en la productividad del ecosistema (Shachak *et al.*, 2005). En general, entonces, podría esperarse que la diversidad de plantas en los sistemas de zonas áridas contribuya a disminuir la erosión e incrementar la disponibilidad de agua y nutrientes. Con ello la diversidad puede favorecer la productividad de los cultivos, pero esta propiedad depende de las características de las especies involucradas. En general se acepta que las plantas leñosas en zonas áridas compiten con los cultivos por el agua, pero la sombra y los nutrientes que proporcionan pueden favorecerlos (Van Noordwijk & Ong, 1999).

Ahora bien, aunque la competencia entre los árboles y los cultivos puede verse como un aspecto negativo de los sistemas agroforestales, autores como Cannell *et al.*, (1996) y Van Noordwijk & Ong (1999) proponen que los beneficios de las especies leñosas resultan de la alta complementariedad utilitaria que permiten a los agricultores. Este es el caso de las especies de plantas leñosas que se encuentran en los sistemas agroforestales de chichipera y jiotillal. En estos sistemas existe un porcentaje de especies útiles mayor que en los sistemas forestales silvestres, de tal manera que existe favorecimiento selectivo de aquellas especies que más valoran los agricultores. Por ejemplo, algunas especies como *Escontria chiotilla*, *Polaskia chichipe* y *P. chende* (cactáceas columnares) producen frutos altamente apreciados por los pobladores, por lo que estas especies son toleradas cuando se abre algún terreno a la agricultura para la producción de milpa, o incluso son transplantadas o propagadas vegetativamente dentro de las parcelas de cultivo (Casas *et al.*, 2008). En la zona árida del Valle de Tehuacán la producción de maíz de temporal es generalmente deficitaria (Torres, 2004) y las cactáceas mencionadas compiten por espacio, generan sombra a las plantas de maíz y sus raíces superficiales dificultan las labores de cultivo; sin embargo, son mantenidas

dentro del sistema agroforestal, lo que indica su importancia en la subsistencia campesina.

### **Estabilidad y Resiliencia**

Estudios sobre la relación entre diversidad y estabilidad de los sistemas han encontrado que aunque un incremento en la diversidad no disminuye las fluctuaciones en la presencia de especies en particular, la producción general del ecosistema resulta más estable (Tilman, 1996; Naeem, 1998). Ello puede deberse a la presencia de especies que tienen un efecto significativo en la producción de biomasa y a que el aumento en el número de especies favorece que estas especies estén presentes (Huenneke & Noble, 1996; Tilman, 2001). Las distintas formas de crecimiento de las plantas pueden contribuir diferencialmente a la productividad, y la remoción de una forma de crecimiento particular puede afectar la estructura del ecosistema y la producción (Huenneke & Noble, 1996). Diferentes formas de crecimiento no proveen redundancia unas con otras, de manera que, por ejemplo, la remoción de un arbusto puede implicar biomasa que no puede reemplazarse con pastos (Sala *et al.*, 1998). La riqueza de especies puede minimizar fluctuaciones en la cobertura de plantas y la producción en el tiempo, y la complementariedad y la facilitación entre especies puede favorecer que las mezclas de numerosas especies sean más productivas que los sistemas de pocas especies (Huenneke & Noble, 1996).

En los sistemas agroforestales, la forma en la que se puede mantener la estabilidad está relacionada con las diferentes opciones de uso de las especies de plantas; por ejemplo, la gente procura mantener especies cuyos productos están destinados a la comercialización, otras para el consumo directo, otras para favorecer a los cultivos, etc. Así, la estabilidad del sistema se favorece en un contexto variable, más que por el favorecimiento de la estabilidad de un componente en particular (Naeem, 1998). En los sistemas agroforestales de zonas áridas es difícil predecir los recursos que serán obtenidos de un solo componente, pues el estado de los componentes depende de factores externos altamente variables (como la precipitación y la temperatura) que no pueden ser controlados por los campesinos.

En este contexto, entonces, los sistemas agroforestales involucran el manejo de una alta diversidad a escalas de genes, especies y paisajes (Jackson *et al.*, 2007). En los sistemas agrosilvícolas de temporal del Valle de Tehuacán podemos observar en una sola parcela los siguientes componentes que favorecen la estabilidad:

1. Manchones de vegetación, franjas de vegetación, o árboles aislados. Cada una de estas formas expresa objetivos particulares; por ejemplo, los árboles destinados a proporcionar sombra, las cactáceas destinadas a la obtención de frutos, las franjas de vegetación comúnmente compuestas por agaves, cuyo potencial para evitar la erosión es bien reconocido, y de los cuales también se emplea el escape para la construcción, las hojas como leña, como hábitat de una larva de lepidóptero (llamada localmente “condicho”) muy valorada como alimento por la comunidad.
2. Policultivos, que incluyen variedades de maíz, frijol, calabaza y en ocasiones amaranto. La diversidad morfológica y fisiológica de estos (Ver Fig. 3) generalmente obedece a distintos propósitos de uso y de manejo de los cultivos.

3. Una gran diversidad de especies consideradas como malezas en otros contextos, son ampliamente utilizadas por la gente en estas zonas; por ejemplo, *Porophyllum linaria* (“pipicha”), *Chenopodium berlandieri* (“quelites”), *Amaranthus hybridus* (“quintonil”) y *Portulaca oleracea* (“verdolaga”), son importantes verduras en la dieta campesina tradicional, mientras que *Tagetes lunulata* (“kimiche”) y *Salvia* sp. (“salverreal”), entre otras, son plantas medicinales apreciadas por la gente. Incluso algunas plantas tóxicas son toleradas, puesto que pueden emplearse como medicina, como es el caso de *Datura stramonium* y *Datura innoxia* (“toloaches”, “tlapas”), son valoradas y mantenidas en los sistemas agroforestales.

En los sistemas que se han desarrollado por largo tiempo, las culturas campesinas han podido identificar y seleccionar aquellas especies que favorecen la satisfacción de necesidades humanas, pero también aquellas que contribuyen a la estabilidad del sistema. Así, las estrategias campesinas no sólo han sido cuidadosas en buscar “no poner todos los huevos en la misma canasta”, sino también en lo que Van Noordwijk & Ong (1999) han indicado como “seleccionar cuántos huevos y de que tamaño será cada canasta”.

## CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales tienen una importante función en el mantenimiento de la diversidad biológica, y son una buena alternativa técnica para el manejo sustentable de recursos y ecosistemas. La clave para el mejoramiento de estos sistemas es el desarrollo de estrategias que favorezcan la productividad de los cultivos, pero también el mantenimiento de especies que permitan ampliar el espectro de recursos y beneficios para las comunidades locales, así como la diversidad de interacciones que permitan asegurar la estabilidad y resiliencia del sistema. La replicabilidad de estas estrategias no obstante, debe tomarse con precaución, más bien sugerimos que en condiciones naturales y culturales similares, este tipo de manejo puede constituir una alternativa viable, pero siempre bajo el análisis de las características de los sistemas a intervenir. No obstante, la precisión de esta precaución, consideramos que estos mismos sistemas pueden contribuir a frenar procesos de desertificación e incremento de la aridez que hoy constituyen una gran preocupación a nivel mundial. Las instituciones comunitarias locales, así como programas de manejo de carácter regional o nacional pueden contribuir de manera significativa a impulsar las acciones para atender el dilema entre la conservación de la diversidad biológica y la satisfacción de las necesidades humanas en las zonas áridas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del Programa de Apoyo a proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT, UNAM, proyecto IN219608) y Fondos Sectoriales SEMARNAT-CONACyT (proyecto 2002-C1-0544). Agradecemos también la colaboración de Edgar Pérez-Negrón en trabajo de campo y en la elaboración de figuras, así como a la gente de las comunidades de San Luis Atolotitlán, Santiago Coatepec y San Rafael Coxcatlán donde se efectuaron los estudios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. 1999.** The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74 (1-3): 19-31.
- Altieri, M. y C. Nicholls. 2006.** *Agroecología*. 223-237. PNUMA, México, D.F.
- Augusseau, X., P. Nikiéma & E. Torquebiau. 2006.** Tree biodiversity, land dynamics and farmers strategies on the agricultural frontier of southwestern Burkina Faso. *Biodivers. Conserv.* 15 (2):613-630.
- Backes, M.M. 2001.** The role of indigenous trees for the conservation of biocultural diversity in traditional agroforestry land use systems: The Bungoma case study. *Agroforest. Syst.* 52: 119-13.
- Balform, A., R.E. Green & J.P. Scharlemann. 2005.** Sparing land for nature: exploring the potential impact of changes in agricultural yield on the area needed for crop production. *Glob. Change Biol.* 11:1594-1605.
- Baraza, E. & A. Valiente-Banuet. 2008.** Seed dispersal by domestic goats in semiarid thornscrub of
- Bhagwat, S.H., K.J. Willis, J. Birks & R. Whittaker. 2008.** Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends Ecol. Evol.* 23: 261-267.
- Blancas, J., F. Parra, D. Lucio, M. Ruíz-Durán, E. Pérez-Negrón, A. Otero-Arnaiz, A. Pérez-Nasser, & A. Casas. 2006.** Manejo tradicional y conservación de la biodiversidad de *Polaskia* spp. (Cactaceae) en México. *Zonas Áridas* 10:20-40.
- Blancas, J. 2006.** Manejo tradicional y variación morfológica en *Myrtillocactus schenckii* (J.A. Purpus) Britton & Rose en el Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de maestría, UNAM., México, D.F.
- Blanckaert, I., V. Koenraad, R. Swennen, F.Espinosa-García, D. Piñero & R. Lira-Saade. 2007.** Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semiarid production of México. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119: 39-48.
- Camargo-Ricalde, S. L. & S. S. Dhillion. 2003.** Endemic *Mimosa* species can serve as micorrhizal "resouce islands" within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Mycorrhiza* 13(3):129-136.
- Camargo-Ricalde, S. L. 2008.** Diversidad de hongos micorizógenos arbusculares asociada a la diversidad de plantas, en Montaña, N.M., S., Camargo, R., García Sánchez, y A., Monroy *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos* 28-37. Mundi-Prensa, México.
- Cannell, M.G.R., M. Van Noordwijk & C.K. Ong .1996.** The central agroforestry hypothesis: The trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforest. Syst.* 33: 1-5
- Casas, A., J. Caballero, A.Valiente-Banuet, J. Soriano & P. Dávila.1999.** Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in Central México. *Am. J. Bot.* 86: 522-533.
- Casas, A., A.Valiente-Banuet, J.Viveros, & J. Caballero. 2001.** Plant resources of the Tehuacán Valley, México. *Econ. Bot.* 55(1): 129-166.
- Casas, A., J. Cruse, A. Otero-Arnaiz & A. Valiente-Banuet. 2006.** Maintenance of phenotypic



- diversity of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) by indigenous people in central México. *Biodivers. Conserv.* 15: 879-898.
- Casas, A., A. Otero-Arnaiz, E. Pérez-Negrón, & A. Valiente-Banuet. 2007. *In situ* management and domestication of plants in Mesoamerica. *Ann. Bot.* 100(5):1101-1115.
- Casas, A., S. Rangel-Landa, I. Torres, E. Pérez-Negrón, L. Solís, F. Parra, A. Delgado, J. Blancas, B. Farfán-Heredia & A. Moreno. 2008. *In situ* management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México: an ethnobotanical and ecological approach. En: De Albuquerque, U. P. y M. Alves-Ramos (Eds.) *Current topics in ethnobotany*.
- Centro Salvadoreño de Tecnología Apropriada. 2007. Identification and evaluation of traditional agroforestry systems applied in arid and semi-arid areas of Latin America. Selecting best practices en water resource management by the implementation of improved agro-forestry concepts in arid and semi-arid areas in Latin America (WAFLA) [www.wafla.com](http://www.wafla.com)
- Chossudovsky, M. 2007. Peligro de hambrunas por exceso de oferta *Tercer Mundo Económico* 212-213. [www.redtercermundo.org.uy](http://www.redtercermundo.org.uy)
- Darkoh, M.B.K. 2003. Regional perspectives on agriculture and biodiversity in the drylands of Africa. *J. Arid Environ.* 54:261-279.
- Dávila, P., M.C. Arizmendi, A. Valiente-Banuet, J.L. Villaseñor, A. Casas, & R. Lira. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Conserv. Biol.* 11: 421-442.
- Donald, P.F., R.E. Green & M.F. Heath. 2001. Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proc. R. Soc. London* 268: 25-29.
- Evans, R. & J. Young. 1970. Plant litter and establishment of alien weed species in rangeland communities. *Weed Science* 18: 697-703.
- Eviner, V., & S. Chapin III. 2003. Functional matrix: A conceptual framework for predicting multiple plant effects on ecosystem processes. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34: 455-485.
- García-Barrios, L. & C., Ong. 2004. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. *Agroforest. Syst.* 61:221-236.
- Godínez -Alvarez, H. & A. Valiente-Banuet. 2000. Germination and early seedling growth of Tehuacán Valley cacti species: The role of soils and the seed ingestion by dispersers on seedling growth. *J. Arid Environ.* 39: 21-31.
- Gordon, D. & K. Rice. 1993. Competitive effects of grassland annuals on soil water and blue oak (*Quercus douglasii*) seedlings. *Ecol.* 74: 68-82.
- Green, R.E., S.J. Cornell, J.P.W. Scharlemann & A. Balmford. 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science* 307: 550-555.
- Gutiérrez J.R. & E.A. Squeo. 2004. Importancia de los arbustos leñosos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas* 1: 45-56.
- Huenneke, L. & I., Noble. 1996. Ecosystem function of biodiversity in arid ecosystems. En: Mooney, H.A., J.H. Cushman, E. Medina, O.E. Sala & E.D. Schulze (Eds.), *Functional roles of biodiversity: a global perspective*. 99-128. John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom.
- Jackson, L., U. Pascual, & T. Hodking. 2007. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes *Agric. Ecosyst. Environ.* 121(3):196-210.

- Janzen, D.H.** 1973. Tropical agroecosystems. *Science* 182: 1212-1217.
- Krishnamurthy, L. & M., Ávila.** 1999. *Agroforestería básica*. 340. PNUMA. México, D.F.
- Leakey, R.** 1999. Agroforestry for biodiversity in farming systems. En: Collins, W.W. & Qualset, C.O., (Eds.), *Biodiversity in agroecosystems*. 127-145. CR PRESS, New York.
- Le Maitre, D.C., D.F. Scott & C. Colvin.** 1999. A review of information on interactions between vegetation and groundwater. *Water SA* 25:137-52.
- Lira, R., A. Casas, R. Rosas-López, M. Paredes-Flores, E. Pérez Negrón, S. Rangel-Landa, L., Solís, I. Torres & P. Dávila.** (en prensa). Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Econ. Bot.* 1-17.
- Lucio, J.D.** 2005. Variabilidad y procesos de domesticación de *Polaskia chichipe* (Cactaceae) en el Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis UMSH, Morelia.
- MacNeish, R.S.** 1967. A summary of subsistence. En: Byers, D.S. (Ed.). *The prehistory of the Tehuacán Valley Vol. 1: Environment and subsistence*. 290-309. Universidad de Texas Press., Austin.
- Masera, O., M., Astier y S., López-Ridaura.** 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. 12-15. Mundi-Prensa, México, D.F.
- Martorell, C. & E.D. Peters.** 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biol. Conserv.* 124:199-207.
- Matson, P.A., W.J., Parton, A.G., Power & M.J., Swift.** 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277 (5325):504-509
- Millenium Ecosystem Assesment.** 2005. *Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre desertificación*. 1. World Resources Institute, Washington.
- McNeely, J.A.** 2003. Biodiversity in arid regions: value and perceptions. *J. Arid Environ.* 54:61-70.
- Naeem, S.** 1998. Species redundancy and ecosystem reliability. *Conserv. Biol.* 12:39-45
- Nobel, P.** 1998. Los incomparables agaves y cactus. 201. Edit. Trillas., México, D.F.
- Noble, I. & Dirzo, R.** 1997. Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277: 522-525.
- Norris, K.** 2008. Agriculture and biodiversity conservation: opportunity knocks. *Conserv. Lett.* 1:2-11.
- Otero-Arnaiz A, A. Casas, J.L. Hamrick, J. Cruse.** 2005. Genetic variation and evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacán Valley, Central México analyzed by microsatellite polymorphism. *Mol. Ecol.* 14: 1603-1611.
- Parra, F., N. Pérez-Nasser, R. Lira, D. Pérez-Salicrup & A. Casas.** 2008. Populations genetics and process of domestication of *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, México. *J. Arid Environ.* 72: 1997-2010
- Pascual C. y C., Perrings.** 2007. Developing incentives and economic mechanisms for *in situ* biodiversity conservation in agricultural landscapes. *Agric., Ecosyst. Environ.* 121(3):196-210.
- Perfecto, I., A. Mas, T.V. Dietsch & J. Vandermeer.** 2003. Species richness along an agricultural intensification gradient: a tri-taxa comparison in shade coffee in southern Mexico. *Biodivers. Conserv.* 12: 1239-1252.

- Perfecto, I. & Vandermeer, J. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: A new conservation paradigm *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1134: 173–200 .
- Pugnaire, F., P. Hanse & J. Puigdefábregas. 1996. Facilitation between higher plant species in semiarid environment. *Ecol.* 77 (5):1420-1426.
- Reyes-Quintanar, K., A. Alarcón, R. Ferrera-Cerrato, & S. Rodríguez-Zaragoza. 2008. Microorganismos asociados a la rizosfera de una población de *Neobuxbaumia tetetzo* establecida en una zona árida del estado de Puebla, México. En Montaña, N.M., S., Camargo, R., García Sánchez, & A., Monroy, *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos* 138-149. Mundi-Prensa, México.
- Ruíz-Durán, M. 2007. Patrones de diversidad genética y proceso de domesticación de *Polaskia chende* (Cactaceae) en el Valle de Tehuacán. UMSH Tesis, Morelia.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. 432. Limusa, México, D. F.
- Rzedowski, J. 1993. Diversity and origins of the phanerogamic flora of México. En Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (Eds.) *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. 129-146 .Oxford University Press. New York.
- Sala, O., R. Golluscio, R. Laurenroth, & A. Soriano. 1998. Resource partitioning between shrubs and grasses in the Patagonia steppe. *Oecologia* 81:501-505.
- Shachak, M., J. R. Gosz, S. T. A. Pickett, & A. Perevolotsky. 2005. *Biodiversity in drylands: towards a unified framework: Long-term ecological research network series*. 4-12. LTER publications committee. Oxford University Press, Oxford.
- Schroth, G., G. A. B. da Fonseca, C.A. Harvey, C. Gascon, H.L. Vasconcelos & A.M.N., Izac. 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. 523. Island Press. USA.
- Sosa, J.V. & T.H., Fleming. 2000. Why are columnar cacti associated with nurse plants? En Fleming T.H. y A. Valiente-Banuet (Coord.) *Columnar cacti and their mutualist*. 306-323. The University of Arizona press. Arizona.
- Swift, M.J., J. Vandermeer, P.S. Ramakrishan, J.M. Anderson, Ong, C.K. & B.A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystems function. En: Mooney, H.A. & J.H., Cushman. *Functional roles of biodiversity: A global perspective*. 261-290. John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- Tilman, D. 1996. Biodiversity: population versus ecosystem stability. *Ecol.* 77: 350-363.
- Tilman, D., K. Cassman, P. Matson., R. Taylor & S. Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677.
- Tinoco, A., A., Casas, R., Luna & K., Oyama. 2005. Population genetics of *Escontria chiotilla* in wild and silvicultural managed populations in the Tehuacán valley, central Mexico. *Genet. Resour. Crop Evol.* 52: 225-238.
- Toledo, V., B. Ortiz-Espejel, L., Cortés, P. Moguel & M. Ordoñez. 2002. The multiple use of tropical forests by indigenous peoples in Mexico: a case of adaptive management. *Conserv. Ecol.* 7: 9.
- Torres, I. 2004. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla. UMSN Tesis. Morelia.

- Tscharnake, T., A.M., Klein, A., Kruess, A. Steffan-Dewenter & T.Carsten. 2005. Landscapes perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecol. Lett.* 8:857-874.
- Valiente-Banuet, A. y E. Ezcurra. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, Mexico. *J. Ecol.* 79: 961-971.
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, P., Dávila, N., Flores-Hernández, M.C., Arizmendi, J.L. Villaseñor y J. Ortega. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* 67:25-74.
- Valiente-Banuet, A., M.C., Arizmendi, A. Rojas-Martínez, A. Casas, H. Godínez-Alvarez, C. Silva, y P. Dávila. 2002. Biotic interactions and population dynamics of columnar cacti. En: Flemming, T. y A. Valiente-Banuet. *Columnar cacti and their mutualists evolution, ecology and conservation.* 225-240. The University of Arizona press. Arizona.
- Valiente-Banuet, A. 2002. Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 99-104.
- Valiente-Banuet, A., P. Dávila, A.Casas, M.C., Arizmendi y J. Ortega-Ramírez. 2006. Diversidad biológica y desarrollo sustentable en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. En: Oyama, K. y A., Castillo (Coord.) *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México.* 248-277, UNAM. México, D.F.
- Valiente-Banuet, A. 2002. Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 99-104.
- Van Noordwijk, M. & Ong, K. 1999. Can the ecosystems mimic hypotheses be applied to farms in African savannahs? *Agrofores. Syst.* 45:131-158.
- Vandermeer, J., M. Noordwijk, J. Anderson, C, Ong y I. Perfecto. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agric. Ecosyst. Environ* 67: 1-2.
- Vandermeer, J., D. Lawrence, A. Symstad & S. Hoobie. 2002. Effect of biodiversity on ecosystem functioning in managed ecosystem. En M. Loreau, S. Naeem and P. Inchausti. *Biodiversity and ecosystem functioning.* 221-233. Oxford. Gran Bretaña..
- Wilken, G. 1997. Integrating forest and small-scale farm systems in middle America *Agro-Ecosyst.* 3:291-302
- Yeaton, R.I. 1978. A cyclical relationship between *Larrea tridentata* y *Opuntia leptocaulis* in the northern Chihuahuan desert. *J. Ecol.* 66: 651.

**Cuadro 1.** Porcentaje de riqueza de especies mantenido por algunos sistemas agroforestales de zonas áridas.

País (región)	Sistema agroforestal	Grupo	Porcentaje de riqueza de especies**	Referencia
México (Puebla y Oaxaca)	Chichipera, jiotilla y garambullal con milpa*	Árboles, arbustos, rosetófilas y globosas perennes	58 al 97 %	Moreno-Calles et al., en revisión
México (Oaxaca)	Lima, papaya, melón y milpa	Herbáceas	51 %	Blanckaert et al., 2007
Kenia (Bungoma)	Paisajes agrícolas con componentes perennes	Árboles, arbustos y lianas	53 %	Backes, 2001

\*Combinación de maíz, frijol y calabaza en un mismo tiempo

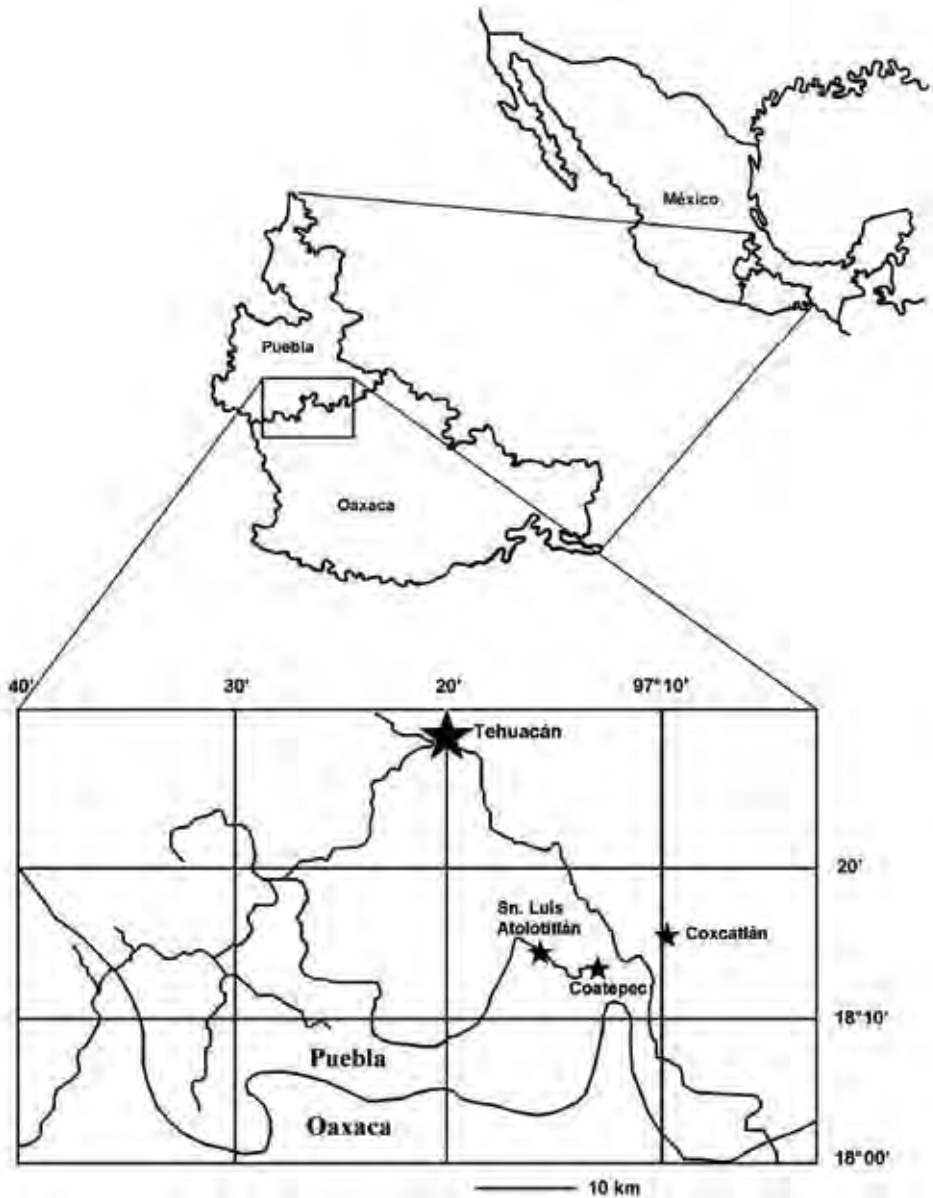
\*\* Porcentaje de especies mantenido por el sistema agroforestal

**Cuadro 2.** Porcentaje de diversidad genética mantenida en especies bajo manejo agroforestal en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (He = heterocigosidad esperada de Nei).

Cactáceas columnares bajo manejo agroforestal	Silvestre He	Agroforestal He	Fuentes
Escontria chiotilla	0.134	0.110	Tinoco et al., 2005
Polaskia chende	0.539	0.516	Ruíz-Durán, 2007
Polaskia chichipe	0.431	0.368	Lucio, 2005
Stenocereus stellatus	0.275	0.276	Casas et al., 2006
Stenocereus pruinosus	0.583	0.578	Casas y Parra, 2007

**Cuadro 3.** Elementos de intensificación agrícola y efectos en la biodiversidad.

Referencias	Expresiones de la intensificación agrícola	Efectos en la diversidad
Swift et al., 1996, Matson et al., 1997; Vandermeer et al., 2002; Tsharneke et al., 2005 Perfecto y Vandermeer, 2008	Local: Incremento en la utilización de la misma tierra, incremento en las intervenciones de manejo, sustitución del control biológico (interno) al control económico (externo), transición de ecosistemas con alta biodiversidad planeada a ecosistemas con baja biodiversidad planeada, incremento de las ligas con las economías de mercado, uso de variedades de invierno e implementación de OGM e incremento del tamaño de los campos arables Paisaje :Especialización en un solo cultivo, conversión de hábitats perennes a campos arables, destrucción de los bordes de los hábitats, simplificación del paisaje con un limitado tipo de usos de la tierra, disminución del manejo de la tierra tradicional y de baja intensidad, introducción de especies y fragmentación del hábitat natural	Decremento de la riqueza de especies. Reducción en la riqueza de plantas Cambios en la composición de herbívoros, enemigos naturales y la comunidad microbiana. Menor riqueza de especies de insectos y mayor abundancia de especies en particular Patrón poco claro en la diversidad de hongos patógenos Mayor incidencia de virus



**Figura 1.** Localización del Valle de Tehuacán-Cuicatlán en la región central de México y de las comunidades donde se encuentran los sistemas agroforestales estudiados (San Luis Atolotitlán, Coatepec y Coxcatlán). La línea punteada es el límite entre los estados de Oaxaca y Puebla. Las líneas sólidas representan las carreteras y vías de acceso principales.



**Figura 2.** Los sistemas agrosilvícolas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. a) sistema derivado de bosques de chichipera, b) sistema derivado de bosques de gambullal, c) sistema derivado de bosques de jiotillal.





**Figura 3.** Diversidad en los cultivos de maíz, frijol y amaranto

## **CAPITULO II**

Moreno-Calles A, Casas A, Blancas J et al. (En prensa) Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central México. *Agroforestry Systems*.

# Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán Valley, Central México

A. Moreno-Calles · A. Casas · J. Blancas ·  
I. Torres · O. Maserá · J. Caballero · L. García-Barrios ·  
E. Pérez-Negrón · S. Rangel-Landa

Received: 1 April 2009 / Accepted: 9 September 2010  
© Springer Science+Business Media B.V. 2010

**Abstract** The role of agroforestry systems in biodiversity conservation was investigated in the semi-arid Tehuacán Valley, Central México. Richness and diversity of native plant species were compared between agroforestry systems (6 sampling sites) and the following forests (6 sampling sites) dominated by columnar cacti: (i) “chichipera” dominated by *Polaskia chichipe*; (ii) “jiotillal” dominated by *Escontria chiotilla*; and (iii) “garambullal” dominated

by *Myrtillocactus schenckii*. Our information on genetic variation of dominant arboreal species in the study sites was reviewed and included in the analysis. Factors influencing household’s decisions to maintain vegetation cover were compiled through a survey and interviews and analyzed. All the samples of the agroforestry systems studied maintained on average nearly 59% plant species and 94% genetic variation of dominant cacti occurring in the forests, although their ability to preserve endemic rare species is limited. Social factors favoring maintenance of perennial species in agricultural plots include collective rules, households traditions, use of the plants maintained in the systems, and the environmental information gathered from NGOs, the local Biosphere Reserve, and researchers. However, agroforestry systems are losing their capability to maintain vegetation cover, mainly because of (i) decreasing amount of land managed by households, determined by a progressive fragmentation of the land area given to new families, (ii) adoption of technologies to intensify agriculture, and (iii) governmental programs penalizing the presence of vegetation patches within agricultural lands since they are considered “useless” areas. Necessary policies to stop degradation of the agroforestry systems and to improve their conservation capacity are discussed.

**Electronic supplementary material** The online version of this article (doi:10.1007/s10457-010-9349-0) contains supplementary material, which is available to authorized users.

A. Moreno-Calles · A. Casas (✉) · J. Blancas ·  
I. Torres · O. Maserá · E. Pérez-Negrón ·  
S. Rangel-Landa  
Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad  
Nacional Autónoma de México (UNAM), Apartado Postal  
27-3, 58190 Morelia, Michoacán, Mexico  
e-mail: acasas@oikos.unam.mx

J. Caballero  
Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad  
Nacional Autónoma de México (UNAM), Circuito  
Exterior, Ciudad Universitaria, Apartado Postal 70-614,  
04510 Mexico, D.F., Mexico

L. García-Barrios  
Departamento de Agroecología, División de Sistemas de  
Producción Alternativos, El Colegio de la Frontera Sur  
(ECOSUR), Apartado Postal 63, 29200 San Cristóbal de  
las Casas, Chiapas, Mexico

**Keywords** Mesoamerican agriculture ·  
Traditional ecological knowledge ·  
Traditional agriculture

## Introduction

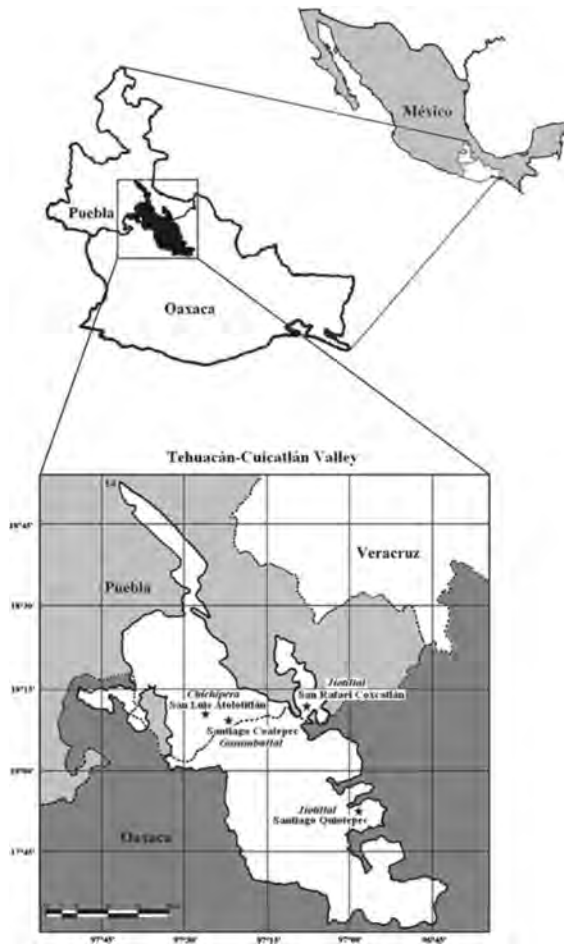
Land use changes associated to agriculture and livestock have modified natural ecosystems of arid zones, creating complex landscapes with patches of transformed and untransformed areas (Shachak et al. 2005). Processes determining such transformations continue to be operating and, therefore, conservation of dry zones needs urgent policies to protect the remaining natural ecosystems and to restore transformed areas. Developing appropriate strategies for biodiversity conservation, restoration, and sustainable use of these landscapes requires the research faculty to understand the structure and functioning of the natural ecosystems and their interactions with the transformed environments and social systems surrounding them. Ecological studies have established important bases for understanding the natural history and functioning principles of natural arid ecosystems (Huenneke and Noble 1996; Callaway and Walker 1997; Hacker and Gaines 1997; Valiente-Banuet et al. 2000, 2002; Shachak et al. 2005). In contrast, few studies have analyzed the transformed areas which are, however, crucial for not only designing restoration strategies, but because some of them may also potentially contribute to biodiversity conservation and maintenance of ecosystem services (Darkoh 2003). Among the transformed areas, agroforestry systems have particularly attracted the attention of a number of researchers and decision makers due to their promising capacity to achieve these goals (Perfecto and Vandermeer 2008).

