



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS
Manejo Integral de Ecosistemas

**SISTEMAS AGROFORESTALES Y CONSERVACIÓN DE BIODIVERSIDAD EN EL VALLE
DE TEHUACÁN, CUICATLÁN**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN CIENCIAS

PRESENTA:

Mariana Vallejo Ramos

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. Alejandro Casas Fernández
Centro de investigaciones en Ecosistemas

COMITÉ TUTOR: Dra. Patricia Dávila Aranda
Facultad de Estudios Superiores, Iztacala
Dr. Oswaldo Tellez Valdés
Facultad de Estudios Superiores, Iztacala

MÉXICO, D.F. FEBRERO, 2015.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS
Manejo Integral de Ecosistemas

**SISTEMAS AGROFORESTALES Y CONSERVACIÓN DE BIODIVERSIDAD EN EL VALLE
DE TEHUACÁN, CUICATLÁN**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN CIENCIAS

PRESENTA:

Mariana Vallejo Ramos

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. Alejandro Casas Fernández
Centro de investigaciones en Ecosistemas

COMITÉ TUTOR: Dra. Patricia Dávila Aranda
Facultad de Estudios Superiores, Iztacala
Dr. Oswaldo Tellez Valdés
Facultad de Estudios Superiores, Iztacala

MÉXICO, D.F. FEBRERO, 2015.

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

Por medio de la presente, me permito informar a usted, que en reunión ordinaria del Subcomité por Campo de Conocimiento (Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas) del Posgrado en Ciencias Biológicas, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **Doctora en Ciencias Biológicas** de la alumna **Mariana Vallejo Ramos** con número de cuenta **98096305** con la tesis titulada: **"Sistemas agroforestales y conservación de biodiversidad en el Valle de Tehuacán, Cuicatlán"** bajo la dirección del **Dr. Alejandro Casas Fernández**, Tutor Principal.-

Presidente:	Dr. Rafael Lira Saade
Vocal:	Dra. Ana Isabel Moreno Calles
Secretario:	Dr. Oswaldo Tellez Valdés
Suplente:	Dr. Carlos Ernesto González Esquivel
Suplente:	Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 13 de enero de 2015

M. del Coro Arizmendi
Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga
Coordinadora del Programa

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la formación académica durante mi permanencia en el Doctorado en Ciencias Biológicas, así como todo el apoyo administrativo y económico por medio del PAEP para la asistencia a estancias y congresos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca brindada, con la cual pude dedicarme de tiempo completo a la realización de mis estudios y el cumplimiento de esta tesis.

Al financiamiento obtenido por medio de los proyectos: CONACYT CB-2008-01-103551 y CB-2013-01-221800. UNAM-DGAPA-PAPIIT (IN205111-3, IN2092014, IA203213) y al proyecto "Caracterización de sistemas agroforestales tradicionales de México desde un enfoque biocultural" DGAPA-UNAM PAPIIT IA202313-2.

Al Dr. Alejandro Casas Fernández por la dirección de esta tesis.

A la Dra. Patricia Dávila Aranda y al Dr. Oswaldo Tellez Valdés que como miembros del comité tutor acompañaron y asesoraron el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Después de cinco años de iniciado el proceso del llamado doctorado, obviamente que hay mucha gente a quién agradecer, seguramente olvidaré a algunos porque después de tanto tiempo es probable que uno no recuerde a esas personas que estuvieron al principio y después siguieron su camino lejos, pero eso no quita que esta tesis es fruto de la interacción constante de la gente que estuvo y está a mí alrededor.

Primero que nada tengo que agradecer a Alejandro Casas, no sólo por ser un excelente tutor, sino por ser un gran ser humano, por enseñarme desde la parte académica hasta la personal, por apoyarme en todo momento en todos los sentidos.

A mi cotutora, compañera y amiga Ana Isabel Moreno, definitivamente esta tesis no tendría esta forma ni fondo sin su asesoría.

Al jurado: Dra. Ana Isabel Moreno Calles, Dr. Rafael Lira, Dr. Diego Pérez y Dr. Carlos González por la revisión de la tesis, por su tiempo, sus correcciones y comentarios.

Al laboratorio de Ecología y Evolución de Recursos Vegetales y al técnico académico M. en C. Edgar Pérez Negrón por todo el apoyo durante toda mi estancia y en el trabajo de campo.

Al Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, a su personal académico y administrativo, al MTI. Heberto Ferreira Medina, MTI. Alberto Valencia García y la Ing. Atzimba López Maldonado por todo el soporte técnico y en telecomunicaciones. A Dolores Rodríguez por resolver todas las dudas administrativas, A Janik E. Equihua por la asesoría y paciencia en la última etapa de trámites, a Ileri Guzman y Mariana Martínez por todas sus atenciones. Gracias por dejarme formar parte de una comunidad unida y solidaria.

A todos mis compañeros del ECOREVE, Yaaye, Fabi, Sele, Susa, Erandi, Karo, Carmen, Carmen Julia, Ana, Xitla, Nacho, Alejandro León, Chente, Chalino, Hernan y José, por hacer un espacio de trabajo y convivencia agradable, claro que con sus momentos difíciles, gracias por las asesorías continuas, las revisiones y las largas horas de plática. En particular agradezco el enorme apoyo en el trabajo de campo a todos los que me acompañaron, en especial a José por la paciencia en campo cuando estaba empezando a entender que tenía que hacer. A Nacho y Sele por ayudarme en la identificación de las plantas y con la elaboración de los mapas.

A Yaaye y Ofelia por todo el apoyo con Eréndira y por supuesto por su amistad.

A Omar por la ayuda en estadística siempre con la mejor disposición, pero sobre todo por hacer del Ciego un espacio más ameno y por ser mi camarada.

A esa comunidad Ciego, aunque un poco amorfa por la constante entrada y salida de elementos, logra formar eso que se le llama comunidad, en especial gracias a Pachi y Leonardo que aunque por un lapso corto de tiempo, compartimos aficiones, gustos y reflexiones.

A los pobladores de Coyomeapan, Quiotepec, San Lorenz Pápalo, Ixcatlán, Axusco y Zapotitlán por permitirme entrar a sus comunidades y compartirme un poco de sus conocimientos.

Pasando a la parte más personal, agradezco a mi madre por apoyarme siempre y hacerme sentir que puedo lograr todo lo que me proponga, a mi padre porque aún en la distancia siempre está conmigo.

A mis amigas del alma Marlem, Fernanda y Chela, por estar ahí justo cuando más las necesito, por ser cómplices, paño de lágrimas y las mejores risas que conozco.

A Andrés porque en estos cinco años hemos pasado de todo y siempre me has apoyado, desde la parte académica, seguramente no tendría la visión social que aporta a este trabajo sin las interminables horas de discusión, hasta la parte personal como esposo, compañero, amigo y excelente padre.

Y en especial gracias a Eréndira, por ser la mejor hija que me puedo imaginar, por entender viajes, trabajo, reuniones, clases, etc. y siempre recibirme con una sonrisa, infinitas gracias por ser como eres.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS Y CUADROS.....	1-3
RESUMEN.....	4-5
ABSTRACT.....	6-7
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	8-24
CAPÍTULO I	
Agroforestry systems: management and biological diversities in variable socio-ecological contexts.....	25-50
CAPÍTULO II	
Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: indigenous cultures and biodiversity conservation.....	51-67
CAPÍTULO III	
Agroforestry systems of the lowland alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: An evaluation of their biocultural capacity.....	68-103
CAPÍTULO IV	
Los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán: una perspectiva regional.....	104-139
DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES.....	140-153
LITERATURA CITADA.....	154-159

LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

CAPÍTULO II

Figure 1. Study area. The Tehuacán–Cuicatlán Valley and the communities in whose territories the forests and AFS analyzed were sampled.....	55
Figure. 2. Ecological importance values (EIV).....	55
Figure 3. Sampling rarefaction curves comparing the species richness of the forests and AFS involved in the study.	58
Figure 4. Sampling rarefaction curves comparing the species richness of the natural forests and AFS in the different communities studied.....	58
Figure 5. Comparison of the Shannon diversity indexes among the forest and the AFS...	58
Figure 6. Dominance/diversity curves of Coyomeapan, Ixcatlán and San Lorenzo Pápalo forests and AFS	59
Figure 7. Schematic spatial arrangement of AFS in the communities studied.	60

CAPÍTULO III

Figure 1. Study area. Location of the communities studied in the alluvial valleys.....	94
Figure 2. Aspect of agroforestry systems and forest of the alluvial valley of the Tehacán Cuicatlán Valley, Mexico.....	95
Figure 3. Aspect of the terraces formed by ground borders stabilized with vegetation cover in the basin of the Salado River and smaller tributaries in Zapotitlán Salinas, Puebla.....	96
Figure 4. Ecological Importance Value (VIE).....	97
Figure 5. Plant species richness calculated in agroforestry systems and forest systems.....	99
Figure 6. Plant species diversity calculated in agroforestry systems and forest systems.....	100
Figure 7. Vegetation structure parameters comparing agroforestry systems.....	101
Figure 8. Intensification Value.....	103

CAPÍTULO IV

Figura 1. Ubicación del Valle de Tehuacán – Cuicatlán.....132

Figura 2. Esquema de los distintos arreglos de la vegetación de los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán.....133

TABLAS

CAPÍTULO II

Table 1. General characteristics of the farming systems evaluated in the communities studied.....56

Table 2. Plant management of trees and shrub in the agroforestry systems in the whole sample and in the different communities studied.....59

Table 3. Percentage of people interviewed that gave explicit reasons for maintaining trees and shrubs in AFS.....60

Table 4. Biophysical and sociocultural characteristics of the communities studied.....62

CAPÍTULO III

Table 1. Factors included in the index of agriculture intensification.....75

Table 2. General characteristics of agricultural plots of the SAF sampled in the study.....75

Table 3. Reasons expressed by people of the communities studied in the Tehuacán Valley for maintaining shrubs and trees in their agroforestry plots.....78

Table 4. Most important trees according to the mention of people interviewed.....79

Table 5. Checklist of trees and shrubs species recorded in agroforestry systems and the natural forest.....86

CAPÍTULO IV

Tabla 1. Características de las comunidades consideradas en el estudio.....134

Tabla 2. Trabajos revisados de huertos en comunidades indígenas y mestizas que se encuentran dentro de la Reserva de Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.....135

Tabla 3. Prácticas de manejo.....137

Tabla 4. Razones para el mantenimiento de especies silvestres en los sistemas agroforestales, en las distintas comunidades evaluadas.....138

RESUMEN

En este estudio se analizaron: (1) la capacidad de conservación de la biodiversidad de los sistemas agroforestales (SAF) de la región del Valle de Tehuacán Cuicatlán (VTC), México, (2) su contribución a la satisfacción de necesidades de las familias que los manejan, (3) los motivos culturales y sociales para la conservación de esta diversidad y las prácticas de manejo involucradas en lograrlo, (4) las problemáticas que enfrentan estos sistemas así como los riesgos de poner en peligro su capacidad de conservación.

Se trabajó en seis comunidades del VTC, cuatro de ellas son comunidades indígenas, Coyomeapan y Axusco son de origen náhuatl, mientras que en Ixcatlán son ixcatecos y en San Lorenzo Pápalo son cuicatecos, las otras dos comunidades son mestizas con orígenes indígenas, Santiago Quiotepec, de origen cuicateco y Zapotitlán Salinas de origen mixteco.

Se estudiaron los SAF de la parte montañosa, donde se encuentran los bosques templados, y los SAF de los valles aluviales, donde se localizan los sistemas agrícolas más intensivos de la región. Se evaluó la riqueza, diversidad y composición de especies de plantas perennes que se mantienen en los SAF a través de muestreos de vegetación (de 500 m² cada uno) en 29 parcelas agrícolas, los resultados se compararon con muestreos de vegetación de los bosques naturales circundantes (27 parcelas de 500 m² cada una). Mediante entrevistas, se documentaron las prácticas de manejo de la vegetación mantenida en los SAF, así como las prácticas agroforestales y el manejo del sistema, las razones por las cuales las personas deciden mantener árboles y arbustos dentro de los sistemas productivos, y los factores que influyen en los cambios en las decisiones que favorecen la intensificación agrícola. Los resultados del presente estudio se compararon y complementaron con lo documentado por otros estudios realizados en la franja árida del Valle. Con ello se aspiró a contar con un panorama regional de los SAF.

Los resultados más importantes de este trabajo son: En los SAF de los bosques templados, se registraron un total de 79 especies de árboles y arbustos, 86% de los cuales son especies nativas y representan el 43% de todas las especies de árboles y arbustos registrados en el muestreo de los bosques silvestres de los que derivan. Las razones por las cuales la gente decide mantener una cobertura vegetal se relacionaron más frecuentemente con su uso, para la obtención de frutos y leña, con beneficios como la sombra, también con razones estéticas como la belleza, y con

aspectos éticos como el respeto a la naturaleza. Los principales factores que se identificaron que influyen en las características de los SAF fueron, la disponibilidad de agua para el riego, la tenencia de la tierra, el grado de dependencia a la agricultura y la importancia de los bosques para la obtención de recursos para la subsistencia de la gente.

En los SAF de los valles aluviales se registraron 66 especies de árboles y arbustos, de los cuales el 81% son especies nativas y representan el 38% de las especies de plantas perennes registradas en los bosques asociados muestreados. En todos los sitios estudiados de esta parte del VTC, las personas combinan prácticas agrícolas tradicionales e intensivas. De acuerdo con las entrevistas, las razones para el mantenimiento de arbustos y árboles en los SAF son en orden de importancia: la belleza y la provisión de sombra, el suministro de frutas, la protección contra el viento fuerte, y favoreciendo la retención de agua y suelo.

Integrando los estudios realizados en todo el VTC se encontró que los SAF mantienen en promedio 70 especies de árboles y arbustos, siendo el 88% nativos, manteniendo en promedio el 45 % de la vegetación natural. Se identificaron cinco prácticas agroforestales principales, siendo la más frecuente y extendida las cercas vivas. Se enlistaron 25 distintas razones para mantener la vegetación, incluyendo criterios utilitarios, los asociados a beneficios ecosistémicos y razones éticas. Los resultados permitieron concluir que los SAF del VTC son importantes reservorios de biodiversidad y el patrimonio biocultural y deben ser claves para las políticas de conservación.

ABSTRACT

The Tehuacán Cuicatlán Valley (TCV) is a region where human presence is more than 12,000 years old, with records of early agriculture about 9000 years old. Agroforestry Systems (AFS) have accompanied agricultural practices since its origins. AFS are valuable alternatives for designing production systems concerning benefits provision with conservation of biodiversity and ecosystem services. In this study we analyzed: (1) the biodiversity conservation capacity of AFS at regional scale in the TCV, (2) the role of AFS in satisfying needs of people managing them, (3) the human cultural motives for conserving such diversity and management actions involved to achieve that purpose, and (4) problems endangering that capacity.

We analyzed AFS of the lowland alluvial valleys, the most intensive the agricultural systems in region, as well as in the temperate highlands. We evaluated the richness and diversity of perennial plant species maintained in AFS through vegetation sampling of 29 agricultural plots and compared their composition with that of natural forests (27 plots of 500 m² each). We examined the situations among communities of Náhuatl, Ixcateca, Cuicateca and mestizo people, documenting through interviews the management practices of plant species and the whole system, reasons why people maintain vegetation cover within AFS, and factors influencing changes in decisions favoring agriculture intensification. With this information we constructed a management intensity index compared among plots and villages. We compared the results of this study with in the arid fringe of the region in order to have a more complete panorama of AFS of the region.

In the AFS in temperate highlands studied, we recorded 79 species of trees and shrubs, 86% of them being native species and representing 43% of all species of trees and shrubs recorded in the sampling of the natural forests the AFS derive from. People leave standing on average a total of 40 individual trees and shrubs per agricultural plot. Reasons for leave plant species standing were more frequently associated with their use as fruit trees, firewood, shade, beauty, respect to nature and other environmental benefits. Water availability for irrigation, land tenure, and dependence on agriculture and forest for peasant's subsistence were main decision factors influencing AFS variation in their composition. In the AFS of the alluvial valleys we recorded 66 species of trees and shrubs in the AFS studied, 81% of them being native species that represent

38% of the perennial plant species recorded in forests sampled. Land tenure and institutions vary among sites but do not influence the vegetation cover in AFS. Plant diversity decreased according to management intensity. In all studied sites people combine traditional and intensive agricultural practices. Main agroforestry practices are ground terraces and borders surrounding AFS plots where vegetation is maintained. According to people, the reasons for maintaining shrubs and trees in AFS were, in order of importance, beauty and shade provision (14% of people), fruit provision (7%), protection against strong wind, and favouring water and soil retention.

AFS in TCV are important reservoirs of biodiversity and biocultural heritage and should be keystones for conservation policies, where there is available information on plant species and local techniques potentially useful for such purposes in a regional program of biodiversity conservation considering AFS as keystone.

INTRODUCCIÓN GENERAL

INTRODUCCIÓN GENERAL

La creciente demanda de alimentos asociada al crecimiento de la población humana a nivel mundial y a patrones de consumo excesivos e insostenibles, que predominan en las sociedades industriales contemporáneas, han planteado un dilema entre la producción de alimentos y la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad (Lappe *et al.*, 1998; Altieri y Rosset, 1999; Brussaard *et al.*, 2010). Sin embargo, como se discute más adelante y a través de los textos que componen esta tesis, tal dilema es cuestionable, debido a que es necesario considerar elementos y modelos alternativos a los sistemas de producción hegemónicos. Desde los años 60's y 70's, con el impulso de la Revolución Verde, en México se ha buscado aumentar la producción del campo mediante la agricultura intensiva, mecanizada, con grandes extensiones de monocultivos y una alta dependencia de insumos externos (Rosset y Altieri, 1997; Altieri y Nicholls, 2000). Sin embargo, este modelo no ha sido capaz de solucionar el problema de la producción suficiente de alimentos así como de otras materias primas para la industria, tampoco ha logrado apuntalar formas sostenibles de desarrollo, ni ha logrado resolver el gran problema de la pobreza rural (Astier, 1994; Altieri y Toledo, 2011).

Al mismo tiempo que el modelo de producción intensiva se ha expandido, se ha documentado la pérdida de biodiversidad debido principalmente a la pérdida de hábitat, en buena medida asociada al crecimiento de áreas agro-pecuarias y la sobreexplotación de los recursos naturales, el gran impacto de las compañías mineras y petroleras, la expansión urbana y como consecuencia de ello, la fragmentación del paisaje (Bawa *et al.*, 2004; MA, 2005; DeClerck *et al.*, 2010). Alrededor de 13 millones de hectáreas de bosques fueron destruidas cada año entre 2000 y 2010 (FAO, 2005; Frey *et al.*, 2010), siendo el principal motor de cambio la expansión de la frontera agrícola (Gibbs *et al.*, 2010).

En contraste, es pertinente mencionar que aunque hoy en día existe suficiente producción para alimentar adecuadamente a la población mundial, el mundo padece de grandes problemas en este rubro. De los más de 7,000 millones de habitantes que poblamos el planeta, cerca de 900 millones se encuentran en estado de desnutrición severa, otros 1000 millones tienen deficiencias en la incorporación de micronutrientes esenciales y aproximadamente 1000 millones tienen problemas de sobrepeso, mientras que 500 millones padecen problemas severos de obesidad (OMS, 2013). A ello habría que agregar que hoy en día cerca del 30% de la producción agrícola mundial se desperdicia o se pierde por problemas asociados al almacenamiento y procesos de distribución. Por lo que nos encontramos en una situación en la que se mantienen grandes problemas de inseguridad alimentaria, no resueltos no obstante que la producción agrícola es más que suficiente para atenderlos y, sin embargo, el cambio de hábitats naturales y pérdida de biodiversidad siguen en aumento (Brussaard *et al.*, 2010).

El panorama anterior impone un replanteamiento acerca de la ruta seguida por el modelo de producción hegemónico, la búsqueda de perspectivas distintas y retos gigantescos para la ciencia y la sociedad contemporánea. En particular, los cuestionamientos y retos pueden dirigirse a lograr: (1) la seguridad y suficiencia alimentaria a nivel local, regional y global, (2) la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad. Por ello, hay grandes esfuerzos en sectores académicos y diversos grupos sociales y culturales en la búsqueda de principios, diseño y construcción de sistemas en los que esas dos metas no sean contrapuestas y encontrar estrategias de integración y conciliación entre la producción y la conservación (Rosset y Altieri, 1997; Jose, 2012). Para ello es necesario conocer las múltiples experiencias que han desarrollado distintos sectores de la sociedad, como lo son algunas prácticas tradicionales que muestran que es posible la coexistencia de prácticas productivas y la conservación de biodiversidad (Altieri, 1991;

Toledo *et al.*, 2003). También son importantes los esfuerzos técnicos actuales que han desarrollado herramientas y tecnologías para mejorar la producción en campo con medidas menos dañinas para el medio (Grau *et al.*, 2013), conformando en su conjunto propuestas integradoras (Altieri y Toledo, 2011).

Sistemas Agroforestales

La conciliación de los propósitos productivos y de conservación encuentra en la agroecología un soporte fundamental. Esta es una disciplina científica que provee bases ecológicas para la conservación de la biodiversidad en la agricultura, promueve el desarrollo rural recuperando el conocimiento local y aportando nuevas técnicas (Krishnamurthy y Ávila, 1999). Su principal enfoque consiste en considerar de manera integral los componentes y funciones de los sistemas agrícolas desde una perspectiva ecosistémica. Dentro de la agroecología, los sistemas agroforestales (SAF) han sido estudiados reconociendo el alto potencial para conciliar las metas de la producción y la conservación de biodiversidad y de funciones ecosistémicas (Noble y Dirzo, 1997; Altieri y Nicholls, 2000; Perfecto y Vandermeer, 2008).