In temperate, tropical, and arid zones of Mesoamerica, the areas traditionally transformed as crop fields commonly retain abundant tree cover (Harvey et al. 2004). Peasants not only manage forest relicts as sources of useful plants (Schroth et al. 2004), but also transfer and promote growing of wild plants into cultivated farms (Casas et al. 2007), or simulate the forest structure in artificial systems using crop plants (Wilken 1977). Such practices constitute traditional agroforestry systems (Schroth et al. 2004), which are effective in maintaining biological diversity (Vandermeer et al. 1998), sheltering native species not tolerated in agroindustrial-type systems as well as species not occurring in natural systems (Vandermeer et al. 1998; Tschardt et al. 2005; Boege 2008). Traditional agroforestry systems are often small areas plant species composition of which may greatly vary

according to both management and environment types (Bhagwat et al. 2008), and in some cases, these systems and the surrounding wild areas constitute landscapes with higher diversity than unmanaged landscapes (Swift et al. 1996, 2004; Tschardt et al. 2005). Although, for the above reason, the role of agroforestry systems for conservation has been investigated throughout the world, it has primarily been studied only in temperate and tropical regions (Harvey et al. 2004), yet scarcely in arid zones. Also, still further limited is our understanding on how farmers decide whether to retain or eliminate plants in agroforestry systems, how they manage densities and arrangements of the plants (Harvey et al. 2004), and which factors influence the loss of traditional management systems. Research on these topics is, therefore, relevant for increasing the potential for use, conservation, and restoration of these systems.

Our study was conducted in the arid Tehuacán Valley (Fig. 1), which is one of the main reservoirs of biological diversity of arid zones of Mexico (Dávila et al. 2002). This region has been the scenario of human cultural history for nearly 12,000 years (MacNeish 1967), which makes the area as one of the richest in Mexico, with regard to traditional ecological knowledge and management techniques of forests and agricultural systems. For instance, Casas et al. (2001) and Lira et al. (2009) documented information on nearly 1,600 useful plant species of the region, among which 120 native species were managed in agroforestry systems (Casas et al. 2008). In the drier zones of the region, the more extensive agroforestry systems are those that were derived from the columnar cacti forests described by Valiente-Banuet et al. (2000) as (1) chichipe dominated by *Polaskia chichipe* and *P. chende*, (2) jiotillal dominated by *Escontria chiotilla*, and (3) garambullal dominated by *Myrtillocactus schenckii*. These systems occur in areas with soils derived from volcanic rocks or alluvial systems, which are more conducive for agriculture than the area with the predominating calcareous soils.

Agroforestry systems of the Tehuacán Valley are generally dedicated to rainfed cultivation of maize and beans in small parcels (1–4 ha), usually managed with low inputs. These systems may have vegetation cover composed of strips or clusters of perennial plants, living fences, and isolated plants that are relicts of the original forest and left standing when



**Fig. 1** Vegetation types and communities studied in the Tehuacán Cuicatlan Valley, Central México. The *smooth line* indicates to the limits between the states of Oaxaca and Puebla. The *area in black* is the Tehuacán-Cuicatlan Biosphere Reserve

the areas are cleared (Casas et al. 2008). Also, these systems may maintain plants, although considered as bad weeds in other contexts, which the local people consider as valuable edible plants (Casas et al. 2001; Blanckaert et al. 2007). People also resort to planting inside agricultural plots, vegetative propagules or young plants of cacti, agave, and trees like *Leucaena esculenta*, *Sideroxylon palmeri*, and *Prosopis laevigata* (Casas et al. 2001). Some studies have documented that these systems may maintain high levels of species richness and genetic diversity of dominant species (Casas et al. 2006; Blancas et al. 2006; Parra et al. 2008). In addition, the study by Farfán-Heredia (2006) found that populations of the cactus *Polaskia chichipe* have high regeneration capacity in

agroforestry systems. Therefore, in this study, we expected to find high capability of the local agroforestry systems to maintain biodiversity. However, previous studies (Casas et al. 2006, 2008) have recognized that changes in management practices, apparently associated to cultural, social, and economic phenomena, are causing decrease of vegetation cover within agricultural fields, and this process could be affecting plant species diversity, genetic variation, and functioning of the agroforestry systems. Therefore, our study aimed at exploring (i) the capability of agroforestry systems derived from columnar cacti forests to retain diversity of plant species, and (ii) why people decide to maintain or remove non-crop plant species in their agricultural fields.

## Methods

### Study sites

The Tehuacán Valley in central México has an area of 10,000 km<sup>2</sup> with high environmental heterogeneity. In the southeastern zone, average temperature is 25.5°C and annual rainfall is 700–800 mm; in the central zones, they are 20°C and 300–500 mm; and in the northwestern zone, they are 18.3°C and 600 mm, respectively (García 1988). Landscapes comprise alluvial valleys and mountains with variable lithology dominated by limestones, sandstones, and relatively small patches of igneous materials (Valiente-Banuet et al. 2000). A high biological diversity occurs in the region, represented by 2,621 plant species, 365 of them being endemic to the area (Dávila et al. 2002). Valiente-Banuet et al. (2006) described 36 vegetation types, including several categories of columnar cacti and thorn-scrub forests, mountainous woodlands, and riparian vegetation.

Our study was conducted in columnar cacti forests, and agroforestry systems derived therefrom, in the territories of the villages of San Luis Atlotitlán, Santiago Coatepec, San Rafael Coxcatlán, and Santiago Quiotepec (Fig. 1). People of these communities are Mestizo and Náhuatl, whose subsistence depends on rainfed and irrigated agriculture, rearing of goats, and gathering of forest products (Casas et al. 2001).

## Study systems

We studied the plant composition, structure, and use of the following types of columnar cacti forests, and agroforestry systems derived therefrom:

- (1) Chichipera, which is dominated by the columnar cacti *Polaskia chichipe* (410 ind./ha) and *P. chende* (250 ind./ha), occurring on volcanic soils at elevations from 1,700 to 2,200 m in the territory of San Luis Atolotitlán, and Coatepec. Clearing of this forest for establishing agricultural systems involves silvicultural management of *Polaskia* spp. (Cruz and Casas 2002; Carmona and Casas 2005), with artificial selection favoring plants producing larger and sweeter fruits, and maintaining high levels of genetic diversity and gene flow among the managed and wild populations (Blancas et al. 2006). Torres (2004) found that other 40 species of trees and shrubs are also left standing in these systems.
- (2) Jiotillal, where the cactus *Escontria chiotilla* is the dominant species (370 ind./ha), settled on alluvial valleys and slopes of hills at elevations from 700 to 1,000 m (Valiente-Banuet et al. 2000), in the territory of Coxcatlán and Santiago Quiotepec (Arellano and Casas 2003; Pérez-Negrón and Casas 2007). Agricultural management involves clearing from the fields tolerating individuals of *Escontria chiotilla* and other 35 species of useful plants (Arellano and Casas 2003; Vivar 2004). Morphological and population genetics studies (Arellano and Casas 2003; Tinoco et al. 2005) revealed patterns of artificial selection and gene flow similar to those referred to above for *Polaskia* spp.
- (3) Garambullal, a forest type dominated by *Myrtillocactus schenckii* (370 ind./ha) occurring at elevations from 600 to 2,100 m on volcanic soils, in the territory of Santiago Coatepec. Silvicultural management of *M. schenckii* in this system, similar to that described above for the other systems, was characterized by Blancas et al. (2009).

## Role of agroforestry systems in the traditional agriculture

Percentage of agroforestry systems units in relation to all the agricultural units was estimated based on

samples of 100 randomly selected agricultural plots in each of the three forest-type areas. With this estimation and information on the total land dedicated to agriculture, we calculated the total area occupied by agroforestry systems in the villages studied.

In addition, 104 interviews were conducted with people of the villages studied to get information on the following issues: (1) Households and agricultural plots data (number of family members, number and area of cultivated plots, slope, soil types, periods of use and fallow, among others); (2) households motives to promote practices of vegetation maintenance in agricultural plots; (3) collective processes influencing maintenance of vegetation in agricultural plots (community regulations on plant use and management, governmental programs influencing agriculture and land tenure); (4) plant use benefits (amounts of forest products obtained, satisfied needs); and (5) management techniques. From the above total, 30 interviews were conducted with household owners of agroforestry plots from chichipera forest in San Luis Atolotitlán; another 30 with people in Santiago Quiotepec and along with the 14 households of San Rafael Coxcatlán managing agroforestry systems derived from jiotillal; and finally, 30 with households in Santiago Coatepec to document the system derived from garambullal.

## Vegetation sampling

Vegetation sampling was conducted in four sites of forest areas and four sites of agroforestry systems (garambullal and chichipera) according to the methods used by Valiente-Banuet et al. (2000). Plots of 50 × 10 m were used per site, counting and estimating cover of individual plants of perennial species (trees, shrubs, agaves, and spherical and columnar cacti). Annual plants were sampled in five squares of 1 m<sup>2</sup> per sampling plot. Voucher specimens were collected and deposited in the National Herbarium (MEXU, Moreno-Calles, Torres, and Pérez-Negrón collection numbers). Data were complemented with those reported by Luna (2001) for two sites of the jiotillal forest and Vivar (2004) for two sites of agroforestry systems derived from jiotillal in Coxcatlán. The sampling method used for our study was the same as that described by the above mentioned authors.

## Data analysis

The rarefaction method was used to estimate the richness of the expected species in forest and agroforestry systems, using the software EstimateS 8.2 (Colwell 2006) to generate data for constructing individual-based rarefaction curves and their confidence intervals. Shannon diversity indexes of perennial plant species and their 95% confidence intervals were estimated using the software Ecosim (Gotelli and Enstlinger 2001), which were used to compare the expected diversity in each system. Similarity between forests and agroforestry systems was analyzed through the Jaccard index based on data of the presence or absence of the species, by means of UPGMA dendrograms constructed using the program NTSYSpc 2.1 (Rohlf 2000). In addition, Whittaker plots were constructed to analyze the loss of forest rare species in agroforestry systems (Magurran 2004). The samples of native and endemic species were identified based on data from the studies of the flora of the Tehuacán Valley (Méndez-Larios et al. 2004), and from the databases “Malezas de México” (weeds of Mexico) and REMIB (World Biodiversity Information Net) of the National Commission for Knowing and Using of Biodiversity (CONABIO), México, and TROPICOS, of the Missouri Botanical Garden.

Information on decisions to maintain or remove plants in agroforestry systems was analyzed through descriptive statistical methods to evaluate the degree of consensus on the people’s responses to the questions.

## Results

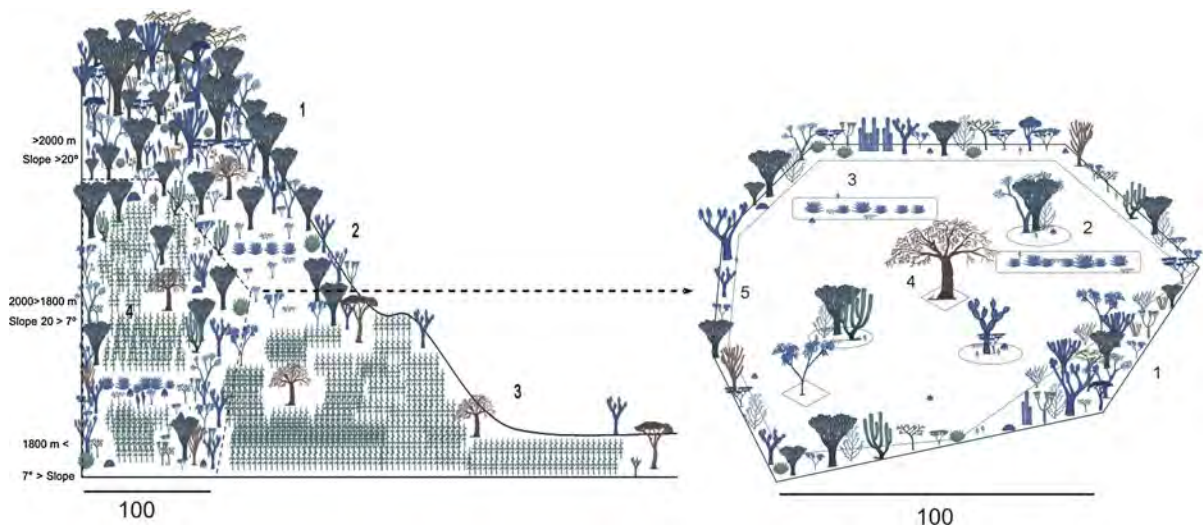
## Landscape management and relative importance of agroforestry systems

In all the sites studied, the following systems were identified: (i) columnar cacti forests, (ii) active rainfed agroforestry plots; (iii) fallow agroforestry areas, and (iv) irrigated crop systems (Table 1, Fig. 2). Table 1 summarizes information on the landscape and management of the systems studied. Agroforestry systems are managed in plots of 1–4 ha, where people grow maize (mainly the “delgado” native landrace), and local varieties of beans and squashes, conforming to the traditional Mesoamerican “milpa” system whose products are mainly destined to serve the purpose of direct consumption by households. In the period 2007–2008, the people of San Luis Atolotitlán cultivated a total of 1,500 ha, nearly 71% of which was through rainfed agriculture, consisting mainly of chichipera agroforestry systems

**Table 1** Biophysical features of the forest types studied (chichipera, garambullal, and jiotillal forests) and the agricultural systems derived therefrom

Vegetation type	Elevation and geology	Forest systems	Agroforestry systems	Irrigated crop systems
Chichipera	1,800–2,000 m Basaltic and shale	GWP, FRG DPS: <i>Polaskia chende</i> , <i>Bursera morelensis</i> , <i>Ipomoea arborescens</i> , <i>Polaskia chichipe</i> , <i>Mimosa luisana</i>	GWP, FRG, MAS DPS: <i>Polaskia chichipe</i> , <i>Cordia curassavica</i> , <i>Ipomoea murucoides</i> , <i>Ipomoea arborescens</i> , <i>Acacia coeliacantha</i>	MAS, FTC DPS: <i>Prosopis laevigata</i> , <i>Leucaena esculenta</i> , <i>Agave scaposa</i> , <i>Schinus molle</i> , <i>Cordia curassavica</i>
Garambullal	1,780–2,100 m Basaltic and shale	GWP, FRG DPS: <i>Acacia constricta</i> , <i>Cordia curassavica</i> , <i>Opuntia pilifera</i> , <i>Myrtillocactus schenckii</i>	GWP, FRG, MAS, DFC DPS: <i>Myrtillocactus schenckii</i> , <i>Senna galeottiana</i> , <i>Acacia constricta</i> , <i>Opuntia pilifera</i> , <i>Cordia curassavica</i>	DFC, MAS DPS: <i>Myrtillocactus schenckii</i> , <i>Erythrina americana</i> , <i>Stenocereus stellatus</i> , <i>Prosopis laevigata</i> , <i>Hylocereus undatus</i>
Jiotillal	700–1,000 m Alluvial fans and slopes of hills	GWP, FRG DPS: <i>Opuntia pilifera</i> , <i>Stenocereus stellatus</i> , <i>Mimosa luisana</i> , <i>Acacia coeliacantha</i> , <i>Escontria chiotilla</i>	GWP, FRG, MAS DPS: <i>Escontria chiotilla</i> , <i>Opuntia pilifera</i> , <i>Stenocereus stellatus</i> , <i>Mimosa luisana</i> , <i>Mimosa polyantha</i>	SCC

*Management practices documented:* GWP gathering of wild plants; FRG free raising of goats; MAS milpa (maize, beans and squashes) agroforestry system; DFC dragon fruit cultivation; FTC fruit trees cultivation; SCC sugar cane cultivation; DPS dominant perennial plants species



**Fig. 2** Systems in the chichipera forest area: (1) Forest system; (2) fallow agroforestry system; (3) active agroforestry systems with rainfed agriculture; (4) irrigated monoculture cornfield. Plot of agroforestry system derived from chichipera

forest, illustrating the different forms of vegetation management: (1) Relicts; (2) stains; (3) strips of vegetation; (4) isolated trees; (5) living fences

**Table 2** Area and percentage of agroforestry systems in relation to the total surface of agricultural fields in the villages studied

Village	Total agricultural area (ha)	Irrigated land (ha)	Rainfed agriculture	% Rainfed agriculture with agroforestry systems
San Luis Atlotitlán	1,500	435 (29%)	1,065 (71%)	61.5% Chichipera agroforestry systems (922.5 has) 7% Garambullal agroforestry systems (105 has)
Santiago Coatepec	–	–75%	–25%	25% Garambullal agroforestry system
Santiago Quiotepec	430	240 (56%)	190 (54%)	5% Jiotillal agroforestry system

(Table 2). In Santiago Coatepec, the garambullal agroforestry system covered 25% of the rainfed agricultural area. In Santiago Quiotepec, the irrigated land constitutes the main agricultural area (240 has, 92%), and the agroforestry system of jiotillal covers nearly 8% of the total agricultural area but almost all of the rainfed agriculture (Table 2). The agroforestry systems of chichipera supplied 30–60% of the annual requirements of maize and beans, and 40–50% of the fodder for animals.

Plant management and agroforestry practices

Patches of plant cover 2–50% of the total area of the field in all the agroforestry systems studied. The following patch types can be identified (Fig. 2):

- (1) Strips of vegetation at the plot’s perimeter (average area = 282.49 m<sup>2</sup>; SD = 192.95), where people maintain trees, shrubs, agaves, spherical cacti, and wild grasses occurring in the original forest.
- (2) Vegetation islands (average area = 26.10 m<sup>2</sup>; SD = 19.11) which are formed by young plants, transplanted and/or derived from seeds deliberately planted by people inside the plots, and by left-standing adult plants of columnar cacti (*Polaskia chichipe*, *P. chende*, *Stenoceurus stellatus*, *S. pruinosus*, *Myrtillocactus schenckii*, and *Escontria chiotilla*). Species managed in these forms are those considered by people as the most valuable useful wild plants.



- (3) Vegetation strips (average area = 111.07 m<sup>2</sup>; SD = 108.37), which can comprise patches of the original vegetation maintained within the fields when farmers clear forest areas to establish agricultural plots. These strips can also consist of fringes of vegetation arranged perpendicularly to the slope of the terrain as part of natural or constructed terraces. Their main function is preventing soil erosion. People often transplant to the edges of these terraces, the individual plants of agave and columnar cacti occurring in other areas of the plot. Shrubby species like *Brickellia veronicifolia*, *Lantana camara*, *Cordia curassavica*, *Acacia constricta*, *Acacia cochliacantha*, and *Gymnosperma glutinosum* are also commonly tolerated in these strips.
- (4) Isolated trees (average area = 16.37 m<sup>2</sup>; SD = 16.14). These are isolated individual trees left inside the plot; the main species maintained in this form are *Leucaena esculenta*, *Prosopis laevigata*, and *Schinus molle*.

Floristic composition

A total of 134 plant species belonging to 38 families were registered in the forest and agroforestry systems studied (see the Appendix 1 in supplementary material). Asteraceae, Cactaceae, Mimosaceae, and Poaceae are the richest plant families in both forest and agroforestry systems (Table 3). Agroforestry

systems derived from chichipera and jotillal forests had less plant families than the forests they derive from, whereas the agroforestry systems derived from the garambullal forest had more plant families than the forest (Table 3). The forest types studied differ from each other in respect of the compositions of plant species, but agroforestry systems are similar to the forest type they derive from (Fig. 3). On average, the forests studied are 0.382 (SD = 0.074) similar to the agroforestry systems. The similarity is related to the sharing of wide distribution species such as *Cordia curassavica*, *Dalea citriodora*, *Gomphrena decumbens*, *Lantana achryrantifolia*, *Lantana camara*, *Lippia graveolens*, and *Zinnia peruviana*. Also important are *Escontria chiotilla*, *Mammillaria carnea*, *Opuntia pilifera*, *Stenocereus stellatus*, *Coryphantha pycnacantha*, *Mimosa luisana*, and *Ipomoea arborescens*, which are tolerated and/or cultivated in the agricultural plots.

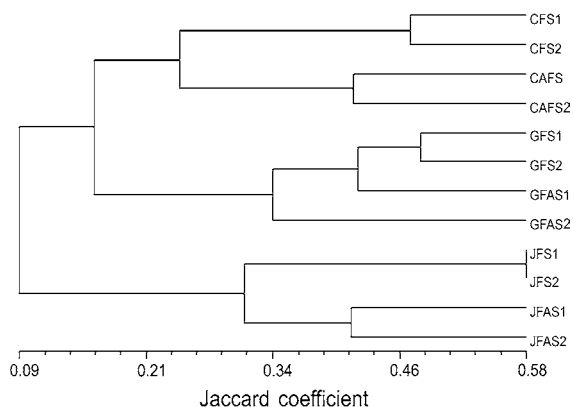
The differences in composition between forests and agroforestry systems are mainly due to (i) native species of other vegetation types in Tehuacán Valley, which are cultivated in agroforestry systems and are absent in any of the vegetation types—chichipera, garambullal or jotillal; (ii) exotic species deliberately introduced in agroforestry systems; and (iii) native and exotic weeds, ruderal, and invasive species favored by conditions of agroforestry systems. In the area of chichipera, this was the case of the weeds *Asclepias linaria*, *Euphorbia macropus*, and *Ipomoea purpurea*, and the native wild species *Ferocactus*

**Table 3** Total number of plant families and the richest families (species number in parentheses) of the forest and agroforestry systems studied

Vegetation type	Number of plant families		Richest plant families (number of species)		Species number (0.1 ha)	
	FS	AFS	FS	AFS	FS	AFS
Chichipera	26	19	Asteraceae (20), Mimosaceae (8) Cactaceae (4)	Asteraceae (11), Mimosaceae (6) Poaceae (5), Cactaceae (5)	74	51
Garambullal	26	32	Cactaceae (12), Asteraceae (11), Mimosaceae and Poaceae (4)	Cactaceae (10), Asteraceae (9) Mimosaceae (7), Poaceae and Verbenaceae (4)	122	91
Jotillal	35	16	Cactaceae (16), Asteraceae(10) Euphorbiaceae (7), Fabaceae (6) Poaceae (5), Verbenaceae (3)	Cactaceae(11), Bursaceae(5) Euphorbiaceae(3), Mimosaceae(3)	54	38

The last column indicates the total number of plant species identified in 0.1 ha

FS Forest system; AFS agroforestry system



**Fig. 3** Jaccard coefficient UPGMA dendrogram comparing chichipera, garambullal, and jiotillal forests and agroforestry systems. *CFS* Chichipera forest; *CAFS* chichipera agroforestry system; *GFS* garambullal forest; *GAFS* garambullal agroforestry system; *JFS* jiotillal forest; *JAFS* jiotillal agroforestry system

*flavovirens* which is introduced to the agroforestry system from other forests. In the garambullal area, these are the cases of the introduced cultivated species—*Aloe vera*, *Erythrina americana*, *Hylocereus undatus*, *Fraxinus udhei*, and *Leucaena esculenta*; and the native useful wild species—*Agave marmorata*, *Lysiloma acapulcensis*, *Myrtillocactus schenckii*, *Mammillaria carnea*, *Pilosocereus chrysacanthus*, *Pseudosmodingium multifolium*, and *Sedum allantoides*, which are introduced from other forests. In the jiotillal agroforestry systems, these are the cases of the weeds *Amaranthus hybridus*, *Chenopodium graveolens*, *Gymnosperma glutinosum*, *Lepidium virginicum*, *Parthenium bipinnatifidum*, *Solanum heterodoxum*, and *S. tridynamum*. In general, the invasive species *Melinis repens* and *Chenopodium murale* were absent in the wild and abundant in the agroforestry systems, and these species also explain the differences occurring between forest and agroforestry systems.

Differences arise also because of the species absent in the agroforestry systems and those commonly found in the forests. These are the cases of *Bursera morelensis*, *Cnidioscolus tehuacanensis*, *Jatropha dioica*, *Neopringlea viscosa*, *Salvia melissidora*, *Selaginella lepidophylla*, and *Thysantherum floribundum* in the chichipera forests; also *Acalypha hederacea*, *Allowisadula pringlei*, *Agave potatorum*, *Mammillaria sphacelata*, and *Prosopis laevigata* in the garambullal forests; and *Carminatia alvarezii*, *Florestina*

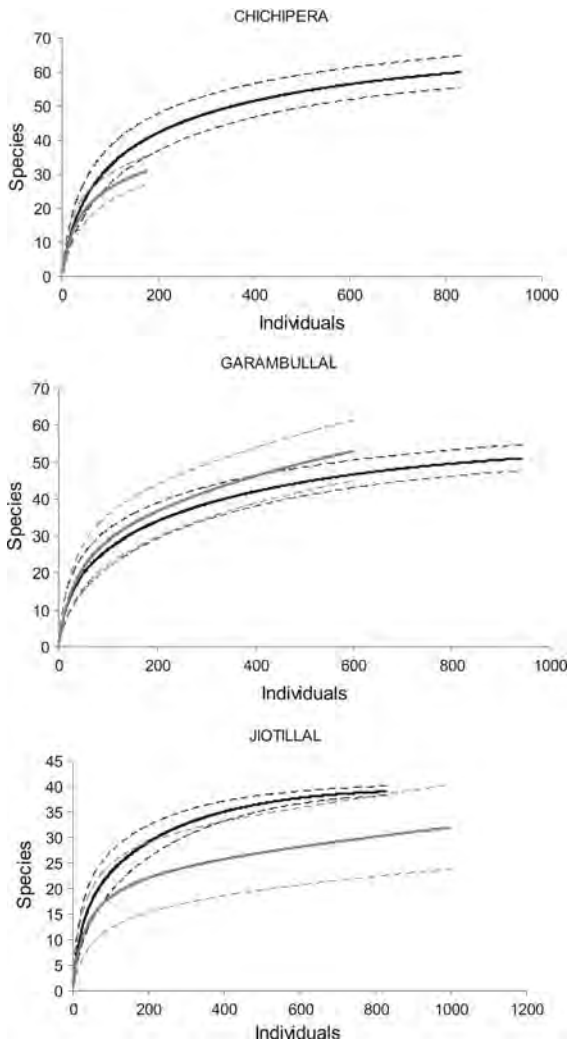
*simplicifolia*, *Simsia lagasciformis*, *Bursera aloexylon*, and *Coryphantha pallida* in the jiotillal forests.

The agroforestry systems maintain on average 59% (SD = 11.36) wild plant species found in the forests sampled (53% on average in chichipera, 71% in garambullal, and 50% in jiotillal), among which four species being endemic to the region (*Ferocactus robustus*, *Polaskia chende*, *P. chichipe*, and *Mimosa luisana*). Some endemic species showed higher abundance in agroforestry systems than in forests. This is the case of *Escontria chiotilla* that in jiotillal forest has a density of 15.8 ind./500 m<sup>2</sup> (SD = 1.5), whereas in agroforestry systems its density is 37.5 ind./500 m<sup>2</sup> (SD = 6.1).

Perennial plant species' richness, diversity, rarity, and genetic diversity

Richness of perennial plant species was similar in chichipera and garambullal forests and their derived agroforestry systems, but differences were identified between forests and agroforestry systems of jiotillal (Fig. 4, Table 4). Plant species diversity was similar in forests and agroforestry systems of garambullal, but different in the systems of jiotillal and chichipera, as can be appreciated in the rarefaction curves (Fig. 5). The Whittaker plot (Fig. 6) of chichipera shows that two species contribute with 10–15% to the total abundance, whereas 41% are rare species with less than 1%. Agroforestry systems have greater dominance of some species; one species contributes with 10–15% to the total abundance, whereas ten species are rare with less than 1%. In jiotillal, both forest and agroforestry systems had a log-normal model with three species contributing with 10–15% to the total abundance, and 16 species with less than 1% in the forest. In the agroforestry system, one species contributes with 38%, another with 10–15%, whereas 11 and 17 species contribute with less than 5 and 1%, respectively. In the garambullal forest, the Whittaker plot shows one species contributing with 13% and 8 species being rare, whereas in the agroforestry system one species contributes with 13%, and 18 species are rare with less than 1%.

Our population genetics studies indicate that agroforestry systems maintain on average 93.8% genetic diversity of wild populations of *E. chiotilla*, *P. chichipe*, and *P. chende* (Table 5).

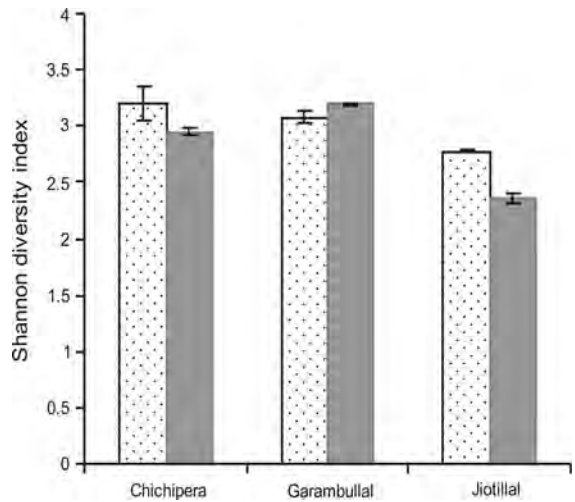


**Fig. 4** Individual-based sampling rarefaction curves comparing the species richness of the forests and agroforestry systems studied. *FS* Forest system (black line), *AFS* agroforestry systems (gray line). Dashed line indicates the 95% confidence limits

Factors influencing decisions to maintain perennial plants in agroforestry systems

*Collective regulations*

In all the villages studied, local people have agreed to abide by the regulations directed toward protecting patches of forest in the areas cleared to establish agricultural plots. All the interviewees mentioned such agreements as being the principal reasons of motivation to maintain adult trees in agricultural plots. In San Luis Atolotitlán, there are rules

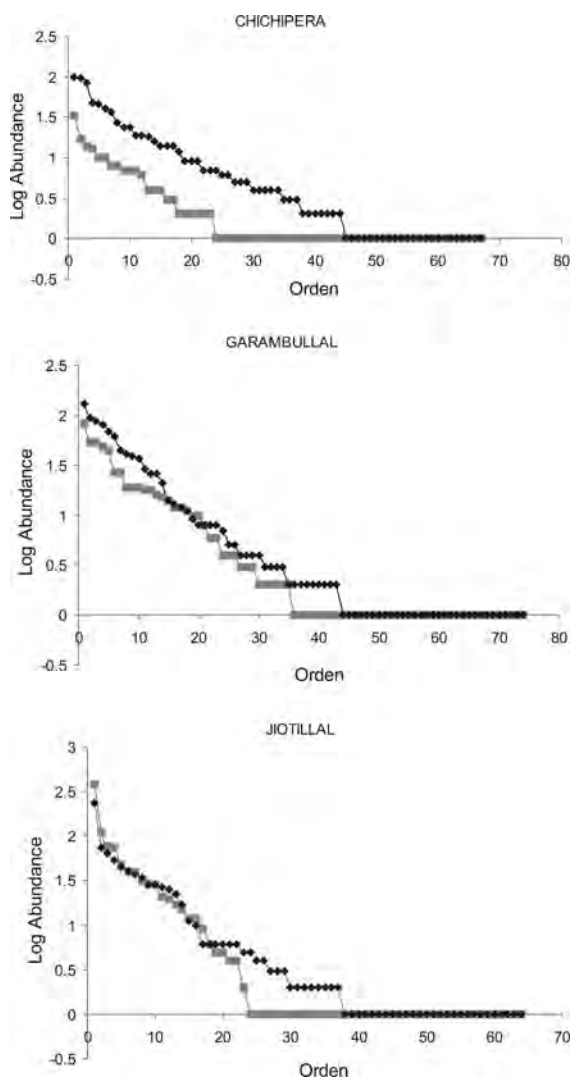


**Fig. 5** Comparison of the Shannon diversity indexes among the forest (dotted bars) and agroforestry systems (gray bars) studied. Shannon indexes were standardized by rarefaction curves

prohibiting cutting whole living trees to obtain firewood or clearing forests to establish agricultural plots. Actions causing severe damage to agave and cacti plants (e.g., consumption of apical meristems and young plant by freely raised livestock) are also penalized. In Santiago Coatepec, it has been agreed that people who remove trees and columnar cacti ought to plant 10 individual plants per plant removed. In San Rafael Coxcatlán, there are similar regulations, and in this site, local authorities can even confiscate goods belonging to people who persist in cutting trees.

*Plant use*

Useful plant species in agroforestry systems are proportionally more abundant (on average, 75% of all plant species) than in wild forests (on average, 62% of all plant species, see Table 4). There are different reasons as to why farmers keep perennial species in agricultural parcels according to their usefulness in each system (Table 6), but particularly relevant in the three systems studied are identified as species providing fruits, firewood, shade, and sites for keeping corn stalks among branches of their canopies for later use as fodder. For instance, in the area of chichipera 67% of the people interviewed said that obtaining fruits is the main reason for maintaining species in agricultural plots—particularly the



**Fig. 6** Whittaker plots or dominance/diversity curves of chichiperas, garambullal and jiotillal forests (black line) and agroforestry systems (gray line). Species are plotted from highest to lowest abundance along the  $x$  axis, and their abundance are displayed in  $\log_{10}$  in the  $y$  axis

columnar cacti *P. chichipe*, *P. chende* *S. stellatus*, and *S. pruinosus*, whereas nearly 14% of the respondents said that the usefulness of the plants as firewood is also important—these are mainly the cases of *P. laevigata*, *I. arborescens*, *S. molle*, and columnar cacti. In jiotillal, the most important reason for conserving vegetation cover is the usefulness of plants as fodder (53% respondents)—mainly, *Acacia cochliacantha* and *Mimosa polyantha*. For others (32%), it is their usefulness as firewood—mainly

*E. chiotilla*, *A. cochliacantha*, and *M. polyantha*. In garambullal, *M. schenckii* is left standing because of its edible fruits and the shade provided, as well as its usefulness as storage site for keeping corn stalks and fodder (83%), and as firewood (81%).

#### Other values

Nearly 30% of the farmers said they appreciate a landscape with colorful and beautiful plants which are called “luxury of the mountain.” Prestige associated to scenic beauty is considered important in the communities studied. About 30% of the farmers said something similar to the phrase “a land without trees is evil,” and, therefore, keeping them in plots embellishes parcels and gives them prestige. Another value recognized and expressed by a few among the 40% of the farmers interviewed relates to “plants have the right to exist.”

#### Influence of land tenure

Most men less than 25 years old are not owners of land for cultivation, and those who have agricultural land cultivate one single small plot, a reason given to increase land use intensity. Nearly 73% of people said that if they had more land, then they would leave more perennials plants.

#### Production in agroforestry systems

Plot size and slope appear to influence decisions on the number and type of plants maintained in agroforestry systems. Nearly 52% of people interviewed said that they leave perennial plants in plain terrains. About 92% said that they leave perennial plants in high slope terrains, whereas the remaining 8% said that inclined terrains require removing the perennial plants as they render ploughing the land too difficult. Nearly 50% said that during activities for clearing agricultural parcels of chichiperas, they maintain the highest possible number of perennial species in the plot without discrimination, whereas 40% said that they tolerate selectively their presence taking into account the species and variants according to their quality of use. Nearly 83% people managing garambullal said that they tolerate mainly the

**Table 4** Richness and diversity of plant species  $\pm 95\%$  confidence interval estimated through rarefaction curves in the forest and agroforestry systems studied

Vegetation type	% Native species of cacti forest in AFS	No. perennial individual plants (0.1 ha)		Richness of perennial plant species		Diversity of perennial plant species Shannon index		Useful species (%)	
		FS	AFS	FS	AFS	FS	AFS	FS	AFS
Garambullal	71	943	600	$n = 600$ $46.63 \pm 3.74$	$n = 600$ $53 \pm 8.28$	$n = 600$ $3.07 \pm 0.1545$	$n = 600$ $3.20 \pm 0.00$	64	80
Chichipera	55	833	178	$n = 178$ $40.59 \pm 5.47$	$n = 178$ $31 \pm 4.17$	$n = 178$ $3.20 \pm 0.10614$	$n = 178$ $2.96 \pm 0.00$	52	62
Jiotillal	50	831	999	$n = 831$ $39 \pm 0.98$	$n = 831$ $30.46 \pm 7.93$	$n = 831$ $2.78 \pm 0.00$	$n = 831$ $2.36 \pm 0.038$	70	82

FS Forest system; AFS agroforestry system

**Table 5** Genetic diversity of the columnar cacti dominating in the forests and agroforestry systems studied

Species	Forest		Agroforestry		Source
	Ho	He	Ho	He	
<i>Escontria chiotilla</i>	0.079	0.134	0.052	0.110	Tinoco et al. (2005)
<i>Polaskia chende</i>	0.417	0.539	0.420	0.516	Blancas et al. (2006)
<i>Polaskia chichipe</i>	0.507	0.431	0.508	0.368	Blancas et al. (2006)
<i>Stenocereus stellatus</i>	0.193	0.275	0.193	0.276	Casas et al. (2006)
<i>Stenocereus pruinosus</i>	0.556	0.583	0.536	0.578	Parra et al. (2008)

He Expected heterozygosity; Ho observed heterozygosity

**Table 6** Proportions of people interviewed, who remove and maintain perennial plants in agroforestry systems derived from chichipera, garambullal, and jiotillal forests, and the main reasons expressed for their maintenance or removal

Systems	% People that remove all plants	Reasons for removal	% People that maintain all plant species	% People that practice selective tolerance of plant species	Reasons for maintaining
Chichipera	3.3	Governmental program, land tenure, plot size, slope and maize competence	56	40	Collective rules of management, food (fruits) providing, prevention of soil erosion, shadow, firewood
Garambullal	17	Competition with maize, perennial plant propagation difficulty, dragon fruit specialization	83	–	Shadow, keeping corn stalks used fodder, fuel, teachings from ancestors, collective rule of management
Jiotillal	12	Competition with maize and perennial plant propagation difficulty	30	60	Providing fruits, firewood, fodder

columnar cactus *M. schenckii*, whereas 88% respondents managing jiotillales said they maintain mainly the cactus *E. chiotilla*. However, the remaining

people consider that those columnar cacti compete with maize and, therefore, it is more convenient to remove them from agricultural land.

Some species are considered favorable in cornfields because of their contribution to decrease soil erosion caused by running water. In this respect, 61% people mentioned particularly the effectiveness of species of the genus *Agave*. Other species are valued for their contribution as soil fertilizer; nearly 30% people mentioned, for instance, the cases of *Ipomoea arborescens*, and *I. murucoides*. Other species (mainly *Prosopis laevigata*) are valued for their ability to raise water from the underground. Nearly 18% people interviewed in relation to agroforestry systems derived from jiotillal said they deliberately maintain plant species that help soil erosion control, particularly valuing the species *Acacia cochliacantha*.

Some species are considered to affect the development of maize plants because their roots may be physical barriers to maize roots, or because they may compete for water or nutrients, or to determine shade on crop plants. In the agroforestry system of chichipera, *Schinus molle* and *Bursera* spp. were considered to affect maize plants in this form. In order to control such effects, peasants practice pruning of canopies of these species to limit root growth and to reduce their shade area. In the case of *Bursera* spp., 27% people interviewed said that these tree species should be maintained as their wild populations have declined and they are valued for providing “copal” (incense-like resin) used in religious ceremonies. Nearly 77% people said that *Cnidioscolus tehuacanensis* and *Pseudosmodium multifolium*, should be removed because of their irritant effects on people and livestock. *Cordia curassavica*, *Gymnosperma glutinosum*, *Brickellia veronicifolia*, and *Mimosa luisana* are commonly eliminated. About 47% of the interviewees considered that although these plants are useful species, they are abundant and can be removed in cases where they find ploughing the land difficult.

In general, people tolerate large adult plants of columnar cacti species (*Polaskia chichipe*, *P. chende*, *Stenocereus pruinosus*, *S. stellatus*, *M. schenckii*, and *E. chiotilla*), “guajes” (*Leucaena esculenta*), and “mesquite” (*Prosopis laevigata*) within the plots because of their multifarious uses. In the cases of columnar cacti, branches or young plants can be transplanted to the patches of vegetation inside or in the surrounding area of the plots. All young plants of *P. laevigata* and *L. esculenta* are tolerated inside the plots; also, people germinate their seeds and

transplant seedlings into vegetation patches, or they are careful with young plants found within a plot.

### External programs

A governmental program called “Direct Support to Farmers” (“Procampo”) promotes the elimination of species tolerated in agroforestry systems. Nearly 30% respondents said that during their visits to plots, supervisors of this program considered that leaving patches of wild forest areas within plots reduces the cultivated area and violates the rules on the extent of cultivated area stipulated by the program. Although agroforestry field owners interviewed generally disagreed with such considerations, it may certainly be a factor influencing the decision to maintain vegetation patches in agricultural fields.

All the people interviewed said that the practice of maintaining trees in agricultural plots was learned from their parents, and they recognized that they were not previously aware of the destructive effect of clearing vegetation. Some of them functioning as local authorities acknowledged that after talks with the staff of the Biosphere Reserve and researchers from academic institutions, they constructed part of the current regulations to leave elements of vegetation in agricultural fields undisturbed.

## Discussion

### Biodiversity conservation in agroforestry systems of the Tehuacán Valley

Similar to the data recorded for tropical agroforestry systems, the agroforestry systems analyzed in this study also maintained a significant proportion of the biological diversity of wild forest systems. The regional average calculated (59%) is within the range (50–80%) estimated by Nobel and Dirzo (1997), and slightly higher than that reported for Kenya (53% native tree species) by Backes (2001). Agroforestry systems have also composition similar to wild systems; we found that, on average, similarity between wild and agroforestry systems (considering both perennial and herbaceous species) is 31.28%. This information is comparable to the pattern reported by Bhagwat et al. (2008) who found that similarity between agroforestry and the wild systems

they sampled is, on average, 25% for herbaceous species and 39% for tree species. Also noteworthy is the capability of agroforestry systems studied to maintain or even enhance the abundance of some endemic species of high cultural values, such as *Escontria chiotilla*, *Polaskia chende*, and *P. chichipe*. In addition, it is remarkable that, on average, nearly 94% of genetic diversity of wild populations of the main columnar cacti species composing natural forests is maintained within agroforestry systems (Tinoco et al. 2005, Casas et al. 2006, Parra et al. 2008).

Forest ecosystems of the Tehuacán Valley have been characterized to have high  $\alpha$  and  $\beta$  diversities (Osorio-Betancourt et al. 1996; Valiente-Banuet et al. 2000), which have been experiencing a long history of interactions with humans (Casas et al. 2008). This regional “culture of diversity” has been characterized in terms of the high number of plant and animal species used for multiple purposes and the complementarity of environments used (Casas et al. 2008). However, it should also be expressed in terms of the variety of management forms documented in both forests and agricultural systems (Altieri and Nicholls 2006; Casas et al. 2008).

#### Agricultural intensification, management, heterogeneity, and diversity

The garambullal forest systems were converted into agroforestry systems for maize and beans production, but recently, these systems are being converted into intensified agroforestry systems for fruit production of the introduced cactus species *Hylocereus undatus* (dragon fruit). The cultural practices for this epiphytic cactus employ living plants as support or tutor, and this fact favors the maintenance of perennial plants in these systems. It should be noted, however, that processes associated to the intensification of dragon fruit cultivation drive selection have a tendency towards using only the best tutor species like *Erythrina americana*, *Prosopis laevigata* (Leguminosae), *Stenocereus stellatus*, and *S. pruinosus* (Cactaceae) provoking the decrease of perennial species diversity of the system (Moreno-Calles and Casas 2008). A process in this direction has been documented in other areas in the review by Auguseau et al. (2006) and Bhagwat et al. (2008).

Plant management decisions in the agroforestry systems studied have allowed the development of processes of vegetation succession as well as the introduction of new wild and cultivated species and varieties (Casas et al. 2006), thereby increasing species diversity and the genetic diversity of the systems. Seed dispersal and vegetative propagation by humans contribute toward increasing the natural gene flow maintained by pollinators, such as the bats *Leptonycteris yerbabuenae* and *Choeronycteris mexicana*, and the bees, such as *Xylocopa mexicanorum*, *Plebeia mexicana*, *Bombus pensylvanicus*, and *Apis mellifera*, as well as seed dispersers including a number of species of birds and bats favoring the connection between wildlife and agroforestry systems (Valiente-Banuet et al. 2006). It is also important to emphasize the role of other human activities practiced in agroforestry systems such as grazing, which may contribute to increase of species diversity (Baraza and Valiente-Banuet 2008) or the abundance of some cacti species such as *Mammillaria pectinifera* (Martorell and Peters 2005).

#### Constraints to biodiversity conservation

In spite of their effectiveness for maintaining biological diversity, agroforestry systems have limited capability to maintain native rare species, probably because wild systems have a high number of rare species which are less than 1% in abundance (41 and 16 species in chichipe and in jiotillal, respectively). Rare species are vulnerable to being lost when land is cleared for establishing crop fields, and the loss of rare species has been considered by García-Fernández et al. (2003) as the main limitation of agroforestry systems against biodiversity conservation. More research is needed to explore invasive species displacing native species. According to Huenneke and Noble (1996), invasive plant species are less successful in arid lands than in other environments because of the specific requirements that such plants need for living in these areas. However, in the agroforestry systems studied here, two species of invasive plants (*Melinis repens* and *Chenopodium murale*) were recorded, and precautions should be taken to control them.

Traditional agroforestry systems have, therefore, good capability for biodiversity conservation, but they can still be improved. Some strategies in this

direction could be aimed at (1) maintaining diversity in open areas inside and surrounding the system; (2) establishing vegetation corridors to connect and facilitate movement of animal species among remaining habitats; (3) decreasing pressure to obtain plant resources through optimizing the use of some resources such as fuelwood or aggregating value to some non-timber forest products; (4) stopping the clearing of wild systems through optimizing the use and recovery of the cleared areas; (5) preventing the conversion of systems to intensive agricultural systems (Noble and Dirzo 1997; Bhagwat et al. 2008); (6) reinforcing and even increasing the capability of the system to maintain biodiversity in terms of species richness and genetic diversity; and (7) improving the capacity of agroforestry systems for maintaining native and rare species by conducting research based on local strategies. Also, it would be relevant to investigate how these species are affected and how they affect biotic interactions that are considered crucial in the regeneration of the diversity of biotic communities, and compare these events to contexts of disturbance and recurrent changes. All of these data would be important indicators of the state of biodiversity and conservation potential and resilience of agroforestry systems.

#### Social pressures on agroforestry systems in the Tehuacán Valley

We found that the main factors promoting reduction of vegetation cover and biodiversity in agroforestry systems are (i) the inequity in land distribution, (ii) changes in management practices to intensify agricultural production, and (iii) governmental programs such as “Procampo”. The role of inequity in land distribution and pressures on it is a factor that has yet to be understood more deeply. Land scarcity and low production appear to be the factors pushing toward increasing the planted area by reducing vegetation cover within plots, enhancing greater selectivity about which species are required to be maintained, and having negative effects affecting biodiversity conservation. In relation to the third factor, namely, “Procampo,” mentioned above, it is of extraordinary importance to establish and reinforce communication between local people, scientists, decision makers, and governmental officers supervising programs for agricultural production. It is urgent that programs, such as

“Procampo,” do take into account environmental issues and stop promoting reduction of biodiversity. As all the communities and agroforestry systems analyzed here form part of the Biosphere Reserve, this should be an imperative task before the staff of this reserve, whose aim is precisely biodiversity conservation.

On the other hand, the main factor favoring the decisions to maintain the vegetation cover and biodiversity in agroforestry systems is the collective regulations constructed by the communities. Although this process has been somewhat supported by information provided by the staff of the Biosphere Reserve and researchers, it still requires much greater efforts and coordination of actions among these sectors.

The collective rules penalize the removal of adult perennial plants during crop field clearing. Unfortunately, not all people follow this rule, and in addition seedlings and young plants are not protected by the rule. Constructing agreements, persuading people to follow the rules, and promoting the maintenance of plants in different stages of their life cycle, not just adult plants, would, therefore, foster the maintenance of plants. It would also be helpful to provide incentives to farmers engaged in the promotion, protection, and cultivation of some species, especially native species. Such incentives could be recognized not only by both the local and the Biosphere Reserve authorities, but also through the benefits of using and commercializing biodiversity products.

Recognition of the importance of agroforestry systems by the staff of the Biosphere Reserve is contributing apparently toward rejuvenating the local interest for preserving the vegetation cover in agricultural parcels through traditional agroforestry systems. Enhancing actions on biodiversity conservation is the main task of the Biosphere Reserve, and the staff should enhance further continuous and interactive actions from academic institutions, authorities, NGOs, and peasant communities, as part of a sustainable management strategy that encourages biodiversity conservation in the interests of the region as well as the well-being of the local inhabitants. All sectors have to recognize the value of farmers’ strategies to explore deeper, and strengthen the institutions that promote collective action strategies; rescue and maintain traditional



systems; and reduce soil erosion and the decline of vegetation cover in the plots. To increase our understanding of such factors as the usefulness of species, cultural and ethical values of peasants associated to management of plant species, and the current and future potential capability of plant resources to satisfy subsistence needs of the local people, these factors should be the topics for a research agenda directed toward supporting peasants' decisions on the maintenance of biodiversity and vegetation cover.

## Conclusions

Our study documents the important role of traditional agroforestry systems in the Tehuacán Valley for biodiversity conservation. Like forest ecosystems, the agroforestry systems have a high capability of maintaining richness and diversity of plant species, whereas a low capability for maintaining rare species. Management strategies should consider the landscape scale including forest, agroforestry systems, home-gardens, and fallow systems as a continuum. Local farmers have been the mainstay of biodiversity conservation in agroforestry systems but new economic, cultural, and social processes and other actors' involvement (NGOs, research groups, government, etc.) should be taken into account to design such strategies. A better understanding of the cosmovision, needs, and values of the local people would favor the construction of strategies for conservation of both forest and agroforestry systems. Agroforestry systems are valuable reservoirs of biodiversity, which help us to decrease the depletion of resources from forests and enhance the general sustainable use of both forests and agroforestry systems.

**Acknowledgments** The authors thank the Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM and Consejo Nacional de Ciencia Tecnología CONACYT, for a PhD grant of the first author, as well as the Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT, IN220005 and IN219608) and CONACYT (CB-2008-01-103551), Mexico, and The Royal Botanic Gardens, Kew, U.K. for financial support. We also thank Dr. Alicia Castillo for her critical comments to a previous version of the manuscript. We emphatically thank the people of the region for their hospitality.

## References

- Altieri M, Nicholls C (2006) Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México, pp 181–192
- Arellano E, Casas A (2003) Morphological variation and domestication of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) under silvicultural management in Tehuacán Valley, Central México. *Genet Resour Crop Evol* 50:439–453
- Augusseau X, Nikiéma P, Torquebiau E (2006) Tree biodiversity, land dynamics and farmers' strategies on the agricultural frontier of southwestern Burkina Faso. *Biodivers Conserv* 15:613–630
- Backes MM (2001) The role of indigenous trees for the conservation of biocultural diversity in traditional agroforestry land use systems: the Bungoma case study. *Agrofor Syst* 52:13–119
- Baraza E, Valiente-Banuet A (2008) Seed dispersal by domestic goats in semiarid thornscrub of México. *J Arid Environ* 72:1973–1976
- Bhagwat SH, Willis KJ, Birks J, Whittaker R (2008) Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends Ecol Evol* 23:261–267
- Blancas J, Parra J, Lucio D, Ruíz-Durán M, Pérez-Negrón E, Otero-Arnaiz A, Pérez Nasser A, Casas A (2006) Manejo tradicional y conservación de la biodiversidad de *Polaskia* spp. (Cactaceae) en México. *Zonas Áridas* 10:20–40
- Blancas J, Casas A, Lira R, Caballero J (2009) Traditional management and morphological patterns of *Myrtillocactus schenckii* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Econ Bot* 63:375–387
- Blanckaert I, Koenraad V, Swennen R, Espinosa-García F, Piñero D, Lira-Saade R (2007) Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semiarid production of México. *Agric Ecosyst Environ* 119:39–48
- Boege E (2008) El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad de los territorios indígenas. INAH, México, p 33
- Callaway R, Walker L (1997) Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78:1958–1965
- Carmona A, Casas A (2005) Management, phenotypic patterns and domestication of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *J Arid Environ* 60:115–132
- Casas A, Valiente-Banuet A, Viveros JL, Caballero J (2001) Plant resources of the Tehuacán Valley, México. *Econ Bot* 55:129–166
- Casas A, Cruse J, Morales E, Otero-Arnaiz A, Valiente-Banuet A (2006) Maintenance of phenotypic and genotypic diversity of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) by indigenous peoples in Central México. *Biodivers Conserv* 15:879–898
- Casas A, Otero-Arnaiz A, Pérez-Negrón E, Valiente-Banuet A (2007) In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Ann Bot* 100:1101–1115
- Casas A, Rangel-Landa S, Torres I, Pérez-Negrón E, Solís L, Parra F, Delgado A, Blancas J, Farfán-Heredia B,

- Moreno-Calles AI (2008) In situ management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México: an ethnobotanical and ecological approach. In: De Albuquerque UP, Alves-Ramos M (eds) Current topics in ethnobotany. Research Signpost, Kerala, pp 1–25
- Colwell RK (2006) EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8. Persistent URL <http://purl.oclc.org/estimates>
- Cruz M, Casas A (2002) Reproductive biology and morphological variation of *Polaskia chende* (Cactaceae) under domestication in Central México. *J Arid Environ* 51:561–576
- Darkoh MBK (2003) Regional perspectives on agriculture and biodiversity in the drylands of Africa. *J Arid Environ* 54:261–279
- Dávila P, Arizmendi MC, Valiente-Banuet A, Villaseñor JL, Casas A, Lira R (2002) Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Conserv Biol* 11:421–442
- Farfán-Heredia B (2006) Efecto del manejo silvícola en la estructura y dinámica poblacional de *Polaskia chichipe* Backeberg en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. MSc Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- García E (1988) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico
- Gotelli NJ, Entsminger GL (2001). EcoSim: null models software for ecology. Version 7. Acquired Intelligence Inc. & Keesey-Bear, Jericho. <http://garyentsminger.com/ecosim.htm>
- Hacker S, Gaines S (1997) Some implications of direct positive interactions for community species diversity. *Ecology* 78:1990–2003
- Harvey CA, Nigel IJ, Estrada A (2004) Live fences, isolated trees and winbreaks: tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes. In: Schroth GG, da Fonseca AB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AMN (eds) Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press, Washington, DC, pp 261–289
- Huenneke LF, Noble I (1996) Ecosystem function of biodiversity in arid ecosystems. In: Mooney HA, Cushman JH, Medina E, Sala OE, Schulze ED (eds) Functional roles of biodiversity: a global perspective. Wiley, London, pp 99–128
- Lira R, Casas A, Rosas-López R, Paredes-Flores M, Rangel-Landa S, Solís L, Torres I, Dávila P (2009) Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán, México. *Econ Bot* 63:271–287
- Luna R (2001) Caracterización ecológica y florística del quiotillal en el Valle de Tehuacán Cuicatlán. BSc Thesis, UNAM, México
- MacNeish RS (1967) A summary of subsistence. In: Byers DS (ed) The prehistory of the Tehuacán Valley vol. 1: environment and subsistence. Universidad de Texas Press, Austin, pp 290–309
- Magurran A (2004) Measuring biological diversity. Blackwell, Malden, p 28
- Martorell C, Peters ED (2005) The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biol Conserv* 124:199–207
- Méndez-Larios I, Ortíz E, Villaseñor JL (2004) Las Magnoliophyta endémicas de la porción xerofítica de la provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM* 75:87–104
- Moreno-Calles A, Casas A (2008) Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán, México. *Zonas Áridas* 12:1–25
- Noble I, Dirzo R (1997) Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277:522–525
- Osorio-Betancourt O, Valiente-Banuet A, Dávila P, Medina R, Valiente-Banuet P, Dávila R, Medina R (1996) Tipos de vegetación y diversidad en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59:35–58
- Parra F, Pérez-Nasser N, Lira R, Pérez-Salicipru D, Casas A (2008) Population genetics and process of domestication of *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, México. *J Arid Environ* 72:1997–2010
- Pérez-Negrón E, Casas A (2007) Use, extraction rates and spatial availability of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: the case of Santiago Quiotepec, Oaxaca. *J Arid Environ* 70:366–379
- Perfecto I, Vandermeer J (2008) Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: a new conservation paradigm. *Ann NY Acad Sci* 1134:173–200
- Rohlf FJ (2000) NTSYS-pc numerical taxonomy and multivariate analysis system version 2.1 manual. Applied Biostatistics, New York
- Schroth GG, da Fonseca AB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AMN (2004) Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press, Washington, DC
- Shachak M, Gosz JR, Pickett STA, Perevolotsky A (2005) Biodiversity in drylands: towards a unified framework: long-term ecological research network series. Oxford University Press, Oxford
- Swift MJ, Vandermeer J, Ramakrishnan PS, Anderson JM, Ong CK, Hawkins BA (1996) Biodiversity and agroecosystem function. In: Mooney HA, Cushman JH, Medina E, Sala OE, Schulze ED (eds) Functional roles of biodiversity: a global perspective. Wiley, New York, pp 262–294
- Swift MJ, Izac AMN, van Noordwijk M (2004) Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes are we asking the right questions? *Agric Ecosyst Environ* 104:113–134
- Tinoco A, Casas A, Luna R, Oyama K (2005) Population Genetics of *Escontria chiotilla* in wild and silvicultural managed populations in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genet Resour Crop Evol* 52:225–238
- Torres I (2004) Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla. BSc Thesis, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México
- Tschamtké T, Klein AM, Kruess A, Steffan-Dewenter M, Carsten T (2005) Landscapes perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecol Lett* 8:857–874
- Valiente-Banuet A, Casas A, Alcántara A, Dávila P, Flores-Hernández N, Arizmendi MC, Villaseñor JL, Ortega J (2000) La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67:25–74

- Valiente-Banuet A, Arizmendi MC, Rojas-Martínez A, Casas A, Godínez-Alvarez H, Silva C, Dávila-Aranda P (2002) Biotic interactions and population dynamics of columnar cacti. In: Flemming T, Valiente-Banuet A (eds) Columnar cacti and their mutualists: evolution, ecology and conservation. University of Arizona Press, Tucson, pp 225–240
- Valiente-Banuet A, Dávila P, Casas A, Arizmendi MC, Ortega-Ramírez J (2006) Diversidad biológica y desarrollo sustentable en la reserva de la biosfera Tehuacán Cuicatlán. In: Oyama K, Castillo A (eds) Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp 248–277
- Vandermeer J, van Noordwijk M, Anderson J, Ong G, Perfecto I (1998) Global change and multi-species: concepts and issues. *Agric Ecosyst Environ* 67:1–22
- Vivar D (2004) Determinación de la sustentabilidad en el manejo del quiotillal en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. BSc Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Wilken G (1977) Integrating forest and small-scale farm systems in Middle America. *Agro-Ecosystems* 3:291–302

Appendix 1. Plant families and species recorded in forest and agroforestry systems sampled. Abundance of perennial species indicates their density in sampling plots (500 m<sup>2</sup>). For annual plants, presence (P) or absence (0) are indicated. CFS = Chichipera forest system, CAF = Chichipera agroforestry system, GFS = Garambullal forest system, GAFS = Garambullal agroforestry system, JFS = Jiotillal forest system, JAFS = Jiotillal agroforestry system. Six species of Poaceae family were identificate only to family.