Los SAF integran elementos de la vegetación natural dentro del sistema agrícola. Por lo tanto, son sistemas que incluyen componentes agrícolas (plantas domesticadas) y componentes forestales (plantas silvestres, arvenses, ruderales y semi-domesticadas), que se manejan y valoran dentro del sistema productivo (Casas *et al.*, 1997; Moreno-Calles *et al.*, 2014). Frecuentemente se consideran los elementos forestales leñosos dentro de estos sistemas, pero en realidad pueden incluirse también los elementos herbáceos, así como otros grupos taxonómicos como animales y hongos. Resultando en un manejo de la biodiversidad silvestre y domesticada en un sentido amplio (Moreno-Calles *et al.*, 2014). En estos sistemas los componentes son manejados en una

complejidad temporal y espacial, que en conjunto constituyen un enfoque integral del uso de la tierra (Krishnamurthy y Ávila, 1999; Sinclair, 1999; ICRAF, 2000; Schroth *et al.*, 2004).

Las prácticas agroforestales pueden apreciarse en sistemas como los huertos caseros o solares, de los que existe una gran diversidad de expresiones en todo el mundo (Torquebiau, 1992; Kumar y Nair, 2004; Montagnini, 2006; Pulido *et al.*, 2008). También se aprecian en diversos sistemas de roza, tumba y quema, y en sistemas que involucran cultivos en rotación. Numerosos sistemas de temporal, de riego, en valles o en pendientes con terrazas pueden incluir manchones de vegetación, árboles aislados o en conjuntos al interior de la parcela o formando cercos vivos. Todos ellos son SAF. Diferentes estudios han mostrado que estos sistemas son capaces de combinar una alta diversidad de recursos y propósitos productivos, al mismo tiempo que favorecen el mantenimiento de especies de los ecosistemas originales o de los SAF vecinos. Por lo tanto, pueden incrementar los beneficios sociales, económicos y ambientales del sistema, más allá de lo que reditúan los componentes agrícolas (ICRAF, 2000; Bhagwat *et al.*, 2008; Moreno-Calles *et al.*, 2010).

Existen evidencias de prácticas agroforestales desde los inicios de la agricultura (Gordon y Newman, 1998). Los SAF son expresiones de las etapas tempranas de coexistencia de elementos agrícolas dentro de los contextos forestales (Casas *et al.*, 1997). Por ello, son el resultado de siglos de relación del hombre con la naturaleza, con un conocimiento acumulado que se ha ido incorporando a activos procesos de innovación tecnológica al paso de los años, y por ello son sistemas que tienen una importancia cultural y ecológica milenaria (Altieri y Toledo, 2005; McNeely y Schroth, 2006; Nabhan, 2007). Al mismo tiempo son prácticas vivas, es decir, se siguen realizando manteniéndose como espacios de creación e innovación continua (Moreno-Calles *et al.*, 2014).

El papel de los sistemas agroforestales en la conservación

La presencia de SAF influye en los procesos ecológicos, en la estructura y características de la vegetación circundante, en los procesos de dispersión de la flora y la fauna, así como en el mantenimiento de importantes beneficios o funciones de los ecosistemas. Pueden incluir componentes que actúan como pesticidas naturales, o albergar depredadores de insectos que potencialmente pueden convertirse en plagas. Son importantes almacenes de carbono, contribuyen a la conservación de suelos, a la regulación de los flujos de agua y nutrientes así como a los microclimas que favorecen las prácticas agrícolas (Daily, 1997; Soto-Pinto *et al.*, 2002; Schroth *et al.*, 2004; Jose, 2012; Nair, 2011; Tschardtke *et al.*, 2011).

Actualmente está ampliamente documentada la capacidad que tienen los sistemas agroforestales para mantener diversidad biológica a escala local y regional (Schroth *et al.*, 2004; McNeely y Schroth, 2006). A escala regional, se reconoce que en el mosaico agrícola y de vegetación natural remanente, dichos sistemas permiten el mantenimiento de hábitat para distintas especies de flora y fauna, así como el incremento de conectividad y el intercambio genético entre áreas protegidas o en paisajes fragmentados (Prasad, 2006; Bhagwat *et al.*, 2008; Harvey *et al.*, 2008; Perfecto y Vandermeer, 2008; Scales y Marsden, 2008; DeClerck *et al.*, 2010). A escala local se ha evaluado el aumento de la complejidad florística, ya que incluyen una mezcla dinámica de especies útiles y manejadas con especies asociadas, que en apariencia no tienen ningún uso (Swift *et al.*, 1998), con ello se da un incremento de la riqueza de especies. Además, los árboles que los constituyen proveen una complejidad en la estructura vertical que permite crear hábitats para otras especies (Altieri, 1991; Schroth *et al.*, 2004).

Un sistema, al mantener una alta diversidad biológica y con conectividad, habilita la coexistencia y las interacciones entre las especies, lo que permite un sistema más estable, más resiliente, ante lo cual se propone que la productividad será más duradera (Altieri y Nicholls, 2000; Donald, 2004; Perfecto *et al.*, 2007; Perfecto y Vandermeer, 2008). Por lo tanto, la biodiversidad dentro de los sistemas agroforestales puede ser vista como una estrategia de manejo, que permite un uso eficiente de los recursos y que le confiere sustentabilidad al sistema en su conjunto.

El papel de los manejadores de los sistemas agroforestales

En los paisajes rurales dominados por la presencia humana, los que toman las decisiones sobre su medio son los que ahí viven, son dueños o trabajan la tierra (Flores *et al.*, 2014), los campesinos en gran parte de nuestro país. Las decisiones de los campesinos sobre su medio, su terreno y el manejo que le dan a sus sistemas productivos dependen en alguna medida de su cultura, del conocimiento sobre el territorio, de las prácticas agrícolas implementadas, del acceso a insumos agrícolas o a programas gubernamentales (Moreno-Calles *et al.*, 2013). Los recursos vegetales mantenidos dentro de los SAF dependen directamente del manejo humano, dándose una interacción estrecha con prácticas agrícolas desarrolladas por culturas particulares (Nabhan, 1982). Así, en los SAF se expresa una variedad de relaciones entre el hombre y la naturaleza, las cuales reflejan las múltiples formas de la creatividad humana en el trato con los recursos forestales (Wiersum 1997; Nandy y Kumar, 2013).

Por todo lo anterior, se plantea que las características de los SAF están estrechamente ligadas con las razones que tienen los campesinos en mantener los elementos silvestres dentro de sus tierras productivas.

Razones para el mantenimiento de la vegetación

Se han registrado numerosas razones que motivan a los campesinos a conservar los árboles, arbustos y hierbas silvestres en los sistemas agroforestales. Se pueden mencionar los aspectos utilitarios, el valor intrínseco de las plantas, de la vida, del bosque; también son comunes las razones estéticas, lo asociado a la belleza del paisaje y de la parcela, así como a los procesos de transmisión de conocimientos sobre los bosques entre generaciones (Ansong and Røskaft, 2011; Dawson *et al.*, 2013). Se ha documentado la contribución de las especies como alimentos, su uso en la medicina y ceremonias tradicionales, las valoraciones culturales y religiosas, el papel que juegan en la reposición de la fertilidad del suelo o su capacidad para brindar sombra (Dawson *et al.*, 2013; Moreno-Calles *et al.*, 2013). Asimismo, diversos trabajos han profundizado en el análisis de la percepción de los campesinos sobre la disponibilidad de especies de interés en la vegetación natural como importante motivador del manejo de prácticas agroforestales (Assogbadjo *et al.*, 2012). También se ha registrado como una razón importante, la preocupación por la degradación de las tierras y con ello la pérdida de la capacidad para la producción de cultivos (Ansong and Røskaft, 2011).

El mantenimiento de la cubierta forestal diversificada dentro de una pequeña área productiva es un elemento de la estrategia campesina de subsistencia en diversas partes del mundo (Haines-Young, 2009). Las plantas silvestres juegan un papel para los habitantes de las comunidades rurales, particularmente cuando hay problemas económicos o escasez de alimentos o de otros productos importantes en la subsistencia, como leña o medicinas (Assogbadjo *et al.*, 2012). Todo ello sugiere que según la valoración que los manejadores tienen sobre los recursos y sus funciones utilitarias directas o indirectas, en beneficio del sistema de producción tiene una influencia directa en el uso y manejo de los paisajes agrícolas.

Limitaciones

Los SAF también tienen sensibles limitaciones, en algunos casos pueden requerir una mayor inversión en términos de mano de obra y tiempo de trabajo (Dagang y Nair, 2003). Esto puede estar aunado a que la producción que se obtiene del sistema puede considerarse de bajo rendimiento (Green *et al.*, 2005), sobre todo cuando se basan únicamente en la producción del cultivo. Tales condiciones pueden desmotivar al productor cuando compara su experiencia con el espejismo y el prestigio que otorgan las prácticas agrícolas intensivas.

Se reconoce que la capacidad de conservación de la biodiversidad y de funciones ecosistémicas no es total. Los SAF logran mantener mayor biodiversidad en comparación con los monocultivos intensivos, pero no logran mantener lo mismo que los sistemas naturales (Phalan *et al.*, 2011a, 2011b). En ello suele ser determinante la distancia de los SAF con respecto a los bosques primarios, así como el tipo de manejo al que sean expuestos (McNeely y Schroth, 2006). En especial se reconoce que las especies raras se pierden en estos sistemas (Moreno-Calles *et al.*, 2010). Sin embargo, la conducción deliberada del sistema hacia el reforzamiento de sus capacidades de conservación de biodiversidad y de funciones ecosistémicas, es posible, técnicamente viable y en consonancia con los propósitos productivos.

Una de las principales debilidades de los sistemas agroforestales es la presión social y económica para la intensificación de los sistemas productivos, así como la erosión cultural que se presenta día con día. Además, algunos programas gubernamentales incentivan a derribar todos los árboles en pie para dar paso a sistemas intensivos con la esperanza que serán más rentables. Todo esto ha llevado en muchos sitios a la reducción de dichos sistemas (Altieri y Toledo, 2005). De igual manera, cuando existen programas de gobierno que tratan de fomentar prácticas de reforestación

o implementación de SAF, sin considerar los conocimientos tradicionales, ni tomar en cuenta a las autoridades locales, ni involucrar de manera directa los pobladores, son programas que tienden al fracaso (Nabhan *et al.*, 1982; Boffa, 2000; Tougiani *et al.*, 2009; Frey *et al.*, 2013).

Sistema de estudio

Algunos factores que se han documentado que intervienen en la capacidad para mantener diversidad biológica de los sistemas agroforestales son: (1) Los sistemas forestales de los que se derivan, las especies que contienen y la diversidad con que cuentan; (2) el grado de intensidad de manejo que se ha aplicado, lo cual varía dependiendo del propósito de la producción y de la capacidad natural del sistema original para soportar distintos niveles de intensidad de manejo (Swift *et al.*, 1998); y (3) culturales de la población que los maneja (p. ej. uso múltiple de los recursos) y elementos tecnológicos dirigidos a mantener deliberadamente múltiples especies, lo que promueve sistemas altamente heterogéneos (Tscharnake *et al.*, 2005). Esta información sugiere fuertemente que el diseño de estrategias de aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación de biodiversidad requiere tomar en cuenta a estos sistemas.

La presente investigación se realizó en el Valle de Tehuacán Cuicatlán (VTC), ubicado en el sureste del estado de Puebla y noreste de Oaxaca. Es un estudio con un enfoque regional, que aspiró a documentar las condiciones de los SAF en las tres grandes zonas agrícolas de la región: (1) Los valles aluviales, en el fondo del Valle, principalmente los que reciben riego de los ríos Salado, Grande, Cacahuatal y Santo Domingo, es la zona agrícola más antigua de la región y sometida a sistemas de producción relativamente más intensivos; (2) la zona montañosa templada de la Sierra de Zongolica, altamente transformada por prácticas agrícolas y (3) la franja árida y semiárida en las laderas, derivadas de bosques secos, matorrales xerófilos y bosques de

cactáceas columnares (Casas *et al.*, 2008). En estas regiones existen SAF, tanto de temporal como de riego, así como sistemas de traspatio que incluyen diversos tipos de huertos y solares (Larios *et al.*, 2013).

En la franja árida y semiárida Moreno-Calles *et al.* (2010) documentaron que los sistemas agrosilvícolas logran mantener en promedio 58% de la riqueza de especies de plantas de los sistemas silvestres, registrando 87 especies pertenecientes a 24 familias botánicas, siendo el 94% flora nativa, además de mantener hasta el 94% de la diversidad genética de algunas especies de cactáceas columnares dominantes. Este estudio sugirió que los SAF son almacenes de biodiversidad, muy importantes de considerar para el diseño de estrategias de conservación. Sin embargo, aún faltaba información de los SAF presentes en las demás zonas agrícolas de la región.

El propósito de este estudio es ampliar y sistematizar la información disponible sobre este tópico y desarrollar una estrategia regional de conservación de diversidad biológica con base en los SAF. En particular, la investigación se orienta a contestar las siguientes preguntas: (1) ¿Qué capacidad tienen los sistemas agroforestales para mantener la biodiversidad regional? (2) ¿Es similar la capacidad de mantener biodiversidad en distintos contextos ambientales? (3) ¿Qué factores socio-económicos y culturales influyen en la capacidad de los sistemas agroforestales de mantener biodiversidad?

HIPÓTESIS

Se espera que en general los SAF tradicionales tengan alta capacidad de mantener biodiversidad, y que las diferencias en tal capacidad entre los sistemas estudiados dependerá de los siguientes factores: (1) **El contexto ambiental**; la riqueza y diversidad del sistema forestal del que se

deriva el SAF influirá de manera directamente proporcional a la riqueza de especies que se encuentre en el SAF. (2) **La intensidad de manejo**; relacionada a su vez con el propósito de la producción, el valor del cultivo y de la capacidad intrínseca del ecosistema de intensificarse, a mayor intensidad de manejo (evaluada en términos de energía invertida, herramientas usadas y productividad), menor diversidad. (3) **El aprovechamiento múltiple de los recursos**; la mayor presencia de uso múltiple (incluyendo elementos culturales y organización social, economía de auto-subsistencia) significará una mayor capacidad de mantener biodiversidad y viceversa.

OBJETIVOS

Analizar los SAF de la región y evaluar su potencial en la conservación de biodiversidad.

- Describir las características biofísicas de los SAF y una tipología de éstos a escala regional.
- Evaluar la capacidad de los SAF para el mantenimiento de la diversidad biológica, medida en riqueza de especies vegetales y estructura de la comunidad vegetal.
- Diagnosticar los procesos regionales que influyen en la degradación de los sistemas y que ponen en riesgo su mantenimiento a largo plazo.
- Analizar el potencial de estos sistemas para la conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos de provisión a nivel regional, para incorporarlos a una estrategia regional de aprovechamiento y conservación de recursos naturales.

Con base en estos objetivos, la presente tesis se compone de cuatro capítulos, los cuales se mencionan a continuación.

Capítulo I. Agroforestry systems: management and biological diversities in variable socio-ecological contexts. Es un artículo de revisión en el que se documentan el funcionamiento, las problemáticas, las estrategias de manejo y capacidades de conservación de biodiversidad de los SAF en distintos contextos socio-ambientales del mundo, con énfasis en México. Se exploraron las características de los SAF de acuerdo con la región ecológica y el contexto sociocultural en el que se desarrollan.

Se encontró que los SAF pueden tener diversos propósitos productivos y características diferentes, dependiendo de las prácticas agrícolas implementadas, de las condiciones ambientales así como de factores sociales, económicos y culturales. Se analizaron contextos indígenas y tecnificados de zonas de trópico, zonas templadas y zonas áridas. En cada tipo de ecosistema se ponen en práctica formas de manejo propias de cada cultura y cada contexto ecológico, las cuales permiten obtener el mayor beneficio y resolver problemáticas locales.

Se documentó que en la zona tropical particularmente sobresalen los cultivos bajo sombra de café y cacao, con riqueza de especies, pero donde existe un mayor número de especies exóticas, son sitios propicios para árboles frutales tropicales y maderas. En las zonas templadas una de las preocupaciones frecuentes son las condiciones climáticas, por lo que se piensa en los SAF como una medida de aminorar algunos problemas ambientales como lo son los fuertes vientos y las heladas o nevadas. Es usual encontrar barreras rompevientos con árboles nativos o árboles con usos específicos como frutales y maderas, principalmente. En las zonas áridas, las presiones del medio son particularmente agresivas y la limitante principal es el agua, por lo que los SAF se piensan en función de cómo aprovechar al máximo ese valioso recurso, por lo que los campesinos mantienen los elementos forestales que son principalmente para beneficios

ecosistémicos, como agua, sombra, suelo, microclima, etc. Todo esto repercute en las características de los SAF y en su capacidad de conservar diversidad biológica.

Capítulo II. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: indigenous cultures and biodiversity conservation. En este capítulo, publicado en la revista *Agroforestry Systems*, se analizó: (1) La capacidad de conservación de biodiversidad de los SAF en las tierras altas templadas del VTC, (2) los motivos culturales y las acciones para la conservación de esta diversidad y (3) cuáles son los problemas presentes en estos sistemas que ponen en peligro dicha capacidad. Se evaluó la riqueza y diversidad de especies de plantas perennes mantenidas en los SAF, mediante muestreos de vegetación en bosques naturales y parcelas agrícolas, permitiendo hacer comparaciones de composición, diversidad y estructura. Se trabajó en tres comunidades de origen indígena nahuatl, ixcateca y cuicateca, documentando a través de entrevistas las prácticas de manejo de las especies de plantas y de todo el sistema, las razones por las cuales la gente mantiene la cobertura vegetal dentro de los SAF, y los factores que influyen en los cambios o en las decisiones que favorecen a la intensificación agrícola.

En los SAF estudiados se registraron un total de 79 especies de árboles y arbustos, siendo el 86% nativas y representando el 43% de todas las especies de árboles y arbustos registrados los bosques circundantes. Se documentó que las razones para dejar en pie el componente forestal se asocian más frecuentemente con su uso, como árboles frutales, leña, sombra, belleza, respeto a la naturaleza y otros beneficios ambientales. Se identificó que los principales factores que influyen en el manejo de los SAF y en su composición vegetal, son la disponibilidad de agua, la tenencia de la tierra, la dependencia a la agricultura y a los bosques para la subsistencia de los

campesinos. Se concluyó que los SAF en zonas templadas son reservorios importantes de biodiversidad y del patrimonio biocultural y deben ser considerados para políticas de conservación en el VTC.

Capítulo III. Agroforestry systems of the lowland alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: An evaluation of their biocultural capacity. Este capítulo constituye un artículo de investigación aceptado en la revista *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. Se centra en el estudio de los SAF de la parte más baja del VTC, en los valles aluviales. Se trabajaron en tres comunidades rurales de la región, documentando las prácticas agrícolas, la frecuencia de uso de insumos químicos y de maquinaria, y la cobertura de vegetación dentro de las parcelas. Se identificaron las razones por las cuales las personas mantienen plantas silvestres dentro de los sistemas campesinos y las prácticas agroforestales tradicionales. Se analizó la riqueza, la diversidad y otros indicadores ecológicos de los sistemas agroforestales y del bosque, mediante muestreos de vegetación. Se encontró que en todos los sitios se combinan prácticas agrícolas tradicionales e intensivas.

En esta parte del Valle, la principal práctica agroforestal que se realiza es la semi-terrace o bancales, donde los árboles y arbustos juegan un papel fundamental. Las razones documentadas para el mantenimiento de arbustos y árboles en los sistemas son, en orden de importancia, la belleza y la provisión de sombra, la obtención de fruta, la protección contra el viento y la retención de agua y suelo. Se registraron 66 especies de árboles y arbustos, el 81% de los cuales son especies nativas que representan el 38% de las especies de plantas perennes registrados en los bosques muestreados. En este capítulo se muestra como el mantenimiento de la cubierta vegetal no necesariamente se confronta con las prácticas de agricultura intensiva. Se plantea que es posible la ampliación y el enriquecimiento de la vegetación dentro de los SAF, así como que

existe información disponible para sugerir a los SAF en programas de conservación de la biodiversidad.

Capítulo IV. Los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán: una perspectiva regional.

Este es un capítulo integrador que permitió encontrar patrones generales de los SAF en la región. Es un capítulo aceptado para su publicación en el libro *“El Manejo Etnoagroforestal en México”*. En esta sección se recopiló la información disponible sobre los diferentes sistemas que se han estudiado en el VTC, sus características regionales y su capacidad de mantener diversidad biológica. Se registraron las categorías de uso y formas de manejo de los diferentes componentes de la vegetación, las razones que considera la gente para el mantenimiento de las especies dentro de los sistemas, así como los aspectos culturales de los manejadores de los mismos.

Se encontró que en los SAF asociados a las milpas de la región, se mantienen en promedio 183 especies de árboles y arbustos, siendo el 88% nativos, y en los huertos se documentaron 376 especies con el 65% de especies nativas. En promedio los SAF regionales mantienen el 45% de las especies de la vegetación natural. Se registraron cinco prácticas agroforestales principales, siendo la más frecuente y extendida la de cercas vivas; se encuentran también islas de vegetación, manchones, franjas y árboles aislados. Se enlistaron 25 razones para mantener plantas silvestres dentro de los SAF, las más mencionadas incluyen criterios utilitarios, como alimento, forraje o leña. Se identificó que las distintas características locales de las comunidades humanas como tenencia de la tierra, posibilidad del uso de maquinaria y situación económica; aunadas a las características ecológicas, como disponibilidad de agua, temperatura y biodiversidad regional; influyen en las características de los SAF del VTC.

Por último, en la **Discusión General** y las **Conclusiones**, se evalúan las hipótesis generales planteadas para este trabajo, en relación a los patrones de manejo de los SAF y la capacidad de conservación de biodiversidad en distintos ecosistemas, lo cual permite hacer una propuesta para que estos sistemas sean considerados como estrategias de conservación biológica dentro paisajes con dominancia de presencia de grupos humanos.

CAPÍTULO I

Vallejo M, Casas A, Moreno-Calles AI. Agroforestry systems: management and biological diversities in variable socio-ecological contexts.

Agroforestry systems: management and biological diversities in variable socio-ecological contexts

Mariana Vallejo¹, Alejandro Casas¹, Ana I. Moreno-Calles²

¹Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Apartado Postal 27-3 (Santa María Guido), Morelia, Michoacán 58190, México.

²Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Apartado Postal 27-3 (Santa María Guido), Morelia, Michoacán 58190, México.