Family	Species												
		CFS <sub>1</sub>	CFS <sub>2</sub>	CAFS <sub>1</sub>	CAFS <sub>2</sub>	GFS <sub>1</sub>	GFS <sub>2</sub>	GAFS <sub>1</sub>	GAFS <sub>2</sub>	JFS <sub>1</sub>	JFS <sub>2</sub>	JAFS <sub>1</sub>	JAFS <sub>2</sub>
Acanthaceae	<i>Ruellia rosea</i> Hemsl.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0
Agavaceae	<i>Agave marmorata</i> Roezl	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
	<i>Agave potatorum</i> Zucc.	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0
Aloaceae	<i>Aloe vera</i> L.	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i> Vell.	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0	0	0
	<i>Froelichia interrupta</i> Moq.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Gomphrena decumbens</i> Lag.	0	0	P	P	0	0	0	0	P	P	0	0
Anacardiaceae	<i>Amphipterygium adstringens</i> (Schlechtend) Schiede ex Standl.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	<i>Pseudosmodium multifolium</i> Rose	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Asclepiadaceae	<i>Asclepias linaria</i> Cav.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Asteraceae	<i>Bidens odorata</i> Cav.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0
	<i>Carminatia alvarezii</i> Rzed. & Calderón	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0
	<i>Florestina simplicifolia</i> B.L. Turner	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0
	<i>Gymnosperma glutinosum</i> Less	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Montanoa tomentosa</i> Cerv.	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Parthenium bipinnatifidum</i> Ortega (Rollins)	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0	0
	<i>Parthenium tomentosum</i> DC.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0
	<i>Pectis haenkeana</i> Sch. Bip.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0
	<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	0	0	0	0	23	21	1	2	0	0	0	0
	<i>Pittocaulon praecox</i> (Cav.) H.Rob. & Brettell	16	11	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Sanvitalia fruticosa</i> Hemsl.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0	P	0
	<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0	0	0
	<i>Simsia lagasciformis</i> DC.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0
	<i>Tagetes erecta</i> L.	P	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Family	Species	CFS <sub>1</sub>	CFS <sub>2</sub>	CAFS <sub>1</sub>	CAFS <sub>2</sub>	GFS <sub>1</sub>	GFS <sub>2</sub>	GAFS <sub>1</sub>	GAFS <sub>2</sub>	JFS <sub>1</sub>	JFS <sub>2</sub>	JAFS <sub>1</sub>	JAFS <sub>2</sub>
Asteraceae	<i>Verbesina gracilipes</i> Robinson	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Zinnia peruviana</i> L.	P	P	0	0	P	0	P	P	P	P	0	0
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> Juss.	6	8	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0
Bombacaceae	<i>Ceiba parvifolia</i> Rose	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	2
Boraginaceae	<i>Cordia curassavica</i> Auct. ex Fresen	0	4	15	20	9	71	7	12	13	9	26	2
Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i> L.	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0	0	0
Burseraceae	<i>Bursera aptera</i> Ramírez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Bursera fagaroides</i> Engl.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	4
	<i>Bursera morelensis</i> Ramírez	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Bursera schlechtendalii</i> Engl.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
	<i>Coryphantha pycnantha</i> (Mart.) Lem	0	0	0	0	0	7	0	0	36	5	11	4
Cactaceae	<i>Escontria chiotilla</i> Rose	0	0	0	0	0	0	0	0	23	14	16	59
	<i>Ferocactus flavovirens</i> Britton & Rose	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Ferocactus latispinus</i> Britton & Rose	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	60	18
	<i>Hylocereus undatus</i> Britton & Rose	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0
	<i>Isolatocereus dumortieri</i> (Schiedw) Backeb.	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Mammillaria carnea</i> Zucc.ex Pfeiff.	0	0	0	0	0	4	1	0	152	80	50	327
	<i>Mammillaria napina</i> J.A. Purpus	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
	<i>Mammillaria sphaelata</i> Mart.	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0
	<i>Marginatocereus marginatus</i> (DC.) Backeb.	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
	<i>Myrtillocactus geometrizans</i> Console	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0
	<i>Myrtillocactus schenckii</i> Britton & Rose	0	0	0	4	23	16	43	11	0	0	0	0
	<i>Opuntia decumbens</i> Salm-Dyck	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	<i>Opuntia pilifera</i> F.A.C. Weber	3	6	7	7	26	35	13	6	27	48	10	22
	<i>Opuntia puberula</i> Hort. Vondob. Ex Pfeiff.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	69	43
	<i>Opuntia pumila</i> Rose	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	20	19

Family	Species	CFS <sub>1</sub>	CFS <sub>2</sub>	CAFS <sub>1</sub>	CAFS <sub>2</sub>	GFS <sub>1</sub>	GFS <sub>2</sub>	GAFS <sub>1</sub>	GAFS <sub>2</sub>	JFS <sub>1</sub>	JFS <sub>2</sub>	JAFS <sub>1</sub>	JAFS <sub>2</sub>
Cactaceae	<i>Pachycereus hollianus</i> (F.A.C. Weber) Buxb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
	<i>Pachycereus weberi</i> (J.M. Coult.) Backeb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	<i>Pilosocereus chrysacanthus</i> (F.A.C. Weber) Byles & G.D. Rowley	0	0	0	0	5	4	5	7	0	0	0	0
	<i>Polaskia chende</i> (Gossel.) A.C. Gibson & K.E. Horak	36	4	0	0	3	1	1	2	0	0	0	0
	<i>Polaskia chichipe</i> (Rol.-Goss.) Backeb.	11	13	6	11	3	2	2	13	0	0	0	0
	<i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto) Buxb.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	40	0
	<i>Stenocereus stellatus</i> Riccob.	0	1	3	0	0	0	0	2	28	17	0	0
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium graveolens</i> Lag.&Rodr.	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0	0
	<i>Chenopodium murale</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0	0
Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	P	P
	<i>Thyrsanthemum floribundum</i> (M. Martens & Galeotti) Pichon	P	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Convolvulaceae	<i>Ipomoea arborescens</i> Sweet	2	22	8	2	10	3	0	2	0	0	0	0
	<i>Ipomoea murucoides</i> Roem & Schult.	1	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Ipomoea purpurea</i> Roth	0	0	P	P	0	0	0	0	0	0	0	0
Crassulaceae	<i>Sedum allantoides</i> Rose	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
	<i>Sedum hemsleyanum</i> Rose	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Cupresaceae	<i>Juniperus flaccida</i> Schldl.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Euphorbiaceae	<i>Acalypha hederacea</i> Torr.	0	0	0	0	0	P	0	0	0	0	0	0
	<i>Argythamnia guatemalensis</i> Müll. Arg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	<i>Chamaesyce cumbrae</i> Millsp.	0	0	0	0	0	0	0	0	27	36	0	0
	<i>Cnidoscolus tehuacanensis</i> Brekon	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
	<i>Croton ciliatoglanduliferus</i> Ortega	0	2	0	0	10	27	11	4	0	0	0	0
	<i>Croton rzedowskii</i> M.C. Johnst.	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0
	<i>Euphorbia macropus</i> Boiss.	0	0	P	P	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Jatropha dioica</i> Cerv.	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flacourtiaceae	<i>Neopringlea viscosa</i> Rose	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria formosa</i> Kunth	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0

Family	Species	CFS <sub>1</sub>	CFS <sub>2</sub>	CAFS <sub>1</sub>	CAFS <sub>2</sub>	GFS <sub>1</sub>	GFS <sub>2</sub>	GAFS <sub>1</sub>	GAFS <sub>2</sub>	JFS <sub>1</sub>	JFS <sub>2</sub>	JAFS <sub>1</sub>	JAFS <sub>2</sub>
Lamiaceae	<i>Salvia melissodora</i> Lag.	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Salvia riparia</i> Kunth	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0
Leguminosae	<i>Acacia cochliacantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	0	2	4	0	0	0	0	0	1	4	17	0
	<i>Acacia constricta</i> Benth.	0	0	0	0	3	91	1	17	0	0	0	0
	<i>Caesalpinia melanadenia</i> Standl.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	<i>Cercidium praecox</i> Harm	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	4
	<i>Dalea carthagenensis</i> (Jacq.) J.F. Macbr.	0	0	0	0	0	0	0	0	13	51	0	0
	<i>Dalea citriodora</i> Willd.	P	P	P	P	0	0	0	P	0	0	0	0
	<i>Erythrina americana</i> Mill	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
	<i>Eysenhardtia polystachya</i> Sarg.	2	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Indigofera suffruticosa</i> Mill	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Leucaena esculenta</i> Benth.	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
	<i>Lysiloma acapulcensis</i> Benth.	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	<i>Mimosa luisana</i> T.S. Brandegeee	19	0	8	0	0	0	0	0	27	27	18	11
	<i>Mimosa polyantha</i> Benth.	0	0	0	0	0	0	0	0	18	10	13	35
	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & ex Willd.) M.C.	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Senna galeottiana</i> (Martens) H.S. Irwin & Barneby	2	0	0	0	21	5	27	0	0	0	0	0
	<i>Senna wislizeni</i> (A. Gray) H.S. Irwin & Barneby	0	0	0	0	0	0	0	0	16	64	56	26
Malpighiaceae	<i>Galphimia glauca</i> Cav.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Gaudichaudia galeottiana</i> Chodat	0	0	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Malvaceae	<i>Allowisadula pringlei</i> (Rose) D.M. Bates	0	0	0	0	P	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Anoda cristata</i> Schldl.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0
	<i>Bakeridesia bakeriana</i> (Rose) D.M. Bates	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Malvaceae	<i>Heliocarpus terebinthaceus</i> (DC.)Hoehr.	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Hibiscus phoeniceus</i> Willd.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0
Molluginaceae	<i>Mollugo verticillata</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0
Nyctaginaceae	<i>Boerhavia erecta</i> Elliot	0	0	0	0	0	0	0	0	4	22	0	0

Family	Species												
		CFS <sub>1</sub>	CFS <sub>2</sub>	CAFS <sub>1</sub>	CAFS <sub>2</sub>	GFS <sub>1</sub>	GFS <sub>2</sub>	GAFS <sub>1</sub>	GAFS <sub>2</sub>	JFS <sub>1</sub>	JFS <sub>2</sub>	JAFS <sub>1</sub>	JAFS <sub>2</sub>
Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzig)Lingelsh.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Plumbaginaceae	<i>Plumbago scandens</i> L.	0	0	0	0	0	1	0	10	0	0	0	0
Poaceae*	<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	0	0	P	P	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Panicum sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0
Polemoniaceae	<i>Loeselia glandulosa</i> G. Don	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0
Portulacaceae	<i>Portulaca mexicana</i> P. Wilson	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0
	<i>Portulaca oleracea</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0	0
	<i>Ziziphus amole</i> (Sessé & Moc. M.C. Jonhst.	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0
Sellaginellaceae	<i>Selaginella lepidophylla</i> (Hook. & Grev.) Spring Kunth	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Selaginella wrightii</i> (Hieron.) Clute	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Solanaceae	<i>Physalis philadelphica</i> Lam.	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0	0
	<i>Solanum heterodoxum</i> Dunal	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0	0
	<i>Solanum tridynamun</i> Dunal	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0	0
Sterculiaceae	<i>Melochia tomentosa</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	20	0
	<i>Celtis pallida</i> Torr.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Ulmaceae	<i>Lantana achryrantifolia</i> Desf.	36	0	0	0	23	45	11	0	1	5	1	0
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	2	2	0	7	0	0	0	0	2	8	21	0
	<i>Lippia nutans</i> Robinson & Greenm.	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Lippia graveolens</i> Kunth.	0	83	0	3	27	14	1	0	9	19	0	0
	<i>Lippia oaxacana</i> Robinson & Greenm.	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Zygophyllaceae	<i>Kallstroemia hirsutissima</i> Vail	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0



### **CAPITULO III**

Moreno-Calles A, Casas A, García-Frapolli E, Torres I (Enviado)

Traditional agroforestry systems in the arid Tehuacán Valley: their management and role in people's livelihoods. *Agricultural Systems*.

# **Traditional agroforestry systems in the arid Tehuacán Valley: their management and role in biodiversity conservation and people's livelihoods**

**Ana Isabel Moreno-Calles, Alejandro Casas\*, Eduardo García-Frapolli, and Ignacio Torres**

Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Apartado Postal 27-3 (Santa María Guido), Morelia, Michoacán 58190, México.

\*Corresponding author: ([acasas@oikos.unam.mx](mailto:acasas@oikos.unam.mx)), fax (0052) 443 3 22 27 19.

## **Abstract**

Agroecological and economic aspects of agroforestry systems (AFS) derived from cactus forests (particularly from that called “chichipera”) were studied in the Tehuacán Valley, Mexico. Agroforestry practices maintain a total of 122 species of wild, ruderal and domesticated plants, mainly native species to the region (90%), 54% of the total number of species recorded in the chichipera forest. Nearly half of plant species recorded in AFS receives some management type. During years of higher rainfall (~745 mm) AFS supply nearly 75% of maize grain and 50% of fodder required by local households, and 78% of plant species occurring in the system provide useful products. During drier years provide fodder, forest products, and seeds for subsequent agricultural practices. Migration and aging of agriculturalists, agriculture policies, fragmentation of plot size due to land tenure changes, and agriculture intensification influence decisions decreasing plant cover on AFS which may be between 2 and 20%, but low cover plots are progressively more common. AFS play a significant role in biodiversity conservation and provide significant livelihoods to people. Actions for stopping their degradation are required and traditional management is a keystone for designing alternatives.

**Key words:** agroforestry systems, biodiversity conservation, Mesoamerica, plant management, Tehuacán Valley.

## **1. Introduction**

It is currently recognized that agroforestry systems (AFS) may play an important role in biodiversity conservation (Noble and Dirzo, 1997; Schroth et al., 2004; McNeely and Schroth, 2006; Bhagwat et al., 2008; Scales and Marsden, 2008; Perfecto and Vandermeer, 2008; Shibu, 2009). Particularly valuable are the so called “traditional” AFS characterized by their small scale production in plots less than five hectares, low use of external inputs, high use of household’s labor hand, and *in situ* adapted techniques (Altieri, 2001). In these systems wild, weedy and domesticated plant species satisfying human needs may be under different management forms (Casas et al., 2001, 2007, 2008) associated to agroforestry practices (Harvey et al., 2004).

AFS are complex systems influenced by a number of ecological and social factors and processes. Changes in climate, distribution and abundance of biotic resources, in role of markets, public policies, land use and tenure, human migration, and production intensification may affect both structure and functioning of AFS. Such changes may decrease plant cover and native species richness and diversity, increasing presence of exotic species and dominance of cash crop species (Backes, 2001; Barrow and Mlenge, 2003; Plieninger and Wilbrand, 2001; Harvey et al., 2004; Schroth et al., 2004; Prasad, 2006). These processes may also vulnerate the basis of plant resources from which the human communities depend on (Moreno-Calles et al., in press) and therefore,

studying them may contribute to analyze conditions for managing their resilience.

AFS are widely distributed in different ecological contexts of Mesoamerica. Those from temperate and tropical areas have been widely documented (Montagnini, 2008) as sustainable agricultural systems; but the fewer studies in arid ecosystems have showed that in these areas AFS may also be important for maintaining biodiversity and human well being. Studies in the semiarid Tehuacán Valley are particularly important since this region is recognized as one of the Mesoamerican areas with the earliest signs of agriculture (MacNeish, 1967). In this region people have traditionally practiced AFS based on the maintenance of forest relicts when clearing vegetation for establishing agricultural fields (Casas et al., 2007; Moreno-Calles et al., in press), as well as introducing into the system both native and exotic plant species (Wilken, 1977; Moreno-Calles et al., in press). Among the most important AFS of this region are those derived from cactus forests (Moreno-Calles et al., in press). In these AFS people cultivate maize, beans, squashes, and other plants through the Mesoamerican agricultural system called “milpa”.

Our previous studies documented that AFS of the Tehuacán Valley have the capacity of maintaining in average 59% of native species richness of columnar cacti forests, and increasing abundance of some endemic useful species (Moreno-Calles et al., 2010). Other studies found that introduction of plants into AFS significantly increase their general species richness (Blanckaert et al., 2007). Also, we found that AFS are able to maintain high percentages of genetic diversity and capacity of population regeneration of some dominant arboreal species (Casas et al., 2006; Farfán-Heredia, 2006). However, we also identified tendencies of decreasing plant cover in AFS as consequence of a process of land tenure fragmentation

and the households' need to increase production in smaller parcels (Moreno-Calles et al., in press). This process may also affect general patterns of plant management, agroforestry practices, biodiversity conservation, and capacity of AFS to satisfy human needs but these processes are yet to be documented.

In order to analyze social and ecological changes associated to AFS degradation, we studied AFS derived from the cactus forest called “chichipera” aimed at investigating: i) their variation in agricultural and silvicultural components, ii) their role in subsistence strategies of local households, iii) how changes in silvicultural components may affect satisfaction of households needs, and iv) strategies directed to maintain the system's resilience.

## 2. Methods

### 2.1. Study area

The Tehuacán-Cuicatlán Valley in central Mexico is a biosphere reserve with a territory of 10,000 km<sup>2</sup> inhabited by seven indigenous ethnic groups (Casas et al., 2001), sheltering a high biological diversity including nearly 2800 flowering plant species (Dávila et al., 2002). It has been the setting of a human cultural history of nearly 12,000 years (McNeish, 1967), which has made possible one of the richest inventories of knowledge and techniques for managing natural resources and ecosystems of Mexico (Casas et al., 2008). Nearly 1,600 useful plant species have been reported (Lira et al., 2009), 600 of them being managed, including the silvicultural management of nearly 123 species in AFS (Casas et al., 2008). AFS of this region are located in temperate areas of mountains surrounding the valley, irrigated alluvial areas, and mountain slopes of the dry zones originally covered with columnar cacti forests (Moreno-Calles and Casas, 2010).

Our study was conducted in the village of San Luis Atolotitlán, Puebla (Fig. 1), whose territory has elevations ranging from 1100 to 2554 m, annual mean precipitation averaging 407.2 mm with inter-annual variation ranging from 187.3 to 845.1 mm. In this area Torres (2004) described the following vegetation types: i) “chichipera” dominated by *Polaskia chichipe* and *P. chende*; ii) “cardonal” dominated by *Mitrocereus fulviceps*; iii) scrub forest dominated by *Dasyllirion serratifolium*; iv) scrub forest dominated by *Beaucarnea purpusii*; v) riparian vegetation dominated by the mesquite *Prosopis laevigata*; vi) thorn-scrub forest dominated by the cycad *Dioon caputoi*; vii) palm forest dominated by *Brahea nitida*; viii) oak forest, and ix) garambullal forest dominated by *Myrtillocactus schenckii*. In these environments Torres (2004) recorded 478 useful plant species, fallow and active AFS providing nearly 65% of them.

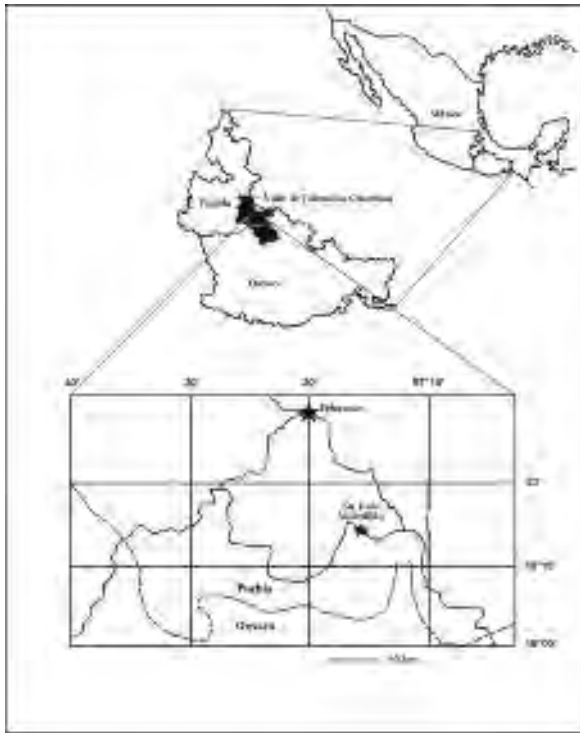


Fig 1. Study area. Location of the village of San Luis Atolotitlán in the Tehuacán-Cuicatlán Valley.

In San Luis Atolotitlán live 1374 people according to the 2010 local census conducted by the Health Social Service. The whole territory of the village (9248 ha) is under communal tenure regime. Agricultural systems include: (1) AFS of “milpa” polycultures with patches of chichipera, garambullal, and mesquite forests inside parcels of 1 to 2 ha, (2) mesquite and pitahaya (*Hylocereus undatus*) plantations, (3) homegardens, (4) pitaya (*Stenocereus pruinosus*) plantations, and (5) monocultures of maize, tomato, wheat or amaranth. Archaeological remains reveal the pre-Columbian use of local land. After the Spanish Conquest, the territory was part of the Hacienda of San Luis Tultitlanapa, whose land was mainly used for raising livestock during the Colonial period. After the Mexican Revolution (1910-1917), the former workers of the Hacienda were provided with land (Torres, 2004) and restarted its agricultural use. Raising of donkeys and cows is an important activity associated to agriculture. People also obtain monetary incomes working in small shops and factories and by receiving remittances from abroad.

## 2.2. The “chichipera” forest

The “chichipera” forest occurs at elevations between 1700 and 2300 m. In the territory of San Luis Atolotitlán the best conserved relictual areas are at the highest elevations (2100-2300 m), in sites with pronounced slopes ( $>25^\circ$ ). This forest is dominated by *Polaskia chichipe* (on average 410 individuals/ha) and *P. chende* (on average 250 individuals/ha). A total of 83 plant species were previously recorded in this vegetation type, 42 of them (51%) being useful for satisfying mainly fodder, food, and fuel needs (Torres, 2004). Chichipera forests occur on volcanic soils which are better for agriculture than those derived from limestones predominating in the Tehuacán Valley (Valiente-Banuet et al. 2009), and consequently the chichipera forests have been highly transformed into

AFS (Casas et al., 2008; Moreno-Calles et al., in press).

### 2.3. Documenting agriculture in San Luis Atolotitlán

Archives of the offices of communal authorities at San Luis Atolotitlán were reviewed. Information was complemented through interviews to the local authorities in order to determine the total surface of common lands and areas dedicated to agriculture, livestock raising, and for gathering forest products. During the production cycle 2007-2008, a total of 100 agricultural parcels were sampled at random to estimate the proportion of: (i) land cultivated as AFS, (ii) irrigated area, (iii) crop species and varieties cultivated, (iv) forest types cleared for establishing AFS, and (v) proportion of active and fallow parcels.

### 2.4. Characterizing maize-chichipera AFS

Parcels were considered as AFS derived from chichipera if they had relicts of this forest inside the contiguous area, and if they had signs of current or past agricultural use (even parcels with more than 50 years of fallow period are clearly identifiable). Field trips were conducted to determine geo-referenced position, elevation, lithology, slope inclination and aspect of parcels. A total of 30 parcels were then selected with the following characteristics: (i) elevations between 1900 - 2100 m; (ii) similar aspect; (iii) area from 0.8 to 1 ha; and (iv) to be in use for cultivation. In these parcels we analysed: i) percentage of plant cover, vegetation composition and structure, and ii) cultural and socio-economic aspects of households managing them, as described below.

#### 2.4.1. Agricultural yield

Maize yields were estimated in parcels based on methods developed by Triomphe (2004), selecting five sampling sites per parcel spatially disposed in V form. Each sampled site was a 24 m<sup>2</sup> square (a total of 120 m<sup>2</sup> sampled per parcel). Total number of maize plants and their height were recorded and 10 plants collected

for estimating their dry weight. During the agricultural cycle 2006-2007 we evaluated only the amount of maize straw production since it was a dry year and no grain was produced. For the cycle 2007-2008 we repeated the sampling in a total of 21 parcels, recording both straw and grain production of maize and beans.

#### 2.4.2. Vegetation sampling and forest products

Surface of general plant cover and agroforestry practices of AFS parcels were measured in the field by approaching geometric figures to vegetation patches and calculating their area. We classified plant cover into that surrounding and that occurring inside the parcel; this last in turn was classified into the following agroforestry practices: fringes against soil erosion, vegetation islands, and isolated trees. Plant cover percentage of agroforestry practice types were estimated. Vegetation was sampled in nine parcels during the cultivation period (from August to December), censusing and measuring height, canopy diameters, and bhp of all perennial plants. Annual plants were sampled through 1 m<sup>2</sup> squares (12 per field) registering cover percentage of each plant species. Parcels were classified into the following categories of plant cover: i) low (2-8%), ii) intermediate (8.1-14%), and iii) high (14.1-20%). We estimated the general plant species richness of the system, average number of plant species, diversity and dominance of perennial plant species (trees and shrubs) per parcel. We used individual-based rarefaction curves in order to standardize the data according to the lowest values of abundance of the three categories of vegetation cover (n=1821) through Ecosim (Gotelli and Entsminger, 2004). Uses of plants sampled were documented based on ethnobotanical interviews to people using the parcels. Based on vegetation sampling and estimations of fruit production and firewood biomass for some species, general estimations of

amounts of useful forest products (fruits, seeds, branches, and firewood) were performed.

#### 2.4.3. Socio-economic information

A survey was conducted with households using the 30 parcels sampled in order to document: (i) agricultural, forestry and livestock raising practices, (ii) people's perception on economic, social and ecological changes occurring in local environments, in parcel size and composition, in agrosilvicultural practices, and risk associated to AFS transformation, and (iii) importance of AFS in household economy. For the latter, we followed Swift et al. (2004) categories of values that societies give to biodiversity. For the *intrinsic value* (also called non-use value by other authors, Pearce and Mourato, 2004), which includes social, cultural, aesthetic and ethic aspects, and for the *functional value*, which is the contribution of biodiversity to functions of ecosystem life support and preservation of ecological structure and integrity (also called indirect use value), we used participant observation and in-depth interviews. For the *utilitarian value* (or direct use value) we used a survey for quantifying use of plant and animal species.

### 3. Results

#### 3.1. AFS in the context of agriculture in San Luis Atlotitlán

Nearly 85% of the total surface of communal land of the village (10,000 ha) is used for gathering forest products and free livestock raising and 15% for agriculture. About 90% of agricultural land was cultivated through rainfed regime and the rest was irrigated. Nearly 71% rainfed agricultural land was in use and the remaining in fallow. Most of the rainfed cultivated land (67.5%) was AFS derived from chichipera forest and 32.5% from other forests. Most AFS were dedicated to maize cultivation and only 3% to monocultures of beans, amaranth or wheat. In

irrigated systems people cultivate chilli pepper, tomato, wheat-alfalfa, mesquite-pitahaya and pitaya systems.

#### 3.2. Subsystem of AFS

##### 3.2.1. Agricultural subsystem

The agricultural subsystem is composed by the local maize varieties called "maíz delgado" (thin maize) and "blanco" (white maize), which are used for rainfed cultivation and considered the most resistant against drought. People combine these varieties with local varieties of red and blue maize. Common beans are also cultivated, mainly vine beans of the local varieties "vaquita", "red" and "black", along with local varieties of squashes (*Cucurbita pepo*). One production cycle is practiced per year. Land ploughing is conducted in April and May, seed sowing in June, and weeding in July. Use of agrochemicals is considered not convenient since according to people chemical fertilizers "burn" seedlings. Some people construct terraces to prevent soil erosion and add donkey or cow dung and *Schinus molle* leaves to soil in order to increase its fertility. When a substantial decrease in soil fertility is perceived, people commonly decide to leave in fallow part of a field for one to five years. Peasants leave a distance of 80 cm among rows and nearly 1 m among maize plants, frequently leaving three maize and one bean seeds per sowing hole (approximately 20 kg of maize seeds and 4-8 kg of bean seeds per hectare).

##### 3.2.2. Silvicultural subsystem

Relicts of original vegetation are left standing when clearing land for agriculture; in addition, plant species associated to ecological succession become established in the transformed spaces. Wild, weedy and some cultivated native and introduced plant species integrated to agroforestry practices form the silvicultural component of AFS. Fig. 2 shows the spatial disposition of agroforestry practices in a typical AFS parcel, but their surface, number and type of

species forming part of them vary markedly (Table 2). Perennial plant species with the highest dominance (15 - 10%) are *Montanoa* sp., *Agave scaposa*, and *Polaskia chichipe*; 14 species had a dominance of 10 to 1% and the remaining had less than 1%. People prefer using and maintaining 26 perennial plant species in AFS. The highest percentages of preference were recorded for *P. chichipe* (100%), *A. scaposa*, *P. chende*, and *L. esculenta* (87%), *Prosopis laevigata* and *S. molle* (67%), *A. salmiana*, *Rhus virens*, *M. schenckii*, *Stenocereus pruinosus*, and *S. stellatus* (40%).

Nearly 84% of people interviewed said to carry out *in situ* and *ex situ* management practices for 63 species (52% of all species recorded, see Appendix A). Nearly 67% of managed species are left standing during clearance of vegetation to establish agricultural parcels. These are the cases of the columnar cacti *M. schenckii*, *P. chende*, *P. chichipe*, *S. pruinosus*, and *S. stellatus*. About 35% of managed species are enhanced, promoted or transplanted to the surrounding area, and this practice is conducted by 73% of people interviewed. Particularly important are the cases of *Agave scaposa*, *A. atrovirens*, and *A. salmiana*, whose young vegetative propagules are transplanted into the surrounding area, fringes and terraces to favor retention of soil and water, as well as because of their multiple uses as fodder (scapes, leaves), fuel (leaves), food (flower buds), and house construction (scapes). Some plants are also cultivated by transplanting their branches or young plants to areas surrounding the parcels (Appendix A). This activity is carried out with species like *Bursera morelensis*, *B. copallifera*, *Leucaena esculenta*, *Jacaranda mimosifolia*, and the columnar cacti mentioned. Survival of *M. schenckii* and *E. chiotilla* is markedly low, and people prefer leaving them in their original places.

Approximately 32% of managed plants are protected because they are perceived to be scarce and

are valued as useful plants (Appendix A). These are for instance the cases of *Bursera copallifera*, *Rhus virens*, *L. esculenta*, and *P. laevigata*. Nearly 41% of managed plants are also deliberately removed from the parcels in order to make space to crop plants. These are the cases of shrubs like *Acacia acatlensis* and *Mimosa luisana* whose spines may hurt people during agricultural activities; *Montanoa* sp., *Gymnosperma glutinosum*, *Brickellia veronicifolia* and *Lantana camara* are removed because they are considered as highly abundant. *Ipomoea murucoides* and *I. arborescens* are left standing since these trees are considered appropriate for storing maize straw among their branches, but some people prefer to remove them since horses and donkeys may consume their toxic bark and stems.

Only 10 species are *ex situ* managed propagating their seeds and vegetative parts or transplanting young plants from other sites into AFS fields (Appendix A). Pseudobulbs of the orchid *Laelia albida* are propagated on mesquite trees of agricultural parcels. The trees *L. esculenta*, *J. mimosifolia*, and *P. laevigata* are propagated by seeds, and their juvenile plants are protected through branches making shade or planting them near legume shrubs such as *Acacia coeliacantha* and *Mimosa* sp. People said to protect young plants of *L. esculenta* by covering their stems with branches of *Schinus molle* or *Cordia curassavica* used as traps attracting ants and preventing their attack on *Leucaena* leaves. *S. molle* is left standing inside the parcels, protected against herbivores and livestock and it is commonly pruned to avoid effect of its shade on maize. Young plants of *Agave* spp. are commonly brought from the forests to enrich plant composition of AFS parcels. Seeds of some annual plants are dispersed in the fields in order to increase their abundance, these are the cases of the ornamental plant *Tagetes lunulata*,

the edible and medicinal *Chenopodium ambrosioides*, and *Melinis repens* used as fodder (Appendix A).

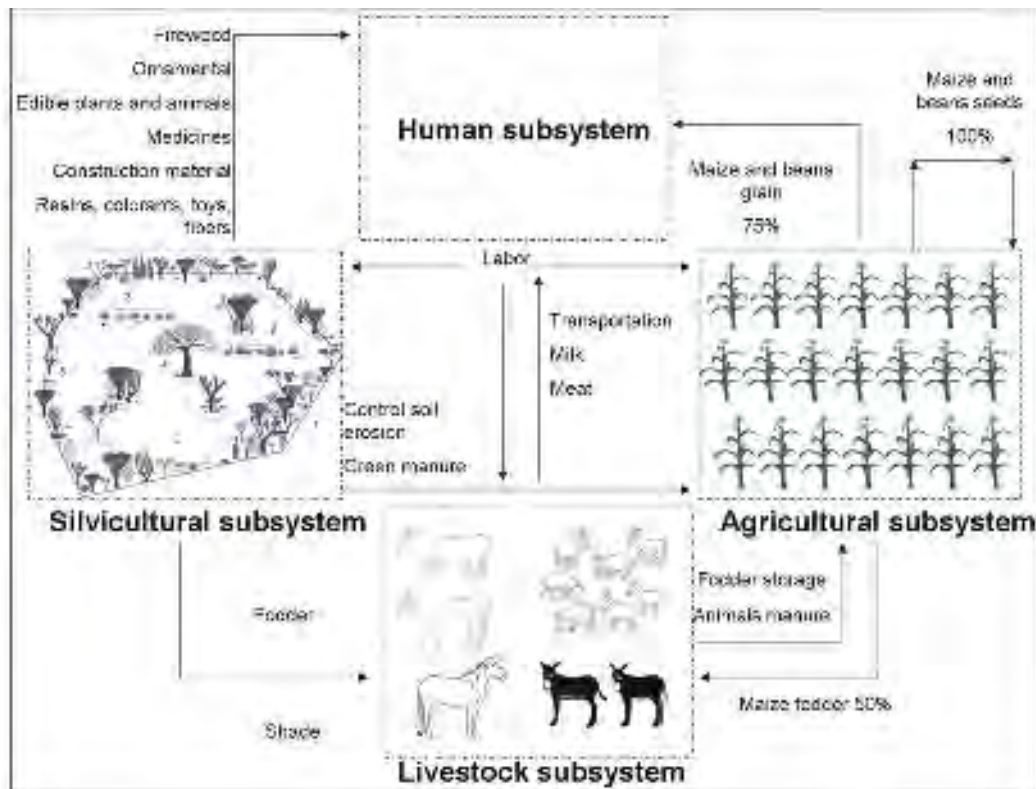


Figure 2. Chichipera subsystems

### 3.2.3. Livestock subsystem

Animals (cows, donkeys and horses) graze freely from December to June in forests, fallow and active AFS areas. On average, each household has 2.2 ( $\pm 0.63$ ) donkeys, 0.9 ( $\pm 1.5$ ) horses, and 1.7 ( $\pm 2.8$ ) cows. People interviewed did not report having goats. We were informed that only three households possess nearly 100 goats but they live in the outskirts of the village as requested by the people. Animals used in agricultural activities and transportation are fed with maize straw during the sowing and until the harvesting time. Each animal consumes one “manajo” (10 plants) of maize straw per day, but when this fodder is scarce they consume only one half. For other animals, the communal and ejidal authorities designated common

areas for grazing animals. When people finish harvesting agricultural products in December, animals are brought to AFS areas to feed on maize straw. Later on, during the first months of the post-harvest season, animals are fed on maize straw stored among branches of arboreal species inside AFS parcels, and then they have to buy maize straw to sellers from out the village. They pay nearly \$0.39 U.S. dollars per “manajo”. When maize plants are growing in the field, several species of Asteraceae occupy the AFS plots, among them *Simsia* sp., *Verbesina* sp., *Zaluzania* sp., *Montanoa* sp., and other weedy plants used as fodder. These plants are also collected for feeding animals in corrals.



### 3.3. Economic importance of AFS

#### 3.3.1. Utilitarian value

Nearly 78% of plant species of the silvicultural subsystem are used for 14 different purposes and 8 functional uses. Use types involving more plant species are fodder (28% species), medicine (19%), food and firewood (16%), ornamental (8%), and others (Appendix A); 32 plant species (26%) have exchange value, either or both barter and market price. *Agave scaposa* is the dominant species in AFS, its abundance averaging 35.8 ( $\pm$  29.24) individual plants per hectare. This agave is valued because of its role to prevent soil erosion and for extracting the “condachos” (edible larvae of a butterfly species), which are directly consumed by households and eventually sold in local and regional markets. According to a local regulation, extraction of “condachos” is allowed only the first and second days of June, and their price is \$ 0.78 U.S. dollars per larva. In average, 214.5 ( $\pm$ 132.3) larvae are extracted per parcel. Dry leaves of this agave are also used as fuel, its flower buds are edible, and its scape is used as wood for house construction. Products of this agave are destined to directly satisfy households’ needs, and eventually are interchanged for money or maize straw among people of the village. Some ornamental annual plants such as *Tagetes lunulata* are commercialized in the regional markets of the cities of Tehuacán and Ajalpan during festivities of the day of the death (November 1 and 2).

Fruits of *Polaskia chichipe* are gathered mainly from April to June, to be consumed fresh or for preparing jams and dry fruits which are only locally exchanged. These fruits are commercialized in units of 7 kg with a value of \$ 2.8 U.S. dollars per unit. Chichipe plants in AFS produce on average 6482  $\pm$  (18,060) fruits or 38.6 kg  $\pm$  (0.914) per hectare, whereas the xoconostle (*Stenocereus stellatus*) produces on average 296.18 ( $\pm$  143.56) fruits per

hectare with an economic value of \$77.50 U.S. dollars per field or a relative exchange value of 6 fruits per 1 liter of maize grain (0.8 kg). Other species of high economic value such as *S. pruinosus* (1.1  $\pm$  3.33 ind/ha), *E. chiotilla* (0.11  $\pm$ 0.33 ind/ha), and *P. chende* (0.44  $\pm$ 1.01 ind./ha) have insignificant contribution to the household economy because they are scarce in AFS (Table 2).

Firewood of plant species from chichipera AFS is widely used and can be easily exchanged (1 charge of firewood for 5 “manojos” or straw of 50 maize plants used as fodder) or commercialized (\$5.12. to \$6.30 dollars per charge). One charge of firewood is composed on average by branches of the following species: 30% *Montanoa* sp., 17% *Acacia acatensis*, 14% dry branches of columnar cacti (*Polaskia chende*, *P. chichipe*, and *Stenocereus stellatus*), 12% *A. cochliacantha*, 6% *Senecio salignus* and *Pittocaulon praecox*, and 5% *Tecoma stans*, *Mimosa* sp., *Pseudosmodium multifolium*, *Schinus molle* and *Dodonaea viscosa*.

Maize cultivation is destined to obtain grain for human consumption and seeds for the following agricultural cycle, and straw for livestock raising, mainly for direct consumption of households’ animals. In average, parcels produce 747  $\pm$  399 kg of maize grain per hectare, seeds price averaging \$1.38 dollars/kg. Daily consumption of maize is on average 3 kg per household (which means an annual requirement of nearly 1 ton on average), and production of the system is markedly insufficient; therefore, seeds are mainly used for maintaining cultivation. Price of seeds is approximately \$2.00 dollars /kg, much higher than the subsidized price of maize consumed as food (\$0.25 dollars /kg). The best quality seeds are selected for sowing (20-25 kg/ha) and the rest are consumed by people. Maize straw is highly appreciated for feeding domestic animals, especially in years of low rainfall,

when natural fodder is scarce and straw is also the only product obtained from agriculture. Straw from ten maize plants are used to feed one or two animals per day. The “manejo” and “carga” are units used for exchange. One “manejo” is on average  $5.9 \pm 1.6$  kg, whereas one “carga” is composed by 7 “manejos”. Beans are important component of the agricultural subsystem. Edible green pods and seeds, and stems used as fodder are the main products. On average 50 kg of seeds are harvested per hectare and its price is \$0.90 dollars per liter (0.8 kg). Maize straw produced averages  $1863 \pm 1442$  kg per hectare, with a market value of approximately \$2362 dollars. The market value of bean production is nearly \$59.10 dollars. Additional incomes derived from agriculture is the subsidized governmental program PROCAMPO from which people receive \$75.82 dollars/ ha / agricultural cycle.

Domestic animals are used for loading and transportation (donkey and horses), agricultural activities (donkeys and cows), for meat during festivities (cows and goats), or for savings money available during emergencies. Prices of donkeys are between \$63.00 and \$118.00 dollars, those of horses between \$118.00 and \$157.00 dollars, cows between \$197.00 and \$157.00 dollars and goats between \$79.00 and \$178.00 dollars.

### 3.3.2. Functional value

We identified the following functional values:

i) Plant diversity conservation. AFS favor conservation of at least 122 plant species belonging to 46 botanical families, mainly Asteraceae (23 spp.), Cactaceae (10 spp.), Fabaceae and Poaceae (6 spp.), and Mimosaceae (5 spp.). Nearly 90% of plant species recorded are native to the Tehuacán-Cuicatlán Valley (Appendix A), and species like *Polaskia chichipe*, *P. chende*, *E. chiotilla*, and *Cnidioscolus tehuacanensis* are endemic to the region. Native species like *Yucca periculosa*, *P.*

*laevigata*, *Amelanchier denticulata*, and *Juniperus flaccida*, recorded in the AFS were not found in the chichipe forest but in other forest types of the area. AFS are good setting for increasing abundance of culturally important species that are scarce in local landscapes. These are for instance the cases of “copal” trees which produce the incense-like resin that is used in traditional ceremonies; *Rhus virens*, considered as a good fodder and valued for its shade; *Leucaena esculenta* because of its edible pods; and mesquite for shade, fodder and firewood. AFS also allow maintaining beans and maize seeds adapted to the local dry conditions and which are difficult (and expensive) to find in other sites. One person of the village said “When there are no maize seeds it is necessary to get them in other villages... where they are very expensive”.

ii) Benefits to agriculture, livestock and useful fauna.

The following were the most frequently mentioned benefits: use of trees (e. g. *Schinus molle*, *Jacaranda mimosifolia* and *Polaskia chichipe*) as shade for people and livestock (33%); use of columnar cacti canopies for straw storage (25%); use of *Acacia acatlensis* and agaves as living fences (14%); use of plants (e. g.) *Pittocaulon praecox* as elements that beautify landscape (11%); use of *Agave* species for controlling soil erosion (8%); use of branches and leaves of *S. molle* as green manure (2%); use of *Agave scaposa* as natural habitat of “condacho”edible larvae (2%); use of plants recognized as sources of honey, mainly *Montanoa* sp. (2%); and people’s general recognition that parcels with trees have more water available for agriculture (“trees call water”, as people expressed).

iii) Risk and resilience management. People interviewed said that cultivation of maize allows: (1) assuring at least availability of fodder and seeds for reproducing the agricultural system; (2) obtaining complementary edible resources like squash flowers,

beans green pods, the edible maize fungi called “huitlacoche” and several edible weeds or “quelites”; (3) feeding domestic animals during periods of scarcity of fodder; or (4) destining monetary resources invested in maize, beans, and fodder, for acquiring animals or satisfying other household needs. Diversity of maize and beans varieties are also responses to unpredictability of rain (“If rain is not good and one variety does not produce, maybe the other does”, as people claimed). Interviewees also identified the relevance of maintaining seeds that do not require chemical fertilizers and pesticides: “We do not want to eat commercial maize from CONASUPO since it had been fumigated and fertilized with chemicals. When we don’t have local maize we have to buy that maize, but we don’t like it. Our maize is pure, fertilized with animal dung. Our maize is adapted to drought and it is more durable in storage, and has nicer flavor”.

### 3.3.3. *Intrinsic value*

The following intrinsic values were distinguished:

- i) Bequest value. People interviewed mentioned the right of existing of living beings in general, “...plants that are not useful but don’t cause damage to crops have the right to exist.” Also, they made reference to the right of current and future generations to enjoy plants and their benefits enjoyed by past and current generations: “Can you imagine if the people of previous generations had not taken care of the forest and plants of our land, what we could have now?; “If we do not take care of plants in our land they will be finished”.
- ii) Aesthetic value. A crop field with trees is considered a symbol of prestige and dedication to enhance the beauty of a site and the general landscape. It represents a higher working effort if compared with parcels with no trees: “A field without trees is evil”; “people that do not take care of their trees are laisy people”.

iii) Cultural value. These are values of the activities practiced, their benefits for reproducing their lives and customs, the communitarian life and culture. “We can not stop cultivating land since that is our work”; “If we stop cultivating land everything would finish”.

iv) Social value. Plants of agricultural parcels and forests are valued as local products that can be appreciated by local people living outside or external people coming to the village. They are part of the resources of a territory that can be shared with others. “We do not sell all our local products; they are mainly for direct consumption or for giving them to my sons ...” Other social values are clearly expressed in use regulations agreed in the communitarian organization and which determine social, economic or material sanctions when rules are violated. For instance, it is forbidden to cut big trees in agricultural parcels, or clearing new areas for agriculture. Obeying these rules gives prestige and moral value and proud.

### 3.4. *Changes in AFS*

#### 3.4.1. *Losing the silvicultural subsystem*

Nearly 73% of people interviewed said that plant cover has decreased because of two main processes: i) increasing of cultivation area and losing agroforestry practices inside the parcels, while maintaining vegetation of the surrounding areas, and ii) not replacing plants dying inside the plots. Some governmental programs have promoted cultivation of trees like mesquite inside agricultural parcels, but the programs failed since plants provided were not well adapted to local conditions. Three external processes were also mentioned by people: i) decreasing of rainfall, which determines the need of increasing cultivation area to obtain similar amounts of agricultural products than in previous years; ii) lack of sensibility of supervisors of governmental programs such as PROCAMPO, who penalize agriculturalists leaving forest areas since, according to supervisors,

this decreases the agricultural area agreed with them; and iii) decrease in the amount of land inherited by parents to sons and daughters who then need to remove plant cover to increase agricultural area.

All these processes determine that the range of plant cover inside parcels varies from 2.02 to 19.25%, with differences in species richness, dominance and diversity between the plant cover categories defined (Table 4). The category with least plant cover had the lowest levels of plant species richness and diversity, and the highest dominance and abundance of some arboreal and shrubby plants (Table 4, Fig. 3). Fields with intermediate plant cover had the highest species richness and diversity. Nearly 72% of dominance (abundance, cover, and frequency) inside the parcels is occupied by 10 native species of the Tehuacán Valley: *Prosopis laeviagata*, *Agave scaposa*, *Brickelia veronicifolia*, *Cordia curassavica*, *Acacia acatlensis*, *Opuntia pilifera*, *Ipomoea murucoides*, *Montanoa* sp., and *Polaskia chichipe*. Parcels with the highest plant cover are dominated by useful species like *P. chichipe* and *A. scaposa*, and other species like *B. veronicifolia* and *Montanoa* sp., and not native cultivated species like *L. esculenta*, *S. molle* and *J. mimosifolia*. Also, differences were found between abundance of species of higher utility like *P. chichipe* in parcels with  $4.67 \pm 0.58$  individual plants/ha compared with parcels with higher vegetation cover where  $39.67 \pm 6.66$  individual plants/ha were recorded.

#### 3.4.2. Losing the agricultural system

People migrating to the cities of Tehuacán, Mexico and to the U.S. in some cases influence abandonment of agricultural fields. People staying in the village cultivate the land of their relatives and migrants often come back during sowing and harvesting times or pay to other people to cultivate their land. Since practices of vegetation management are not carried out in abandoned parcels, dominance of some species like

*Senna galeottiana*, *Mimosa luisana*, *Mimosa* sp. *Acacia cochliacantha*, *Opuntia* spp. *Bursera copallifera* and *P. chichipe* do increase. Nevertheless, studies on ecological succession are yet to be conducted to document if this land becomes chichipera forest.

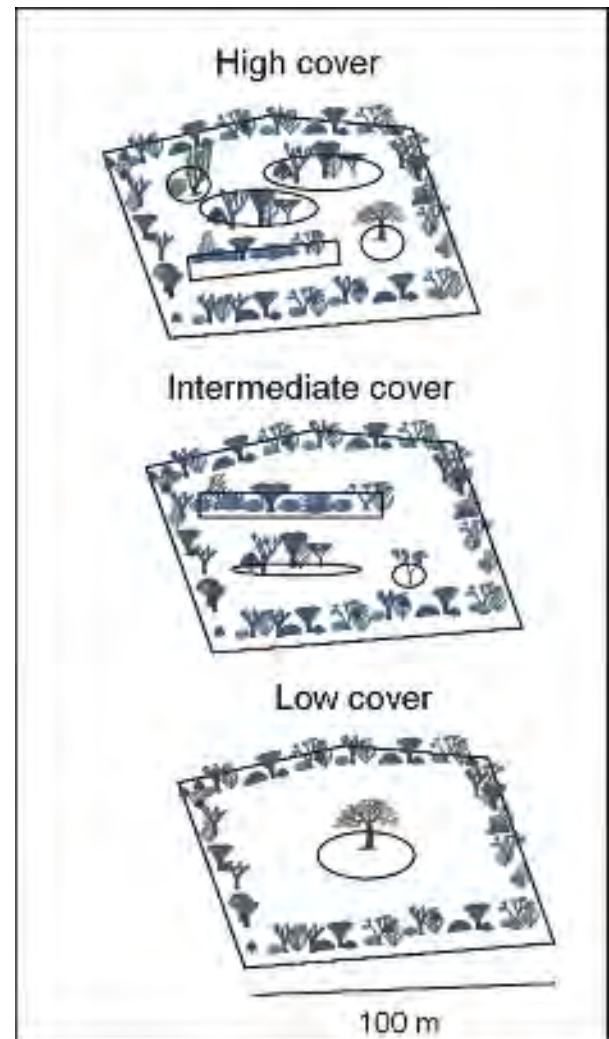


Fig. 3 Gradient of plant cover in the agroforestry system derived from chichipera forest and the agroforestry practices documented.

## 4. Discussion

### 4.1. Plant management patterns and biodiversity conservation

People of San Luis Atolotitlán use and manage wild and weedy plants in AFS derived from local forests, and maintain a high native biodiversity (90% of plant species recorded are native to the region and are 54% of all species recorded in the chichipera forest), like other AFS (Leakey 1999; Altieri 2001). Plant richness and diversity are high in natural vegetation from where the AFS studied derive; in addition, the system is influenced by the high beta diversity characterizing the study area (Valiente-Banuet et al. 2009). The higher the diversity of the original forest system the higher the probability to leave standing more plant diversity in AFS (Scales and Marsden 2008). Such diversity may also be enriched by exotic species deliberately introduced by people (Wilken 1977). At parcel scale a high heterogeneity of plant species may also be influenced by management directed to select which species are maintained according to people's preferences, values, technological capacities, environmental features, among other aspects. This situation makes that contribution of each parcel to the total species richness at landscape scale may be relevant (Schroth et al. 2004; Bhagwat et al. 2008). Although plant species managed by people are only 30% of total plant diversity recorded, part of them may determine micro-environments for the establishment of other plant or animal species, which can be considered as associated diversity according to Perfecto and Vandermeer (2008).

AFS are transition landscapes between wild and domesticated systems (McNeely and Schroth 2006) and management contributes to enrich composition of the original vegetation. In these spaces it is possible to observe different management practices on numerous plant species of the original vegetation,

including tolerance, protection, and cultivation of native species, as well as enhancing and protection of weedy species and cultivation of exotic species (Casas et al. 2008). The strategy of multiple use of plant resources documented in our study is a cultural pattern shared in general with the Mesoamerican cultures (Toledo 2002). This strategy is based on ecological and economic interchanges, and involves the management of a great number of resources and ecosystems in order to guarantee a permanent flow of goods, matter and energy between households and the surrounding nature. Such flow is in turn crucial to prevent effects of ecological and social uncertainties, associated to factor such as interannual climate variations (*i.e.* the high unpredictability of rainfall in the study area), economic phenomena (*i.e.* changes in prices of maize grain and straw), ecological eventualities (*i.e.* decreasing of pollinator populations, increasing populations of insect or fungi pests) (Toledo 2002). These situations favor a high dependence on plant resources of forests and, therefore, using a high variety of them (56% of species recorded in the territory and 75% of species recorded in the AFS studied).

Ethic values such as the recognition of the right of living beings to exist, the need to conserve them, the social prestige associated to nature conservation, and traditional customs of using them, are part of local people's cosmovision. This view along with the traditional knowledge (the "corpus" *sensu* Toledo 2002), influences people's actions and management techniques (the "praxis" *sensu* Toledo 2002) practiced in AFS. In addition, collective agreements and rules regulating access to land, water and resources do prove the existence of successful local institutions capable of managing common pool resources (Moreno-Calles et al in press).

#### 4.2. Importance of AFS in local people's livelihoods

According to the information documented, in years with good rainfall the AFS studied may provide to households nearly 75% of annual requirements of maize grain, 50% of fodder, and seeds for reproducing the agricultural sub-system. In addition, AFS may provide 80% species used as firewood and edible weeds called “quelites” consumed as greens. Other species such as mesquite, columnar cacti, and agaves increase their abundance in AFS. It has been documented that individual plants of some species of columnar cacti maintained in AFS produce more fruits and have higher quality since some level of artificial selection has operated on them (Casas et al. 2006, 2008). As in other arid and semiarid zones of the World, livestock is one of the principal components of people subsistence in the study area. Mexico is the fifth country of the World producing goats, and the semiarid areas of Guerrero, Oaxaca and Puebla (among them the Tehuacán Valley) produce 80% of these animals mostly through the free raising system (Hernández 2000). The integrated agricultural-livestock raising systems usually take the form of crop-pasture rotation in which the pasture phase “charges” the system with nutrients and organic matter whereas the cropping phase “extracts” the accumulated nutrients” (Altieri 2001).

The general role of livestock in households economy is generating monetary income and therefore the final destiny of most animals raised in the region is their commercialization in markets. Livestock is therefore a kind of household “money box” for buying food, paying the cost of festivities or dealing with health emergencies (Casas et al. 2008). This “money box” is sustained on collective use of fodder, but people raising animals continually have to solve problems of fodder availability, especially during the dry season of dryer years (Baraza and Estrella 2008).

During dry years the price of maize straw may be higher (\$2,362 dollars/ha) than that of grain (\$1,417 dollars/ha), and therefore all agriculture residuals are completely removed and stored for using. Even the most valuable forest products such as fruits of *Polaskia chichipe*, *P. chende*, *Stenocereus pruinosus*, and the edible larvae “condachos” are commonly interchanged for fodder. The value of fodder is expressed in the fact that most useful plant species of the region (Lira et al. 2009) and those from AFS (36% species) are fodder.

#### 4.3. Changes in AFS

AFS studied are dealing with changes such as: i) aging of peasants managing the system and migration and abandonment of land by young people; ii) fractioning of parcels, and iii) not recognition of the value of trees in agricultural parcels by governmental programs (Moreno-Calles *et al.* in press). In addition, our study documented people's perception of decreasing rainfall which has decreased crop production, and this in turn putting pressure for increasing cultivated area progressively abandoning agroforestry practices inside parcels. This change does not affect the species richness and diversity of parcels, apparently because ten common species inside the parcel are 72% dominant and are the most appreciated. Also, people reduce fallow periods affecting the resilience of the system and the amount of biodiversity at landscape level.

#### 4.4. Future research perspectives

AFS studied require more investigation and actions to improve their capacity to conserve biodiversity and supply benefits to local people. It would be particularly helpful to have deeper information on the ecology of plant species highly valued by people and their interactions with other plant and animal species. Studying the limitations to germination of their seeds and conditions for their establishment would help in designing restoration programs associated to AFS.

Research on agricultural components is also important. The native “criollo” varieties of maize and beans could be threatened by changes in AFS but knowledge on them is still scarce. Also, a deeper understanding of social-economic and cultural processes that maintain biodiversity, ethic values associated to these processes and traditional techniques are crucial for reinforcing and designing new actions in this and similar contexts of arid lands.

### 5. Conclusions

Traditional AFS result from vast human experience acting under different forms of viewing and using ecosystems, which have demonstrated to be more effective to maintain the resilience of socio-ecological systems (Berkes and Folke 2002). These traditional AFS are continually under modern socio-economic and cultural pressures. We documented processes determining risks to the system and those that enhance it. Strategies for resilience management are carried out by local people and could be supported in order to solve problems negatively affecting the system and enhancing those positively influencing. This simple conclusion involves really complex problems, but designing strategies for improving AFS has a crucial guide: the traditional values, techniques,

### Acknowledgements

The authors thank the Posgrado en Ciencias Biológicas and CONACYT for supporting posgraduate studies of the first author. We also thank financial support from CONACYT (project CB-2008-01-103551), DGAPA, UNAM, Mexico (project IN219608), and the Millenium Seed Bank project of the Royal Kew Gardens, UK. Also, to Selene Rangel-Landa, Edgar Pérez-Negrón and Mirna Canul for supporting field work, and Dr. Andrés Camou and Dr. Alicia Castillo for their critical comments to a preliminary version of

the manuscript. Finally, we sincerely thank people of San Luis Atolotitlán (Ortega family) for their hospitality and friendship.

### References

- Altieri, M., 2001. Traditional agriculture, in: Ascher, S. (Ed.), *Encyclopedia of biodiversity* Vol. 5. Academic Press, London, California, pp. 109-118.
- Backes, M.M., 2001. The role of indigenous trees for the conservation of biocultural diversity in traditional agroforestry land use systems: The Bungoma case study. *Agrofor. Syst.* 52, 119-13.
- Baraza, E., Estrella, P., 2008. Manejo sustentable de los recursos naturales guiado por proyectos científicos en la Mixteca Poblana Mexicana. *Ecosistemas* 17: 3-9.
- Barrow, E., Mlengi, W., 2003. Trees as key to pastoralist risk management in semiarid landscapes in Shinyanga, Tanzania and Turkana, Kenya. In: *CIFOR Rural livelihoods, forest and biodiversity*, Bonn Germany.
- Berkes, F., Folke, C., 2002. Back to the future: Ecosystems dynamics and local knowledge. En: Guderson, L.H. and Holling, C.S. (Eds.), *Panarchy: understanding transformation in human and natural systems*. Island Press, Washington, pp. 121-146.
- Bhagwat, S.H., Willis, K.J., Birks, J., and Whittaker, R., 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends Ecol. Evol.* 23, 261-267.
- Blanckaert, I., Koenraad, V., Swennen, R., Espinosa-García, F., Piñero, D., Lira, R., 2007. Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semiarid production of México. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 39-48.
- Boege, E., 2008. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y conocimiento and culture of local people. *Instituto Nacional de Antropología e Historia, México City.*
- Casas, A., Valiente-Banuet, A., Viveros, J.L., Caballero, J., 2001. Plant resources of the Tehuacán Valley, México. *Econ. Bot.* 55, 129-166.
- Casas, A., Cruse, J., Morales, E., Otero-Arnaiz, A., Valiente-Banuet, A., 2006. Maintenance of phenotypic and genotypic diversity of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) by indigenous peoples in Central México. *Biodivers. Conserv.* 15, 879-898.
- Casas, A., Otero-Arnaiz, A., Pérez-Negrón, E., and Valiente-Banuet, A., 2007. *In situ* management and Domestication of Plants in Mesoamerica. *Ann. Bot.* 100, 1101-1115.
- Casas, A., Rangel-Landa, S., Torres, I., Pérez-Negrón, E., Solís, L., Parra, F., Delgado, A., Blancas, J.,

- Farfán-Heredia, B., and Moreno-Calles, A.I., 2008. *In situ* management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México: an ethnobotanical and ecological approach, in: De Albuquerque, U.P., Alves-Ramos, M. (Eds.), *Current topics in Ethnobotany*. Research Signpost, Kerala, India, pp. 1-25.
- Dávila, P., Arizmendi, M.C., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J.L., Casas, A., and R. Lira., 2002. Biological Diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodivers. Conserv.* 11, 421-441.
- Farfán-Heredia, B., 2006. Efecto del manejo silvícola en la estructura y dinámica poblacional de *Polaskia chichipe* Backeberg en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gotelli, N.J., Entsminger, G.L., 2004. EcoSim: Null models software for ecology, version 7. Acquired Intelligence Inc. & KesyBear, Jericho.
- Harvey, C.A., Tucker, N.I.J., Estrada, A., 2004. Livefences, isolated trees, and windbreaks: Tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes, in: Schroth, G., da Fonseca G.A.B, Harvey, C.A., Gascon, C., Vasconcelos, H. L., Izac., A.M.N. (Eds.), *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, pp. 261-289.
- Hernández, Z. J.S., 2000. La caprinocultura en el marco de la ganadería poblana (México): contribución de la especie caprina y sistemas de producción. *Archivos de Zootecnia* 49: 341-347.
- Leakey, R.R.B., 1999. Agroforestry for biodiversity in farming systems, in: Collins, W.W., Qualset, C.O. (Eds.), *Biodiversity in Agroecosystems*.
- Lira, R., Casas, A., Rosas-López, R., Paredes-Flores, M., Rangel-Landa, S., Solís, L., Torres, I., Dávila, P., 2009. Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán, México. *Econ. Bot.* 63, 271-287.
- MacNeish, R.S., 1967. A summary of subsistence. in: Byers D.S. (Ed.), *The prehistory of the Tehuacán Valley: Environment and Subsistence* vol.1. University of Texas Press, Austin, Texas, pp. 290-309.
- McNeely, J.A., Schroth, G., 2006. Agroforestry and biodiversity conservation-traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodivers. Conserv.* 15, 549-554.
- Montagnini, F., 2006. Homegardens of Mesoamerica: Biodiversity, food security, and nutrient management, in: Kumar B.M., Nair, P.K.R. (Eds.) *Tropical Homegardens: A time-tested example of sustainable agroforestry*. Springer, the Netherlands, pp. 61-84.
- Moreno-Calles, A., Casas, A., 2010. Agroforestry systems: Perspectives for restoration of semiarid zones of the Tehuacán Valley, central Mexico *Ecol Rest* 38, 361-368.
- Moreno-Calles, A., Casas, A., Blancas, J., Torres, I., Rangel-Landa, S., Pérez-Negrón, E., Caballero, J., Masera, O., and García-Barrios, L., In press. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central México. *Agrofor. Syst.*
- Noble, I.R., Dirzo, R., 1997. Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277, 522-525.
- Pearce, D., and Mourato, S. 2004. The Economic Valuation of Agroforestry's Environmental Services, in: Schroth, G., da Fonseca G.A.B, Harvey, C.A., Gascon, C., Vasconcelos, H.L., and Izac., A.M.N. (Eds.), *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, USA, pp. 67-85.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: A new conservation paradigm. *Ann. NY Acad. Sci.* 1134, 173-200.
- Plieninger, T., Wilbrand, C., 2001. Land use, biodiversity conservation, and rural development in the dehesas of Cuatro Lugares, Spain. *Agrofor. Syst.* 51, 23-34.
- Prasad, K., 2006. Linking trees with biodiversity conservation in subsistence farming systems in Nepal. *Biodivers. Conserv.* 15, 631-646.
- Scales, B.R., Marsden, S. J., 2008. Biodiversity in small-scale tropical agroforests: a review of species richness and abundance shifts and the factors influencing them. *Environ. Conserv.* 35, 160-172.
- Schroth, G., da Fonseca G.A.B, Harvey, C.A., Gascon, C., Vasconcelos, H.L., and Izac., A.M.N., 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, USA.
- Shibu, J., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agrofor. Syst.* 76, 1-10.
- Swift, M.J., Izac, A.M.N., van Noordwijk, M., 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes-are we asking the right questions? *Agric. Ecosyst. Environ.* 104, 113-134.
- Toledo, V. M., 2002. Ethnoecology: a conceptual framework for the study of indigenous knowledge of nature. In: Stepp, J.R., Wybdgan, F.S., and Zager, R.K. (Eds.) *Ethnobiology and biocultural diversity*. International Society of Ethnobiology, Georgia, pp. 511-552.
- Torres, I., 2004. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atlotitlán, municipio de Caltepec, Puebla. Dissertation, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



- Triomphe, B., 2004. Rendimiento de maíz en milpas de campesinos. In: Bautista, F. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 331-342.
- Valiente-Banuet, A., Solís, L., Dávila, P., Arizmendi, M.C., Silva P.C., Ortega-Ramírez, J., Treviño, C. J., Rangel-Landa, S., and Casas, A., 2009. Guía de la vegetación del Valle de Tehuacan-Cuicatlán. Impresora Transcontinental, México.
- Wilken, G.C., 1977. Integrating forest and small scale farm systems in Middle-America. *Agroecosystems* 3, 291-302.

Table 1. Agroforestry practices in systems derived from chichipera forest. Their average area per parcel and the main plant species composing their plant cover that are preferred by local people.

<b>Agroforestry practice</b>	<b>Average area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Average species number</b>	<b>Preferred species (% of mention in interviews)</b>
Isolated trees	16.37±16.14	1	<i>Schinus molle</i> (29%) <i>Leucaena esculenta</i> (8%) <i>Prosopis laevigata</i> (8%)
Vegetation islands	26.10±19.11	6±2.98	<i>Polaskia chichipe</i> (21%) <i>Polaskia chende</i> (12%) <i>Stenocereus stellatus</i> (8%)
Fringes against soil erosion	111.07±108.37	12.39±7.23	<i>Agave scaposa</i> (54%) <i>Polaskia chichipe</i> (20%) <i>Ipomoea murucoides</i> (5%)
Vegetation surrounding the fields.	282.49±192.95	28.64±9.93	<i>Agave scaposa</i> (41%) <i>Opuntia pilifera</i> (20%) <i>Stenocereus stellatus</i> , <i>Stenocereus pruinosus</i> <i>Acacia acatlensis</i> , <i>Polaskia chichipe</i> and <i>Leucaena esculenta</i> (13%)

Table 2. Species with relative interchange value and market price of chichipera AFS. **Amount type:** The common amounts in the village of San Luis Atolotitlán. Pi=Piece; Ma=Manojo (group of plants or plant parts caught with one hand); Maize manojo=10 plants; Me= Medida (amount); Mo=Montón (Group of plants or parts of plants); Cu=Cubeta (Tray); Ca= Carga: 100 ramas (branches). **Amount/ha/type:** Average availability in one year in one ha of chichipe AFS; **Relative price:** Amount for chance for other product.

Species	Specific use	Amount type and % composition	Amount potential ha/ year	Relative price	Market price \$ U.S. Dollar	Total \$ U. S. Dollar
<i>Agave scaposa</i>	Edible larvae	1 Pi= 1 individual	214.5 Pi ( $\pm 132.3$ )	-	1Pi/ 0.39	83.7
	Scape	1 Pi=1 scape	1	-	1Pi /1.75	1.75
<i>Amaranthus hybridus</i>	Quelite	1Ma= 10 plants	-	-	1Ma/0.39	-
<i>Pseudosmodingium multifolium</i>	Firewood	1 branch (1% Ca)	-	1Ca/5 Ma	1 branch/0.051	-
<i>Schinus molle</i>	Firewood	1 branch (1% Ca)	-	1Ca/5 Ma	1 branch/0.051	-
<i>Calea ternifolia</i>	Diabetes medicine	1Ma=10 branches	72. 5 ( $\pm 68.49$ ) Ma	-	1Ma/0.79	-
<i>Montanoa sp.</i>	Firewood	30 branches (30% Ca)	-		30	-
				1Ca/5 Ma	branches/1.54	
<i>Pittocaulon praecox</i>	Firewood	6 branches (6 % Ca)	-	1Ca/5 Ma	6 branches/0.31	-
<i>Porophyllum linaria</i>	Leaves pipicha food	10 plants (Ca)	200 Ma	-	1Ma/.079	15.75
<i>Tagetes lunulata</i>	Flowers for “todos santos day”	1Ma=1 plant	12.7 Ma ( $\pm 6.71$ )		1Ma/ 0.39	4.95
				-		
<i>Verbesina sp.</i>	Firewood	1 branch (1% Ca)	-	1Ca/5 Ma	1 branch/0.051	-
<i>Zaluzania sp.</i>	Firewood	1 branch (1% Ca)	-	1Ca/5 Ma	1 branch/0.051	-
<i>Tecoma stans</i>	Firewood	1 branch (1% Ca)	-	1Ca/5 Ma	1 branch/0.051	-
<i>Bursera sp.</i>	Copal resin	1Me	0.05 kg	-	1kg/15.75	.7
<i>Escontria chiotilla</i>	Jiotilla fruits	1kg	0.6290 kg	-	1kg/2	1.26
<i>Opuntia pilifera</i>	Cladodes for food	1Mo=5 cladodes	10.78 Mo ( $\pm 9.73$ )	-	1Mo/ 0.39	4.21
<i>Polaskia chende</i>	Chende fruits	1 Cu=7 kg	-	-	1Cu/5.12	-
<i>Polaskia chende</i>	Calehual firewood	14 branches (14% Ca)	-	1Ca/5 Ma	-	-

Species	Specific use	Amount type and % composition	Amount/ha/ year	Relative price	Market price \$ U.S. Dollar	Total \$ U. S. Dollar
<i>Polaskia chichipe</i>	Chichipe fruits	1Cu=7 kg	38.6 kg ± 0.914	-	1Cu/2.76	15.22
<i>Polaskia chichipe</i>	Calehuale firewood	14 branches (14% Ca)	-	1Ca/5 Ma	14 branches/0.72	-
<i>Stenocereus stellatus</i>	Xoconostle fruit	1Pi=1 fruit	296.18 Pi (± 143.56)	5 Pi/ .80 kg maize	6 Pi/1.57	77.50
<i>Stenocereus stellatus</i>	Calehuale firewood	14 branches(14% Ca)	-	1Ca/5 Ma	14 branches/0.72	-
<i>Stenocereus pruinosus</i>	Pitaya de mayo fruit	1Pi=1fruit	-	-	4 Pi /1.18	-
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Leaves of epazote food	1Ma=10 plants	-	-	1Ma/ 0.79	-
<i>Acacia cochliacantha</i>	Firewood	12 branches(12% Ca)	-	1Ca/5 Ma	12 branches/0.61	-
<i>Acacia acatlensis</i>	Firewood	17 branches (17% Ca)	-	1Ca/5 Ma	17 branches/0.87	-
<i>Mimosa</i> sp.	Firewood	2 branches (2% Ca)	-	1Ca/5 Ma	2 branches/0.10	-
<i>Laelia albida</i>	Flowers	1Ma=10 flowers	3.4 Ma	-	1Ma/0.79	2.67
<i>Portulaca oleracea</i>	All plant food	1Mo=15 plants	400 Mo	-	1Mo/0.39	156
<i>Ptelea trifoliata</i>	Firewood	4 branches (4% Ca)	-	1Ca/5 Ma	4 branches/0.20	-
<i>Dodonaea viscosa</i>	Firewood	10 branches (10% Ca)	-	1Ca/5 Ma	10 branches/0.51	-

Table 3. Average species richness, diversity and dominance in parcels of the AFS derived from chichipera forest. Analysis from rarefaction curves based on individual plants (n=1812).