Introduction

Transformation of natural ecosystems to intensive agricultural systems is among the factors determining the highest biodiversity loss in the world (Donald, 2004; Schroth *et al.*, 2004; Foley *et al.*, 2005; Tscharntke *et al.*, 2005; Tscharntke *et al.*, 2011). The expansion of agricultural and grassland frontier is progressively growing; from 1980 to 2000 more than 55% of the new agricultural fields were established in primary forests and nearly 28% in secondary forests (Gibbs *et al.*, 2010). Consequently, the main efforts of biodiversity conservation have been directed to decree natural reserves and protected areas, but these efforts only have been effective in nearly 7.7% of the planetary forests (Schmitt *et al.*, 2009). Most of the natural protected areas are surrounded or contain agricultural landscapes, and they commonly have environmental problems such as fragmentation, agrochemicals contamination, and illegal hunting and taming (DeFries *et al.*, 2005; Harvey *et al.*, 2008). Therefore, threat to biodiversity within protected areas are closely linked with phenomena occurring at the surrounding or contained landscapes,

including the matrix of agricultural and forest lands, and the management of agricultural systems (Wallace *et al.*, 2005; Vandermeer and Perfecto, 2007).

In the agricultural matrix, processes that are crucial for the maintenance of the forest remains occur. Migration of plant and animal species is common among fragments of forest and remnants conservation; the way an environmental matrix remain permeable to individuals and propagules is a form of preventing declining or extinction of elements of biodiversity (Perfecto and Vandermeer, 2010). A high proportion of species of primary forests visit the agricultural matrix, including numerous specialist species (Gascon *et al.*, 1999). For this reason, the quality and characteristics of the matrix may significantly affect the dynamics of the landscape; influence the nature of the border, area, and isolation effects of the patches of primary or protected forest (Gascon *et al.*, 1999; Guevara *et al.*, 2004; Perfecto and Vandermeer, 2010). In these landscape types the agroforestry systems (AFS) may play important roles in maintaining biodiversity (Schroth *et al.*, 2004) and, therefore, agroecology may be crucial for optimizing such a role in conservation programs.

Agroecology is the science that investigates the complexity of ecological and socioeconomic processes influencing agricultural systems and constructs agricultural strategies and practices for conserving biodiversity, sustainable management of the systems and rural development, and generates new techniques based on local knowledge and contribution of several scientific disciplines (Altieri, 1991; Krishnamurthy and Ávila, 1999). AFS are very important in agroecology, since it is recognized their high potential for reconciling production and conservation (Combe and Budowski, 1979; Noble and Dirzo, 1997; Altieri and Nicholls, 2000; Perfecto *et al.*, 2007; Perfecto and Vandermeer, 2008).

AFS traditionally managed by peasants throughout the world commonly include among their components trees, shrubs and herbs that are part of the natural vegetation, having thus a good capacity for conserving native species that may be planted, cared or at least let standing their sprouts (Casas *et al.*, 2007; Moreno-Calles *et al.*, 2010; Blancas *et al.*, 2010). These systems may also include exotic and even invasive species (Schroth *et al.*, 2004). Components of AFS are managed in a complex systemic way of land use (Krishnamurthy and Ávila, 1999; ICRAF, 2000). Practices of AFS are evident since the earliest forms of agriculture (Gordon and Newman, 1998), which has been considered by a number of authors that agriculture derives from experiences of managing vegetation (Casas *et al.*, 1997). Current AFS are, therefore, expressions of centuries and even millennia of interactions between humans and nature, as well as knowledge and techniques resulting from such interactions. Therefore, AFS summarize ancient biocultural interactions (Altieri y Toledo, 2005; McNeely and Schroth, 2006; Nabhan, 2007).

AFS have been studied from ecological perspectives (Perfecto and Vandermeer, 2008; Bhagwat *et al.*, 2008), economic (Donald, 2004; Boffa, 2000), cultural (Altieri and Toledo, 2005; Moreno-Calles *et al.*, 2013), landscape analysis (Tscharntke, 2005), among others. It is generally recognized that AFS integrate multiple wild and domesticated plant and animal elements (Moreno Calles *et al.*, 2013) in a coherent totality (Sinclair, 1999). Crops and forest components are disposed in dynamic mosaics determining a high diversity of biophysical and socio-economic processes (McNeely and Schroth, 2006) that favour the conservation and resilience of both components and functions (Vandermeer *et al.*, 1998; Holt-Giménez, 2002; Vandermeer and Perfecto, 2007; DeClerck *et al.*, 2010; Eakin *et al.*, 2012).

From an ecological perspective, AFS favour processes of dispersion of native flora and fauna, as well as maintenance of ecosystem functions such as carbon sequestration, presence of

pollinators, natural pesticides, soil conservation, regulation of water and nutrient flows and microclimate (Daily, 1997; Soto-Pinto *et al.*, 2002; Schroth *et al.*, 2004; Jose, 2009; Nair, 2011; Tschardtke *et al.*, 2011).

It has been documented that soils of AFS may be productive enough to sustain long term agricultural production (Altieri, 1991; Krishnamurthy y Ávila, 1999; DeClerck *et al.*, 2010) and are highly beneficial to maintain and improve production in areas of low fertility and high or low humidity soils (Jose, 2009). Presence of a cover of wild and domesticated plants favours the availability of nutrients like nitrogen and absorption of nutrients in deep layers of soil (Jose, 2009; Nair, 2011; Tschardtke *et al.*, 2011)

AFS may favour maintenance of local and/or regional biodiversity (Schroth *et al.*, 2004; McNeely and Schroth, 2006). At regional level, the mosaic of agricultural and natural vegetation patches permit the maintenance of habitats, connectivity and gene flux among populations of species of flora and fauna in conserved and fragmented areas (Otero-Arnaiz *et al.*, 2005; Prasad, 2006; Bhagwat *et al.*, 2008; Harvey *et al.*, 2008; Perfecto and Vandermeer, 2008; Scales and Marsden, 2008; DeClerck *et al.*, 2010; Parra *et al.*, 2010, 2012).

At local scale, AFS may increase the floristic complexity, including both useful and not useful plants species (Swift *et al.*, 1998), and thus significantly contributes to increase the species richness in fragmented landscapes. In addition, some components of AFS, particularly trees, provide habitats that are favourable to other plant and animal species (Altieri, 1991; Schroth *et al.*, 2004; Moreno Calles *et al.*, 2010). These processes in turn, favour coexistence and interactions among species, stability and resilience, as well as a more durable productivity than in monocultures (Altieri and Nicholls, 2000; Donald, 2004; Perfecto *et al.*, 2007; Perfecto and

Vandermeer, 2008). Conserving biodiversity within AFS can therefore be seen as a management strategy, allowing efficient use of resources while favouring a matrix of high quality and permeability to species moving among natural areas.

Another aspect of ecological importance is the potential of AFS to favour the regeneration of forests which were disturbed for establishing an agricultural system, as well as to ease its restoration and that of the neighbouring systems. While conserving soil, water, animals dispersers of seeds, pollinators and native species, AFS permit that abandoned agricultural plots keep their good conditions for a faster succession and regeneration of natural ecosystems than those systems drastically transformed (Chazdon, 2003; Harvey *et al.*, 2006; Harvey *et al.*, 2008).

AFS have been maintained throughout the time since the origins of agriculture. In the Tehuacán Valley, one of the earliest areas of agriculture of the New World (MacNeish, 1967), AFS predominate in the regional agricultural landscape (Moreno-Calles *et al.*, 2010, 2012). AFS have been used with the basic principle of multiple use of resources and functions of the systems, which has favoured the diversification of production of rural people subsistence and, at the same time has permitted to generate monetary incomes to households (Nabhan, 1982; Boffa, 2000; Altieri and Toledo, 2005). Such management strategy allows AFS to provide agricultural products along with forest resources used as construction, fuel, medicines, food, and other benefits (Donald, 2004; Perfecto and Vandermeer, 2008; Montagnini, 2006; Moreno-Calles *et al.*, 2012), which in turn may contribute to decrease pressure on resources extraction and clearing of forest areas. The strategy of multiple use of resources prevail in peasant contexts, mainly where traditional agriculture is predominant, and where people have a close relationship with the land and perceive and know its multiple components, functions and interactions (Altieri and Toledo, 2005; Harvey *et al.*, 2008).

Among the main risks of AFS, it can be mentioned the increasing social and economic pressures to intensify the production system (Armbrecht *et al.*, 2005; Moreno-Calles *et al.*, 2013), as well as loss of traditional cultures, knowledge and techniques (Altieri and Toledo, 2005). In addition, some governmental programs enhance the removing of vegetation cover in crop fields arguing that the remaining vegetation decreases productivity (Moreno-Calles *et al.*, 2010, 2013). Some programs of governmental agencies and NGOs are careless, enhancing reforestation or AFS without considering local knowledge and opinion. These programs are generally unsuccessful (Nabhan *et al.*, 1982; Boffa, 2000; Tougiani *et al.*, 2009).

A high diversity of AFS has been reported in literature (Schroth *et al.*, 2004; Tschardtke *et al.*, 2011; Nair, 2011; Moreno-Calles *et al.*, 2013). Their potentialities and limitations vary according to the ecologic, cultural, social and economic characteristics of the context in which they are practiced. Therefore, this review aimed at examining some general questions in relation to this panorama: How variable are SAF in different environmental contexts? How does their capacity to conserve biodiversity in those different contexts change? Which processes mainly influence such changes? In order to analyse these questions, we review information of studies from different socio-ecological areas of the world.

Agroforestry systems in tropical areas

The more studied AFS are those located in tropical zones (Perfecto and Snelling, 1995; Schroth *et al.*, 2004; Harvey *et al.*, 2006; Oke and Odebiyi, 2007; Okubo *et al.*, 2010; Schroth *et al.*, 2011). It has been documented that these systems are able to maintain an average of nearly 60% of species of plants, birds, insects and mammals recorded in the neighbouring forest zones (Bhagwat *et al.*, 2008). Consequently, it has been proposed that AFS are particularly important in

the conservation policies in these areas, which are the reservoirs with the highest biodiversity and indigenous cultures (Scales and Marsden, 2008). The tropical zones are also recognized as the most strongly disturbed areas in the planet (Tilman *et al.*, 2002; Steffan-Dewenter, 2007). Approximately 70% of their plant cover has been converted to agricultural lands (Perfecto and Vandermeer, 2008), which has determined local extinction of numerous species and threatened tropical biodiversity (MEA, 2005). Habitat is progressively decreasing, according to the FAO (2005) in Mexico and Central America the deforestation rate is nearly 1.2% per year, proportionally increasing fragmentation and pressure on remaining forest (DeClerck *et al.*, 2010).

In numerous tropical landscapes, AFS are the managed ecosystems more similar to natural forests (Tscharntke *et al.*, 2011). During the last decades, in tropical areas, agroforestry has promoted a balanced strategy to manage natural resources among the main goals of agriculture and soil, water and biodiversity conservation (Izac and Sánchez, 2001; Harvey *et al.*, 2008) and ecosystem services (Jose, 2009; DeClerck *et al.*, 2010). Removing trees from AFS may determine the reduction of resistance and resilience of the agricultural system and the household units that manage them, increasing the incidence and vulnerability to pests and climate change (Tscharntke *et al.*, 2005, 2011).

The more documented tropical AFS with higher evidence of effectiveness in biodiversity conservation are coffee and cocoa plantations (Perfecto *et al.*, 2007). These are systems that may be “rustic”, “traditional” or “shade crops”, or “intensified” monoculture crops (Soto-Pinto *et al.*, 2002; Tscharntke *et al.*, 2011). The shade cultivation is well known for its high capacity of biodiversity conservation (Schulze *et al.*, 2004; Perfecto *et al.*, 2007; Sonwa *et al.*, 2007; Steffan-Dewenter *et al.*, 2007; Clough *et al.*, 2010; Tscharntke *et al.*, 2011). The AFS where coffee and

cocoa are rustically cultivated, have been recorded with the highest levels of native tree cover (Armbrecht *et al.*, 2005; Perfecto and Vandermeer, 2008; DeClerck *et al.*, 2010). These are also propitious to diversify the peasant system to obtain fruits and forest products (Tscharntke *et al.*, 2011).

In the tropics of the world there are numerous examples of AFS of coffee and cocoa favouring conservation. For instance, those of Camerún (Bobo *et al.*, 2005) report that these conserve nearly 40% of the species richness of the primary forests while the intensive systems maintain 20% of the species. In cocoa AFS of Nigeria, nearly 44 species of 24 plant families are fruit trees, much more than other types of productive systems of the region (Oke and Odebiyi, 2007).

In Central America, where the deforestation rate for establishing coffee plantations is particularly high, the AFS are refuges of local biota (Perfecto *et al.*, 1996; Donald, 2004). In these systems it is important the composition of trees that are let standing during the clearance of vegetation; for instance, presence of trees of the genus *Inga*, coffee harbour more plant and animal species than others which are managed with trees of the genus *Gliricidia* (Donald, 2004). In many cases, trees composing AFS are useful introduced species, but a high number of native species are also maintained. In Nicaragua, for instance, Donald (2004) recorded that managers of coffee plantations may maintain nearly 25 species of fruit and timber from native tree species, whereas in El Salvador a total of 10 exotic species vs. 119 native species of trees were recorded in coffee plantations.

In Indonesia, Clough *et al.* (2010) explored the capacity of biodiversity conservation of cocoa plantations at landscape scale, finding that proximity of plantations to primary forests significantly determine species richness of plants, invertebrates, and vertebrates. These authors

documented that endemic and specialist species are particularly benefited by native species of shade trees, whereas important functional groups such as insectivorous and seed disperser birds are benefited by tall trees and diversity of shade trees, as well as the proximity of the plantation to forest.

In the tropical regions the AFS combining production of staple grain crops combined with fruit trees are also common. These systems have also demonstrated to be relevant in biodiversity conservation, maintaining levels of richness, diversity and structure similar to that described to cocoa AFS above (Leakey, 1999; Clough *et al.*, 2010; Okubo *et al.*, 2010). Trees of these systems are used for producing fruit, fuel wood, medicine, and wood. Studies by Asase and Tetteh (2010) confirm that trees maintained in these systems provide shade, reduce evapotranspiration, erosion and effects of strong wind.

One case of traditional AFS is the Bambo, in Java. Okubo *et al.* (2010) recorded 76 plant species, 42 of them having as main use edible fruit, vegetables and grains, timber, medicines and firewood, and 34 species of native trees with no uses were also present. Species richness values of these systems were similar to those recorded in that area during the 1980s, which illustrates their stability (Okubo *et al.*, 2010). Other AFS from Indonesia report 92 spp. of trees and 266 of a total of 332 plant species recorded in the area, which contrasts with intensive systems including only six plant species (Leakey, 1999). In relation to other ecosystem benefits, for instance, Dechert (2004) documented in Indonesia, that the organic matter is much higher and more stable in soils from natural forests, which contrasts with the significant decrease of soil fertility in successive events of maize cultivation.

A common problem in AFS of the tropical region is the increasing mechanization and use of agrochemicals, which has in turn favored the increasing of pest problems (Tilman *et al.*, 2002; Donald, 2004; Steffan-Dewenter, 2007). The industrialization of agriculture and public policies favoring intensive agricultural systems have been a main cause of transformation from a diversified traditional agriculture to highly dependent agro-industrial systems (Perfecto *et al.*, 1996, 2007; Harvey *et al.*, 2008). However, problems and needs for sustainable management may differ among the main different regions of the world.

Agroforestry systems in temperate zones

Temperate zones have demonstrated high potential for favoring long term sustainable management practices of AFS and natural resources use (Gordon y Newman 1998, Quinkenstein *et al.*, 2009; Thevathasan *et al.*, 2012). Systems in these areas are as ancient as in tropical zones. In the temperate zones of the Americas, there are abundant records of annual crops such as maize combined with trees like pines, oaks and other species (Budowski, 1994). In these areas, there are specific problems such as climatic and microclimatic conditions including snow, hailstorms, and frosts, maintaining of soil nutrients, control of underground water level, maintenance of favorable habitats for plants, insects or animals; stabilization of soils protection against wind, among the most common factors (Jose *et al.*, 2004).

The most common agroforestry practices in temperate zones are the combination of annual crops combined with fruit and timber producing trees, frequently forming terraces, as well as a great variety of practices for establishing fences for protecting plots against strong winds, soil erosion, and other multiple purposes. Sundemeyer and Scott (2002) reported that wind velocity may be reduced up to 20% because of the presence of trees. Other practices that can be mentioned are

riparian buffer strips, isolated trees for shade, material for construction, firewood and timber or nitrogen fixing (Gordon and Newman, 1998; Jose *et al.*, 2004).

Diversity and structure of plant components of AFS in these zones allow regulating microclimatic conditions, to favor moderate temperatures, reducing the intensity of solar radiation and improving the water management (decreasing effects of frosts, snow and storms, increasing the humidity and buffering erosion effects of rain and reducing the loss of evaporation of superficial water). Although trees may compete for water with crops, benefits are higher (Quinkenstein *et al.*, 2009).

Some agroforestry practices are specific for particular regions. For instance, in the North American central plains, windbreaks are particularly necessary. In regions where climate is less extreme, some species of fast growth and soft and hard wood or fruit trees in mixed systems combined with cereal crops, and commonly the raising of livestock (Kort *et al.*, 2009). In parts of North America one of the more extended classic agroforestry systems is conformed with rows of the shell nut tree (*Juglans nigra* L.) (Stamps *et al.*, 2009).

AFS of temperate zones have been documented as reservoirs of biodiversity, including a high number of species and crop varieties specifically adapted. For instance, nearly 10,000 varieties of apples and 1000 to 2000 varieties of plums are maintained *in situ* in these systems (Herzog, 1998). Studies of traditional home gardens in Europe have recorded 2391 species of plants and animals, among them 408 recorded as in risk of extinction (Herzog, 1998). Puckett *et al.* (2009) found that in agricultural fields of Nebraska, trees maintained for living fences and barriers are visited by bird species foraging their products. These birds are not found beyond 20 m from the tree lines, which indicates their importance as specific habitat them.

One important recognized function of AFS is their capacity for regulating pests. In a study conducted in Missouri by Stamps *et al.* (2009), production of alfalfa was recorded to be drastically affected because of the weevil *Hypera postica*; however, the authors found that the presence of *Juglans nigra* in the plots significantly contributed to control that pest. The authors even analyzed the way of optimizing the spatial arrangement of the system components in order to reduce competition among crops while increasing the pest control.

Studying several AFS in Germany, Herzog (1998) found significantly higher plant species richness in plots where livestock was excluded and chemical fertilizers were not used. In overgrazed areas the number of species decreased while plant association of disturbance dominated.

Recently, Vallejo *et al.* (2014) documented that in temperate forests of central México, AFS associated to the multicrop traditional system called *milpa* (commonly cultivating maize, beans and squashes) maintain 79 species of trees and shrubs, 86% of them being native species natives and representing nearly 43% of woody flora of the forests surrounding the AFS. Local people said that the main reasons for maintaining trees and shrubs in their agricultural plots are their use as fruit trees, firewood, shade, beauty, and respect to nature, among other purposes.

The heterogeneity of landscapes has been decreasing with agroindustrialization, a phenomenon that is more pronounced in developed countries, but even in those zones AFS have adapted to changes, maintaining and providing ecological structure for species inhabiting the agricultural landscapes (Plieninger and Schaar, 2008). These landscapes provide essential services for human wellbeing.

Agroforestry systems of arid zones

Arid zones are characterized for their high hydric stress and the biotic communities living there have particular adaptations; biodiversity of these areas has been recognized to be highly specialized to survive in such extreme conditions (Sharma and Gupta, 1996). Ecosystems of these zones are particularly fragile, and relatively small disturbances may determine great consequences including the irreversible loss of components (MAE, 2005), such loss may be more drastic than in other ecosystems (McNeely, 2003; Moreno-Calles *et al.*, 2010; Sharma and Gupta, 1996; Whitfield and Reed, 2012). Production activities have required fine and deep ecological knowledge and management practices according to particular ecological, cultural, and social components (Whitfield and Reed, 2012).

In order to minimize negative effects associated to environmental conditions, local peoples of the arid lands have developed production systems in which the woody perennial species have an important role in terms of production and conservation (Tewari *et al.*, 2000). The real value of AFS is hardly represented in monetary terms, but rather in how management of trees and shrubs improve life quality (Boffa, 2000).

Several studies show the capacity of AFS of arid zones for conserving biological diversity. In arid lands of India, for instance, studies of the natural vegetation have recorded nearly 862 plant species, nearly 131 of them used in some way (Bhandari, 1990). Sharma and Gupta (1996) have described seven types of agroforestry practices for these areas. Most of the tree species are resistant to drought and are managed because of their timber and non-timber products, as well as ecosystem services. The systems have been designed to diversify management strategies of risk

to drought and to use in optimum form natural resources that are commonly of difficult access (Shankarnarayan *et al.*, 1987; Prasad *et al.*, 2004).

In the arid zones of Western Africa, local people consider that trees are integrating parts of agriculture (Boffa, 2000). During centuries they have used the land through traditional management of AFS, in which trees show spread patterns of spatial distribution in plots; trees are intentionally and selectively maintained according to their medicinal and edible uses. Some timber products are also valuable because they generate monetary incomes to households (Boffa, 2000). In Nigeria, for more than 20 years, a governmental program has enhanced recovery, maintenance and improving of AFS, taking into account the traditional knowledge and involving local people through participatory approaches (Tougiani *et al.*, 2009). Hermann *et al.* (2005) reported that after the first 15 years since the program started, there was a significant increase of plant cover in that region. Adoption of agroforestry practices has also allowed increasing harvests and incomes of households thus reducing migration of people; these practices have also favored density and diversity of trees in agricultural land. Promotion of AFS may contribute to improve wellbeing of rural people and enhancing the efforts of reforestation and restoration.