<b>% Plant cover inside parcels</b>	<b>Average number of perennial plants per parcel</b>	<b>Average richness</b>	<b>Average diversity (Shannon index)</b>	<b>Average dominance</b>
High cover (19.25-14.35)	1399	75.90 ( $\pm 5.48348$ )	3.51522( $\pm 0.00041$ )	0.14250( $\pm 0.00004$ )
Intermediate cover (8.8-10.68)	869	85.753( $\pm 4.69869$ )	3.61054( $\pm 0.00027$ )	0.11061( $\pm 0.0001$ )
Low cover (2.02-7.64)	601	79 ( $\pm 0$ )	3.59511( $\pm 0$ )	0.09106( $\pm 0$ )

Appendix A. Family, local names, origin, uses, management of plant species of chichipera's agroforestry system. **Origin:** N: Native; I: Introduced. **Use:** 1) Fodder; 2) Edible; 3) Medicinal; 4) Ornamental; 5) Construction; 6) Firewood; 7) Living fences or Boundary; 8) Soil control; 9) Shade; 10) Green manure; 11) Ceremonial; 12) Alcoholic beverages; 13) Utensils; 14) Useful resins and latex; 15) Colorants; 16) Melliferous; 17) Toys; 18) Storage; 19) Use habitat species; 20) Fiber; 21) Luxury; 22) Saponiferous. **Management (sensu Blancas et al. sending):** 1) *In situ* management, a) Tolerated, b) Enhanced, fomented or promoted; c) Special protection; d) Removed; 2) *Ex situ* management, a) Seed sowing, b) Planting vegetative parts, c) Transplanting of complete individual plants. **Economic value:** 1) Relative price; 2) Market price.

Family	Species	Local name	Origin	Use	Management	Economic value
Acanthaceae	<i>Justicia mexicana</i> Rose	-	N	-	-	-
Agavaceae	<i>Agave atrovirens</i> Karw. ex Salm-Dyck	Pulque agave	N	8, 12	1(a,b)	2
Agavaceae	<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	Puya agave	N	2,8	1 (a, b)	-
Agavaceae	<i>Agave scaposa</i> Gentry	Potrero agave	N	5,8, 19	1 (a, b, c)	2
Agavaceae	<i>Yucca periculosa</i> Baker	Izote	N	2, 20	2 (c)	-
Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Quelite	N	1, 2	1 (b, d)	2
Amaranthaceae	<i>Gomphrena decumbens</i> Jacq.	-	N	-	-	-
Amaranthaceae	<i>Iresine</i> sp.	Lengua de sierva	N	1	-	-
Anacardiaceae	<i>Pseudosmodium multifolium</i> Rose	Hincha huevos/Teclate	N	3, 6	-	1, 2
Anacardiaceae	<a href="#">Rhus virens Lindheim. ex A.Gray</a>	Azomiate	N	1, 6, 9	1(a, c)	1, 2
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.	Coahuino/Pirul	I	3, 6, 9, 10, 13, 18	1(a, b) 2 (b)	1, 2
Apocynaceae	<i>Thevetia thevetioides</i> (Kunth) K. Schum.	Venenillo	N	-	-	-
Araliaceae	<i>Aralia humilis</i> Cav.	-	I	-	-	-
Asclepiadaceae	<i>Asclepias linaria</i> Cav.	Venenillo	N	-	-	-
Asteraceae	<i>Acourtia</i> sp.	-	N	-	-	-
Asteraceae	<i>Ageratina</i> sp.	Chepito	N	3	-	-
Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp.	Jarilla	N	1	-	-
Asteraceae	<i>Bidens odorata</i> Cav.	Sonoquelite	N	1	-	-
Asteraceae	<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray	Estrellita	N	3	1 (d)	-
Asteraceae	<i>Calea ternifolia</i> Kunth	Oaxaqueña	N	3	1 (d)	2
Asteraceae	<i>Conyza</i> sp.	-	N	-	-	-
Asteraceae	<i>Dyssodia papposa</i> (Vent.) Hitch.	-	N	-	-	-

Family	Species	Local name	Origin	Use	Management	Economic value
Asteraceae	<i>Gymnosperma glutinosum</i> (Spreng.) Less.	Popote	N	3	1 (d)	-
Asteraceae	<i>Montanoa sp.</i>	Panoxochilt	N	1, 16	1 (a, d)	1, 2
Asteraceae	<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	-	N	-	-	-
Asteraceae	<i>Pittocaulon praecox</i> (Cav.) H. Rob. & Brettell	Consuelda	N	3, 14, 21	1 (a)	1, 2
Asteraceae	<i>Porophyllum linaria</i> (Cav.)DC.	Pipicha	N	2	1 (b)	2
Asteraceae	<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.	Rooster's small eye	N	1,3	1(a)	-
Asteraceae	<i>Senecio salignus</i> DC.	Azomiate	N	6,7	1(a)	1,2
Asteraceae	<i>Simsia sp.</i>	Acahualli	N	1	1(d)	-
Asteraceae	<i>Stevia sp.</i>	Popotillo	N	21	-	-
Asteraceae	<i>Tagetes lunulata</i> Ortega	Kimiche/mouse tail	N	4, 11	1(a, b)	2
Asteraceae	<i>Tagetes erecta</i> L.	Cempaxochitl	N	4, 11	1(a, b)	2
Asteraceae	<i>Trixis sp.</i>	Tirisia herb	N	3	-	-
Asteraceae	<i>Verbesina sp.</i>	White totopoca	N	1, 6	1(a, d)	1, 2
Asteraceae	<i>Zaluzania sp.</i>	Totopoca	N	1, 6	1(a, d)	1, 2
Asteraceae	<i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.	Big cock eye	N	21	1(a)	-
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. Ex Kunth	Chicopete	N	6, 17, 21	1(a)	1, 2
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda	I	9	1 (c), 2 (a, c)	-
Boraginaceae	<i>Cordia curassavica</i> (Jacq.) Roem. & Schult.	Sweeper	N	2, 3, 13	1(d)	-
Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i> L.	Lentejilla	N	3	-	-
Bromeliaceae	<i>Tillandsia plumosa</i> Baker	Cock	N	3	-	-
Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.	Pachtli	N	3, 4	-	-
Burseraceae	<i>Bursera copallifera</i> (DC.) Bullock	Copalillo	N	9	1(a, b, c)	-
Burseraceae	<i>Bursera morelensis</i> Ramirez	Cuajote	N	15	1(a, b)	-
Burseraceae	<i>Bursera sp.</i>	Copal	N	11, 14	1 (a, b, c)	2
Cactaceae	<i>Coryphantha pallida</i> Britton & Rose	Biznaga	N	3, 21	1(a)	-
Cactaceae	<i>Escontria chiotilla</i> (F. A. C. Weber) Rose	Jiotilla	N	1,2, 6, 9, 18	1(a, c) 2 (b)	1, 2
Cactaceae	<i>Marginatocereus marginatus</i> (DC.) Backeb.	Malinche	N	2, 3, 17	1(a, b, c), 2(a, b),	-
Cactaceae	<i>Myrtillocactus schenckii</i> (J.A. Purpus) Britton & Rose	Green garambullo	N	1, 2, 4, 6,18,19	1 (a, c)	1, 2
Cactaceae	<i>Opuntia pilifera</i> F.A.C. Weber	Nopalli	N	1, 2, 18	1(a, b, c, d)	2
Cactaceae	<i>Opuntia sp.</i>	Chontolote	N	-	1 (d)	-
Cactaceae	<i>Polaskia chende</i> Gibson & Horak	Chende	N	1, 2, 6, 9, 18	1 (a, b, c) 2 (b, c)	1, 2

Family	Species	Local name	Origin	Use	Management	Economic value
Cactaceae	<i>Polaskia chichipe</i> (Gosselin) Backeb.	Chichipe	N	1, 2, 6, 9, 18	1 (a, b, c), 2 (b, c)	1, 2
Cactaceae	<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob.	Xoconostli	N	1, 2, 6, 18	1 (a, b, c), 2 (b, c)	1, 2
Cactaceae	<i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto ex Pfeiff.) Buxb.	Pitaya de mayo	N	1,2, 9, 18	1 (a, b, c), 2 (b, c)	1, 2
Caesalpinaceae	<i>Senna atomaria</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby	Pipiole flower	N	1	1(d)	-
Caesalpinaceae	<i>Senna galeottiana</i> (M. Martens) H.S. Irwin & Barneby	Rompebota	N	6, 9	1 (a, c)	-
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	Epazote	N	2, 3	1(a, b, d)	2
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium graveolens</i> Willd.	Huazontle	N	2	-	-
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium murale</i> L.	Coyote epazote	I	3	1 (b, d)	-
Commelinaceae	<i>Commelina</i> sp.	Lirio	N	4	-	-
Convulvulaceae	<i>Evolvulus</i> sp.	-	N	1	-	-
Convulvulaceae	<i>Ipomoea arborescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don	Black coahuate	N	3, 18	1(a, d)	-
Convulvulaceae	<i>Ipomoea murucoides</i> Roem. & Schult.	White Coahuate	N	3, 6	1 (a, d)	1, 2
Convulvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	Correyuela	N	-	1 (d)	-
Crassulaceae	<i>Thompsonella minutiflora</i> Rose Briiton & Rose	Magueyito	N	4, 11	1(a)	-
Cyperaceae	<i>No identificada</i>	-	-	-	-	-
Euphorbiaceae	<i>Acalypha</i> sp.	-	N	-	-	-
Euphorbiaceae	<i>Cnidocolus tehuacanensis</i> Breckon	Bad woman	N	2, 3, 14	1(a, b), 2(c)	-
Euphorbiaceae	<i>Croton ciliatoglandulifer</i> Ortega	-	N	-	-	-
Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i> Cerv.	Drago blood, cuarta	N	2, 3	-	-
Fabaceae	<i>Crotalaria pumila</i> Ortega	-	N	-	-	-
Fabaceae	<i>Dalea foliolosa</i> (Aiton) Barneby	-	N	1	-	-
Fabaceae	<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	Coatillo	N	1, 3, 15	1 (c, d)	-
Cupressaceae	<i>Juniperus flaccida</i> Schltld.	Tlaxca	N	-	-	-
Lamiaceae	<i>Salvia oxacana</i> Fernald	Mirto	N	3	-	-
Lamiaceae	<i>Salvia thymoides</i> Benth.	Sparrow herb	N	3	-	-
Loasaceae	<i>Mentzelia hispida</i> Willd.	The loving	N	1	-	-
Malpigiaceae	<i>Buchosia</i> sp.	Nanche	N	2, 3	-	-
Malvaceae	<i>Allowissadula pringlei</i> (Rose) D.M. Bates	-	N	-	-	-
Malvaceae	<i>Herissantia crispa</i> (L.) Brizicky	-	N	-	-	-
Mimosaceae	<i>Acacia cochliacantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Cubata	N	6, 7	1 (a, d)	1, 2
Mimosaceae	<i>Acacia acatlensis</i> Benth.	Guajillo	N	6, 7	1 (a, d)	1, 2



Family	Species	Local name	Origin	Use	Management	Economic value
Mimosaceae	<i>Brongniartia sp.</i>	-	N	-	-	-
Fabaceae	<i>Indigofera suffruticosa</i> Mill.	-	N	15	-	-
Fabaceae	<i>Leucaena esculenta</i> (Moc. & Sessé ex DC.) Benth.	Red guaje	N	2, 9	1(a, c), 2 (a, c)	-
Fabaceae	<i>Mimosa sp.</i>	Garabato	N	6, 7	1 (d)	1, 2
Mimosaceae	<i>Mimosa luisana</i> Brandegee	Cat's claw	N	7	1 (a, d)	-
Mimosaceae	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst.	Mesquite	N	1, 6, 9	1(a, b, c), 2 (a, c)	1, 2
Nyctaginaceae	<i>Boerhaavia sp.</i>	-	N	-	-	-
Nyctaginaceae	<i>Mirabilis sp.</i>	The sticky	N	1	-	-
Nyctaginaceae	<i>No identificada</i>	Love while	-	1	-	-
Onagraceae	<i>Oenothera sp.</i>	-	N	1	-	-
Orquidaceae	<i>Laelia albida</i> Bateman ex Lindl.	Nun flower	N	4	2 (c)	2
Papaveraceae	<i>Argemone mexicana</i> L.	Chicalote	N	-	1(d)	-
Passifloraceae	<i>Passiflora sp.</i>	Small pumpkin	-	1	-	-
Plumbaginaceae	<i>Plumbago scandens</i> L.	-	N	1	-	-
Poaceae	<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Pink grass	I	1	1(a, b) 2 (a)	-
Poaceae	<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	-	I	1	-	-
Poaceae	<i>Eragrostis sp.</i>	-	-	1	-	-
Poaceae	<i>Setaria sp.</i>	-	-	1	-	-
Poaceae	<i>Chloris radiata</i> (L.) Sw.	-	N	1	-	-
Poaceae	<i>No identificada</i>	-	-	1	-	-
Polemoniaceae	<i>Loeselia sp.</i>	-	N	-	-	-
Polygalaceae	<i>Polygala sp.</i>	-	N	-	-	-
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga	I	2	-	2
Portulacaceae	<i>Portulaca pilosa</i> L.	-	N	-	-	-
Rosaceae	<i>Amelanchier denticulata</i> (Kunth) K. Koch	Tlachistle	N	1	-	-
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schtdl.	Maiden	N	1, 4	2 (c)	-
Rutaceae	<i>Ptelea trifoliata</i> L.	Skunk stick	N	6	1(a, c)	1, 2
Rutaceae	<i>Zantoxylum sp.</i>	Cilandrillo	N	1	1(a, c)	-
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Jarilla	N	5, 6	1(a, d)	1, 2
Scrophularaceae	<i>Castilleja lithospermoides</i> Kunth	Chuparrosa	N	-	-	-

Family	Species	Local name	Origin	Use	Management	Economic value
Scrophularaceae	<i>Lamourouxia dasyantha</i> (Cham. & Schltld.) W.R. Ernst	Dead flower	N	4, 11	-	-
Scrophularaceae	<i>Lamourouxia viscosa</i> Kunth	-	N	-	-	-
Scrophularaceae	<i>Penstemon campanulatus</i> (Cav.) Willd.	Romero	N	3	-	-
Solanaceae	<i>Solanum sp.</i>	Naranjilla	I	22	-	-
Tilliaceae	<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i> (DC.) Hochr.	Palomo/Onote	N	1, 9	1(a, c)	-
Verbenaceae	<i>Lantana achyranthifolia</i> Desf.	Apple	N	1, 2	-	-
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	Cinconegritos/capitaneja	N	1, 2, 4	1(d)	-
Verbenaceae	<i>Lippia graveolens</i> Kunth	Oregano	N	1, 2, 3	1(d)	-

## **CAPITULO IV**

Moreno-Calles A, Casas A (2010) Agroforestry systems: Perspectives for restoration of semiarid zones of the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Ecological Restoration* 38: 361-368.

# Agroforestry Systems: Restoration of Semiarid Zones in the Tehuacán Valley, Central Mexico

*Ana Isabel Moreno-Calles and Alejandro Casas*

## ABSTRACT

We reviewed ecological and ethnobotanical information on forests and agroforestry systems of the Tehuacán Valley, central Mexico, to analyze the usefulness of traditional management techniques for ecological restoration of semiarid zones of Mexico. Agroforestry systems of the region involve the use of multiple plant resources by local people, promoting conservation of biological diversity in agricultural systems. We found that these systems retain 57% of the species of columnar cacti communities and nearly 94% of the dominant columnar cacti's genetic variation. Other species include shrubs and trees with cultural and economic value that are also recognized by ecologists as nurse plants crucial for seedling recruitment of numerous native plant species. Retention of native elements of vegetation in general, and nurse plants in particular, favors conservation of biodiversity and biotic interactions important for restoring vegetation and soil fertility in both natural and transformed ecosystems at the landscape level.

## RESUMEN

Se revisó información ecológica y etnobotánica sobre bosques y sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán, en el centro de México, con el fin de analizar la utilidad de las técnicas de manejo tradicional para la restauración de zonas semiáridas de México. Los sistemas agroforestales de la región involucran el uso de múltiples recursos vegetales por la gente del área, promoviendo la conservación de la diversidad biológica en los sistemas agrícolas. Estimamos que estos sistemas mantienen en promedio 57% de las especies presentes en las comunidades de cactáceas columnares, y cerca del 94% de la diversidad genética de las especies de cactáceas columnares dominantes. Entre las especies mantenidas en estos sistemas se incluyen algunas especies de árboles y arbustos de valor cultural y económico, los cuales son además reconocidos por ecólogos como plantas nodrizas cruciales para el reclutamiento de plántulas de numerosas especies de plantas nativas. El mantenimiento de elementos nativos de la vegetación en general y de plantas nodrizas en particular favorece la conservación de la biodiversidad y de interacciones bióticas importantes para la restauración de la vegetación y de la fertilidad del suelo tanto en ecosistemas naturales como transformados a nivel de paisaje.

**Keywords:** arid environments, biodiversity conservation, ecosystem management, Tehuacán Valley, traditional plant management

**Palabras clave:** conservación de biodiversidad, manejo de ecosistemas, Valle de Tehuacán, zonas áridas

The Tehuacán Valley is a semiarid region of central Mexico recognized as a major reservoir of biological diversity for the semiarid areas of North America (Dávila et al. 2002). This area encompasses diverse ecosystems, including 36 types of plant associations (Valiente-Banuet et al. 2009) with nearly 2,800 plant species (Dávila et al. 2002). Among the plant associations, columnar cacti

forests are both ecologically and culturally important (Valiente-Banuet et al. 2000). The region's great heterogeneity of soils, geoforms, and climate variations have shaped the landscape's biodiversity, but the area has also been strongly influenced by humans, who have occupied the area for almost 12,000 years (MacNeish 1967). Archaeologists working in the Tehuacán Valley have found some of the earliest evidence of plant domestication and agriculture in the New World (MacNeish 1967), and it is one of the areas of Mesoamerica where interactions between humans and

nature since prehistory to the present have been well documented (Blancas et al. 2009). Human beings modified the local ecosystems initially through hunting and gathering, and later through agriculture (since approximately 7,000 years ago, according to MacNeish 1967).

The Tehuacán Valley is predominantly rural with a complex matrix of environments including 1) natural vegetation, with 36 forest types where nearly 2,800 plant species have been recorded (Dávila et al. 2002) and where people practice gathering and free-ranging livestock production

using nearly 1,300 plant species (Lira et al. 2009); 2) crop fields, which are associated with fragments of wild vegetation managed as agroforestry systems; and 3) irrigated agricultural areas, mainly in the alluvial valley of the Salado River, originally dominated by smooth mesquite (*Prosopis laevigata*) and currently dominated by sugarcane (*Saccharum officinarum*) fields under intensive management; and 4) villages with houses and home gardens typically harboring numerous domesticated and wild plant species (Casas et al. 2008). Intensification in forest exploitation and agricultural and livestock production is currently occurring in the Tehuacán Valley, resulting in overexploitation of specific resources and the progressive degradation of forest and agricultural lands and quality of life in rural communities (Valiente-Banuet et al. 2006). It is important that we develop restoration strategies that maintain biological diversity and at the same time improve the living conditions of the local population.

Local natural resource management in the Tehuacán Valley has a long history and constitutes a solid basis for technological innovation for the use, conservation, and restoration of local ecosystems (Casas et al. 2001). Agroforestry systems are examples of management techniques favoring the maintenance of biological diversity while also providing a number of plant resources and ecosystem services to people (Moreno-Calles et al. 2008). In this study we review ecological and ethnobotanical research in order to analyze the potential of agroforestry systems as a basis for restoration in the Tehuacán Valley and other arid areas of Mexico.

## Methods

We reviewed and collected data on plant species richness and diversity in native forests and agroforestry systems of the semiarid zones of the Tehuacán Valley, particularly in the cactus forests called chichipera, dominated

by chichipe (*Polaskia chichipe*) and chende (*P. chende*); jiotillal, dominated by jiotilla (*Escontria chiotilla*) (Valiente-Banuet et al. 2000); and garambullal, where green garambullo (*Myrtillocactus schenckii*) is the most abundant species (Blancas et al. 2009). We sampled vegetation in 14 plots (each 500 m<sup>2</sup>) at three villages in forests and agroforestry systems (Moreno-Calles et al. 2010).

To assess interactions with nurse plants, we relied on both field observations and literature reviews. Our research team sampled sites to identify nurse plant associations of papalometl (*Agave potatorum*), chichipe, chende, pitaya (*Stenocereus pruinosis*), and xoconostli (*S. stellatus*). We also reviewed published studies on tree and shrub species functioning as nurse plants as well as the plant species observed benefiting from this interaction (especially the review by Valiente-Banuet and Verdú 2007). Plant nomenclature follows the International Plant Names Index (PNP 2010).

In addition, we collected ethnobotanical data on use and management of nurse plant species. With this information, we created the Plant Resources of the Tehuacán-Cuicatlán Valley Database at the Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO) in collaboration with the Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO–Facultad de Estudios Superiores Iztacala) and the Instituto de Biología botanical garden, all institutions belonging to the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Finally, we gathered sociocultural data through semi-structured interviews with 30 residents of the village of San Luis Atolotitlán about their decisions to let certain plants remain in agroforestry systems.

## Results

### *Traditional Management and Associated Plant Species Diversity*

In the dry zones of the Tehuacán Valley, the most important agroforestry systems are those associated

with the columnar cacti forests (sensu Valiente-Banuet et al. 2000), particularly those resulting from clearing the forests in the chichipera, jiotillal, and garambullal areas as mentioned above. Vegetation sampling conducted in both forests and agroforestry systems found that on average garambullal retain 57% of the forest plant species (Moreno-Calles et al. 2010). Some agroforestry systems harbor more species than surrounding forests owing to the presence of domesticated plants and wild species introduced from other forests within the region.

Such high plant diversity is associated with different traditional agroforestry practices that favor ecological processes, allowing the conservation and restoration of diversity. In agroforestry systems, a high number of perennial woody plant species can sometimes increase the abundance of desirable species. Diversity is further increased because people sow seeds or vegetative propagules of many native and non-native species for living fences that surround the fields, in natural vegetation patches, in areas planted to control soil erosion, and around isolated trees inside the fields (Casas et al. 2008).

Moreno-Calles and others (2010) documented that local people of the Tehuacán Valley have several motives for allowing or propagating diverse plant species on their land. Among the most important reasons, the authors identified 1) collective agreements and regulations to protect rare species that influence collection techniques and place restrictions on the amounts of plant resources used, such as cutting from adult plants of some species; 2) use of products from protected plant species; 3) provision of fodder and fuel wood; 4) availability of shady areas for resting during field work; 5) prevention of soil erosion; and 6) aesthetics.

Of the total number of plant species recorded in agroforestry plots, only a fraction is useful and an even smaller fraction is managed. For instance, in the agroforestry system derived from chichipera forests where a total of 131

**Table 1. Nurse plant species, uses, and number of species benefitting from association, as reported in the literature (Ruiz 2007, Valiente-Banuet and Verdú 2007, Rangel-Landa 2009, Ríos 2009). The information on uses is from the database “Plant Resources of Tehuacán-Cuicatlán Valley” created by the collaboration of institutions of the Universidad Nacional Autónoma de México.**

Family	Species	Uses	Associated species
Mimosaceae	<i>Mimosa luisana</i>	Food and firewood	57
Verbenaceae	<i>Lippia graveolens</i>	Fodder, food, firewood, medicinal, handcraft, stimulant, utensils, domestic use	45
Malpighiaceae	<i>Mascagnia seleriana</i>	None documented	36
Mimosaceae	<i>Acacia constricta</i>	Fodder, food, firewood, medicinal, colorant, and erosion control	34
	<i>A. coulteri</i>	Fodder, firewood, and handcraft	32
	<i>Calliandra eriophylla</i>	Firewood, wood, and construction	28
	<i>Mimosa lacerata</i>	Fodder, firewood, and living fence	25
Caesalpinaceae	<i>Senna wislizeni</i>	Fodder, firewood, construction, and wood	25
Anacardiaceae	<i>Pseudosmodingium multifolium</i>	Fodder, firewood, medicinal, poison, and handcraft	25
Asteraceae	<i>Gochnatia hypoleuca</i>	Fodder and firewood	24
Cactaceae	<i>Opuntia decumbens</i>	Fodder, food, firewood, medicinal, and erosion control	24
	<i>Cephalocereus columna-trajani</i>	Fodder, food, firewood, wood, construction, and ornamental	22
Agavaceae	<i>Yucca periculosa</i>	Food, firewood, ornamental, fibers, handcrafts, ceremonial, and utensil	21
Malpighiaceae	<i>Echinopterys eglandulosa</i>	Fodder, medicinal, and poison	18
Mimosaceae	<i>Caesalpinia melanadenia</i>	Fodder and medicinal	17
Caesalpinaceae	<i>Parkinsonia praecox</i>	Fodder, firewood, medicinal, ornamental, saponiferous, and shade	17
Simaroubaceae	<i>Castela tortuosa</i>	Fodder, food, medicinal, wood, construction, and living fence	16
Dracaenaceae	<i>Beaucarnea gracilis</i>	Wood, construction, ornamental, ceremonial, and utensil	15
Euphorbiaceae	<i>Manihotoides pauciflora</i>	Fodder and medicinal	15
Cactaceae	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	Fodder, firewood, medicinal, wood, construction, and ornamental	14
Euphorbiaceae	<i>Cnidioscolus tehuacanensis</i>	Fodder, food, medicinal, and poison	12
Cactaceae	<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Fodder, food, and ornamental	12
	<i>Neobuxbaumia macrocephala</i>	Fodder, food, wood, and construction	12
Celastraceae	<i>Schaefferia stenophylla</i>	None documented	11
Asteraceae	<i>Viguiera</i> spp.	Fodder	11

plant species were recorded, people recognized 45% of them as useful, but protect, favor, or cultivate only 15 species (11.45%). This information appears to support the “associated diversity” described by Perfecto and Vandermeer (2008), who found that management focused on maintaining some plant diversity also fostered an “unmanaged” diversity.

Associated diversity is particularly evident in the cases of useful and managed nurse plant species. In arid and semiarid zones, nurse plants provide protection and favorable microenvironments for germination and growth of their own seedlings and those of other species. This type of interaction has been well documented for several species of shrubs, cacti, agave, and

other succulent plants of the Tehuacán Valley (Ruiz 2007, Rangel-Landa 2009, Ríos 2009) (Table 1). Shrubs acting as nurse plants improve environmental conditions for recruitment, growth, and survival of seedlings of numerous species under their canopies by decreasing solar radiation and mean daily temperature, creating fertility islands, and protecting them from herbivores (Valiente-Banuet and Ezcura 1991). In agroforestry systems derived from chichipera forest, patches of vegetation are visible in the center of agricultural fields where several species of columnar cacti such as chichipe, chende, green garambullo, xoconostli, and pitaya are left standing, along with other species functioning as nurse plants. Most of these plant species

are used by people, mainly as fodder (72%) and fuel wood (68%) (Table 1). Among these species, white coahuate (*Ipomoea arborescens*), Mexican oregano (*Lippia graveolens*), and cat’s claw (*Mimosa luisana*) are left standing for their high cultural and economic value or their role as nurse plants.

In the interviews we conducted, local people said that they allowed individuals of these trees and shrubs in the center of their fields when they observed valuable cacti and agave under their canopy (Moreno-Calles et al. 2010). Maintaining chichipe in agricultural fields facilitates the recruitment of other plant species including those tolerated and enhanced by people (Figure 1). Other species of nurse plants may provide direct or

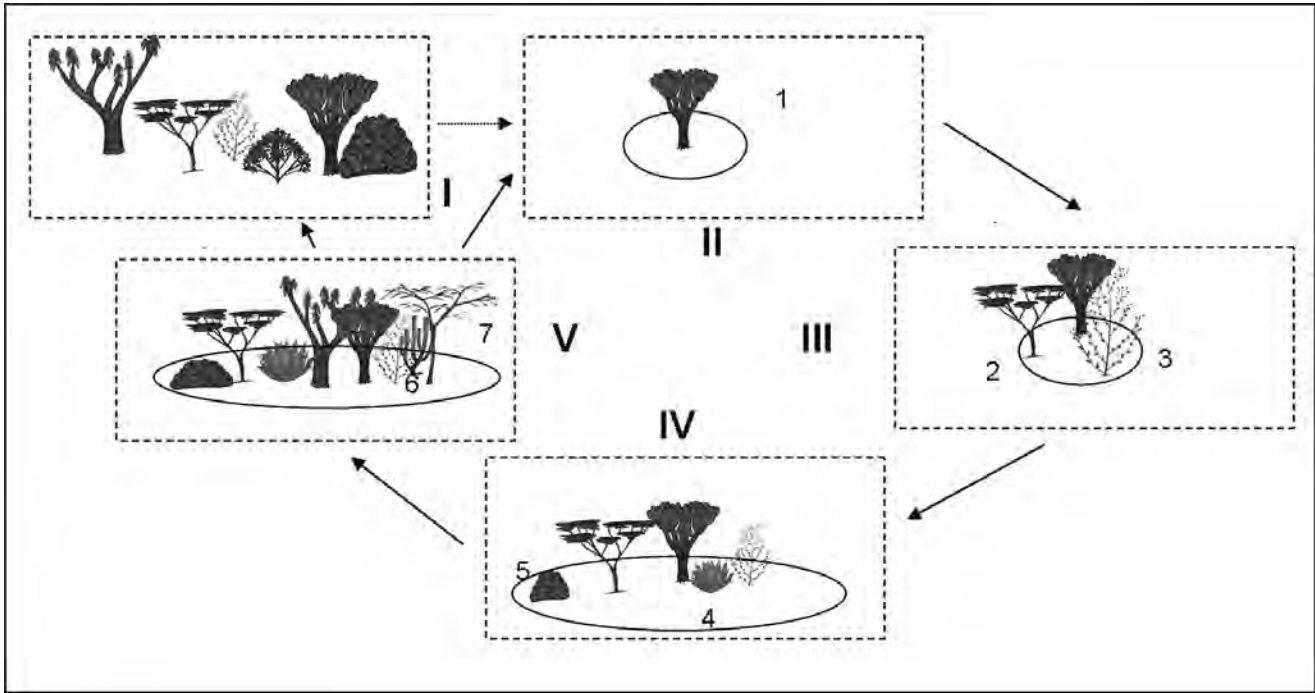


Figure 1. Sequence of vegetation development in the corn-chichipera traditional agroforestry system. Stage I is the original vegetation, which in stage II is cleared for agriculture, leaving the species most valued by farmers in the center of the plots: (1) chichipe (*Polaskia chichipe*). In stage III, farmers allow the establishment of other species, such as (2) cat's claw (*Mimosa luisana*) and (3) Mexican oregano (*Lippia graveolens*), which are originally not tolerated in the center of the plots or eliminated if they are found alone. In stage IV, these species are considered more important as nurse plants in the Tehuacán Valley, because they aid the establishment of other cactus species such as (4) biznaga (*Ferocactus robustus*) and (5) potrero agave (*Agave scaposa*) that are removed from the center of the plot by the farmers. In stage V, a large number of species can be found: native species like (6) xoconostli (*Stenocereus stellatus*) and invasive weeds as well as plants introduced by the farmers such as (7) red guaje (*Leucaena esculenta*). Subsequent to this stage, farmers can maintain the composition of the islands of vegetation through thinning, and the vegetation can return to stage II, or the islands can be gradually be abandoned to return to a condition close to the original stage I.

indirect benefits. For instance, candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) and ocotillo (*Gochnatia hypoleuca*) are relevant species benefiting the mescal agave papalometl (*Agave potatorum*), an economically important endangered species. Human intervention enhancing different stages of the papalometl life cycle (Torres 2009) may contribute to population recovery, and favoring its nurse plants contributes to this purpose (Rangel-Landa 2009).

Two other management actions that favor the maintenance and restoration of biodiversity in the region are removing barriers or limitations for recruitment through transplanting juvenile or adult individuals and introducing and nurturing propagules of desirable species. In areas not severely disturbed, the addition of seeds or vegetative propagules of native species, particularly endangered

ones, may help to hasten their recovery (Young 2005). Some documented agroforestry practices include 1) protection of copal (*Bursera copallifera*) and azomaque (*Rhus virens*), appreciated by local people for production of aromatic resin and as fodder and shade, respectively; 2) transplanting of juvenile plants and branches of adult plants of columnar cacti such as pitaya, chende, and chichipe to safe sites or to the edge of a parcel; and 3) propagation of seeds and nurturing of seedlings and juveniles of such species as red guaje (*Leucaena esculenta*) and mesquite (*Prosopis laeviagata*).

#### Genetic Variation, Gene Flow, and Landscape Connection

Human beings may modify the genetic variation of populations and composition of plant communities by altering processes such as reproduction, dispersal, or recruitment of new individuals

(Young 2005). When interactions such as facilitation by nurse plants, pollination, and seed dispersal are negatively affected, plants with a short life cycle may rapidly disappear, and those with longer life cycles may experience what Janzen (2001) has called a "living death," in which adult plants continue to live but do not reproduce. Understanding which management practices allow the persistence of these biotic interactions is therefore crucial.

Bats, birds, and humans determine the gene flow among populations of columnar cacti by influencing the movement of pollen, seeds, and asexual propagules (Casas et al. 2007, Blancas et al. 2009). The maintenance of gene flow among vegetation patches through traditional management practices has been documented for xoconostli, pitaya, jiotilla, chende, and chichipe in the Tehuacán Valley (Casas et al. 2007). Studies comparing

genetic variation of wild populations and those managed in agroforestry systems indicate that on average, 94% of the genetic variation found in wild populations occurs in managed populations, and in species such as xoconostli it can be higher. All studies so far have found high gene flow and low differentiation between wild and agroforestry-managed populations (Otero-Arnaiz et al. 2003, Tinoco et al. 2005, Blancas et al. 2009, Casas et al. 2007, Parra et al. 2008). This is due, in part, to pollination by bats and bees and seed dispersal by several species of birds and bats (Valiente-Banuet 2002). But genetic variation is also influenced by human management, since the continuous replacement and introduction of new individual plants favor genetic variation. The introduction of seeds and vegetative propagules from wild plants and artificial selection of plants that produce more flowers and fruits benefit pollination and dispersal and, therefore, gene flow among populations (Arias-Cóyotl 2006, Parra et al. 2008).

Plant species differ according to their life histories and interactions with other plant and animal species. For instance, species of the genus *Stenocereus* are pollinated by bats (Casas et al. 2007), and their seeds and seedlings have higher water requirements to germinate and survive than other columnar cacti species; however, the plants propagate vegetatively, and grow relatively fast. In contrast, other species of columnar cacti, such as jiotilla (Oaxaca-Villa et al. 2006), chende and chichipe (Cruz and Casas 2002, Otero-Arnaiz et al. 2003, Oaxaca-Villa et al. 2006), and green garambullo (Ortíz et al., forthcoming), are pollinated by bees, having lower pollen mobility than *Stenocereus* species. Their seeds and seedlings have lower requirements for water and become established more easily than those of *Stenocereus*; however, their vegetative propagation is more limited and their growth much slower than in *Stenocereus*. Plant species relying

for pollination and seed dispersal on animals that travel only short distances are particularly benefited by agroforestry systems, which connect isolated wild fragments at the landscape level (Leakey 1999).

### **Livestock and Diversity Conservation**

Livestock production has been considered one of the main causes of degradation in arid zones, but it is also an important economic activity providing 50% to 80% of the household income in these areas throughout the world (Leakey 1999). In the Tehuacán Valley, Baraza and Valiente-Banuet (2008) analyzed the role of goats as seed dispersers of several cacti species, finding that in forested areas (and probably also in agroforestry systems where goats frequently forage), these animals effectively disperse the seeds of some plant species, substituting for natural dispersers that have disappeared owing to natural habitat disturbance. This study suggests that domesticated animals could be used to support the restoration of some plant species in agroforestry systems.

### **Conserving and Recovering Soil Fertility**

In arid zones, traditional agriculture conserves soil through different techniques, including crop rotation, extended fallow periods, and conservation of original vegetation cover (Wilken 1977, Altieri and Nicholls 2000). However, in some areas, these practices have been modified owing to intensification of land use associated with the increasing commercialization of agricultural products. As a result, fallow periods may be reduced or eliminated, the area cultivated increased, and the area of vegetative cover inside the parcels decreased (Barrow 1996). These changes decrease soil fertility and change soil structure, and result in a lower capacity for long-term agricultural use and fewer possibilities for restoring the original vegetation (Reynolds et al. 2005).

Rain-fed agriculture practiced in these areas uses a shifting system, which leaves parcels to recover when soil fertility decreases and causes new areas to be cleared of forests. Shifting agricultural systems are regulated by multiple factors and create complex problems that require attention to issues of social organization and institutions, land tenure, economic assistance, and policy. In these solutions, traditional management techniques associated with agroforestry systems may play an important role.

When people perceive a decrease in soil fertility, they commonly leave whole or partial parcels to lie fallow from one year to several decades. During fallow periods, parcels are first occupied by pioneer plants such as pipiote flower (*Senna galeottiana*), cubata (*Acacia cochliacantha*), and cat's claw, which become established rapidly in fallow parcels that modify the soil and microenvironmental conditions, favoring the establishing of other plant species and the recovery of organic matter, soil structure, and fertility. Also, people propagate branches of pitaya and xoconostli and seeds of legume trees like mesquite. This practice is reinforced by the encouragement of plant species considered good-quality fodder (Moreno-Calles et al. 2010).

Such practices can favor rapid recovery of soil fertility, since columnar cacti and several species of *Mimosa* (Mimosaceae) have documented mycorrhizal associations (Reyes-Quintanar et al. 2008). These plants are good for trapping mycorrhiza spores and have higher soil fertility under their canopies than surrounding areas, forming fertility islands (Camargo-Ricalde and Dhillion 2003). Another practice that favors soil recovery is retaining native trees such as black and white coahuates and introducing coahuino (*Schinus molle*), all of which are pruned during both fallow and cultivation periods, their leaves enriching the soil organic matter. Finally, a common agroforestry practice in the



region is the fostering of individual potrero agave (*Agave scaposa*), puya agave (*A. salmiana*), and pitzometl agave (*A. marmorata*), which are transplanted to the edges of parcels or terraces in order to increase soil and water retention, and to provide food (flower buds), fodder, fuel (leaves), and wood (scape).

## Recommendations and Conclusions

Traditional agroforestry systems of the region are endangered because of 1) the transformation and loss of traditional ecological knowledge; 2) changes in traditional practice; 3) intensification of agriculture; 4) overgrazing of forest and agroforestry areas, resulting in vegetation cover and plant diversity reductions and soil degradation; and 5) economic migration influencing cultural and land use changes. All these processes create threats to agroforestry systems. Areas used as agroforestry systems have the potential to restore biotic communities similar to the forests from which the agroforestry systems derive. We suggest the following four principles for guiding action:

*Determine a desirable alternative state.* Restoration may achieve several possible alternative states, particularly in arid zones, which are characterized by high ecological uncertainty. Defining alternative states should take into account the knowledge, needs, values, and preferences of local people through participatory approaches, in addition to the biophysical and ecological information obtained through research. From an ecological perspective, some desirable characteristics include species diversity and genetic variation, vegetation cover, maintenance of a broad spectrum of life forms, functional groups, key species, high microbial diversity and biomass, high productivity and biomass of the system, high soil organic matter, and efficiency and conservation of water and soil nutrients.

*Determine priority functions and processes to be restored.* For highly degraded agroforestry systems, it is often necessary to promote soil recovery and introduce native plants that can establish in severely eroded soils and have low requirements for shade and water and are resistant to salinity. Ideal plants also have a high use value and beneficial interactions with other plant and animal species in order to favor diversity in subsequent steps of the process (for instance, cat's claw, referred to above).

In cases in which inbreeding and genetic drift are problems, populations with high genetic variation may be used as sources of individual plants to enrich the managed populations. Other key activities include the identification of rare genotypes that could be protected in managed populations (for example, the case of pitaya referred to above), and, whenever possible, vegetative propagation of genetically diverse propagules. It is also important to pursue propagation of seeds of the desirable species in nurseries for transplanting to agroforestry systems and areas of disturbed forest.

*Determine the most feasible intervention.* This will be an intervention supported by local people and other stakeholders, as well as agroecological and ethnoecological research.

*Support participatory monitoring of restoration actions.* Restoration actions should be designed based on an adaptive management approach requiring a systematic evaluation in order to learn how to improve future actions. Participation of researchers, local people, and NGOs is important.

The Tehuacán Valley is a zone of high biological and cultural diversity threatened by complex environmental problems. The restoration of local ecosystems can be aided by knowledge and technology developed by native cultures over centuries. This knowledge and technical experience are expressed in agroforestry systems, which offer important ecosystem services, including providing pollen and

seeds for maintaining gene flow among managed and wild populations in the surrounding forests, and for restoring both agroforestry and disturbed forest areas. Local knowledge and techniques can inspire restoration techniques. In addition, restoration of plants, biotic communities, and ecosystems are relevant to maintaining human cultural processes, just as maintaining traditional knowledge and technology is crucial for maintaining and restoring local ecosystems. Research directed at documenting traditional ecological knowledge and techniques can contribute significantly to creating solid bases for conservation and restoration of local ecosystems.

## References

- Altieri, M.A. and C.I. Nicholls. 2000. Agricultura tradicional y conservación de la biodiversidad. Chapter 9 of *Agroecología: Teoría y Práctica para una Agricultura Sustentable*, 1st ed. Mexico City: PNUMA. [www.ambiente.gov.ar/infotecaea/descargas/altieri01.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/infotecaea/descargas/altieri01.pdf)
- Arias-Cóyotl, E., K.E. Stoner and A. Casas. 2006. Effectiveness of bats as pollinators of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in wild, managed *in situ* and cultivated populations in la Mixteca Baja, Central México. *American Journal of Botany* 93:1675–1683.
- Baraza, E.A. and A. Valiente-Banuet. 2008. Seed dispersal by domestic goats in semiarid thornscrub of México. *Journal of Arid Environments* 72:1973–1976.
- Barrow, E. 1996. *The Drylands in Africa: Local Participation in Tree Production*. Nairobi, Kenya: Initiatives Publishers.
- Blancas, J., A. Casas, R. Lira and J. Cabañero. 2009. Traditional management and morphological patterns of *Myrtillocactus schenckii* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central México. *Economic Botany* 63:375–387.
- Camargo-Ricalde, S.L. and S.S. Dhillion. 2003. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal “resource islands” within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Mycorrhiza* 13:129–136.
- Casas, A., A. Otero-Arnaiz, E. Pérez-Negrón and A. Valiente-Banuet. 2007. *In situ* management and domestication of plants of Mesoamerica. *Annals of Botany* 100:1101–1115.

- Casas, A., S. Rangel-Landa, I. Torres-García, E. Pérez-Negrón, L. Solís et al. 2008. *In situ* management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México: An ethnobotanical and ecological perspective. Pages 1–24 in U.P. de Albuquerque and M. Alves Ramos (eds), *Currents Topics in Ethnobotany*. Kerala, India: Research Signpost.
- Casas, A., A.Valiente-Banuet, J. Viveros and J. Caballero. 2001. Plant resources of the Tehuacán Valley, México. *Economic Botany* 55:129–166.
- Cruz, M. and A. Casas. 2002. Morphological variation and reproductive biology of *Polaskia chende* (Cactaceae) under domestication in Central Mexico. *Journal of Arid Environments* 51:561–576.
- Dávila, P., M.C. Arizmendi, A. Valiente-Banuet, J.L. Villaseñor, A. Casas et al. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity & Conservation* 11:421–442.
- Janzen, D.H. 2001. Latent extinctions: The living dead. Pages 689–699 in S.A. Levin (ed), *Encyclopedia of Biodiversity*, vol. 3. New York: Academic Press.
- Leakey, R. 1999. Agroforestry for biodiversity in farming systems. Pages 127–145 in W.W. Collins and C.O. Qualset (eds), *Biodiversity in Agroecosystems*. New York: CRC Press.
- Lira, R., A. Casas, R. Rosas, M. Paredes, E. Pérez-Negrón et al. Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. 2009. *Economic Botany* 63:271–287.
- MacNeish, R.S. 1967. A summary of subsistence. Pages 290–309 in D.S. Byers (ed), *Environment and Subsistence*. Vol. 1 of *The Prehistory of the Tehuacán Valley*. Austin: University of Texas Press.
- Moreno-Calles, A. and A. Casas. 2008. Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del Valle de Tehuacán. *Zonas Áridas* 12(1):13–35.
- Moreno-Calles, A., A. Casas, J. Blancas, I. Torres, O. Masera et al. 2010. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: The case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central México. Unpublished manuscript in review for *Agroforestry Systems*.
- Oaxaca-Villa, B., A. Casas and A. Valiente-Banuet. 2006. Reproductive biology in wild and silvicultural management populations of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53:277–287.
- Ortíz, F., K. Stoner, E. Pérez-Negrón and A. Casas. Forthcoming. Pollination biology of *Myrtillocactus schenckii* (Cactaceae) in wild and managed populations of the Tehuacán Valley, México. *Journal of Arid Environments*.
- Otero-Arnaiz, A., A. Casas, M.C. Bartolo, E. Pérez-Negrón and A. Valiente-Banuet 2003. Evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacán Valley, Central México: Reproductive biology. *American Journal of Botany* 90:593–602.
- Parra, F., N. Pérez-Nasser, D. Pérez Salicrup, R. Lira and A. Casas. 2008. Populations genetics and process of domestication of *Stenocereus pruinosus* in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Arid Environments* 72:1997–2010.
- Perfecto, I. and J. Vandermeer. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: New conservation paradigm. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134:173–200.
- Plant Names Project (PNP). 2010. International Plant Names Index [accessed 5 May 2010]. www.ipni.org
- Rangel-Landa, S. 2009. Germinación y establecimiento de *Agave potatorum* Zucc. en el Valle de Tehuacán: Bases ecológicas para la restauración. MS thesis, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.
- Reyes-Quintanar, K., A. Alarcón, R. Ferrera-Cerrato and S. Rodríguez-Zaragoza. 2008. Microorganismos asociados a la rizosfera de una población de *Neobuxbaumia tetetzo* establecida en una zona árida del estado de Puebla, México. Pages 219–242 in N.M. Montaña, S. Camargo, R. García Sánchez and A. Monroy (eds), *Micorrizas Arbusculares en Ecosistemas Áridos y Semiáridos*. Mexico City: Mundi-Prensa.
- Reynolds, J.F., F.T. Maestre, E. Huber-Sannwald, J. Herrick and P.R. Kemp. 2005. Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación. *Ecosistemas* 3:1–19.
- Ríos, M. 2009. Limitaciones en el reclutamiento de *Neobuxbaumia macrocephala*: Un análisis de las interacciones a través de su ciclo reproductivo. MS thesis, Instituto de Ecología, UNAM.
- Ruíz, N. 2007. Interacciones ecológicas entre cactáceas columnares y plantas perennes a lo largo de un gradiente de estrés. MS thesis, Instituto de Ecología, UNAM.
- Tinoco, A., A. Casas, R. Luna and K. Oyama. 2005. Population genetics of wild and silvicultural managed populations of *Escontria chiotilla* in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52:525–538.
- Torres, I. 2009. Manejo sustentable y dinámica poblacional de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán. MS thesis, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.
- Valiente-Banuet, A. 2002. Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares. *Revista Chilena de Historia Natural* 75:99–104.
- Valiente-Banuet, A., A. Casas, A. Alcántara, P. Dávila, N. Flores-Hernández et al. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67:25–74.
- Valiente-Banuet, A., A. Casas, P. Dávila, M.C. Arizmendi, L. Solís et al. 2009. *Guía de la Vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Mexico City: UNAM.
- Valiente-Banuet, A., P. Dávila, A. Casas, M.C. Arizmendi and J. Ortega-Ramírez. 2006. Diversidad biológica y desarrollo sustentable en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Pages 248–277 in K. Oyama and A. Castillo (coords), *Manejo, Conservación y Restauración de Recursos Naturales en México*. Mexico City: UNAM.
- Valiente-Banuet, A. and E. Ezcura. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ecology* 79:961–971.
- Valiente-Banuet, A. and M. Verdú. 2007. Facilitation can increase phylogenetic diversity of plant communities. *Ecology Letters* 10:1029–1036.
- Wilken, G.C. 1977. Integrating forest and small-scale farm systems in middle-America. *Agro-Ecosystems* 3:291–302.
- Young, T.P. 2005. The ecology of restoration: Historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecology Letters* 8:662–673.

---

*Ana Isabel Moreno Calles is a student in the PhD Program on Biological Sciences of the Universidad Nacional Autónoma de México. She can be reached at nakari@oikos.unam.mx, Apartado Postal 27-3 (Santa*

*María de Guido), Morelia, Michoacán 58190, México.*

*Alejandro Casas, PhD (corresponding author), is a researcher at the Centro de Investigaciones en Ecosistemas at the Universidad Nacional Autónoma de México,*

*directing the laboratory of ecology and evolution of plant resources. He can be reached at acasas@oikos.unam.mx, Apartado Postal 27-3 (Santa María de Guido), Morelia, Michoacán 58190, México.*

---

## **DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES**

## DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

En este trabajo estudiamos el manejo que los y las campesinas realizan en los sistemas agroforestales (SAF) de cactáceas columnares en el Valle de Tehuacán (VTC) y sus cambios y consecuencias de éstos en distintos aspectos de la diversidad biológica de plantas y en la subsistencia de las familias y de las comunidades humanas a las que pertenecen. Se abordaron cuatro preguntas generales sobre: 1. La capacidad de los SAF para conservar diversidad de plantas nativas; 2. los procesos socio-económicos y culturales que determinan las decisiones de manejo de los SAF; 3. Los cambios que sufren los SAF y su efecto en el aprovechamiento y conservación de la biodiversidad; y 4. Los SAF como base para el desarrollo de procesos de conservación, recuperación de la biodiversidad y la satisfacción de las necesidades humanas.

### **1. La capacidad de conservación de biodiversidad de plantas de los AFS de cactáceas columnares del VTC**

Los sistemas “tradicionales”<sup>1</sup> *sensu* Berkes y Folke (2002) ó de “modernidad alternativa” *sensu* Toledo y

---

<sup>1</sup> El término “tradicional” se ha entendido desde la racionalidad occidental, como una condición estática en la que los y las campesinas y pastoras son entes pasivos que en un contexto de realidad cambiante manejan “irracionalmente” a sistemas de uso de la tierra, este manejo se considera como pertinente en un contexto pasado pero que frente a los cambios actuales carece de sentido. Toledo y Barrera-Bassols (2008), realizan una crítica a esta forma de conceptualizarlos y los llaman entonces como sistemas de la modernidad alternativa, porque son el resultado de experiencias acumuladas, vivientes y actantes, los cuales son pertenecientes a otra racionalidad alternativa y han logrado su mantenimiento y perpetuación mediante la transformación, la aprehensión, la asimilación y la

Barrera-Bassols (2008), han sido caracterizados como sistemas de uso de la tierra a pequeña escala, con poco uso de insumos externos, dirigidos a la autosubsistencia, e integrados a estrategias de manejo más amplias (Toledo 1990; Pretty 1995). En Latinoamérica más de dos y medio millones de hectáreas se encuentran bajo agricultura tradicional de temporal, policultivos, y sistemas agroforestales, y éstos constituyen los mayores reservorios *in situ* del germoplasma de plantas cultivadas y numerosas silvestres (Altieri 2001). El manejo de la diversidad biológica es una de las características más sobresalientes de estos sistemas, ya sea a partir del manejo de los paisajes agroforestales, forestales y agrícolas, de la diversidad en prácticas de manejo, de las plantas silvestres y cultivadas e incluso de la diversidad genética de algunas especies en particular (Jackson *et al.* 2007).

Estos sistemas determinan interacciones positivas entre los seres humanos y la naturaleza, lo que Boege (2008) ha denominado *conservación de facto*. Debido a lo anterior, durante las últimas décadas se han considerado los sistemas tradicionales como formas de uso de la tierra que pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad, al mismo tiempo que satisfacen las estrategias de subsistencia local (Altieri 2001; Schroth *et al.* 2004). Se ha estimado que entre el 50 y el 80% de riqueza regional de plantas

---

agregación de elementos provenientes del entorno propio y ajeno. Este término es usado de manera análoga por autores como Berkes y Folke (2002) prefieren seguir manejando el termino” tradicional” como referencia a una continuidad histórica y cultural, pero que al mismo tiempo reconoce que las sociedades campesinas e indígenas están en procesos de cambio dinámico, redefiniendo constantemente lo que consideran como “tradicional”.

podría ser conservado en los SAF tradicionales, tropicales y mesoamericanos (Noble y Dirzo 1997) y que alrededor del 60% de la riqueza de plantas encontrados en los bosques podrían mantenerse en estos SAF (Wilken 1977; Leakey 1999; Altieri y Nicholls 2000; Backes 2001; Bhagwat *et al.* 2008). Este patrón también se encontró en los AFS de cactáceas columnares estudiados en el Valle de Tehuacán, donde en promedio 59% de las especies nativas de chichipera, garambullal y jiotillal se registraron en los SAF (Ver Capítulo II). Lo anterior puede deberse a que los sistemas de bosques de los cuales se derivan los SAF tienen alta riqueza de plantas (garambullal 122 spp.; chichipera 74 spp. y jiotillal 54 spp.). Esta ha sido sugerida por Scales y Mardsen (2008) como una explicación del elevado número de especies encontradas en los SAF tropicales en general, y permite explicar en parte el patrón encontrado en esta región semiárida. La lógica subyacente es que mientras mayor riqueza de plantas tenga el sistema de origen, existe mayor probabilidad de tolerar un mayor número de especies en los sistemas derivados de ellos.

Otra característica registrada en los SAF de cactáceas columnares es una riqueza y diversidad de plantas similar a la de los sistemas de bosque, en el caso del garambullal incluso más elevada. La similitud entre los bosques de cactáceas y los AFS suele ser alrededor del 30%. En este patrón pueden incidir varios elementos; primero, la similitud entre dos muestras de bosque de cactáceas de la misma asociación vegetal suele oscilar entre el 40 y el 50%, es decir la similitud es baja incluso en sistemas de bosque semejantes que antecedieron a los AFS. Además estos sistemas pueden enriquecerse de un rico pool de especies a nivel regional (2700 spp., de acuerdo con Dávila *et al.* 2002) y de la alta diversidad beta entre asociaciones vegetales es el VTC (Valiente-Banuet *et al.* 2000; Valiente-Banuet *et al.* 2009). Así se incorporan en los SAF plantas de distintas asociaciones vegetales a

través de procesos sucesionales (Wilken 1977; Vandermeer *et al.* 2002; Perfecto y Vandermeer 2008) ó mediante la generación de mosaicos creados por la agricultura de baja intensidad que favorecen un paisaje complejo. La heterogeneidad de ambientes puede incrementar el número de especies e incluso favorecer el establecimiento de especies que no se encuentran en los sistemas naturales (Tscharnatke *et al.* 2005). Estos argumentos contribuyen a explicar por qué la composición de los SAF y los bosques es diferente y por qué la riqueza de especies puede ser mayor en algunos SAF.

A diferencia de los sistemas silvestres, en los manejados el ser humano es quien elige la mayoría de las especies que componen el sistema, esta es la “diversidad planeada” definida por Vandermeer *et al.* (2002). Por ejemplo, en el SAF derivado de chichiperas es posible identificar que sobre el 52% de las especies se llevan a cabo prácticas de manejo. A partir de estas prácticas los y las campesinas pueden incrementar la riqueza de especies del sistema, pero además la composición de especies de árboles y arbustos puede ser muy diferente entre cada parcela de acuerdo al manejo, situación que favorece una mayor contribución de especies a escala de parcela y de paisaje (Schroth *et al.* 2004; Bhagwat *et al.* .2008). En los SAF fueron caracterizadas diversas prácticas agroforestales, siendo las más comunes los linderos, las barreras contra la erosión, las islas de vegetación y los árboles aislados, aunque estas prácticas suelen manejar un grupo específico de plantas, favorecen la heterogeneidad dentro de las parcelas, tanto por las diferencias en la selección de las especies dentro de cada práctica agroforestal, así como por las especies que pueden establecerse en estos espacios.

Los SAF del VTC con un grado intermedio de intensificación (Swift *et al.* 1996) o disturbio intermedio, pueden promover mayor diversidad de especies que sus contrapartes no manejadas (Janzen, 1973; Swift *et al.*, 1996). Grime (1973) en un modelo

clásico sobre la relación entre diversidad y disturbio planteó que la diversidad de especies es mayor en sitios con niveles intermedios de estrés y disturbio que en sitios con bajos o altos niveles de éstos. Adicionalmente, el cambio de sistemas silvestres a SAF puede incrementar la disponibilidad de recursos tales como biomasa de las plantas, flores y frutos benéficos para aves, mamíferos e insectos (Tscharnatke *et al.* 2005), incrementando a su vez la capacidad de dispersión y propagación de las plantas silvestres. Algunas especies suelen incrementar su abundancia bajo condiciones de manejo agroforestales, este es el caso de *Escontria chiotilla* y *Opuntia puberula* en los SAF de jiotillal. Aparentemente este es un patrón frecuente en plantas de la familia Cactaceae, como puede mostrarse en un estudio realizado con la cactácea globosa *Mammillaria pectinifera*, endémica al Valle de Tehuacán, la cual presenta mayor abundancia en condiciones de disturbio intermedios que en condiciones sin disturbio aparente (Martorell y Peters 2005). Es también el caso de plantas herbáceas, como se ha documentado en otros SAF en el VTC (Blanckaert *et al.* 2007), donde la riqueza de especies es mayor en los usos de la tierra con niveles intermedios de intensificación.

El tiempo de apertura de las parcelas puede explicar también las diferencias en riqueza de especies entre los SAF. Un elemento subyacente es que los SAF de chichipera y garambullal estudiados tienen historias de uso más antiguas, mientras los SAF de garambullal han sido más recientemente abiertos a la agricultura. Este proceso puede implicar que los garambullales aún mantengan numerosos elementos de la vegetación original y se incorporen además otros elementos exóticos o de la vegetación circundante, lo cual puede incrementar la riqueza de especies y la mayor cantidad de especies nativas regionales. En los sistemas de jiotillal y chichipera el proceso de selección puede ser más severo con el tiempo, sin

reposición de todos los elementos vegetales originales, debido a múltiples factores como preferencias, limitaciones tecnológicas, cambios en el régimen del clima, etc. Con ello, las especies presentes y el porcentaje de especies nativas resultan menores. Esta es una hipótesis que amerita estudios posteriores.

Los SAF son capaces de mantener diversidad a escala poblacional. Ejemplo de esto son los altos porcentajes de la diversidad genética que existen en poblaciones manejadas de especies como *Polaskia chichipe*, *P. chende* y *Escontria chiotilla* (Casas *et al.* 2006; Casas *et al.* 2008) y la alta capacidad de regeneración de algunas poblaciones de especies dominantes como *P. chichipe* en los sistemas naturales originales y que son manejadas bajo este sistema (Farfán-Heredia 2006).

No obstante esa capacidad de conservación tiene una serie de limitaciones. En las zonas áridas y semiáridas es donde se registra alrededor del 25% (6000 spp.) de las plantas vasculares mexicanas y el 60% de los endemismos del país (Rzedowski 1993), muchas especies son de mayor vulnerabilidad en comparación con las de zonas de mayor humedad, debido a que sus hábitats y abundancias son restringidas (McNelly 2003). Aunque los SAF pueden mantener riqueza y diversidad de especies y genética, su capacidad para mantener a las especies raras es limitada. Esto puede deberse a las propias características de los sistemas silvestres, en los que se puede observar un número elevado de especies que pueden ser consideradas raras (41 en chichipera, 10 en el garambullal y 16 en el jiotillal), puesto que sus abundancias son menores al 1% del total, y por lo tanto es más fácil que éstas sean vulnerables a la apertura de los campos de cultivos, a cambios en la composición de especies, o a la disminución en la cobertura vegetal en las parcelas.

La exploración de especies invasoras que pueden incrementar la riqueza de especies pero que pueden desplazar a las especies nativas en el largo plazo,

como es el caso de *Melinis repens* y *Chenopodium murale*, ameritan un estudio más profundo de las implicaciones ecológicas de las mismas.

Debido a lo anterior, los SAF deben ser considerados en una estrategia de conservación que involucre a otros usos de la tierra en la estrategia de conservación y deben ser pensados para: 1) mantener diversidad en hábitats remanentes que se encuentran dentro de paisajes abiertos; 2) como conexiones que faciliten el movimiento de las especies entre hábitats remanentes; 3) una forma de disminuir la presión debido a la obtención de recursos; 4) como una forma de amortiguar al aclareo de los sistemas silvestres; y 5) para evitar la conversión a sistemas más intensificados de uso de la tierra (Noble y Dirzo 1997; Bhagwat *et al.* 2008) y no como una estrategia aislada sólo dirigida a mantener diversidad biológica.

La expresión de la relación entre seres humanos-diversidad-manejo-conservación es verificada en términos biológicos (genes, especies, paisajes, funciones), pero esta expresión es un proceso determinado no solo en los ámbitos ecológicos y biológicos sino por la interacción de procesos sociales, económicos, políticos y culturales (Alcorn 1993). En los siguientes apartados se exploran estos elementos.

## **2. Los procesos culturales, sociales, económicos y políticos que determinan las decisiones de manejo de las plantas en los AFS**

La forma en que los seres humanos establecen sus relaciones con la naturaleza está determinada por una racionalidad, Toledo (1990) ha identificado una racionalidad ecológica en los sistemas de la “modernidad alternativa” o “tradicionales” y Leff (2004) la ha descrito como parte de una racionalidad ambiental. Toledo (2002) además ha caracterizado los elementos que incluye la racionalidad de numerosas comunidades campesinas e indígenas, y la ha definido como el complejo *kosmos-corporis-praxis* que incluye valores, percepciones, creencias (*kosmos*), que

involucran sistemas de conocimientos (*corpus*) que se expresan en decisiones y prácticas de manejo (*praxis*). Por su parte, Berkes (2001) define al conocimiento ecológico tradicional como un complejo acumulado de conocimientos, prácticas y creencias acerca de las relaciones entre las cosas vivas (incluido el ser humano) y no vivas, este complejo evoluciona por procesos adaptativos y se transmite entre generaciones por medios culturales. Estos son marcos conceptuales muy útiles para entender los factores y procesos que influyen en la interacción entre los seres humanos y la diversidad en el contexto de los SAF.

### **2.1. El *kosmos***

La forma en que los seres humanos se perciben en la naturaleza puede determinar el manejo que realizan de la misma, los y las campesinas de las SAF no solo interactúan con la diversidad todos los días, sino además el tiempo de interacción, los valores, las percepciones, los conocimientos y los procesos productivos están frecuentemente centrados en la biodiversidad (Berkes y Folke 2002), estos elementos se analizan adelante.

#### **2.1.1. La interacción tiempo-humanos-diversidad**

El tiempo tiene un importante papel en la interacción entre humanos y naturaleza. Puede ser diferente la relación si existen historias antiguas, como en las comunidades campesinas e indígenas o si la interacción es reciente, como en las sociedades industriales (Pretty *et al.* 2008). En el VTC es bien sabido que la interacción entre los seres humanos y la diversidad biológica tiene una historia de alrededor de 10,000-12,000 años (McNeish 1967). Esta situación ha influido en la relación entre las comunidades humanas y la biodiversidad; existen numerosas expresiones de esta relación, como una alta dependencia de la diversidad en su estrategia de subsistencia, por ejemplo alrededor del 60% de las plantas son útiles en el VTC (Lira *et al.* 2009), alrededor del 30% de ellas reciben alguna forma de manejo distinta a la recolección simple (Blancas *et al.*



enviado). Estas formas de manejo son refinadas en los sistemas agroforestales, los que pueden considerarse como laboratorios-paisajes de transición entre lo salvaje y lo domesticado (McNeely 2004) y que podrían ser los primeros escenarios del origen de la agricultura en el VTC (McNeish 1967). Diversos ejemplos de cactáceas columnares (*Myrtillocactus schenckii*, *Escontria chiotilla*, *Stenocereus stellatus*, *Stenocereus pruinosus*, *Polaskia chichipe*) encontradas en los SAF en proceso de domesticación (Casas *et al.* 2008) apoyan esta visión.

### **2.1.2. La visión de sí mismos, del ambiente, la diversidad y los valores**

Las formas de relación con la naturaleza dependen del lugar en que el ser humano se percibe con respecto a ella (Pretty *et al.* 2008). En algunas visiones, sobre todo las no-occidentales, se dificulta identificar los elementos de la cultura y la biodiversidad por separado, y no necesariamente existen valores de respeto al ambiente pues no lo distinguen de sí mismos. Más bien lo incorporan en sus formas cotidianas de acción, como un deber ser ó una necesidad, donde la supervivencia humana depende de la continuidad del todo, y aunque pueden reconocerse elementos particulares del ambiente, como plantas, animales, agua, suelos, etc. no se concibe a éste como algo ajeno a lo que debe respetarse (Milton 1998). En occidente donde existe una dominancia de la religión judeo-cristiana se destaca al ser humano como el único ser sobre la tierra semejante a Dios, el cual tiene derechos y privilegios sobre los demás seres vivos pero también responsabilidades. Desde esta visión el ser humano no es parte de la naturaleza y para algunos autores esta visión del mundo es la principal causa de la crisis ambiental (Berkes 2001).