It has been documented that in the Saharan desert traditional agriculture has been maintained throughout time. In the oasis ancient techniques such as maintenance of trees resistant to soil salinity and favoring keeping humidity, shade and providing fruits are commonly practiced (Nabhan, 2007). In Mexico, in the Sonoran Desert, Nabhan (1982) documented the traditional agricultural techniques practiced by the Papago people, who have conserved the oasis of their territories and have developed a complex system of biotic interactions. This author identified eight plant associations and various agroforestry practices including living fences and windbreak barriers, as well as high levels of diversity of trees, birds and mammals. The Papago have

modified the landscape geomorphology through terraces, channels and flood zones (Nabhan, 1982; Altieri and Toledo, 2005). In the Mezquital Valley in central Mexico, the Ñañhú people have constructed terraces and borders to manage water and sediments to improve soil and humidity for crops. Particularly important for these purposes is *agave*, which in addition provides other multiple uses such as food, beverages, and fibers (Altieri and Toledo, 2005).

In the Tehuacán Valley, AFS are managed at small scale, mainly associated to maize *milpa*, with low use of chemical inputs and mechanization, and most commonly their products, which are destined to direct consumption by households (Moreno-Calles *et al.*, 2012). Several studies conducted in the area, reveal that AFS play an important role to satisfy human needs and to conserve biodiversity in terms of species richness and genetic diversity of particular species (Casas *et al.*, 2007; Blancas *et al.*, 2010; Parra *et al.*, 2010). Moreno-Calles *et al.* (2010, 2012) reported that an average of 59% of plant species of natural forests is maintained in AFS, and that some endemic species such as *Escontria chiotilla* and *Lemaireocereus hollianus* may increase their abundance in these systems. Blanckaert *et al.* (2007) found nearly 161 of herbaceous plant species in agricultural systems of the area, nearly 49% of them being present in the local forests. Dominant tree species of the region such as *Stenocereus stellatus*, *S. pruinosus*, *Escontria chiotilla*, *Polaskia chende* and *Poskia chichi* have been reported to maintain in AFS on average 93.8% of genetic variation occurring in wild populations, but some plots were recorded with higher levels of genetic diversity than in wild populations (Casas *et al.*, 2006; Parra *et al.*, 2010; Moreno-Calles *et al.*, 2010). In addition, it is relevant to mention that populations of the species mentioned in AFS maintain a dynamic gene flow with wild populations, which also indicate that AFS are key areas for implementing policies of regional biodiversity conservation.

In the arid zones of the world, numerous human cultures have interacted with the difficult conditions of these zones for thousands of years, and a significant amount of knowledge and techniques have been developed (Altieri and Toledo, 2005; Nabhan, 2007), which are all crucial at present for designing the future. Investigating trees and shrubs associated to crops may provide valuable information for improving the AFS, conserving biodiversity and supporting techniques for restoring disturbed areas of arid zones (Nabhan, 2007; Moreno-Calles *et al.*, 2011).

Discussion

Particularities of AFS in specific environmental contexts

Local peoples manage AFS according to environmental particularities in order to make them functional, productive and viable. In tropical zones AFS are commonly multicrops deliberately let standing or planting components of naturally diverse forests. Coffee and cocoa plantations are among the most outstanding systems that conserve their biological diversity. Soil degradation associated to rain and pests are main problems that are faced by people through conserving high species richness of fruit and fine timber trees.

In temperate zones the main challenges are erosion caused by rain and wind, as well as the loss of production caused by frosts, snow, storms and wind. In these areas the windbreak barriers, terraces and borders, as well as isolated trees contributing to favorable microenvironments are properties of AFS particularly valued through trees providing fruit, fire and wood.

In the arid zones the environmental pressures are mainly associated to drought and erosion caused by wind and the infrequent but heavy rains. These zones are particularly fragile since the removal of particular species may determine drastic alterations in biotic interactions (pollination,

seed dispersal, facilitation of establishment of numerous plant species by nurse plant species), and because native species of perennial plants generally have particularly slow growth rates. AFS in these areas are designed and managed in order to attend these problems and to optimize and ensure availability of valuable natural resources, as well as procuring ecosystem benefits associated to humidity, shade, favorable microenvironments and soil conservation.

How does capacity of biodiversity conservation changes with environmental contexts?

A higher richness of AFS species has been reported in tropical areas, which is congruent with the also naturally higher species richness recorded in natural ecosystems; however, when considering the proportion of maintained species, the ratios are similar in the three environmental zones analyzed. This result suggests that the biodiversity conservation capacity is not an exclusive function of the nature of ecosystems.

Conclusions

Agroforestry systems have been widely used since agriculture began. They keep both an ecological and cultural ancient wealth. Thanks to all the available research, it is clear how important are these systems in terms of biodiversity conservation and benefits in ecological processes at the landscape scale, in improving lives of peasants and maintaining traditional crops, with all the knowledge that is immersed. Traditional agriculture provides knowledge of ecosystem management.

Depending on the ecological region in which they operate, the SAF will have different characteristics, different production purposes and different environmental conditions, and thus the various problems that farmers face. At each site, different ways of management specific to

each region are put into practice, which allow them to obtain the greatest benefit and to solve local problems. Resources are maximized by taking advantage of useful species in each region and to satisfying many of the immediate needs of the smallholder. What they do have in common, agroforestry systems in different areas, is the ability to conserve biodiversity and ecosystem processes, and provide more benefits to a broader section of society, as opposed to more intensified systems.

In recent years, research on these systems has increased significantly and today there are several projects around the world that seek to finally understand and promote these systems.

References

- Altieri MA. 1991. How best can we use biodiversity in agroecosystems. *Outlook on Agriculture* 20: 15-23.
- Altieri M, Nicholls C. 2000. *Teoría y práctica para una agricultura sostenible*. Serie de Textos Básicos para la Formación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación ambiental para América Latina y el Caribe, México, DF.
- Altieri M, Toledo VM. 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.
- Altieri M, Toledo VM. 2011. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies* 38(3):587-612.
- Armbrecht I, Rivera L, Perfecto, I. 2005. Reduced Diversity and Complexity in the Leaf-Litter Ant Assemblage of Colombian Coffee Plantations. *Conservation Biology* 9(3):897-907.
- Asare A, Tetteh DA. 2010. The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agroforestry Systems* 79:355-368.
- Astier C. 1994. *Hacia una agricultura ecológica en México. El problema de la transición para el productor campesino*. GIRA. A. C. Michoacán, México.
- Bhandari MM. 1990. *The flora of the Indian Desert*. Scientific Publisher, Jodhpur. 522 pp.
- Bawa K, Kress W, Nadkarni N. 2004. Beyond paradise-meeting the challenges in tropical biology in the 21st century. *Biotropica* 36:276-284.

- Bhagwat SA, Willis KJ, Birks HJB, Whittaker RJ. 2008 Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology & Evolution* 23:261–267.
- Blancas J, Casas A, Rangel-Landa S, Moreno-Calles A, Torres I, Pérez-Negrón E, Solís L, Delgado-Lemus A, Parra F, Arellanes Y, Caballero J, Cortés L, Lira R, Dávila P. 2010. Plant management in the Tehuacán–Cuicatlán Valley Mexico. *Economic Botany* 64:287-302.
- Blanckaert I, Vancraeynest K, Swennen RL, Espinosa-García FJ, Piñero D, Lira R. 2007. Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semiarid production of Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 39-48.
- Bobo KS, Waltert M, Sainge NM, Njokagbor J, Fermon H, Muehlenberg M. 2006. From forest to farmland: Species richness patterns of trees and understorey plants along a gradient of forest conversion in southwestern Cameroon. *Biodiversity Conservation* 15:4097-4117.
- Boffa JM. 2000. Parques agroforestales en África occidental: claves para la conservación y la sostenibilidad. *Unasylya* 51:11-17.
- Budowski G. 1994. El alcance y el potencial de la agroforestería con énfasis en Centroamérica. En: Krishnamurthy L, Leos JA (Eds.) *Agroforestería en Desarrollo: Educación, Investigación y Extensión*. Centro de Agroforestería para el desarrollo sostenible, UACH, México. 1-16.
- Casas A, Caballero J, Mapes C, Zárate S. 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61: 31-47.
- Casas A, Otero-Araiz A, Pérez-Negrón E, Valiente-Banuet A. 2007. *In situ* management and Domestication of Plants in Mesoamerica. *Annals of Botany* 100: 1101-1115.
- Challenger A. 1998. *Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México: Pasado, Presente y Futuro*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. CONABIO y Agrupación Sierra Madre, S. C. México, DF.
- Chazdon RL. 2003. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 6: 51-71.
- Clough SA, Abrahamczyk S, Adams MO, Anshary A, Ariyanti N, Betz L, Buchori D, Cicuzza D, Darras K, Dwi Putra D, Fiala B, Gradstein SR, Kessler M, Klein AM, Pitopang R, Sahari B, Scherber C, Schulze CH, Shahabuddin, Sporn S, Stenchly K, Tjitrosoedirdjo SS, Wanger TC, Weist M, Wielgoss A, Tschardtke T. 2010. Biodiversity patterns and trophic interactions in human-dominated tropical landscapes in Sulawesi (Indonesia): plants, arthropods and vertebrates, T. Tschardtke, C. Leuschner, E. Veldkamp, H. Faust, E. Guhardja, A. Bidin, Editors. *Tropical Rainforests and Agroforests under Global Change: Ecological and Socio-economic Valuations*, Springer Verlag, Berlin.
- Combe J, Budowski G. 1979. Classification of agro-forestry techniques. In: De las Salas G, (Ed) *Proc agro-forestry systems in Latin America*. Turrialba/Costa Rica. CATIE. 17-47 pp.
- Daily GC. 1997. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

- Dechert G, Veldkamp E, Anas I. 2004. Is soil degradation unrelated to deforestation? Examining soil parameters of land use systems in upland Central Sulawesi, Indonesia. *Plant Soil* 265: 197–209.
- DeClerck FAJ, Chazdon RL, Holl KD, Milder JC, Finegan B, Martinez- Salinas A, Imbach P, Canet L, Zayra R. 2010. Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: Past, present, and future. *Special Issue: Biodiversity Conservation* 143:2301-2313.
- DeFries R, Hansen A, Newton AC, Hansen MC. 2005. Increasing isolation of protected areas in tropical forests over the past twenty years. *Ecological Applications* 15:19–26.
- Donald PF. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18:17–37.
- Dupraz C, Newman SM. 1997. Temperate agroforestry: the European way. In Gordon AM, Newman SM. (Eds). *Temperate agroforestry systems*. Wallingford, UK/New York, CAB International. 181-236 pp.
- Eakin H, Benessaiah K, Barrera JF, Cruz-Bello GM, Morales H. 2012. Livelihoods and landscapes at the threshold of change: disaster and resilience in a Chiapas coffee community. *Regional Environmental Change* 12(3):475-488.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. State of the world's forests 2005. FAO, Rome.
- FAO. 2008. Mitigación del cambio climático y adaptación en la agricultura, la silvicultura y la pesca. <<http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc17199/doc17199-contenido.pdf>> (accessed 07.08.09).
- Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin, FS, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK, Helkowski JH, Holloway T, Howard EA, Kucharik CJ, Monfreda C, Patz JA, Prentice IC, Ramankutty N, Snyder PK. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309:570–574.
- García AA, González ES. 1991. Flora y vegetación de la cima del Cerro Potosí, Nuevo León, México. *Acta Botánica Mexicana* 13:53-74.
- Gascon C, Lovejoy TE, Bierregaard RO, Malcom JR, Stouffer PC, Vasconcelos HL, Laurance WF, Zimmerman B, Tocher M, Borges S. 1999. Matrix-habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biological Conservation* 90:1-7.
- Gibbs HK, Ruesch AS, Achard F, Claytond MK, Holmgrene P, Ramankuttyf N, Foley JA. 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *PNAS* 107(38)16732-16737.
- Gordon AG, Newman S. 1998. *Temperate Agroforestry Systems*. Cabi Internacional. UK.
- Guevara S, Laborde J, Sánchez-Ríos. 2004. Rain forest regeneration beneath the canopy of fig trees isolated in pastures of Los Tuxtlas, México. *Biotropica* 36:99-108.
- Harvey CA, Komar O, Robin C, Ferguson BG, Finegan B, Griffith DM, Martínez-Ramos M, Morales H, Nigh R, Soto-Pinto L, Van Breugel M, Wishnie M. 2008. Integrating Agricultural Landscapes with Biodiversity Conservation in the Mesomeric hotspot. *Conservation Biology* 22: 8-15.

- Harvey CA, Medina A, Sánchez-Merlo D, Vilchez S, Hernández B, Saenz J, Maes J, Casanovas F, Sinclair FL. 2006. Patterns of animal diversity associated with different forms of tree cover retained in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16:1986–1999.
- Hertel D, Harteveld MA, Leuschner C. 2009. Conversion of a tropical forest into agroforest alters the fine root-related carbon flux to the soil. *Soil Biology and Biochemistry* 41:480-490.
- Herzog F. 1998. Streuobst: a traditional agroforestry system as a model for agroforestry development in temperate Europe. *Agroforestry Systems* 42: 61-80.
- Holt-Giménez E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93(1):87-105.
- ICRAF. 2000. *Paths to prosperity through agroforestry. ICRAF's corporate strategy, 2001-2010*. Nairobi: International Centre for Research in Agroforestry.
- Izac AMN, Sanchez PA. 2001. Towards a natural resource management paradigm for international agriculture: the example of agroforestry research. *Agricultural Systems* 69:5-25.
- Jose S, Gillespie AR, Pallardy SG. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 61-62:237-255.
- Jose S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76:1–10.
- Kort J, Poppy L, Gordon AM, Caron L. 2009. Temperate agroforestry: When trees and crops get together. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131:1-3.
- Krishnamurthy L, Ávila M. 1999. Agroforestería básica. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental N° 3. México D.F., México.
- Leakey R. 1999. Agroforestry for Biodiversity in Farmin Systems. In Colling W, Qyalset C. (Eds). *Biodiversity in Agroecosystems*. Lewis Publishers. NY. EU.
- Marie CN, Sibelet N, Dulcire M, Rafalimaro M, Danthu P, Carriere S. 2009 Taking into account local practices and indigenous knowledge in an emergency conservation context in Madagascar. *Biodiversity Conservation* 18: 2759–2777.
- McNeely JA. 2003. Biodiversity in arid regions: value and perceptions. *Journal of Arid Environments* 54:61-70.
- McNeely J, Schroth G. 2006. Agroforestry and Biodiversity Conservation – Traditional Practices, Present Dynamics, and Lessons for the Future. *Biodiversity Conservation* 15(2):549-554.
- MacNeish RS. 1967. A summary of subsistence. In: Byers DS (ed), *The prehistory of the Tehuacán Valley: Environment and Subsistence* vo1.1. University of Texas Press, Austin, Texas, pp 290-309
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005a. Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis, World Resources Institute, Washington, DC.

- Montagnini F. 2006. Homegardens of Mesoamerica: biodiversity, food security, and nutrient management. In: Kumar BM, Nair PKR (Eds). *Tropical Homegardens: A Time-Tested Example of Sustainable Agroforestry*. Springer. The Netherlands. 1-23 pp.
- Moreno-Calles A, Casas A, Blancas J, Torres I, Pérez-Negrón E, Caballero J, Masera O, García-Barrios L. 2010. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *Agroforestry Systems* 80(3): 315-331.
- Moreno-Calles A, Casas A, García-Frapolli E, Torres-García I. 2012. Traditional agroforestry systems of multi-crop “milpa” and “chichipera” cactus forest in the arid Tehuacán Valley, Mexico: their management and role in people’s subsistence. *Agroforestry Systems* 84(2):207-226.
- Moreno-Calles AI, Toledo VM, Casas A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Science* 91(4): 375-398.
- Nabhan GP, Amadeo MR, Reichhardt KL, Mellink E, Hutchinson CF. 1982. Papago influences on habitat and biotic diversity: Quitovac oasis ethnoecology. *Journal of Ethnobiology* 2:124-143.
- Nabhan GP. 2007. Agrobiodiversity change in a Saharan desert oasis, 1919–2006: historic shifts in Tasiwit (Berber) and Bedouin crop inventories of Siwa, Egypt. *Economic Botany* 61:31–43.
- Nair PKR. 2011. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality* 40:784–790.
- Noble I, Dirzo R. 1997. Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277:522-525.
- Oke DO, Odebisi KA. 2007. Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122:305-311.
- Okubo S, Parikesit, Harashina K, Muhamad D, Abdoellah OS, Takeuchi K. 2010. Traditional perennial crop-based agroforestry in West Java: the tradeoff between on-farm biodiversity and income. *Agroforestry Systems* 80: 17-31.
- Otero-Arnaiz A, Casas A, Hamrick JL, Cruse J. 2005. Genetic variation and evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacán Valley, Central Mexico analyzed by microsatellite polymorphism. *Molecular Ecology* 14:1603-1611.
- Pandey DN. 2007. Multifunctional agroforestry systems in India. *Current Science* 92(4):25.
- Parra F, Casas A, Peñaloza-Ramírez JM, Cortés Palomec AC, Rocha Ramírez V, González-Rodríguez A. 2010. Evolution under domestication: ongoing artificial selection and divergence of wild and managed *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) populations in the Tehuacán Valley, Mexico. *Annals of Botany* 483-496.
- Parra F, Blancas J, Casas A. 2012. Landscape management and domestication of *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley: human guided selection and gene flow. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 8: 32.

- Perfecto I, Snelling R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ants in coffee plantations. *Ecological applications* 1084-1097.
- Perfecto I, Rice R, Greenberg R, Vander Volt M. 1996. Shade coffee as refuge of biodiversity. *Bioscience* 46:598–608.
- Perfecto I, Armbrecht I, Philpott SM, Soto-Pinto L, Dietsch TM. 2007. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. In: Tschardt T, Leuschner C, Zeller M, Guhadja E, Bidin A (Eds). *The Stability of Tropical Rainforest Margins, Linking Ecological, Economic and Social Constraints of Land Use and Conservation*. Environmental Science Series, Springer Verlag, Berlin. 227-264 pp.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134:173–200.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2010. The agricultural matrix as alternative to the landsparing agriculture intensification model. *PNAS* 107(13):5786-5791.
- Plieninger T, Schaar M. 2008. Modification of land cover in a traditional agroforestry system in Spain: processes of tree expansion and regression. *Ecology and Society* 13(2): 25.
- Prasad R, Mertia RS, Narain P. 2004. Khadin cultivation: a traditional runoff farming system in Indian desert needs sustainable management. *Journal of Arid Environments* 58:87-96.
- Prasad K. 2006. Linking trees on farms with biodiversity conservation in subsistence farming systems in Nepal. *Biodiversity and Conservation* 15:631-646.
- Puckett HL, Brandle J, Johnson J, Blankenship E. 2009. Avian foraging patterns in crop field edges adjacent to woody habitat. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131:9-15.
- Quinkenstein A, Wöllecke J, Böhm C, Grunewald H, Freese D, Schneider BU, Huttl RF. 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science Policy* 12(8):1112-1121.
- Ramírez-Herrera C, Vargas- Hernández JJ, López-Upton J. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana* 72:1-16.
- Sánchez-González. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos en México. *Madera y Bosques* 14(1):107-120.
- Scales BR, Marsden SJ. 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.
- Sharma AK, Gupta JP. 1996. Agroforestry systems for the hot arid regions of India. In proceedings of IUFRO-DNAES Conference on Resource Inventory Techniques to support agroforestry and environment activities. October 1-3. Chandigarh. Pp. 259-262.
- Schmitt CB, Burgess ND, Coad L, Belokurov A, Besançon C, Boisrobert L, Campbell A, Fish L, Gliddon D, Humphries K, Kapos V, Loucks C, Lysenko I, Miles L, Mills C, Minnemeyer S, Pistorius T, Ravilious C, Steininger M, Winkel G. 2009. Global analysis of the protection status of the world's forests. *Biological Conservation* 142:2122-2130.

- Schroth GG, da Fonseca AB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AMN. 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, USA
- Schroth G, Faria D, Araujo M, Bede L, Van Bael SA, Cassano CR, Oliveira LC, Delabie JH. 2011. Conservation in tropical landscape mosaics: the case of the cacao landscape of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 20(8):1635-1654.
- Sinclair FL. 1999. A general classification of agroforestry practice. *Agroforestry Systems* 46:161-180.
- Schulze CH, Waltert M, Kessler PJA, Pitopang R, Shahabuddin, Veddeler D, Muhlenberg S, Gradstein R, Leuschner C, Stehhan-Dewenter I, Tschardtke T. 2004. Biodiversity indicator taxa of tropical land-use systems, comparing plants, birds, and insects. *Ecology Applied* 14:1321-1332.
- Sonwa DJ, Nkongmeneck BA, Weise SF, Tchatat M, Adesina AA, Janssens MJJ. 2007. Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of southern Cameroon. *Biodiversity and Conservation* 16:2385-2400.
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Caballero-Nieto J. 2002. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55:37-45.
- Steffan-Dewenter I, Kessler M, Barkmann J, Bos MM, Buchori D, Erasmi S, Faust H, Gerold G, Glenk K, Gradstein SR, Guhardja E, Harteveld M, Hertel D, Kappas M, Ko S, Leuschner C, Maertens M, Marggraf R, Migge-kleian S, Mogeja J, Pitopang R, Schaefer M, Schwarze S, Weber R, Woltmann L, Zeller M, Tschardtke T. 2007. Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *PNAS* 104:4973-4978.
- Stamps WT, McGraw RL, Godsey L, Woods TL. 2009. The ecology and economics of insect pest management in nut tree alley cropping systems in the Midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131:4-8.
- Swift MJ, Vandermeer J, Ramakrishnan PS, Anderson JM, Ong CK, Hawkins BA. 1998. Biodiversity and Agroecosystem Function. In: Mooney HA, Cushman JH, Medina E, Sala OE, Schulze DE (Eds). *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. Chichester, New York, Brisbane, Toronto and Singapore, John Wiley & Sons. 262-294 pp.
- Sudmeyer RA, Scott PR. 2002. Characterization of a windbreak system on the south coast of Western Australia. Microclimate and wind erosion. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42:703-715.
- Thevathasan NV, Gordon AM, Bradley R, Cogliastro A, Folkard P, Grant R, Kort J, Liggins F, Njenga F, Olivier A, Pharo C, Powell G, Rivest D, Schiks T, Trotter, Van Rees K, Whalen J, Zabek L. 2012. Agroforestry research and development in Canada: the way forward. In *Agroforestry-The Future of Global Land Use*. Springer Netherlands. 247-283 pp.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418(6898):671-677.