Las comunidades mestizas mexicanas por sus condiciones históricas suelen tener elementos tanto de la visión judeo-cristina como de las raíces indígenas. Expresiones tales como “si se acaban las plantas se acaba todo hasta uno”, del valor intrínseco de la

biodiversidad como “el derecho de existir de las plantas y los animales” además de las ideas de salvaguardar a las plantas para las generaciones futuras, son difíciles de discernir a qué visión de la naturaleza corresponden. Este es un tema que requiere un análisis más profundo, pero que en definitiva está jugando un papel relevante en el manejo de la diversidad de plantas en los SAF. El involucramiento emocional de la gente con la tierra y las cosas vivas sin duda contribuye también a las interacciones positivas de la gente con la naturaleza en general y con la diversidad biológica en particular, pues la tierra provee un fuerte sentido de identidad a un grupo social, a una forma de vida, lo cual se encuentra muy presente en las comunidades indígenas americanas, asiáticas y de Oceanía (Berkes 2001). Este es un elemento que tampoco es posible descartar de la visión que tienen las comunidades que manejan los AFS y de su influencia en las decisiones de manejo.

### **2.1.3. La racionalidad de la economía de subsistencia campesina**

En la producción campesina el objetivo implícito del manejo de la diversidad y de los procesos productivos va dirigido a la simple reproducción de la unidad campesina y de la comunidad (Toledo 1990). Los valores utilitarios o instrumentales como el uso de las plantas para leña, forraje, medicinas, así como los valores de servicios a la agricultura y la ganadería como la sombra, el control de la erosión y el mantenimiento de la fertilidad se encontraron como los más mencionados que influyen en las decisiones de manejo de los SAF estudiados. La mayoría de las plantas encontradas en los SAF con algún uso (78%) son empleadas primero para la autosubsistencia y algunas (37%) después de satisfacer las necesidades propias se pueden emplear para la comercialización, lo cual es encontrado en general en las economías campesinas donde se privilegia el valor de uso al valor de intercambio (Toledo 1990, Altieri 2001). La comercialización y el intercambio de las plantas

encontradas en el SAF de chichipera es una actividad poco frecuente, que se realiza incluso una sola vez al año o en ocasiones especiales como en la fiesta de Todos los Santos (31, 1, y 2 de noviembre) (Capítulo IV).

## 2.2. El conocimiento y la praxis

Toledo (1990) plantea que todas las sociedades humanas, tienen un sentido de cómo funciona el mundo y aplican este conocimiento para guiar sus prácticas. La habilidad para sostener a la biodiversidad es una presión selectiva en las sociedades que son altamente dependientes de ella, y la sobrevivencia se puede garantizar solo a partir de la conservación y el incremento de la diversidad local y en este contexto la conservación de la biodiversidad es el resultado indirecto más que el objetivo explícito de las prácticas tradicionales (Berkes 2001). El conocimiento de los campesinos es un conocimiento derivado de la interacción de la gente con el ambiente, en este sistema la cognición y la percepción seleccionan la información ambiental más adaptiva y útil y este conocimiento exitoso es preservado de generación en generación a través de medios orales o experimentales (Altieri 2001, Pretty *et al.* 2008). Los conocimientos acerca del suelo, el clima, la vegetación, los animales, el medio general son preservados en estrategias productivas multidimensionales y estas estrategias pueden generar dentro de ciertos límites ecológicos y tecnológicos, la autosuficiencia alimenticia de los campesinos en una región (Toledo 1990). Para estas comunidades es totalmente artificial la separación del conocimiento de la *praxis*, pues la naturaleza del conocimiento campesino está basado no solo en la observación sino también en experiencias desarrolladas a partir de prueba y error, es decir un conocimiento de origen experimental (Altieri 2001). Los tipos de conocimiento que encontramos en la relación entre los campesinos y su relación con la diversidad en los SAF se describen a continuación.

### 2.2.1. La estrategia de uso y manejo múltiple de recursos en los AFS

Para el uso y manejo de la diversidad de plantas en los SAF los campesinos deberán desarrollar una currícula que de acuerdo a Altieri (2001) y Toledo (2002) incluye los siguientes elementos:

i) Los y las campesinos deben tener un conocimiento de la heterogeneidad de los ambientes y de los recursos que éstos proporcionan. En la comunidad de San Luis Atlotitlán Torres (2004) identificó cuando menos 9 asociaciones vegetales, las cuales tienen sus respectivos nombres locales y los campesinos ubican las características climáticas, de los suelos y de las plantas que es posible encontrar en estos espacios. Por ejemplo, distinguen entre tierras cálidas y tierras frías y entre suelos cafés y suelos negros y pueden determinar cuáles son las más adecuadas para la siembra;

ii) Conocimiento de la taxonomía local. En esta misma comunidad la gente tiene nombres asociados a casi todas las plantas, algunos nombres entre las plantas son claramente relacionados entre especies de la misma familia, por ejemplo es el caso de los cozahuates (2 especies de la familia Convolvulaceae) y que son muy semejantes a simple vista. Ellos distinguen dos clases cozahuate negro (*Ipomoea muruoides*) y cozahuate blanco (*Ipomoea arborescens*), este conocimiento también tiene asignada una utilidad, por ejemplo alrededor del 60% de las plantas registradas en este lugar tiene designado un uso, la porción de la planta que es útil y las formas de preparación en cada caso (Torres 2004).

iii) El conocimiento de las prácticas agrícolas y forestales. Este conocimiento ha sido desarrollado por las y los campesinos para lidiar con condiciones de laderas pronunciadas, sequía, pestes, enfermedades, desastres, baja fertilidad (Toledo 1990, Altieri 2001, Boege 2008, Toledo y Barrera-Bassols 2008). En general las y los campesinos se ajustan al medio ambiente a través de combinar altos números de

especies y diversidad estructural en tiempo y espacio. Explotan el amplio rango de microambientes, mantienen ciclos cerrados de materiales a través de prácticas efectivas de reciclaje, apuestan a la complejidad de las interdependencias biológicas resultando en el control de plagas, utilizan energía humana y animal, por lo tanto utilizan bajos niveles de entradas tecnológicas y de energéticas, utilizan variedades locales de cultivos e incorporan a las especies silvestres. A esta forma de relación se le ha denominado como la estrategia de uso y manejo múltiple de los recursos, la cual es una herencia de numerosas comunidades mestizas mesoamericanas (incluidas las de ascendencia náhuatl como es este caso) e indígenas (Toledo 1999, Boege 2008, Blancas *et al.* enviado). En la *praxis* en los SAF el conocimiento se expresa de manera concreta en gradientes de complejidad en las prácticas de uso y manejo de la diversidad, generalmente dirigidas a un gran número de especies de la vegetación original. Estas pueden ser la tolerancia, la protección y el cultivo de especies nativas, pero también otras como la promoción y protección de las ruderales y el aprovechamiento y cultivo de especies exóticas (Casas *et al.* 2001; Casas *et al.* 2008; Blancas *et al.* enviado). Para desarrollar estas prácticas es necesario saber acerca de las especies, su uso, su distribución en la parcela y en el paisaje de la comunidad, además se requiere reconocer las zonas de las cuales es posible tomar propágulos de plantas útiles para introducirlos en la parcela, o si las especies son raras y es necesario realizar actividades extra para su conservación. Asimismo, se necesita aprender de la efectividad de las formas de propagación y de las interacciones de las especies, ya sea con otras plantas o con los cultivos más relevantes como el maíz y el frijol, si pueden proporcionar sombra o abono, si compiten con las raíces con los cultivos, etc. Además es necesario reconocer el uso adecuado en determinados contextos; por ejemplo, si las laderas son inclinadas se requieren

mayor cantidad de barreras contra la erosión las cuales son construidas con individuos del género *Agave* y además los campesinos toleran e incorporan una mayor densidad de plantas que si los terrenos fueran de poca pendiente. Esta estrategia basada más en intercambios ecológicos que económicos requiere del manejo de un gran número de recursos que garanticen un flujo permanente de bienes, materias y energía para lidiar con eventos inesperados. Entre éstos, por ejemplo, los climáticos (alta impredecibilidad de la precipitación), económicos (cambios en el precio del forraje o de la semilla), biológicos (enfermedades del ganado o presencia de plagas), entre otros (Toledo 1990, Challenger 1998, Toledo y Barrera-Bassols 2008).

#### **2.2.2. Las instituciones: normas y regulaciones como formas de conocimiento**

Otro elemento importante que regula la relación entre los seres humanos y la diversidad de plantas en los SAF se expresa en el papel de las normas y regulaciones, lo cual ha sido denominado por Pretty *et al.* (2008) como “cultura como instituciones”. Estas instituciones son diversas pero en general determinan las interacciones humanas y los comportamientos con los recursos considerados comunes (Ostrom 1990). Los árboles y arbustos en los SAF, aunque se encuentran en las parcelas ejidales son consideradas como un bien común, independientemente que sean derivados de la vegetación original ó que hayan sido manejados por los y las campesinas.

Los campesinos y campesinas no han manejado siempre bien a la biodiversidad, el agua, el suelo, lo que la literatura sugiere que ocurre es que esas comunidades cometen errores, pero también aprenden de ellos (Berkes 2001) de tal manera que estas normas co-evolucionan con los cambios en la gente y en el ambiente (Berkes y Folke 2002). Autores como Berkes (2001) han planteado “las reglas de oro” que se han identificado en varias comunidades indígenas y

campesinas, estas funcionan a partir de la protección en los siguientes niveles y pueden ser verificadas en el manejo de la biodiversidad en los SAF, a partir de la protección de: i) algunas comunidades biológicas o parches de hábitats, las restricciones al acceso del ganado, principalmente de cabras a las parcelas agrícolas para la recuperación de los árboles y arbustos y la disminución del pisoteo del suelo; ii) la protección total de ciertas especies consideradas claves, por ejemplo las restricciones al consumo de los “condachos” por más de dos días al año ; iii) la protección de algunos estados críticos de la historia de vida, por ejemplo las restricciones al corte de árboles adultos en las parcelas debido a la percepción de la disminución de los árboles como *Rhus virens*, y de la extinción de especies en particular como *Litsea glaucescens* (Torres 2004); y iv) la supervisión del manejo de la biodiversidad, que se expresa en un reglamento escrito acordado por las comunidades que manejan los AFS y de Comités de vigilancia locales que lo supervisan.

### **3. Las causas de los cambios que sufren los AFS y su efecto en las funciones de aprovechamiento y conservación de la biodiversidad**

Los sistemas agroforestales tradicionales están sujetos a la presión de una gran complejidad de elementos tales como modificaciones en el clima y en los recursos bióticos, la historia ambiental, el papel del mercado, las modificaciones en las políticas públicas, cambios en el uso de la tierra y tipo de tenencia, procesos de inmigración y emigración, sustitución e intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas, pérdida y modificación en las prácticas de manejo de la vegetación y especialización en la producción por nombrar algunos (Backes 2001, Barrow y Mlengen 2003, Pleininger y Wilbrand 2001, Harvey *et al.* 2004, Schroth *et al.* 2004, Prasad 2006). Se espera que en el contexto de las crisis alimentaria y energética que vive el planeta, así como del incremento

poblacional que se duplicará para el 2050, el área para la agricultura en el mundo se incrementará en un 25% esperando una cifra similar para las zonas áridas y semiáridas, donde habita la tercera parte de la población mundial y donde los procesos de desertificación operan activamente (MEA 2005). Bajo tal escenario ha adquirido fuerza la propuesta de generar soluciones a partir de incrementar la producción agrícola intensificando las zonas actualmente cultivadas y manteniendo los relictos de zonas “prístinas”, esta propuesta ha sido vista como una forma de reducir la presión sobre las áreas forestales, y se le conoce como estrategia de intensificación agrícola o “land sparing” (Green *et al.* 2005). Bajo tal propuesta se esperan cambios en la estructura de los agroecosistemas biodiversos y en las prácticas de manejo dirigidos a intensificar la producción (Swift *et al.* 1996). Las consecuencias de estos procesos para la biodiversidad de los sistemas agrícolas y agroforestales tradicionales han sido negativos en la mayoría de los casos, e incluyen la disminución en la riqueza y la diversidad a escala local y de paisaje, cambios en la composición de especies, disminución de especies nativas, introducción de especies exóticas, incremento de malezas, dominancia de especies con mayor valor de mercado, disminución ó pérdida de especies raras (Backes 2001; Barrow y Mlengen 2003; Pleininger y Wilbrand 2001; Prasad 2006). Además las regiones tropicales semiáridas tienen muchas más restricciones que las zonas húmedas, como la población y la intensificación se incrementa es más alto el riesgo de la disminución de la productividad natural y el potencial de degradación en estos sitios se incrementa (García-Barrios 2003).

#### **3.1. Los procesos de intensificación agrícola en los SAF**

Los procesos de cambios resultaron en expresiones muy variadas incluso en sistemas de manejo muy parecidos. En los SAF estudiados, en el caso del

derivado de chichiperas, se ha detectado un proceso de disminución de la cobertura vegetal y de pérdida de prácticas tradicionales de propagación de plantas útiles y una disminución de la riqueza de árboles y arbustos (Casas *et al.* 2008). Pero este proceso no se encuentra acompañado de un aumento en el uso de agroquímicos, irrigación, o empleo de maquinaria debido a las propias restricciones ambientales. Se documentó además que los campesinos perciben que existe una disminución importante de la precipitación en los últimos 10 años y ello desde luego, influye en la disminución de la producción de los cultivos, pero que también determina algunas restricciones a la disponibilidad de plantas arbóreas, arbustivas y herbáceas que son frecuentemente empleadas como forraje para el ganado y de la cobertura que estas representan en las parcelas agroforestales. A partir de esto generalmente deciden incrementar la cobertura arable para obtener forraje a partir de una serie de procesos como: i) disminución de la cobertura vegetal paulatinamente a través de no realizar prácticas agroforestales en el centro de la parcela o bien transplantando a los linderos de vegetación a las especies que les es posible. Aparentemente esta transformación que puede ir del 2 al 20% de la cobertura interna de la parcela, no incide en la riqueza de especies o en la diversidad a esta escala. Este proceso aparentemente se explica porque diez especies de las que se encuentran en el centro de la parcela ocupan el 72% de la dominancia y suelen coincidir con las especies más apreciadas por los campesinos. Lo que es menos claro, es si este cambio puede tener efecto en la provisión de recursos provenientes de las especies de alto valor de uso y cambio como son los frutos de cactáceas columnares y los cuales si disminuyen de manera importante con estos cambios. Los estudios poblacionales realizados con algunas especies de cactáceas columnares demuestran que es posible mantener a las poblaciones bajo este manejo y que la diversidad genética en algunas ocasiones es

más alta en comparación con los sistemas silvestres de chichipera (Farfán-Heredia 2006, Casas *et al.* 2006, Blancas *et al.* 2006, Casas *et al.* 2008). Otra situación que es necesario explorar es el efecto en el largo plazo en el incremento de la erosión, la fertilidad, el mantenimiento del agua y la disminución de la temperatura del microambiente local.

Otra acción realizada por los y las campesinas ha sido reducir los periodos de descanso de una parte o del total de las parcelas agroforestales y /o incrementar el número de parcelas empleando las que comúnmente se encuentran en descanso, proceso que podría poner en riesgo la heterogeneidad de paisajes y de riqueza y diversidad de especies a escala de paisaje que favorece a la diversidad.

En SAF derivados de garambullal los cambios están ocurriendo asociados a la introducción de la cactácea epífita *Hylocereus undatus* (“pitahaya”), cuyo fruto es destinado al mercado. La producción de esta planta requiere agroquímicos y riego, y aunque la cobertura de especies arbóreas se mantiene inicialmente, pues la “pitahaya” requiere de tutores para desarrollarse, las especies de tutores son muy específicas, lo que se espera tendera a disminuir la riqueza de especies nativas del sistema. Otra consecuencia ha sido la disminución y/o sustitución de cultivos básicos como el maíz y el frijol por la competencia con este cultivo, los cuales actualmente tienen que adquirirse en el mercado, con vendedores regionales o en instancias de gobierno. El asunto es tan grave que es posible perder las variedades criollas en un solo año, por ejemplo en el año 2008, la comunidad de Santiago Coatepec, tuvo que recurrir a comunidades vecinas para conseguir semilla de maíz criollo, pues en la comunidad era imposible conseguirlo. Bajo este proceso, muchos sistemas tradicionales de policultivo como las milpas están desapareciendo, con ello las variedades criollas de maíz y frijol están siendo abandonadas o eliminadas, y estas variedades suelen ser muy relevantes en el

contexto de las zonas áridas por su adaptación a las condiciones locales de baja e imprevisible precipitación. Este proceso no solo vulnera a las comunidades donde se pierden estas variedades, sino también disminuye los recursos genéticos y los conocimientos asociados a ellos, incrementando la dependencia alimentaria y desde luego vulnerando la soberanía nacional (Aguilar *et al.* 2003).

### **3.2. La escasez de la tierra y las políticas públicas**

En algunas áreas la escasez de tierra ha forzado cambios en las prácticas de uso, las cuales han causado la desaparición de hábitats que antiguamente mantenían vegetación no-cultivada, incluyendo progenitores silvestres y formas arvenses de cultivos (Altieri 2001). La tenencia de la tierra en el SAF de chichipera al parecer no tiene relación con la decisión de mantener especies perennes en las parcelas, sin embargo, los jóvenes menores a 30 años solo tienen acceso a una sola parcela cedida por los padres y en muchos casos no son considerados ejidatarios para poder acceder a más tierra. En estos casos la escasez de tierra puede incrementar la presión sobre su uso y este elemento fue considerado relevante en el 30% de los casos de las personas que se entrevistaron.

Otro elemento que está incidiendo en cambios en los sistemas agrícolas y agroforestales es que los impuestos y los controles de precios han sistemáticamente distorsionado las decisiones a nivel de parcela en países desarrollados y no desarrollados por décadas (Pascual y Perrings 2007; Tilman *et al.* 2002). Otra forma es por las políticas de numerosos organismos gubernamentales que favorecen o incentivan el uso de tecnologías novedosas en detrimento de las tecnologías locales y donde el resultado común ha sido la disminución de la biodiversidad ya sea a partir de la disminución de los polinizadores, organismos depredadores benéficos, de los organismos del suelo ó de la introducción de especies invasoras o por el beneficio de algunas especies en detrimento de todo el sistema de manejo

(Pascual y Perrings 2007). Programas gubernamentales como el PROCAMPO promueven la eliminación de especies toleradas en los AFS. El 30% de los entrevistados en los SAF de chichiperas refirió que durante sus visitas a las parcelas los supervisores de este programa consideran que al dejar en pie a plantas perennes, los campesinos que no cumplen con la hectárea cultivada estipulada en las reglas del programa. Aunque los dueños de las parcelas entrevistados están en desacuerdo con tal consideración, éste puede ser un elemento que influya en la decisión de mantener las especies perennes en los SAF.

### **4. Los SAF de cactáceas columnares como base para el desarrollo de procesos de conservación, recuperación de la biodiversidad y la satisfacción de las necesidades humanas**

El Valle de Tehuacán es una importante zona por su riqueza biológica y cultural amenazada por numerosos problemas ambientales, cuya complejidad debe contemplar propuestas desde el campo de la ecología, pero también de las necesidades y experiencia tecnológica de sus habitantes. Los investigadores podemos aportar a la solución de la problemática en la medida en que tengamos un mejor entendimiento integrado de los procesos ecológicos, económicos, sociales y culturales de estos sitios y de cómo se expresan en sistemas concretos de manejo. Existe experiencia tecnológica e investigación que nos guía en los procesos ecológicos y culturales de esta zona árida. Pero para la recuperación de las poblaciones, comunidades y funciones de los ecosistemas, es relevante mantener y potenciar los procesos culturales que mantienen estos como son numerosos sistemas tradicionales, entre los que destacan los SAF. La investigación en los SAF del VTC es aún incipiente, aunque se han realizado estudios ecológicos y de manejo de especies en particular que pueden ser de utilidad integrados en propuestas de manejo, sin

embargo es necesario realizar importantes investigaciones en varios temas (Ver Capítulo I y III).

Es necesario profundizar en los estudios de los SAF en distintos contextos ecológicos y culturales en el área (zonas de bosque de pino-encino ó zonas de mezquiales). Además de estudios en especies claves ecológicamente pero que además sean altamente valoradas por los y las campesinas y del entendimiento de las interacciones ecológicas y económicas establecidas con otras especies vegetales y animales, todos estos elementos con fines de restauración. Asimismo, los estudios de las limitaciones en la germinación y establecimiento de las especies relevantes desde un punto de vista que incluya la interacción de la biodiversidad y la cultura además de los estudios de restauración del sistema con miras a fortalecer la resiliencia del sistema, pero también de sus componentes. Se requiere también explorar los efectos en otras funciones del mismo como la productividad agrícola y pecuaria y los umbrales bajo los cuales se transforman estas interacciones tras incrementar la cobertura, riqueza y diversidad en estos sistemas.

El complejo *kosmos- corpus-praxis* ha permitido soluciones adecuadas de respuesta a numerosas situaciones de cambio ecológico, económico, social, político y ha generado sistemas de manejo y de conocimiento profundo y adecuado entre los que se incluyen los SAF. Sin embargo, numerosos sistemas de la modernidad alternativa se encuentran en crisis, pues son sujetos al efecto de los procesos históricos,

sociales y económicos que suceden a una escala diferente a las de los procesos acostumbrados y frente a la cual es difícil dar respuesta y que han estado vulnerando la capacidad de estos sistemas de dar respuesta a procesos comunes y extraordinarios, internos y externos. En los SAF de cactáceas columnares se han descrito procesos que podrían vulnerar la capacidad de estos sistemas para mantenerse, pero también existen respuestas creativas que hoy permiten que estos sistemas se encuentren en uso actual. Existe consenso entre los especialistas en sistemas tradicionales (Altieri 2001; Boege 2008; Toledo y Barrera-Bassols 2008; J. Vandermeer com. per.) que actualmente para dar solución a los problemas complejos a los que nos enfrentamos como humanidad requerimos así de un pensamiento complejo, en esta idea, el conocimiento “tradicional” y el conocimiento científico son de una naturaleza que permite la complementariedad entre ambos. Esta complementariedad proviene por un lado el conocimiento campesino, el cual es profundo, particular, holístico, apropiado, sofisticado, experimental y observacional y con el conocimiento científico interdisciplinario desde la integración como la agroecología, la agroforestería, las ciencias ambientales, la ética ambiental, la etnoecología, el cual es amplio, generalizable, especializado, y constructivo, seguramente entre estas dos aproximaciones es posible tener esperanza de solución a la crisis de civilización que tenemos.

## REFERENCIAS

- Aguilar, J., C. Illsley y C. Marielle. 2003. Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. En: Esteva, G. y C. Marielle (Coord.), *Sin maíz no hay país*, CONACULTA, México, D.F., pp 83-122.
- Alcorn, J. B. 1993. Indigenous people and Conservation. *Conservation Biology* 7(2):424-426.
- Altieri, M., y C. Nicholls. 2000. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México, D.F.
- \_. 2001. Traditional agriculture. En: Ascher, S. (Ed.), *Encyclopedia of biodiversity*, Vol. 1. Academic Press, London, California, 109-118.
- Backes, M. M. 2001. The role of indigenous trees for the conservation of biocultural diversity in traditional agroforestry land use systems: The Bungoma case study. *Agroforestry Systems* 52: 119-132.
- Barrow, E., y W. Mlengi. 2003. *Trees as key to pastoral risk management in semiarid landscapes*

- in *Shinyanga, Tanzania and Turkana, Kenya*. Rural Livelihoods, Forest and Biodiversity, Bonn Germany.
- Berkes, F. 2001. Religious traditions and biodiversity. En: Ascher, S. (Ed.), *Encyclopedia of biodiversity* Vol. 5. Academic Press, London, California, 109-120.
- Berkes, F. y C. Folke. 2002. Back to the future: Ecosystems dynamics and local knowledge. En: L.H. Guderson y C.S. Holling (Eds.), *Panarchy: understanding transformation in human and natural systems*. Island Press, Washington, DC, 121-146.
- Bhagwat, S. H., K. J. Willis, J. Birks, y W. R. 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution* 23: 261-267.
- Blancas, J., F. Parra, D. Lucio, M. Ruíz-Durán, E. Pérez-Negrón, A. Otero-Arnaiz, A. Pérez-Nasser, y A. Casas. 2006. Manejo tradicional y conservación de la biodiversidad de *Polaskia* spp. (Cactaceae) en México. *Zonas Áridas* 10: 20-40.
- \_\_\_, C. A., S. Rangel-Landa, A. Moreno-Calles, I. Torres, E. Pérez-Negrón, L. Solís, A. Delgado-Lemus, A. Parra, Y. Arellanes, J. Caballero, L. Cortés, R. Lira, y P. Dávila. Enviado. Plant Management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany*.
- Blancaert, I., K. Vancraeynest, R. L. Swennen, F. J. Espinosa-García, D. Piñero, y R. Lira. 2007. Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semiarid production of Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 39-48.
- 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*. INAH: Comisión Nacional Para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, México, D.F.
- Casas, A., A. Valiente-Banuet, J. L. Viveros, y J. Caballero. 2001. Plant resources of the Tehuacán Valley, México. *Economic Botany* 55: 129-166.
- \_\_\_, A., J. Cruse, E. Morales, A. Otero-Arnaiz, y A. Valiente-Banuet. 2006. Maintenance of phenotypic and genotypic diversity of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) by indigenous peoples in Central México. *Biodiversity and Conservation* 15: 879-898.
- \_\_\_, A., S. Rangel-Landa, I. Torres-García, E. Pérez-Negrón, L. Solís, F. Parra, A. Delgado, J. J. Blancas, B. Farfán, y A. Moreno-Calles. 2008. *In situ* Management and Conservation of Plant Resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: An Ethnobotanical and Ecological Perspective. En U. P. De Albuquerque and M. Alves-Ramos, (Eds.), *Current Topics in Ethnobotany*. Research Signpost, Kerala, India, 1-25.
- Challenger, A. 1998. Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México: Pasado, Presente y Futuro. CONABIO, Instituto de Biología-UNAM, Sierra Madre. D.F., México
- Dávila, P., M. C. Arizmendi, A. Valiente-Banuet, J.L. Villaseñor, A. Casas, y R. Lira. 2002. Biological Diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 11:421-441.
- Farfán-Heredia, B. 2006. Efecto del manejo silvícola en la estructura y dinámica poblacional de *Polaskia chichipe* Backeberg en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán.
- García-Barrios L. 2003. Plant-Plant Interactions in Tropical Agriculture.
- Gordon J.E. 2003. Trees and farming in the dry zone of southern Honduras II: the potencial for tree diversity conservation. *Agroforestry Systems* 59:107-117
- Green, R. E., S. J. Cornell, J. P. W. Scharlemman, y A. Balmford. 2005. Farming and the Fate of Wild Nature. *Science* 307: 550-555.
- Grime, J. P. 1973. Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature* 242: 344-347.
- Harvey, C.A., Tucker N.I.J., y Estrada A. 2004. Livefences, Isolated trees, and Windbreaks: Tools for Conserving Biodiversity in Fragmented Tropical Landscapes, in: Schroth, G., da Fonseca G. A. B, Harvey, C. A., Gascon, C., Vasconcelos, H. L., Izac., A. M. N., (Eds.), *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, USA, 261-289.
- Jackson, L., U. Pascual y T. Hodking. 2007. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 21(3):196-210.
- Leakey, R. 1999. Agroforestry for biodiversity in farming systems. En: W. W. Q. Collins, C.O., (Eds.), *Biodiversity in agroecosystems*. CR PRESS, New York, 127-145.
- Leff, E. 2004. *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Siglo xxi editores, S.A. de C.V., México, D.F.
- Lira, R., A. Casas, R. Rosas, M. Paredes, E. Pérez-Negrón, S. Rangel-Landa, L. Solís, I. Torres, y P. Dávila. 2009. Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany* 63(3):271-287.
- MacNeish, R. S. 1967. A Summary of Subsistence. En D. S. Byers, (Eds.) *The Prehistory of the Tehuacán Valley*. University of Texas Press, Austin, 290-309
- Martorell, C. y Peters. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the



- threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological conservation* 124 (2):199-207.
- Milton, K. 1998. Nature and the environment in indigenous and traditional cultures. En: D.E. Cooper and J.A. Palmer (Eds.) *Spirit of the environment: Religion, value and environmental concern*, Routledge, London y New York. pp. 86-99.
- MEA. 2005. *Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre desertificación 1*. World Resources Institute, Washington.
- McNeely, J.A. 2003. Biodiversity in arid regions: value and perceptions. *Journal of Arid Environment* 54:61-70.
- McNeely, J. A. 2004. Nature vs. nurture: managing relations between forests, agroforestry and wild biodiversity. *Agroforestry Systems* 61: 155-165.
- Noble, I. y R., Dirzo. 1997. Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277: 522-525.
- Ostrom, E. 1990. *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pascual, U., y C. Perrings. 2007. Developing incentives and economic mechanisms for in situ biodiversity conservation in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 256-268.
- Perfecto, I., y J. Vandermeer. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: new conservation paradigm. *Annual Review of Ecology and Systematics* 39: 173-200.
- Plieninger, T., Wilbrand, C., 2001. Land use, biodiversity conservation, and rural development in the dehesas of Cuatro Lugares, Spain. *Agroforestry Systems* 51, 23-34.
- Prasad, K. 2006. Linking trees with biodiversity conservation in subsistence farming systems in Nepal. *Biodiversity and Conservation* 15: 631-646.
- Pretty, J.N., 1995. *Regenerating agriculture: policies and practices for sustainability and self-reliance*, Earthscan, Londres.
- Pretty J., B. Adams, F. Berkes, S., Ferreira de Athayde, N. Dudley, E. Hunn, L. Maffi, K. Milton, D. Rapport, P. Robbins, C. Samson, E. Sterling, S. Stolton, K. Takeuchi, A. Tsing, E. Vintinner y S. Pilgrim. 2008. How do biodiversity and culture intersect? Plenary paper in: *Sustaining Cultural and Biological Diversity in a Rapidly Changing World: Lessons for Global Policy*. American Museum of Natural History's, Center for Biodiversity and Conservation, UICN-The World Conservation Union/Theme on Culture and Conservation and Terralingua.
- Rzedowski, J. 1993. Diversity and origins of phanerogamic flora of Mexico. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot, A. y J. Fa., eds.. *Biological Diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press. Oxford: pp. 129-144.
- Scales, B. R., y S. J. Marsden. 2008. Biodiversity in small-scale tropical agroforests: a review of species richness and abundance shifts and the factors influencing them. *Environmental Conservation* 35: 160-172.
- Schroth, G. G., d. F. A. B., C. A. Harvey, C. Gascon, H. L. Vasconcelos, y A. M. N. Izac. 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, USA.
- Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong, y B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and Agroecosystem Function. Pages 262-294 en H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. Sala, y E. D. Schulze, eds. *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. John Wiley & Sons,
- Tilman, D., K. G. Cassman, P. A. Matson, R. Naylor, and S. Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Toledo, V.M., 1990. The ecological rationality of peasant production, in: Altieri, M., Hecht, S. (Eds.), *Agroecology and Small-farm Development*. CRC Press Boca Raton, Florida, 51-58.
- Toledo, V.M., 2002. Ethnoecology: a conceptual framework for the study of indigenous knowledge of nature, En: Stepp, J.R., Wybdgan, F.S., Zager, R.K. (Eds.), *Ethnobiology and Biocultural Diversity*. International Society of Ethnobiology, Georgia, 511-552.
- Toledo, V.M. y Barrera-Bassols, N. 2008. La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria Editorial, Barcelona.
- Torres, I., 2004. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Tscharntke, T., A. M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter, y C. Thies. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters* 8: 857-874.
- Valiente-Banuet, A., A., Casas, A., Alcántara, P., Dávila, N., Flores-Hernández, M.C., Arizmendi, J.L. Villaseñor y J. Ortega. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 67: 25-74.
- Valiente-Banuet, A., Solís, L., Dávila, P., Arizmendi, M.C., Silva P.C., Ortega-Ramírez, J., Treviño, C. J., Rangel-Landa, S., Casas, A., 2009. *Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Impresora Transcontinental, México.

- Vandermeer, J., D. Lawrence, A. Symstad, y S. Hobbie. 2002. Effect of biodiversity on ecosystem functioning in managed ecosystems en M. Loreau, S. Naeem, y P. Inchausti, (Eds.) *Biodiversity and Ecosystem Functioning*. University Press, Oxford, pp 221-233.
- Wilken, G.C. 1977. Integrating forest and small scale farm systems in middle-America. *Agroecosystems* 3: 291-302.