- Tougiani A, Chaibou G, Rinaudo T. 2009. Community mobilization for improved livelihoods through tree crop management in Niger. *Geographical Journal* 74:377-389.
- Tscharntke T, Klein AM, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity –ecosystem services management. *Ecology Letters* 8: 857–874.
- Tscharntke T, Clough Y, Bhagwat SA, Buchori, D, Faust H, Hertel D, Hölscher D, Jhrbandt J, Kessler M, Perfecto I, Scherber C, Schroth G, Veldkamp E, Wanger TC. 2011. Multi-functional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes - a review. *Journal of Applied Ecology* 48:619–629.
- Vallejo M, Casas A, Blancas J, Moreno-Calles AI, Solís L, Rangel-Landa S, Dávila P, Tellez O. 2014. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: Indigenous culture and biodiversity conservation. *Agroforestry Systems* 88:125-140.
- Vandermeer J, van Noordwijk M, Anderson J, Ong C, Perfecto I. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 67(1):1-22.
- Vandermeer J, Perfecto I. 2007. The agricultural matrix and the future paradigm for conservation. *Conservation Biology* 21:274-277.
- Wallace GN, Barborak J, Mac Farland CG. 2005. Land-use planning and regulation in and around protected areas: a study of best practices and capacity building needs in Mexico and Central America. *Natureza y Conservación* 3:147-167.
- Whitfield S, Reed MS. 2012. Participatory environmental assessment in drylands: Introducing a new approach. *Journal of Arid Environments* 77:1-10.

CAPÍTULO II

Vallejo M, Casas A, Blancas J, Moreno-Calles AI, Solís L, Rangel-Landa S, Dávila P, Tellez O. 2014. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: Indigenous culture and biodiversity conservation. *Agroforestry Systems* 88:125-140.

Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: indigenous cultures and biodiversity conservation

Mariana Vallejo · Alejandro Casas · José Blancas ·
Ana I. Moreno-Calles · Leonor Solís · Selene Rangel-Landa ·
Patricia Dávila · Oswaldo Téllez

Received: 29 July 2013 / Accepted: 26 November 2013 / Published online: 3 December 2013
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2013

Abstract In this study we analysed: (1) the biodiversity conservation capacity of Agroforestry Systems (AFS) in temperate highlands of the Tehuacán–Cuicatlán Valley, Central Mexico, (2) human cultural motives and actions for conserving such diversity and (3) problems endangering that capacity. We evaluated the richness and diversity of perennial plant species maintained in AFS through vegetation sampling of 14 agricultural plots and compared their composition with that of natural forests (14 plots of 500 m² each). We examined the situations among communities of Náhuatl, Ixcatec and Cuicatec people, documenting through interviews the management practices of plant species and the whole system, reasons why people maintain vegetation cover within AFS, and factors

influencing changes in decisions favouring agriculture intensification. In the AFS studied we recorded a total of 79 species of trees and shrubs, 86 % of them being native species and representing 43 % of all species of trees and shrubs recorded in the sampling of the natural forests the AFS derive from. People leave standing on average a total of 40 individual trees and shrubs per agricultural plot. Reasons for leave plant species standing were more frequently associated with their use as fruit trees, firewood, shade, beauty, respect to nature and other environmental benefits. Water availability for irrigation, land tenure, and dependence on agriculture and forest for peasant's subsistence were main decision factors influencing AFS variation in their composition. AFS in temperate zones are important reservoirs of biodiversity and biocultural heritage and should be keystones for conservation policies in the Tehuacán–Cuicatlán Valley.

M. Vallejo · A. Casas (✉) · J. Blancas ·
L. Solís · S. Rangel-Landa
Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad
Nacional Autónoma de México (UNAM), Santa María
Guido, Apartado Postal 27-3, 58190 Morelia, Michoacán,
Mexico
e-mail: acasas@oikos.unam.mx; acasas@cieco.unam.mx

A. I. Moreno-Calles
Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia,
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),
Santa María Guido, Apartado Postal 27-3, 58190 Morelia,
Michoacán, Mexico

P. Dávila · O. Téllez
Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, Los
Reyes Iztacala, Apartado Postal, 54090 Tlalnepantla,
Estado de México, Mexico

Keywords Agroforestry systems ·
Biodiversity conservation · Forest management ·
Traditional plant management · Tehuacán–
Cuicatlán Valley

Introduction

Forests of temperate areas in Mexico include a variety of vegetation types dominated by conifers and oaks that cover nearly 18 % of the total vegetation of this country (Ricker et al. 2007). These forests are of

particular value in the context of global biodiversity conservation, since they constitute important reservoirs of species richness and endemism of plant genera representative of these ecosystems, such as *Pinus* and *Quercus*, which have their main centres of diversification in Mexico (Valencia 2004; Sánchez-González 2008). Temperate forests of Mexico have been inhabited by humans for thousands of years (MacNeish 1967; Bye 1993; Toledo and Ordóñez 1993) and currently 28 of the 57 main groups of indigenous cultures of México (Toledo et al. 2001) are users and managers of these forests. Human history in these and other areas of Mexico have determined their progressive transformation. In Mexico, some of the most important pre-Columbian cultures, the Aztec, the P'urhepecha, the Tlaxcaltec, the Mazahua, the Matlatzinca, among others, constructed their main cities in these areas (Caballero and Mapes 1985; Boege 2008). The Spanish Conquest and the Colonial period developed particular European influence on these zones because of their similarity with European ecosystems. The Spanish Haciendas in temperate forests zones determined particularly high impacts on both ecosystems and human cultures. However, it was during the last century when human impact on Mexican temperate forests has been really dramatic, associated to modern mechanized agriculture, the establishment of new human settlements, the high extraction of wood by industry, and other practices such as raising of cattle and sheep (Melville 1999), all of which have determined significant degradation of these ecosystems (Toledo and Ordóñez 1993; MEA 2005; Sarukhán and Soberón 2009).

Nowadays, conservation of the Mexican temperate areas as well as maintaining their crucial role of satisfying human needs, require developing sustainable ways of appropriation of goods and services provided by local ecosystems, guaranteeing the maintenance of both diversity of their components and functions (Sarukhán and Soberón 2009). In the context of attending such a challenge, agroecologists and ethnoecologists have identified agroforestry systems (AFS) as interesting technical options for harmonizing the purposes of biodiversity conservation and ecosystems integrity while satisfying human needs and biocultural recreation (Gordon and Newman 1997; Quinkenstein et al. 2009). This goal is possible since AFS combine agricultural practices with the maintenance of a significant number of trees,

shrubs and herbs of natural vegetation inside and surrounding the crop fields, allowing biodiversity conservation and utilization of several ecosystem services that benefit agricultural practices (Krishnamurthy and Ávila 1999; Altieri and Toledo 2005; McNeely and Schroth 2006).

Transformed managed areas have particular interest in ecological science since most of the terrestrial ecosystems of the world are already in this condition (MEA 2005) and actions for managing this situation requires stronger theoretical tools. Processes occurring in the AFS have been documented to have repercussions on ecological processes that influence whole landscapes (Wallace et al. 2005; Vandermeer and Perfecto 2007). Therefore, AFS may play significant roles in regulating important ecosystem processes such as biodiversity conservation and maintenance of biotic interactions, carbon sequestration, soil conservation, and regulation of water and nutrient flows, among others (Daily 1997; Soto-Pinto et al. 2002; Schroth et al. 2004; Shibu 2009; Nair 2011; Tschamtké et al. 2011).

It has been widely documented that AFS may host high levels of local and regional biodiversity (Schroth et al. 2004; McNeely and Schroth 2006); at regional scale, these systems may favour connectivity and gene flow between conserved and fragmented areas (Bhagwat et al. 2008; Harvey et al. 2008; Perfecto and Vandermeer 2008; Scales and Marsden 2008; DeClerck et al. 2010); at local scale these systems conform a complex floristic mosaic of useful managed species through a variety of agricultural and silvicultural practices (Altieri 1991; Swift et al. 1998; Schroth et al. 2004; Casas et al. 2007; Moreno-Calles et al. 2010, Moreno-Calles et al. 2013). High levels of biodiversity and connectivity allow species interactions, significantly contributing to the system resilience and long term use, which is crucial for the purposes of stopping land clearing and improving conditions of sustainable production systems (Altieri and Nicholls 2000; Donald 2004; Perfecto et al. 2007; Perfecto and Vandermeer 2008). Biodiversity conservation capacity of AFS is directly determined by the system of people's management decisions, which is in turn influenced by social, cultural and economic factors of households, as well as by ecological conditions of the agricultural system and the surrounding landscape (Moreno-Calles et al. 2012). Therefore, developing strategies for maintaining and increasing such capacity requires integral understanding and attention of these issues.

Temperate forests have particular features necessary to be considered for understanding the associated AFS; for instance, these forests are resistant to frosts, drought, recurrent fire, cattle and sheep raising, and other disturbance types (Challenger 1998; Sánchez-González 2008). In addition, they are systems with a relatively fast regeneration compared with tropical or dry forests (Rzedowski 1978; Quintana et al. 1993). AFS of temperate zones maintain ancient traditional management forms that are on-going processes in numerous areas and have demonstrated to be important reservoirs of indigenous knowledge and techniques of great value for designing sustainable forms of agriculture (Gordon and Newman 1997). Historical records of pre-Columbian systems combining maize cultivation with remains of pine and oak forests were recovered by Budowski (1994). It is recognized that at present AFS of these areas commonly combine cultivation of annual crops with native or introduced species destined to make use of their fruits or wood, but that at the same time are a useful barrier for protecting crops against wind, preventing soil erosion, and benefiting with their shade, firewood, and fodder (Gordon and Newman 1997).

Studies of AFS and biodiversity conservation have centred their attention on tropical regions (Bhagwat et al. 2008; Scales and Marsden 2008; Harvey et al. 2008; Tschardt et al. 2011). In temperate areas of the New World, the available studies are focused on topics related to their practices and production (Kort et al. 2009; Puckett et al. 2009; Quinkenstein et al. 2009), but there is relatively fewer information on their capacity for conserving biodiversity than in tropical areas. Therefore, contributing information related to biodiversity conservation capacity of AFS of temperate areas is one main issue of our study; we documented plant diversity in these systems and studied the reasons why local people belonging to different indigenous cultures let woody plants standing in their agricultural systems. Studies throughout the world have documented that one main problem of AFS are processes degrading their capacity for maintaining plant cover (Moreno-Calles et al. 2010); we therefore consider that understanding of such processes is crucial for designing policies for conservation of AFS.

Our study was conducted in the Tehuacán–Cuicatlán Valley, Central Mexico. It is an arid and semi-arid zone with high biological and human cultural diversity (Casas et al. 2001; Dávila et al. 2002). Its aridity is caused by the rain shade determined by the surrounding

mountains that are part of the Sierra Madre Oriental. Highlands of these mountains host important areas of pine and oak forests (Valiente-Banuet et al. 2009) that significantly contribute to the regional biodiversity. This area has been inhabited by Cuicatec, Mazatec, Ixcatec, Mixtec, Popoloca, Chinantec and Náhuatl people that for long time (human presence has been recorded to be there for more than 10,000 years, according to MacNeish 1967) have managed both forest and agricultural systems and whose technical experience is now of high value for designing conservation of culture and biodiversity in the region.

Highlands and lowlands of the Tehuacán–Cuicatlán Valley host an exceptionally important biocultural heritage. There, the most ancient remains of agriculture in Mexico were found by archaeologists and the greatest inventory of plant resources in any region of Mexico has been documented by ethnobotanists (more than 1,600 plant species used by local peoples, according to Casas et al. 2001, and Lira et al. 2009), nearly 120 native plant species of them have been recorded occurring and managed within AFS, but the inventory of these species and the management techniques is still far to be completed (Blancas et al. 2010).

Moreno-Calles et al. (2010, 2012) conducted studies of the AFS of the arid zone of the region, finding that these systems maintain on average 59 % of plant species belonging to the surrounding natural ecosystems, from which nearly 94 % are native species. Other studies found that AFS in the arid zones of the region maintain on average 94 % of genetic variation of populations of arboreal species dominant in natural vegetation (Otero-Arnaiz et al. 2005; Casas et al. 2006; Parra et al. 2010; Cruse-Sanders et al. 2013).

However, such a kind of studies in highlands is to be documented yet. This zone is in elevations oscillating between 1,800 and 2,400 m, with a variety of pine and oak forests. Indigenous villages have pre-Columbian origin, practicing the traditional agriculture called “milpa”, for cultivating maize, beans, and squashes in 1–3 ha plots. Our study aimed to explore the following questions: what capacity do the AFS of highlands have to conserve the biodiversity? is this capacity endangered?, which socio-cultural and ecological factors influence such a capacity? Based on our studies of other AFS of the region (Moreno-Calles et al. 2010) we expected that traditional AFS of the highlands would maintain a high proportion of native biodiversity. We hypothesized that such a capacity is higher in

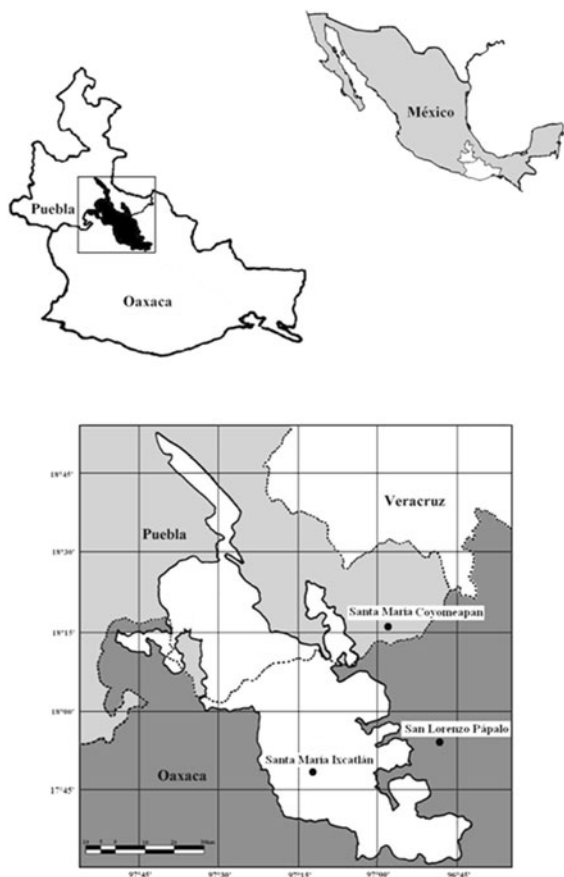


Fig. 1 Study area. The Tehuacán–Cuicatlán Valley and the communities in whose territories the forests and AFS analyzed were sampled

association with the patterns of indigenous peasant way of life and cultural values and therefore, their degradation would be caused mainly by social processes influencing cultural change. We aspire that our study may help to develop policies directed to include traditional knowledge and techniques in biodiversity conservation and recovering and preserving valuable autochthon technology, which is useful for this and other regions of Mexico.

Methods

Study area

The Tehuacán–Cuicatlán Valley is located at the south eastern area of the state of Puebla and the north western portion of the state of Oaxaca (Dávila et al.

2002, Fig 1); it comprises 10,000 km² with a high environmental heterogeneity (Valiente-Banuet et al. 2009; Dávila et al. 2002). It is a biodiverse region, with 36 types of plant associations (Valiente-Banuet et al. 2009) and nearly 3,000 plant species recorded.

Our study was conducted in the temperate highlands of the region, where vegetation includes different association types of pine, oak, and pine-oak forests. Particularly, we studied forests and AFS in the territory of the communities of Coyomeapan in the state of Puebla, and San Lorenzo Pápalo and Santa María Ixcatlán in the state of Oaxaca, which are inhabited by Náhuatl, Cuicatec and Ixcatec people, respectively.

The traditional multi-crop system called milpa (commonly combining maize, beans and squashes with other crops) is the main agricultural system and we studied AFS practicing it. The milpas are cultivated in plots no more than 2 ha extent. We evaluated their capacity of conserve native biodiversity through analysing vegetation richness, composition and diversity, by sampling vegetation in AFS and natural forests and comparing these parameters among them. Sampling of vegetation of natural forests was conducted in rectangles of 50 m × 10 m (500 m²), subdivided in five squares of 10 m × 10 m (100 m²) (Table 1). In total we sampled 3 sites of forest and 5 AFS in Coyomeapan, nine forest sites and four AFS I San Lorenzo Pápalo, and 6 forest sites and 5 AFS in Santa María Ixcatlán. In each sampling plot we recorded all individuals of woody plant species measuring their height, two perpendicular diameters of their canopies and, in the breast height diameter (BHD) of trees. Voucher specimens of all plant species recorded were collected for identification and supporting our research. The nomenclature of the plant species was verified in the database TROPICS. Vegetation sampling in AFS was conducted by mapping the spatial components of each agricultural plot in order to estimate the percentage of vegetation cover, and all the species, number, height and biomass of individual plants of each species occurring within the system were listed in order to complement our records of plant species richness within the sampling plots. In each agricultural plot we identified the agroforestry practices and interviewed people managing them in order to document in detail the agricultural and agroforestry practices, as well as the plant composition of patches forming agroforestry practices. Also, we carried out

Table 1 General characteristics of the farming systems evaluated in the communities studied

Community	Crops	Variety of crops	Introduced trees	Fallow	Irrigation	Machinery	Agrochemicals	Livestock
Coyomeapan	Corn, beans, squashes, pumpkins, peas	Corn: white thick, white thin, blue, yellow gourd pumpkin beans: black bushy, black vine, brown	7 spp.	1 year	No	Mattock	No	Yes
S. L. Pápalo	Corn, bean, gourd, fava beans, peas	One variety per crop	3 spp.	1–3 years	No	Plough and mattock	Yes	Yes
S.M. Ixcatlán	Corn, beans and squashes	Corn: white, blue squash: gourd beans: black thin, frijol de milpa	0	6 months	No	Tractor and mattock	No	Yes

interviews with managers of each agricultural plot in order to record indicators of intensification degree of the system, productivity, and the reasons why local people decided to let woody plant species stand. In addition, we documented the communitarian rules in relation to these decisions and about the utilization of the plant species recorded, governmental programs influencing their decisions, and land tenure, following the method developed by Moreno-Calles et al. (2010).

Ecological parameters

Vegetation sampling allowed calculate the species richness, diversity and composition, as well as the ecological importance value (EIV) relating density, frequency and biomass of each species in the sampling areas in both forests and AFS. Plant composition was evaluated through the number of plant families, genera and species, considering all species and only native plant species. Richness was estimated by the rarefaction method developed by Colwell using the program estimates, particularly the non-parametric estimate Chao (Colwell and Coddington 1994; Gotelli and Colwell 2001; Colwell 2013). Curves of abundance-rank were performed, in order to describe the numeric relations among the ranks of species (order) and their abundances (Magurran 1988). Because values of abundance were markedly different we transformed them to a logarithmic scale, obtaining log-abundance curves as response variable of ranks. Differences among curves slopes were tested through ANCOVA. Diversity was calculated through the *Simpson*

(Magurran 1988) and *Shannon* indexes (Shannon and Weaver 1949), which allow analysing homogeneity-heterogeneity of the plant community. Statistical differences of diversity (according to *Shannon* indexes) among populations were tested through *T* student tests. Richness and diversity parameters were calculated for the territories of the communities that were studied and for the whole temperate zone of the region. In addition, we analysed separately trees and shrubs because the parameters studied were markedly different among plants of these life forms. Average height and biomass of plants composing forests and AFS were compared through ANOVA and Bonferroni multiple range tests.

Management types

Interviews and field observations focused on identifying the reasons behind the people's decision to leave woody plants standing on their agricultural plots. In addition, we identified and documented those species managed by tolerance, those especially protected, transplanted and cultivated by sexual and asexual propagules, sensu Blancas et al. (2010). Finally, we documented in detail all agroforestry practices, as well as their purpose and techniques.

Agriculture intensification

Information from interviews was used for constructing an index of use intensification of each agricultural plot

studied, in order to compare these indicators among the indigenous communities studied. We included both, qualitative and quantitative indicators related to agricultural practices, animal raising (animal type raised and frequency of grazing) within AFS plots and amount and frequency of use of forest products from AFS. We considered the number of years the AFS have been managed, the surface that has been managed, the annual frequency of the activities, the use of inputs (organic or agrochemical), the tools and machines used, crops used, the duration of agricultural cycles, as well as, the weeding and tilling regimes. We assigned numerical standardized values of all indicators referred to above in order to use them for calculating the *intensification index* developed by Trilleras (2008). Particular attention was dedicated to document the amount of harvested products per agricultural plot, per agricultural cycle in relationship to the plot area, in order to evaluate and compare the plots' production.

Results

In the whole sample of AFS studied we recorded a total of 79 species of trees and shrubs belonging to 27 plant families (Appendix 1 see Table 5). Nearly 49 % of the plant families recorded in the studied area is present in both forests and AFS, 34 % is only distributed in natural forests, and 17 % is only found in AFS. The main plant families recorded are Fagaceae, Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae and Pinaceae. Nearly 86 % of the plant species recorded in AFS are native to the Tehuacán Valley based on Dávila et al. (1993); the AFS maintain on average 43 % of the perennial native plant species and 65 % of the native tree species found in sampling sites of temperate natural forests of the region.

According to the EIV, the most important species in AFS were *Amelanchier denticulata*, *Quercus conzattii*, *Prunus persica*, *Yucca elephantipes* and *Pinus lawsonii* (Fig 2). The AFS from Coyomeapan had 19 tree species and 20 species of shrubs, whereas in Santa María Ixcatlán there were 11 tree species and 18 shrub species, and in San Lorenzo Pápalo we recorded 15 tree species and three shrub species.

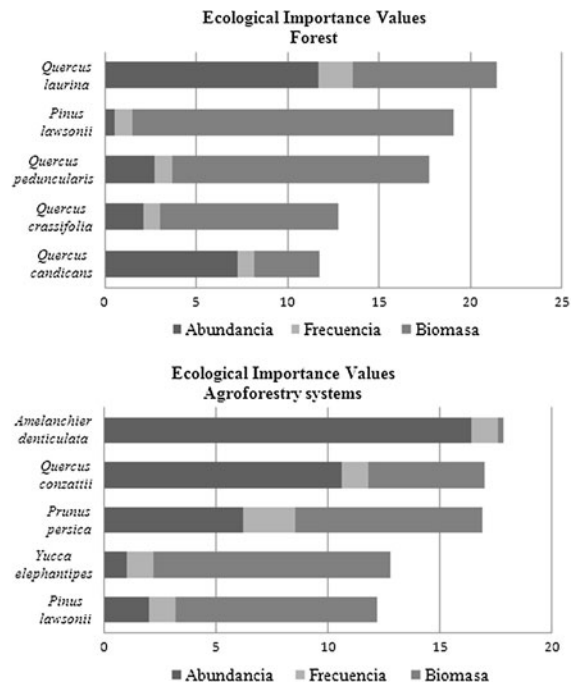


Fig. 2 Ecological importance values (EIV) calculated through vegetation sampling based on density, frequency and biomass of plant species in all the sites studied

Plant richness and diversity

AFS had similar species richness than natural forests. The rarefaction curves (Fig 3) indicate that although forest host a higher number of species, the differences are not significant. It is possible to appreciate that AFS of Coyomeapan maintain higher richness than those of other communities, even higher than the local natural forests. In Santa María Ixcatlán and San Lorenzo Pápalo the species richness decreases significantly compared with natural forests (Fig 4). Plant species diversity decreases significantly in AFS compared with natural forests (Fig 5), particularly in San Lorenzo Pápalo and Santa María Ixcatlán; however, in Coyomeapan the diversity of AFS was higher than in natural forests.

Curves of abundance rank (Fig 6) show that species dominance in AFS is generally higher than in natural forests; also, that rare plant species in AFS are lost more rapidly than in the forests, and that AFS have significantly less individual plants than forests, which was expected due to the vegetation clearing for setting up crops. In the AFS of San Lorenzo Pápalo, rare

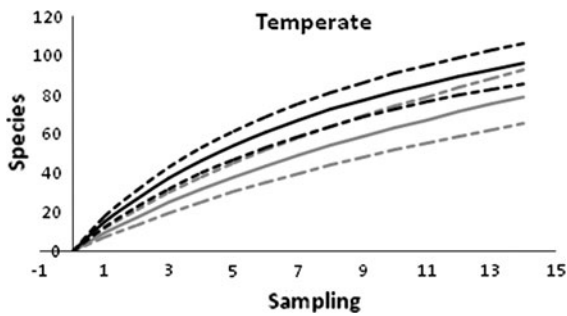


Fig. 3 Sampling rarefaction curves comparing the species richness of the forests and AFS involved in the study. FS Forest system (black line), AFS agroforestry systems (gray line), confidence limits (95 %, dashed line)

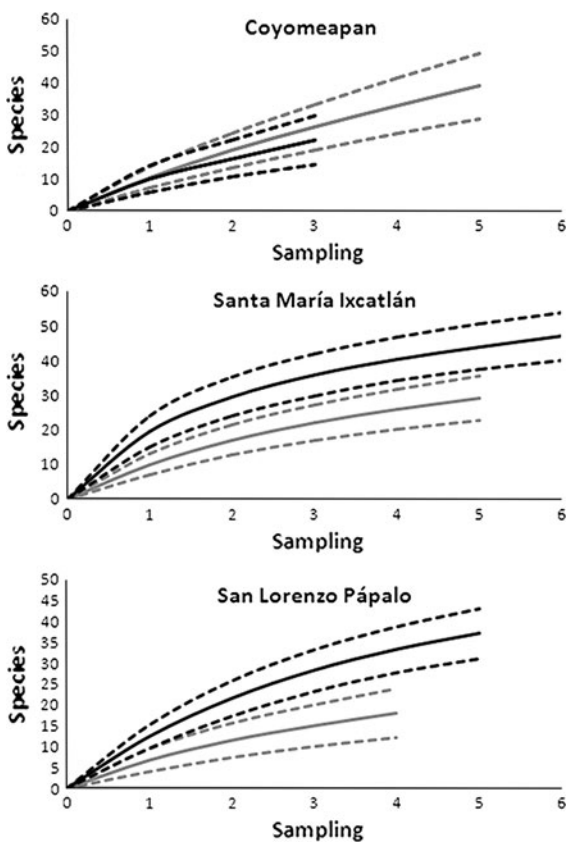


Fig. 4 Sampling rarefaction curves comparing the species richness of the natural forests and AFS in the different communities studied. FS Forest system (black line), AFS agroforestry systems (gray line), confidence limits (95 %, dashed line)

species are lost faster than in Coyomeapan where natural forests are dominated by fewer species and AFS maintain more species with restricted distribution range.

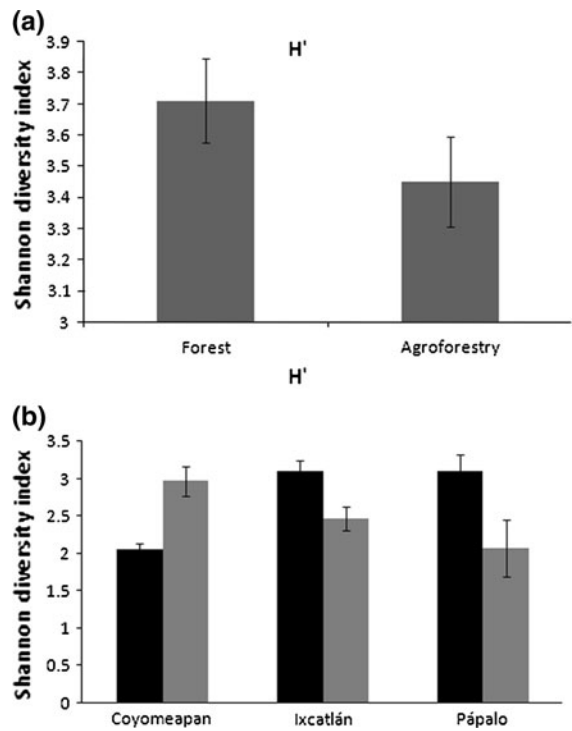


Fig. 5 Comparison of the Shannon diversity indexes among the forest (black bars) and the AFS (gray bars) studied. Shannon indexes were standardized by rarefaction curves. **a** For the whole sampled sites, **b** in each community studied

Vegetation structure

Agricultural plots conserving higher number of individuals of perennial plants are those from San Lorenzo Pápalo (50 ± 6.08 individual plants per plot, average \pm SE); Santa María Ixcatlán and Coyomeapan maintain on average $30\text{--}40 \pm 11.23$ individual plants per plot. However, in AFS of Coyomeapan height of individual plants is significantly higher (2.5 ± 0.35 m in height on average \pm SE), than in San Lorenzo Pápalo and Santa María Ixcatlán (1 ± 0.30 m and 1.5 ± 0.14 m, respectively; $F = 85,032$; $P = 0.0059$). Similarly, agroforestry plots of Coyomeapan and San Lorenzo Pápalo maintain significantly higher plant biomass (800 ± 255 and 500 ± 94 m³ on average \pm SE, respectively than in Santa María Ixcatlán (225 ± 72 m³; $F = 76,531$; $P = 0.0091$).

Agricultural and silvicultural management in agroforestry systems

In all communities studied we found as a general management pattern the particularly high importance of

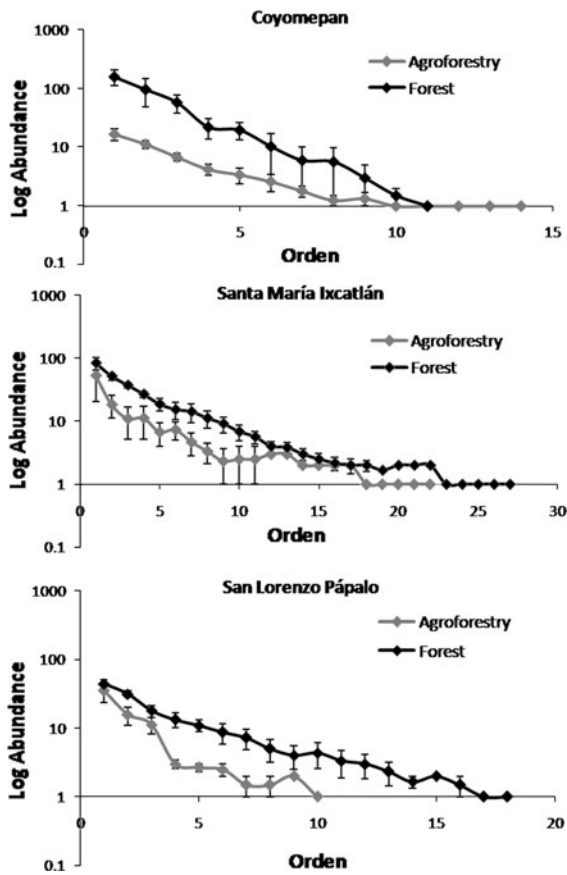


Fig. 6 Dominance/diversity curves of Coyomeapan, Ixcatlán and San Lorenzo Pápalo forests (black line) and AFS (gray line). Species are plotted from highest to lowest abundance along the x axis, and their abundance is displayed in \log_{10} in the y axis

the surrounding areas of the AFS plots maintaining vegetation cover; in these areas people keep the higher number of species and individual plants which are generally larger than those in other areas of the plots. However, each community had particular agricultural practices that confer specific features to AFS of their territories (Table 1). For instance, the spatial arrangement of trees and shrubs within the AFS plots are different in each community. In Coyomeapan the standing trees are sparsely distributed scattered in the plot, sometimes in small groups forming short lines but without forming real strips of vegetation, keeping distance among them to make room to crops. The trees that are present in these plots are generally non-native fruit trees but along with them, it is common to find some native shrubs. The native tree species that are commonly found within AFS plots are *Pinus* spp., *Quercus* spp. and *Alnus acuminata*, which are considered valuable trees

for their wood, firewood and leaves. Particularly relevant to mention are leaves of *Alnus* trees, which are considered a good fertilizer, as well as leaves of *Quercus* trees used for preparing food. In contrast, in San Lorenzo Pápalo, people keep fruit trees as small islands within the AFS plots, although, other native species are tolerated. The AFS plots studied are close to oak forests and numerous young plants of *Quercus* spp. grow within them and people let them grow. Commonly, adult oaks are pruned, fact that enables a faster recovering of forest when an agricultural plot is left. In Santa María Ixcatlán trees are not let standing inside the AFS plots, except for those highly valued, as it is the case of palms used for making handcrafts. In this village AFS plots are relatively larger than in the others, which commonly favours that people leave part of them as natural vegetation that is used as shade, and for obtaining firewood and medicinal plants (Fig 7).

Agroforestry systems of the highlands in the region maintain trees and shrubs through different management practices. Nearly 61 % are tolerated, 24 % protected, 10 % cultivated, and 5 % transplanted. In other words, most perennial plants survive in the AFS plots because people let them grow and they invest relatively low effort in enriching or maintaining them (Table 2). People let trees to grow within the agricultural plots mostly to produce edible fruits to obtain firewood, timber and shade as well as for aesthetic motives, or environmental benefits. In Coyomeapan the main reasons to leave the trees is to have fruits and firewood or even as support of climbing crop plants such as passion fruit (*Passiflora edulis*). In Ixcatlán people decide to maintain woody plants mainly for shade and others like the palms *Brahea* spp. whose leaves are used for weaving handcrafts, whereas in San Lorenzo Pápalo because trees provide shade, fruits and firewood (Table 3). These reasons were mentioned by

Table 2 Plant management of trees and shrub in the agroforestry systems in the whole sample and in the different communities studied

Community	Management type			
	Tolerated (%)	Protected (%)	Cultivated (%)	Transplanted (%)
Coyomeapan	56	21	20	3
S. M. Ixcatlán	69	24	0	7
S. L. Pápalo	50	28	16	6
Whole Sample	61	24	10	5

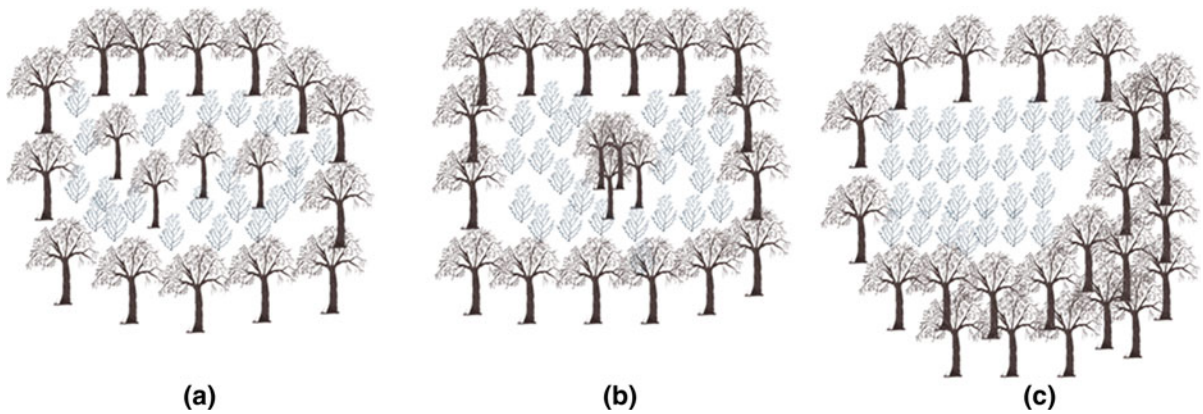


Fig. 7 Schematic spatial arrangement of AFS in the communities studied. The figure indicates that in Coyomeapan **a** the trees and shrubs are tolerated along the whole surface of the agricultural plots including the boundaries. In San Lorenzo

Pápalo **b** the trees and shrubs are maintained in the boundary and in small islands inside, whereas, in Santa María Ixcatlán **c** trees and shrubs are in the boundary and in the adjacent crops

Table 3 Percentage of people interviewed that gave explicit reasons for maintaining trees and shrubs in AFS

Reasons	Whole sample (%)	Coyomeapan (%)	S.M. Ixcatlán (%)	S.L. Pápalo (%)
Shade	20	11	27	25
Edible fruit	13	26	9	0
Firewood	13	16	18	6
Does not affect	9	0	27	6
Other edible product	7	16	0	0
Boundary	7	5	0	13
Handcraft manufacturing	7	0	0	20
Medicine	4	11	0	0
Timber	4	10	0	0
Support to climbing crops	4	0	10	6
Windbreaks	2	5	0	0
Regulation	2	0	9	0
Ornamental	2	0	0	6
Attractor of rain	2	0	0	6
Part of nature	2	0	0	6
Fodder	2	0	0	6

The second column indicates the results of the whole sample and the rest indicate the responses in each of the communities studied

the people for those species intentionally maintained, but additionally there is a high proportion of plants that are tolerated because people consider that they do not interfere with the agricultural purposes, or because they are pretty or part of nature.

Agricultural intensification

In all AFS plots studied, people feed goats and sheep after harvesting maize and other crops. They also extract plant resources, mainly firewood. The

intensification index, with values ranging from 0 to 1, indicates that in Coyomeapan, AFS plots are less intensified (0.1 ± 0.04 , average \pm SE), where there is not any agrochemical inputs or machines used. The highest intensification index was found in AFS plots of Santa María Ixcatlán (0.6 ± 0.14), where there is not any agrochemical input, but where the agricultural land is flat terrain, which allows utilization of machines (e.g. tractors) and consequently the removal of vegetation. Intensification index in San Lorenzo Pápalo was on average 0.5 ± 0.12 , since use of

agrochemical inputs is high, particularly favoured by governmental programs (e. g. the program Procampo), which promote the use of pesticides, herbicides and fertilizers. The average productivity in Coyomeapan was 174.16 ± 20.93 kg/ha on average \pm SE, whereas San Lorenzo Pápalo it was 106.25 ± 6.25 kg/ha and in Santa María Ixcatlán 136.66 ± 16.79 kg/ha.

Land tenure

We recorded three types of land tenure, which clearly influenced the management of the AFS. In Coyomeapan, 44 % of land is private, 29 % ejido and 27 % communal (ejido and communal are two forms of collective land tenure in Mexico). In San Lorenzo Pápalo, 70 % is communal and 30 % is private, whereas in Ixcatlán 100 % is communal. Land tenure influences several aspects but especially the AFS plots size. In Ixcatlán, where land tenure is entirely communal, people have an integrated use of landscape, where agriculture is developed almost exclusively in flat terrains of larger size than in other communities. In contrast, in Coyomeapan where nearly half of the land tenure is private, the use of the natural resources and the space is mainly organized by AFS plots.

Communitarian regulations and governmental programs

In the three communities studied we recorded regulations for managing trees. Pines are tree species mainly protected by regulations; consequently people need to obtain a permit with the local authorities for using logging them. In Santa María Ixcatlán there is a specific norm for regulating any tree cutting. In Coyomeapan, where private property is dominant people think that owners have the right to decide whether the trees are cut or not, but local authorities express that cutting trees requires authorization. In general, local authorities allow local people to cut trees for wood and firewood when it is used for domestic consumption, but when trees are used for other purposes such as construction they need to issue a permit. The most penalized action is cutting trees for commercialization of wood. In fact, any use of trees for people external to the community is forbidden. Two persons of the community said that cutting trees

is prohibited because they are part of a Biosphere Reserve.

People mentioned a governmental program enhancing maintenance of trees in agricultural systems (the program Proarbol, supported by the Mexican National Forestry Commission, CONAFOR), which pays \$1.00 (nearly 8 cents of US dollars) per planted tree. The program provides young pine trees that are non-native species; however, people plant them for receiving the monetary incentive, but they do not monitor for their survival rate.

Discussion

Before the current dual need of producing food and conserving biodiversity and ecosystems, AFS represent an attractive option to be maintained and developed. The results of our study show that nearly 43 % of native species of perennial plants are maintained in the AFS, which is close to the range of conservation levels reported by Noble and Dirzo (1997), who identified that between 50 and 80 % of the local vegetation may be maintained in these systems. Our study focused on woody perennial plant species (not herbaceous plant species), but our data may also be comparable with those reported by Bhagwat et al. (2008), who proposed that the AFS of tropical areas, may maintain on average 60 % of the local biodiversity. Also, our results are comparable with those obtained in the semi-arid areas of the lowlands of the same region where Moreno-Calles et al. (2010) found that these systems may maintain on average 59 % of the plant species of the surrounding natural vegetation.

AFS maintain similar species richness than the natural forests, however, its diversity is generally lower than in forests because of the dominance of some particular species deliberately tolerated or promoted by people, which is a common pattern of silvicultural management associated to AFS in the region (Casas et al. 1997, 2007). However, the AFS of Coyomeapan show that diversity, in these systems, may be even higher than in natural forests, which may be considered as a model of what it is technically possible to achieve. We recorded absence or scarcity of rare species in agroforestry systems of these areas, similarly to that pattern documented for the semiarid areas of the Tehuacán Valley by Moreno-Calles et al. (2010).

One important criticism to AFS is that they are propitious for including exotic potentially invasive plant species. We found that in the highlands of the Tehuacán–Cuicatlán Valley, nearly 82 % of species recorded on average are native, but in Santa María Ixcatlán all species recorded are native, whereas in the semi-arid area Moreno-Calles et al. (2010) reported that 76 % of species are native. Although this information suggests low risk related to invasive species, it should not be discarded since we did not evaluate herbs, which include exotic species more commonly than perennial plants.

Vegetation cover and the number of individual plants remaining in AFS are crucial for vegetation recovering and restoration (Chazdon 2003; Harvey et al. 2006; Harvey et al. 2008). We found in the studied areas that there is on average 40 woody individual plants per AFS plot. However, in some plots we recorded nearly 250 individual plants, mainly young plants, which identify AFS as effective receptive areas of propagules for recovering vegetation. In addition, abundance of individual plants are indicators of other ecological benefits such as connectivity among fragments, soil and water retention and available products for people managing the system.

We found that in the systems studied those plants managed by tolerance are dominant, whereas in other local AFS such as homegardens cultivated plants are dominant (Blanckaert et al. 2004; Larios et al. 2013). The main reasons for not cutting the tree species are their use as shade, food, firewood, and fodder (Table 4) which are similar to those reasons documented in the semiarid zone of the lowlands Tehuacán Valley by Moreno-Calles et al. (2010). In contrast, in local homegardens trees and shrubs are tolerated or enhanced mainly because they are used for ornamental, food and medicinal purposes (Larios et al. 2013).

The AFS that were studied derived from similar pine and pine-oak forests but they differ markedly in social and cultural aspects, which seems to determine important differences in their management and, in composition, richness and diversity. In Coyomeapan, the Náhuatl community land tenure is nearly half private and half communal. It has pronounced slopes that do not make possible the utilization of machines. Consequently these conditions enable the produce of scattered fruit trees inside the AFS plots are not in conflict with modern technology management

Table 4 Biophysical and sociocultural characteristics of the communities studied

Community	Biophysical							Sociocultural			
	Vegetation type	Representative species	Elevation (m)	Slope range	Annual rainfall	Annual temperature	Surface (ha)	People number	Land tenure	Ethnicity	Speakers of indigenous language
Coyomeapan	Pine-oak forest	<i>Pinus teocote</i> , <i>Quercus laurina</i> , <i>Q. candicans</i> , <i>Temstroemia pringlei</i>	1,950–2,400	30°–40°	1,650 mm	15.3 °C	22,881 ha	14,205	Private (44 %) Ejidal (29 %) Comunal (27 %)	Náhuatl	12,079
Santa María Ixcatlán	Oak forest and Juniperus forest	<i>Juniperus flaccida</i> , <i>Quercus peduncularis</i> , <i>Q. urbanii</i> , <i>Brahea dulcis</i>	1,890–2,100	10°–15°	647.0 mm	16.3 °C	18,993 ha	516	Comunal (100 %)	Ixcatecos	33
San Lorenzo Pápalo	Pine-oak forest	<i>Quercus conzattii</i> , <i>Q. crassifolia</i> , <i>Pinus devoniana</i> , <i>P. lawsonii</i>	1,800–2,400	20°–25°	812 mm	15 °C	3,900 ha	583	Comunal (70 %) Private (30 %)	Cuicatecos	233

practices. AFS plots are also delimited by living fences and people make efforts to maintain such resources, since they depend more from their plots, than people of the other communities. This situation reflects in its higher rates of plant richness, diversity and cover, tree size and biomass than in AFS plots of the other communities.

In contrast, in Santa María Ixcatlán, where the whole territory is communal and more extended, the agricultural plots are placed in flat terrains where it is viable to use machines for cultivation. Plots are mainly dedicated to agriculture, whereas forest areas are large enough for providing other goods and services. In these conditions, AFS had lower plant richness and diversity rates than in Coyomeapan, but it is constituted mainly by native species. This fact may also be explained since Ixcatlán is drier than Coyomeapan (Table 4).

In San Lorenzo Pápalo the vegetation islands are more important than in the rest of the communities. This pattern of agroforestry practices allowed the utilization of machines for cultivation. People tolerate young plants of the adjacent natural forests within the isles. For this reason these were the AFS plots with higher number of individual plants, but with the smaller size and biomass. In this site, we found only three species of shrubs and 15 of trees, which indicates a strong selection on those species allowed to remain in the AFS plots.

Management of AFS may be influenced by the degree of access to forest and to landscape resources that are allowed by the collective tenure, as in Santa María Ixcatlán. In contrast, people may be forced to optimize the use of AFS plots increasing diversity of resources in the systems, as for instance in Coyomeapan and San Lorenzo Pápalo. Accordingly, land tenure, land size and resources availability and environmental aspects, such as topography and rainfall regime may all be significantly influencing the management patterns of the AFS.

Conclusions

AFS are reservoirs of both diversity and living strategies with high actual and potential contribution for conserving native biodiversity. This attribute at

least in theory allows the connectivity of fragmented and conserved areas, and may favour the maintenance of soils and water, and providing products to households that manage them.

All communities studied are inhabited by indigenous people. Human culture in each community is different and preservation of indigenous features is variable. In general, indigenous patterns of life are more favourable for biodiversity conservation in relation to the multiple use of ecosystems and resources. However land use history, agricultural intensification, land tenure, and ecological aspects influencing agricultural techniques and access to forest resources are all aspects significantly influencing management patterns and capacity of AFS to maintain plant species diversity.

People enhance the presence of natural plant resources in their agricultural plots using different criteria, which are influenced by both culture and ecological contexts, as well as economic motives.

Conservation of biodiversity in the Tehuacán–Cuicatlán Valley needs to include policies for conserving and improving native AFS. Local experience is highly variable according to the socio-cultural and ecological contexts, but interchange of local experiences would be a way of promoting the recovery and improvement of these systems in areas where they are being lost.

Studying ecological, social, economic and cultural aspects motivating construction of AFS, as well as those determining their loss may significantly contribute to develop technology and criteria for public policies enhancing these valuable systems.

Acknowledgments The authors thank the Posgrado en Ciencias Biológicas of the National Autonomous University of Mexico (UNAM) and the National Council of Science and Technology (CONACYT), Mexico for supporting postgraduate studies and a grant for the first author, respectively. We also thank financial support from CONACYT (Research Project CB-2008-01-103551), and the UNAM-DGAPA-PAPIIT (Research projects IN205111-3, IN2092014 and IA203213), as well as Edgar Pérez-Negrón for fieldwork assistance and Ignacio Torres for the illustration of Fig 7. We emphatically thank people of San Lorenzo Pápalo, Santa María Ixcatlán and Coyomeapan for their hospitality and friendship.

Appendix 1

See Table 5.

Table 5 List of species recorded in the sampling of forests and agroforestry systems studied

Families	Species	Forest	AFS
Adoxaceae	<i>Sambucus nigra</i> L.		X
Anacardiaceae	<i>Rhus chondroloma</i> Standl.		X
	<i>Rhus standleyi</i> F.A. Barkley	X	X
	<i>Rhus virens</i> Lindh. ex A. Gray	X	X
Annonaceae	<i>Annona cherimola</i> Mill.		X
Araliaceae	<i>Oreopanax</i> sp.	X	
Arecaceae	<i>Brahea dulcis</i> (Kunth) Mart.	X	X
Asparagaceae	<i>Agave potatorum</i> Zucc.	X	X
	<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	X	X
	<i>Yucca guatemalensis</i> Baker		X
Asteraceae	<i>Ageratina collodes</i> (B.L. Rob. and Greenm.) R.M. King and H. Rob.	X	
	<i>Ageratina espinosarum</i> (A. Gray) R.M. King and H. Rob.	X	
	<i>Ageratina hebes</i> (B.L. Rob.) R.M. King and H. Rob.	X	
	<i>Ageratina mairetiana</i> (DC.) R.M. King and H. Rob.	X	
	<i>Ageratina</i> sp.	X	X
	<i>Artemisia vulgaris</i> L.		X
	<i>Baccharis conferta</i> Kunth		X
	<i>Baccharis serrifolia</i> DC.	X	
	<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H. Rob. and Brettell		X
	<i>Bidens</i> sp.	X	
	<i>Brickelia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray	X	
	<i>Compuesta 1</i>	X	
	<i>Compuesta 2</i>	X	
	<i>Compuesta 3</i>	X	
	<i>Compuesta 4</i>		X
	<i>Eupatorium</i> sp.	X	
	<i>Gymnosperma glutinosum</i> (Spreng.) Less.	X	X
	<i>Montanoa</i> sp.	X	
	<i>Perymenium discolor</i> Schrad.	X	
	<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass.	X	
	<i>Psacalium amplifolium</i> (DC.) H. Rob. and Brettell	X	
	<i>Stevia lucida</i> Lag.	X	X
	<i>Stevia</i> sp.	X	
	<i>Verbesina</i> sp.	X	
	<i>Vernonia</i> sp.	X	
	<i>Viguiera</i> sp.	X	
	<i>Zaluzania montagnifolia</i> (Sch. Bip.) Sch. Bip.		X
Berberidaceae	<i>Berberis</i> sp.	X	
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	X	X
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	X	
Buddlejaceae	<i>Buddleja cordata</i> Kunth	X	
	<i>Buddleja parviflora</i> Kunth	X	
	<i>Buddleja</i> sp.		X

Table 5 continued

Families	Species	Forest	AFS
Cactaceae	<i>Ferocactus recurvus</i> (Mill.) Borg		X
	<i>Mammillaria</i> sp.		X
	<i>Opuntia lasiacantha</i> Pfeiff.	X	
	<i>Opuntia</i> sp.		X
Campanulaceae	<i>Lobelia laxiflora</i> Kunth	X	
Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.		X
Clethraceae	<i>Clethra</i> sp.	X	
Cupressaceae	<i>Juniperus communis</i> L.		X
	<i>Juniperus flaccida</i> Schtdl.	X	X
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	X	X
	<i>Arctostaphylos</i> sp.	X	
	<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch	X	
	<i>Comarostaphylis spinulosa</i> (M. Martens and Galeotti) Diggs		X
	<i>Gaultheria hirtiflora</i> Benth.	X	
	<i>Vaccinium leucanthum</i> Schtdl.	X	
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i> sp.	X	X
	<i>Sebastiania</i> sp.	X	
Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	X	X
	<i>Acacia pennatula</i> (Schtdl. and Cham.) Benth.	X	X
	<i>Acacia</i> sp.		X
	<i>Calliandra</i> sp.	X	
	<i>Desmodium conzattii</i> Greenm.	X	
	<i>Erythrina americana</i> Mill.		X
	<i>Erythrina leptorhiza</i> Moc. and Sessé ex DC.		X
	<i>Hybosema ehrenbergii</i> (Schtdl.) Harms	X	
	<i>Lysiloma</i> sp.		X
	<i>Mimosa</i> sp.		X
	<i>Quercus candicans</i> Née	X	X
	<i>Quercus castanea</i> Née	X	X
	<i>Quercus conspersa</i> Benth.		X
	<i>Quercus conzattii</i> Trel.	X	X
	<i>Quercus crassifolia</i> Humb. and Bonpl.	X	X
	<i>Quercus crassipes</i> Humb. and Bonpl.	X	X
	<i>Quercus glaucooides</i> M. Martens and Galeotti		X
	<i>Quercus laurina</i> Humb. and Bonpl.	X	X
	<i>Quercus magnolifolia</i> Née	X	X
	<i>Quercus obtusata</i> Humb. and Bonpl.	X	
	<i>Quercus peduncularis</i> Née	X	X
	<i>Quercus rugosa</i> Née	X	
	<i>Quercus salicifolia</i> Née		X
	<i>Quercus scytophylla</i> Liebm.		X
	<i>Quercus urbanii</i> Trel.	X	X
Garryaceae	<i>Garrya ovata</i> Benth.		X
Lamiaceae	<i>Salvia purpurea</i> Cav.	X	
Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	X	X
	<i>Persea americana</i> Mill.		X
Malvaceae	<i>Sida</i> sp.		X

Table 5 continued

Families	Species	Forest	AFS
Melastomataceae	<i>Clidemia</i> sp.	X	
	Melastomataceae 1	X	
	<i>Tibouchina scabriuscula</i> (Schltdl.) Cogn.	X	
Myricaceae	<i>Morella cerifera</i> (L.) Small	X	X
Oleaceae	<i>Forestiera rotundifolia</i> (Brandegee) Standl.		X
Pentaphragaceae	<i>Ternstroemia pringlei</i> (Rose) Standl.	X	X
Pinaceae	<i>Pinus lawsonii</i> Roez l ex Gordon	X	X
	<i>Pinus devoniana</i> Lindl.	X	
	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	X	X
	<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. and Cham.	X	X
	<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl. and Cham.	X	X
	<i>Pinus</i> 1	X	X
Plantaginaceae	<i>Russelia obtusata</i> S.F. Blake	X	
Polygalaceae	<i>Monnina xalapensis</i> Kunth	X	
Pterostemonaceae	<i>Pterostemon rotundifolius</i> Ramírez	X	
Myrsinaceae	<i>Rapanea juergensenii</i> Mez	X	
Rosaceae	<i>Amelanchier denticulata</i> (Kunth) K. Koch	X	X
	<i>Cydonia oblonga</i> Mill.		X
	<i>Prunus americana</i> Marshall		X
	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch		X
	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	X	X
	<i>Pyrus malus</i> L.		X
	<i>Rubus liebmannii</i> Focke	X	
	<i>Rubus</i> sp.	X	X
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltdl.	X	
	Rubiaceae 1	X	
Rutaceae	<i>Ptelea trifoliata</i> L.	X	
	<i>Rutacea</i> 1	X	
	<i>Rutacea</i> 2	X	
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	X	X
Solanaceae	<i>Cestrum laxum</i> Benth.	X	
	<i>Solanum cardiophyllum</i> Lindl.	X	
	<i>Solanum hamatile</i> Brandegee		X
	<i>Solanum lanceolatum</i> Cav.	X	
Styracaceae	<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	X	
Verbenaceae	<i>Citharexylum affine</i> D. Don		X
	<i>Lantana velutina</i> M. Martens and Galeotti	X	
	Sp 1	X	

References

- Altieri MA (1991) How best can we use biodiversity in agroecosystems. *Outlook Agric* 20:15–23
- Altieri M, Nicholls C (2000) Teoría y práctica para una agricultura sostenible. Serie de Textos Básicos para la Formación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación ambiental para América Latina y el Caribe, México
- Altieri M, Toledo VM (2005) Natural resources management among small-scale farmers in semiaridlands: building on traditional knowledge and agroecology. *Ann Arid Zone* 44:365–385
- Bhagwat SH, Willis KJ, Birks J, Whittaker R (2008) Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends Ecol Evol* 23:261–267
- Blancas J, Casas A, Rangel-Landa S, Moreno-Calles A, Torres I, Pérez-Negrón E, Solís L, Delgado-Lemus A, Parra F, Arellanes Y, Caballero J, Cortés L, Lira R, Dávila P (2010) Plant management in the Tehuacán–Cuicatlán Valley, Mexico. *Econ Bot* 64:287–302
- Blanckaert I, Swennen RL, Paredes M, Rosas R, Lira R (2004) Floristic composition, plant uses and management practices in homegardens of San Rafael Coxcatlán, Valle de Tehuacán–Cuicatlán, México. *J Arid Environ* 57:39–62
- Boege E (2008) El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. INAH, México
- Budowski G (1994) El alcance y el potencial de la agroforestería con énfasis en Centroamérica. In: Krishnamurthy L, Leos J (eds) Agroforestería en Desarrollo: Educación. Centro de Agroforestería para el desarrollo sostenible, Universidad Autónoma de Chapingo, México, Investigación y Extensión, pp 1–16
- Bye R (1993) The role of humans in the diversification of plants in Mexico. In: Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J (eds) Biological diversity of Mexico: Origins and distribution. Oxford University Press, New York, pp 707–731
- Caballero J, Mapes C (1985) Gathering and subsistence patterns among the Purépecha Indians of Mexico. *Journal of Ethnobiology* 5(1):31–47
- Casas A, Caballero J, Mapes C, Zárate S (1997) Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Bol Soc Bot Mex* 61:31–47
- 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
- Challenger A (1998) Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México: Pasado, Presente y Futuro. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. CONABIO—Agrupación Sierra Madre, S. C. México
- Chazdon RL (2003) Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspect Plant Ecol* 6:51–71
- Colwell RK (2013) Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8. Persistent. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>

- Colwell RK, Coddington JA (1994) Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philos Trans R Soc B* 345:101–118
- Cruse-Sanders J, Parker K, Friar E, Huang D, Mashayekhi S, Prince L, Otero-Arnaiz A, Casas A (2013) Managing diversity: domestication and gene flow in *Stenocereus stellatus Riccob.* (Cactaceae) in Mexico. *Ecol Evol* 3(5):1340–1355
- Daily GC (ed) (1997) Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington
- Dávila P, Villaseñor JL, Medina RL et al (1993) Listados florísticos de México. X. Flora del Valle de Tehuacán–Cuicatlán. Instituto de Biología, UNAM, Mexico
- Dávila P, Arizmendi MC, Valiente-Banuet A, Villaseñor JL, Casas A, Lira R (2002) Biological diversity in the Tehuacán–Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodivers Conserv* 11:421–441
- DeClerck FAJ, Chazdon RL, Holl KD, Milder JC, Finegan B, Martínez-Salinas A, Imbach P, Canet L, Zayra R (2010) Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: past, present, and future. *Biodivers Conserv* 143:2301–2313
- Donald PF (2004) Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conserv Biol* 18:17–37
- Gordon AG, Newman S (1997) Temperate agroforestry systems. CABI Internacional, London
- Gotelli NJ, Colwell RK (2001) Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecol Lett* 4:379–391
- Harvey CA, Medina A, Sánchez-Merlo D, Vélchez S, Hernández B, Saenz J, Maes J, Casanovas F, Sinclair FL (2006) Patterns of animal diversity associated with different forms of tree cover retained in agricultural landscapes. *Ecol Appl* 16:1986–1999
- Harvey CA, Komar O, Robin C, Ferguson BG, Finegan B, Griffith DM, Martínez-Ramos M, Morales H, Nigh R, Soto-Pinto L, Van Breugel M, Wishnie M (2008) Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesamerican hotspot. *Conserv Biol* 22:8–15
- Kort J, Poppy L, Gordon AM, Caron L (2009) Temperate agroforestry: when trees and crops get together. *Agric Ecosyst Environ* 131:1–3
- Krishnamurthy L, Ávila M (1999) Agroforestería básica. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental N 3, México
- Larios C, Casas A, Vallejo M, Moreno-Calles AI, Blancas J (2013) Plant management and biodiversity conservation in Náhuatl homegardens of the Tehuacán Valley, Mexico. *J Ethnobiol Ethnomed* 9:74
- 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 RS (1967) A summary of subsistence. In: Byers DS (ed) Prehistory of the Tehuacán Valley: environment and subsistence, vol 1. University of Texas Press, Austin, pp 290–309
- Magurran AE (1988) Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton
- McNeely JA, Schroth G (2006) Agroforestry and biodiversity conservation-traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodivers Conserv* 15:549–554
- Melville EGK (1999) Plaga de ovejas: consecuencias ambientales de la conquista de México. Fondo de Cultura Económica, México
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington
- Moreno-Calles A, Casas A, Blancas J, Torres I, Rangel-Landa S, Pérez-Negrón E, Caballero J, Masera O, García-Barrios L (2010) Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán–Cuicatlán Valley, Central México. *Agrofor Syst* 80:315–331
- Moreno-Calles A, Casas A, García-Frapolli E, Torres-García I (2012) Traditional agroforestry systems of multi-crop “milpa” and “chichipera” cactus forest in the arid Tehuacán Valley, Mexico: their management and role in people's subsistence. *Agrofor Syst* 84(2):207–226
- Moreno-Calles AI, Toledo VM, Casas A (2013) Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Bot Sci* 91(4):1–24
- Nair PKR (2011) Agroforestry Systems and Environmental Quality: introduction. *J Environ Qual* 40:784–790
- Noble I, Dirzo R (1997) Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277:522–525
- Otero-Arnaiz A, Casas A, Hamrick JL, Cruse-Sanders J (2005) Genetic variation and evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacán Valley, central Mexico. *Mol Ecol* 14(6):1603–1611
- Parra F, Casas A, Peñaloza-Ramírez JM, Cortés Palomec AC, Rocha Ramírez V, González-Rodríguez A (2010) Evolution under domestication: ongoing artificial selection and divergence of wild and managed *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) populations in the Tehuacán Valley, Mexico. *Ann Bot* 106:483–496
- Perfecto I, Vandermeer J (2008) Biodiversity conservation in tropical agroecosystems. *Ann NY Acad Sci* 1134:173–200
- Perfecto I, Armbrecht I, Philpott SM, Soto-Pinto L, Dietsch TM (2007) Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. In: Tscharntke T, Leuschner C, Zeller M et al (eds) The stability of tropical rainforest margins, linking ecological, economic and social constraints of land use and conservation, environmental science series. Springer, Verlag, pp 227–264
- Puckett HL, Brandle J, Johnson J, Blankenship E (2009) Avian foraging patterns in crop field edges adjacent to woody habitat. *Agric Ecosyst Environ* 131:9–15
- Quinkenstein A, Wöllecke J, Böhm C, Grunewald H, Freese D, Schneider BU, Huttel RF (2009) Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environ Sci Policy* 12(8):1112–1121
- Quintana-Ascencio P, Onzalez-espinoza M (1993) Afinidad fitogeográfica y papel sucesional de la flora leñosa de los bosques de pino-encino de los Altos de Chiapas, México. *Acta Bot Mex* 21:43–57
- Ricker M, Ramírez-Krauss I, Ibarra-Manríquez G, Martínez E, Ramos C, Gonzalez-Medellín G, Gómez-Rodríguez G, Palacio-Prieto L, Hernández H (2007) Optimizing conservation of forest diversity: a country-wide approach in Mexico. *Biodivers Conserv* 16:1927–1957
- Rzedowski J (1978) Vegetación de México. Editorial Limusa, México
- Sánchez-González A (2008) Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos en México. *Madera y Bosques* 14(1):107–120

- Sarukhán J, Soberón J (2009) Capital natural de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Mexico
- Scales BR, Marsden SJ (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 GAB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AMN (2004) Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press, Washington
- Shannon CE, Weaver W (1949) The mathematical theory of information. University of Illinois Press, Urbana
- Shibu J (2009) Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agrofor Syst* 76:1–10
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Caballero-Nieto J (2002) Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agrofor Syst* 55:37–45
- Swift MJ, Vandermeer J, Ramakrishnan PS et al (1998) Biodiversity and agroecosystem function. In: Mooney HA, Cushman JH, Medina E et al (eds) Functional roles of biodiversity: a global perspective. Wiley, New York, pp 262–294
- Toledo VM, Ordóñez MJ (1993) The biodiversity scenario of México: A review of terrestrial habitats. In: Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J (eds) Biological diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford University Press, New York, pp 707–731
- Toledo VM, Alarcón-Chaires P, Moguel P et al (2001) El Atlas Etnoecológico de México y Centroamérica: fundamentos, Métodos y Resultados. *Etnoecológica* 6(8):7–41
- Trilleras J (2008) Análisis socio-ecológico del manejo, degradación y restauración del bosque tropical seco de la región de Chamela–Cuixmala, México. Disertación, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Tscharntke T, Clough Y, Bhagwat SA et al (2011) Multi-functional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes—a review. *J Appl Ecol* 48:619–629
- Valencia S (2004) Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Bol Soc Bot Mex* 75:33–53
- Valiente-Banuet A, Solís L, Dávila P et al (2009) Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán–Cuicatlán, Fundación Cuicatlán. UNAM, Impresora Transcontinental, Mexico
- Vandermeer J, Perfecto I (2007) The agricultural matrix and the future paradigm for conservation. *Conserv Biol* 21:274–277
- Wallace GN, Barborak J, MacFarland CG (2005) Land-use planning and regulation in and around protected areas: a study of best practices and capacity building needs in Mexico and Central America. *Naturaleza y Conservación* 3:147–167

CAPÍTULO III

Vallejo M, Casas A, Pérez-Negrón E, Moreno-Calles AI, Hernández-Ordóñez O, Tellez O, Dávila P. Agroforestry systems of the lowland alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: an evaluation of their biocultural capacity. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* (Aceptado)

Agroforestry systems of the lowland alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: an evaluation of their biocultural capacity

Mariana Vallejo¹
Email: mvallejo@cieco.unam.mx

Alejandro Casas^{1*}
* Corresponding author
Email: acasas@cieco.unam.mx

Edgar Pérez-Negrón¹
Email: epnegron@cieco.unam.mx

Ana I Moreno-Calles²
Email: nakaricitla@gmail.com

Omar Hernández-Ordoñez¹
Email: omar_ho@cieco.unam.mx

Oswaldo Tellez³
Email: tellez@servidor.unam.mx

Patricia Dávila³
Email: pdavilaa@unam.mx

¹ Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM campus Morelia, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta, Morelia 58190, Michoacán, México

² Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, UNAM campus Morelia, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta, Morelia 58190, Michoacán, México

³ UBIPRO, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, Avenida de los Baños, s/n, Apartado Postal 54090 (Los Reyes Iztacala), Tlalnepantla, Estado de México

Abstract

Background

Agroforestry systems (AFS) are valuable production systems that allow concealing benefits provision with conservation of biodiversity and ecosystem services. We analysed AFS of the zone of alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Valley (TCV), Mexico, the most intensive agricultural systems within a region recognized for harbouring one of the most ancient agricultural experience of the New World. We hypothesized that the biodiversity conservation capacity of AFS would be directly related to traditional agricultural features and inversely related to management intensity.

Methods

Agricultural practices, use frequency of machinery and chemical inputs, and proportion of forest and cultivated areas were described in 15 AFS plots in alluvial valleys of the Salado River in three villages of the region. With the information, we constructed a management intensity index and compared among plots and villages. We documented the reasons why people maintain wild plant species and traditional practices. Perennial plant species were sampled in vegetation of AFS (15 plots) and unmanaged forests (12 plots 500 m²) in order to compare richness, diversity and other ecological indicators in AFS and forest.

Results

In all studied sites, people combine traditional and intensive agricultural practices. Main agroforestry practices are ground terraces and borders surrounding AFS plots where people maintain vegetation. According to people, the reasons for maintaining shrubs and trees in AFS were in order of importance are: Beauty and shade provision (14% of people), fruit provision (7%), protection against strong wind, and favouring water and soil retention. We recorded 66 species of trees and shrubs in the AFS studied, 81% of them being native species that represent 38% of the perennial plant species recorded in forests sampled. Land tenure and institutions vary among sites but not influenced the actions for maintaining the vegetation cover in AFS. Plant diversity decreased with increasing agricultural intensity.

Conclusions

Maintenance of vegetation cover did not confront markedly with the intensive agricultural practices. It is possible the expansion and enrichment of vegetation in terraces and borders of AFS. Information available on plant species and local techniques is potentially useful for a regional program of biodiversity conservation considering AFS as keystones.

Keywords

Agroforestry systems, Biocultural heritage, Biodiversity conservation, Mezquital, Silvicultural management, Sustainable management, Tehuacán Valley, traditional agriculture

Background

Alluvial valleys are sites particularly propitious for agriculture, because of their nutrients rich soils, irrigation and flat terrains favouring intensive practices [1,2]. These ecosystems are also important areas for designing strategies to control floods, watershed recharge, carbon storage, and biodiversity conservation [3]. However, these functions are in high risk, because of the high transformation these ecosystems have experienced. The remaining natural areas are generally degraded and fragmented, and their transformation has affected the hydrological systems, increasing sediments and water contamination [4]. These ecosystems are therefore a priority for conservation worldwide.

Forest loss worries the contemporary societies not only because of the associated biodiversity decline, but also because of the degradation of ecosystem services. Rural peoples are greatly affected, particularly those of tropical areas where communities traditionally depend on the diversity of products provided by forests [5]. For this reason, current science and society direct great efforts in designing systems capable to combine the provision of benefits with biodiversity conservation [6]. For designing management programs it is crucial that decision makers consider opinions of scientists, as well as knowledge and experience of local people that have practiced for long time local ecosystem management [7,8]. Traditional agriculturalists continually change their natural resources management techniques, influenced by changes in economic, technical, and social variables, and human values [9-12]. In some contexts, such changes may favour biodiversity conservation, but in others, these may influence severe ecosystems degradation. Understanding both situations is thus crucial for constructing knowledge for sustainability.

In rural areas of the tropical zones, indigenous peoples maintain the main reservoirs of traditional agriculture knowledge and techniques [13], as well as germplasm diversity highly important for *in situ* conservation of genetic resources [9]. Because plant resources of forests maintained in these systems depend on human management, a parallel evolution of crops and forest resources through practices modelled by humans can be found [14]. Indigenous communities are recognized because of their ecological knowledge, experience in local ecosystem management, and socio-cultural practices and values that contribute to maintain natural resources [15,16].

Among agricultural practices carried out by indigenous communities, the agroforestry systems (AFS) are outstanding, since join wild and domesticated plant and animal components [17,18]. The practice of AFS is a historical tradition in different parts of the world [8,15], representing a variety of relations between humans and nature involving multiple forms of managing resources [16,19]. Nearly 1.2 billion people practice AFS in the world [20,21], México being recognized because of the high diversity of these systems occurring in its territory [22,23].

AFS conform strategies to maximize in small spaces agriculture, livestock and forest management, combining production of food, fodder, fuel wood and multiple useful products. Some of them provide resources and ecosystem services similar to those provided by forests, such as water infiltration, conservation of wild species habitat and corridors, maintenance of pollinators, seed dispersers, and predators of insects that constitute potential pests, and an outstanding contribution to biodiversity conservation [6,24]. For these reasons, AFS produce

significant benefits to people that directly manage them, as well as to human societies in a wider context; these systems are generally recognized as sustainable management systems [25].

A high variety of AFS have been described; they may be diverse, multi-stratified systems with intimate interrelationships among wild and domesticated components, but also these may be plantations of wood and/or fruit producing trees of few species [8]. Composition and attributes of AFS are determined by the role the components play in people's economy and environmental values. Among reasons recorded about why people leave standing wild plants in agricultural plots, their usefulness is the most common and it is usually related to the perception people have about the availability of useful plants in forests [26]. Other reasons such as their intrinsic value, aesthetic aspects, ceremonial and religious rituals, and transmission of knowledge on forest among generations have been recorded [5,27]. Faye *et al.* [28] documented that agriculturalists clearly explain that increasing the number of tree species in plots minimize the risk in the functioning of the whole agricultural system. Maintaining diversified forest cover in small production plots is a subsistence strategy [29], which in turn favours resilience of both, the agricultural system and the household that manage the agricultural system.

It has been widely documented that AFS play an important role in biodiversity conservation at different scales [26,30-32] and may significantly contribute to ecological restoration [24,33]. However, since plant species vary in functional features such as dispersion capacity and vulnerability to agricultural activities, biodiversity in different taxonomic groups may respond differently to agricultural intensification [34]. According to [34], species richness of vegetation has a direct correlation with landscape complexity and local management. Numerous AFS not only maintain biodiversity of the forests they derive from but also they may increase the diversity including non-native species [16,35-37].

However, not all AFS are designed for conservation of native biodiversity [5]. Some intensive AFS systems look for producing commercial value trees, in which conservation and interaction among the species maintained in the system are not considered. For this reason, the design of AFS and reasons for such a design are determinant of the characteristics of the system and their conservation capacity. Main variables to consider for characterizing AFS are: (1) structural and floristic diversity, (2) level of agricultural intensification, (3) features of the original forest system, (4) technical aspects of the system, (5) distance to urban and forest areas [6].

Our study was conducted in the Tehuacán-Cuicatlán Valley (TCV), Mexico, a region recognized for its high biological diversity [38], outstanding human cultural richness [39], with a history of more than 10000 years old, early signs of agriculture [40], and a high richness of ethnobotanical knowledge and plant management techniques [39,41-43]. In the alluvial valleys of the Salado and Grande Rivers, it is established the main intensive agricultural zone of the region, with irrigation systems, use of machines and chemical inputs [44]. In this zone, peasants are the managers of intensive agriculture through AFS. The predominant original vegetation was and in some parts still is the mezquital forest dominated by *Prosopis laevigata* [45]. In the region, AFS have been studied in different zones to construct a regional diagnosis of systems capacity for conserving biodiversity and provision of resources for household's wellbeing. The general purpose of these studies is the design of a regional strategy of biodiversity conservation based on

AFS. Studies by Moreno-Calles *et al.* [46] in the arid zones and by Vallejo *et al.* [37] in the highlands allow a partial view of the panorama. This study complements the previous efforts.

In our current study, the main questions were how the structure of AFS of the intensive agriculture of the traditional Tehuacán Valley is and how it is related to the management practiced by local communities. Which are the main reasons people maintain these systems and what is their capacity for maintaining biodiversity. We expected that the communities managing the system combine features of intensified agriculture with traditional agroforestry practices. Such combination of techniques could provide important lessons about the current trade-offs about conservation and production. We hypothesized that the traditional techniques favour biodiversity conservation, whereas the modern intensification techniques counterbalance such capacity; however, we expected to identify optimum characteristics of the system for achieving both purposes. Our study therefore aimed to characterize strengths and weaknesses of AFS of the alluvial valleys, in order to identify key aspects for improving their sustainable management.

Methods

Study area

The TCV is located at the southeast of the state of Puebla and the northwest of the state of Oaxaca [47], covering an area of 10,000 km² with a high environmental heterogeneity including 36 vegetation types [45,48]. Most of the regional territory is semiarid with annual mean precipitation of 300–500 mm [49]. This zone is recognized for its high biodiversity, with more than 3,000 plant species, nearly 400 of them being endemic to the region [38]. It is also culturally diverse, with eight indigenous ethnic groups inhabiting the area [39]. These entire elements make the TCV one of the most important biocultural regions of Mexico (Figure 1).

Figure 1 Study area. Location of the communities studied in the alluvial valleys of the Salado and Grande Rivers at the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve in Puebla and Oaxaca, central Mexico.

Our study was conducted in forests and AFS of the lowlands of the region, which is an extent alluvial valley formed by the Salado and Grade rivers, both of them tributaries of the Papaloapan River, one of the greatest rivers of Mexico. The original vegetation in this zone is formed by a combination of thorn-scrub forest, tropical dry forest, and riparian vegetation dominated by the mezquite *Prosopis laevigata*, reason why Valiente-Banuet *et al.* [50] describe them using the term *mezquites*. We conducted the study in three areas following the main rivers. One of them is part of the territory of the community of Santiago Quiotepec, Oaxaca, which is inhabited by Mestizo and Cuicatec people. The second area is part of the community of San José Axusco, Puebla, inhabited by Nahua people. The third area is part of the community of Zapotitlán de las Salinas, Puebla, inhabited by Mestizo, Mixtec and Popoloca peoples (Figure 1). In Quiotepec, people are predominantly dedicated to agriculture, cultivating the multi-crop maize system called *milpa*, complemented by commercialization of lemon and mango; it is located at an elevation of 545 m, where vegetation is tropical dry forest. In Axusco people complement resources from *milpa* with monetary incomes from intensive cultivation of sugar cane; it is located at elevation of 900 m, where vegetation are thorn and tropical dry forests dominated by mezquite. In

Zapotitlán the milpa system is complemented with incomes from the extraction of mineral salt and mining and handicrafts manufactured with onyx; it is located at elevations of 1400 m, with patches of thorn forest and columnar cacti forests dominated by mezquite.

Study system

In all communities, we studied the milpa system that combines management of maize, beans, squashes, and in some cases chili peppers. In general, the milpa is a small system of nearly one-hectare extent, whose production is for direct consumption by households. We sampled five plots of AFS in each site, in total 15 AFS units. We carried out characterizations at both regional and local levels per community, considering human cultural, technological, and economic aspects related to the management of each AFS plot, as well as ecological and biodiversity conservation issues. For characterizing AFS we mapped each plot, identifying and measuring the area covered by each type of agroforestry practices. Based on these maps we calculated the percentage of vegetation cover of each plot and we censused all species of shrubs and trees occurring in the vegetation patches. We conducted semi-structured interviews to people managing each plot analysed, all of them being the owners of the plot. Interviews focused on five main topics: (1) Physical aspects of the terrain, plot size, use period, land tenure. (2) Agricultural practices, crops managed, fallow periods, patterns of crop rotation, use of fire, instruments, tools and /or machines used, use of agrochemical inputs, irrigation, labour hand invested. (3) Techniques of vegetation management associated to each type of agroforestry practices, reasons why people maintain or remove wild plants, caring actions, and the most valued plant species. (4) Governmental and non-governmental programs enhancing or not AFS, and communitarian rules regulating use and management of forest. (5) Pastoralist practices, how people manage livestock associated to AFS.

Maintenance of shrubs and trees in AFS

Based on information obtained from the interviews, as well as on fieldwork observations, we identified the main reasons why people let standing trees and shrubs in their AFS, as well as the percentages of the more mentioned attributes. We also analysed the reasons why people carry out the different agroforestry practices.

Agricultural intensification

Based on the interviews we calculated an index of agriculture intensification, in order to compare the relative state of management intensity of AFS among the communities studied (Table 1). The index is an algorithm that sum indicators of three main components: *use of machinery*, *agrochemical inputs* and *agricultural practices*. For each activity we obtained quantitative values of several indicators and we assigned numerical values for some qualitative variables, in order to standardize and make comparable the information [51]. The component *machinery* included the type of tools used (spade, machete, plough, tractor) at different moments of the agricultural cycle. The component *agrochemicals* included the record of using fertilizers, herbicides and insecticides, their frequency and amounts used. The component *agricultural practices* considered use of fire, frequency and intensity, the number of years practicing agriculture in the plot, the area of the terrain in relation to the practices, the number of times that the land has been

cultivated consecutively, the duration of fallow periods, weeding and tilling regimes, irrigation frequency and labour invested. Each component was standardized to percentage 0–100 values, with 300 as the maximum (100%) value. We called this index Intensification Value Index. In addition, in the interviews we included questions about the amounts of maize harvested per agricultural cycle, then dividing the data by the cultivated area to estimate productivity. With this information we calculated the relation between intensification and productivity.

Table 1 Factors included in the index of agriculture intensification

	Variables	Lower value	Higher value	Values range
<i>Machinery</i>	Using machinery	Manual, machete, spade	Plough, Tractor	1 manual, 2 Plough, 3 tractor
<i>Agrochemical</i>	Frecuency of use	No using	All along	0 no, 1 occasionally, 2 all along
	Using agrochemical	No using	Using chemical fertilizer, pesticide and herbicide	0 no, 1 organic fertilizer, 2 chemical fertilizer, 3 pestice and herbicide
<i>Agricultural practices</i>	Frecuency of use	No using	All along	1 no, 2 all along
	Use of fire	No using	Yes	0 no, 1 yes
	Frequency	No using	All along	0 no, 1 all along
	Intensity	No using	high flame	0 no, 1 high flame
	Number of years practicing agriculture in the plot	1 year	60 years	1 a 60
	Irrigation frequency	No using	All along	0 no, 1 occasionally, 2 all along
	Labour invested	Family	Payment of wages	1 Family, 2 family and support community, 3 family and occasionally payment, 4 all payment

Biodiversity conservation

The capacity of biodiversity conservation of AFS was evaluated through vegetation studies, analysing species richness, composition and diversity. We focused our attention on identifying native plant species and estimating the proportion that are maintained in agricultural plots compared with those occurring in the forest from which the AFS derive. We conducted vegetation sampling in 27 plots of 500 m² (50 m × 10 m), subdivided in 100 m² squares (10 m × 10 m); 12 plots sampled in the forest areas and 15 plots in the AFS in each of the communities (Table 2). This is a sampling methods that is conducted at regional level by several research groups in order to make comparable information on vegetation [45,48]. All individual of shrubs and trees were recorded, measuring their height, two perpendicular diameters of their canopies and, in trees, we also measured the breast height diameter of the trunk (BHD). We collected botanical sampled, and the samples are in the Herbarium of the Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.

Table 2 General characteristics of agricultural plots of the SAF sampled in the study

Parcels	Land Tenure	Lot size	Cultivated land	Sampling
1 Zapotitlán	Communal	4 ha	3 ha	500 m ²
2 Zapotitlán	Communal	1 ha	0.5 ha	500 m ²
3 Zapotitlán	Communal	4 ha	3 ha	500 m ²
4 Zapotitlán	Communal	4 ha	3 ha	500 m ²
5 Zapotitlán	Communal	3 ha	3 ha	500 m ²
1 Axusco	Ejidal	1 ha	1 ha	500 m ²
2 Axusco	Ejidal	3 ha	1 ha	500 m ²
3 Axusco	Ejidal	1.5 ha	0.5 ha	500 m ²

4 Axusco	Ejidal	2 ha	1.5 ha	500 m ²
5 Axusco	Ejidal	2 ha	2 ha	500 m ²
1 Quiotepec	Private	3 ha	1 ha	500 m ²
2 Quiotepec	Communal	1 ha	0.5 ha	500 m ²
3 Quiotepec	Private	2 ha	1 ha	500 m ²
4 Quiotepec	Private	1 ha	0.5 ha	500 m ²
5 Quiotepec	Private	1.5 ha	1 ha	500 m ²

Data analyses

Vegetation

For each plot sampled (in both AFS and forests) we calculated species richness, diversity, species composition, and the Ecological Importance Value (EIV). In addition, in AFS we calculated structural parameters such as total biomass, frequency of heights and total number of individual plants in order to compare amounts and state of perennial plants inside the agricultural plots. Composition was evaluated by identifying the number of plant families, genera, species, distinguishing those of native species from the total numbers. The Ecological Importance Value (EIV) is a quantitative relation of the relative frequency, density and biomass of each species in the sampled area. Species richness was estimated through the rarefaction method developed by Colwell through the programme *EstimateS*, using the non-parametric estimator Chao [52-54].

Based on Jost *et al.* [55] and using the SPADE program [56], for each site we calculated the true diversity measure; this is analytical approach that has been recognized as the most appropriate for diversity evaluations. We calculated for each site studied the 1D value (exponential of Shannon's entropy), 1D weights each species according to its abundance in the community, and hence, it can be interpreted as the number of 'common' species in the community [55,57].

To compare abundance values between forest and agroforestry sites, we used a generalized linear model (GLM) through *Poisson error* by data counting; we also compared biomass, height and Shannon exponential (continuous data) through linear models [58]. Finally, we compared Shannon exponential values between wild and agroforestry sites, using Student's *t*-tests, which is useful when there is a single factor and two levels [58]. Before conducting *t*-tests we checked the homogeneity of variance in order to be sure about the validity of the tests.

Results

Characterization of AFS and their management

AFS studied have a spatial arrangement according to the specific type of terrain, which are organized in ground terraces or 'bancales', which is a pre-Columbian technique practiced in terrains over soft slopes, slightly modifying the surface. This is generally a system directed to retain and protect soils through hedgerows of bushes and ground borders along edges [59,60]. In this region the technique has the Náhuatl name of 'metepantle', meaning "space between agaves" [61], although some variations of the technique use other specific names; for instance, they can be called 'apantle' when agaves are absent or 'melgas' (term that makes reference to the space

destined to cultivation) and ‘estacadas or cabezales’, properly to the ground border. It is just on the ground borders where people maintain wild plant species, sometimes combining with cultivated shrubs and trees (Figure 2). This AFS is so important at the regional level that significantly model the landscape and makes conspicuous the spatial arrangement of terrains in alluvial valleys (Figure 3).

Figure 2 Aspect of agroforestry systems and forest of the alluvial valley of the Tehacán-Cuicatlán Valley, Mexico. (A) Plot of agroforestry system showing the ground borders with vegetation forming flat terrains. **(B)** Aspect of the “*mezquital*” thorn forest described by Valiente-Banuet *et al.* [45,48].

Figure 3 Aspect of the terraces formed by ground borders stabilized with vegetation cover in the basin of the Salado River and smaller tributaries in Zapotitlán Salinas, Puebla.

According to the interviews, the establishment of ground terraces helps to manage water from rainfall (retaining it and controlling the run-off causing erosion) as well as from the irrigation system (directing its flow and favouring infiltration). In addition, terraces helps to prevents soil erosion; in both roles, vegetation maintained on the borders plays a central role (Table 3). But maintaining vegetation has more reasons; people mentioned a total of 20 reasons, including utilitarian explanations mainly provision of fruits (7%) and other edible resources (7%), fuel wood (5 %), medicines (2%) and fodder for livestock (5%). People also made reference to functions (ecosystem services) such as preventing soil erosion (2%), (make the terrain planner (2%), protection against strong wind (7%), retention of water (7%), provision of shade (14%), barrier of access to domestic animals (2%), as well as attractors of wild animals that may affect the crops (2%). For instance, they mentioned birds, which in wild vegetation find food that otherwise is looked for in the crops. People in addition mentioned reasons related to provision of habitat to other desirable specie (9%); for instance, the edible caterpillar called ‘cuchamá’ the larvae of the butterfly *Paradirphia fumosa*, which are food highly appreciated in the region and has considerable economic value. The larvae ‘cuchamá’ grow associated to the tree ‘manteco’ *Parkinsonia praecox*, which for this and other reasons is particularly appreciated and maintained by people in AFS. Another animal protected in AFS are the edible insects (Hemiptera), ‘cocopache’. Also important is the ‘pitahaya’ *Hylocereus undatus*, associated to mezquite (*Prosopis laevigata*), which produces edible fruits. We also recorded aesthetic reasons (14%) (beauty) for maintaining trees and shrubs, in some areas people call these beautiful plants “wild luxury”, these are the cases of ‘sotolín’ (*Beaucarnea gracilis*), the ‘viejito’ (*Cephalocereus columna-trajani*) and other succulent plants. In addition, people gave ethic and spiritual reasons (“if there is no reason to remove them, why to do it”; the ‘pirul’ *Schinus molle* provides protection against ‘bad spirits’) (2%). Not all reasons are equally important, the most frequently mentioned were those of beauty and shade provision (14%), followed by provision of fruit, protection against strong wind and water retention (7% each) (Table 3).

Table 3 Reasons expressed by people of the communities studied in the Tehuacán Valley for maintaining shrubs and trees in their agroforestry plots.

Reasons	Total %	Zapotitlán %	Axusco %	Quiotepec %
Asthetic (beauty)	14	25	7.5	0
Shade	14	15	7.5	18
Maintaining water	7	10	0	9
Windbreaker	7	5	7.5	9
Food (other than fruit)	7	0	15	9
Unnecessary to remove them	7	0	15	9
Fruit	7	0	0	27
Fuel wood	5	10	0	0
Habitat of the edible larvae <i>cuchamá</i>	5	10	0	0
Other uses	5	5	7.5	0
Fodder	5	0	7.5	9
Maintaining of soil	2	5	0	0
Habitat of pitahayas	2	5	0	0
Tools	2	0	7.5	0
Ritual	2	0	7.5	0
Atractor of other species	2	0	7.5	0
Rules	2	0	7.5	0
Medicinal	2	0	0	9
Habitat of edible Hemiptera <i>cocopaches</i>	2	5	0	0
Making the terrain plainer	2	5	0	0

In each community studied, the reasons for maintaining shrubs and trees in AFS were variable, but two reasons were mentioned in all sites: protection against strong wind and beauty of the plot. Each person mentioned from one to five reasons. In Zapotitlán, people mentioned 11 of the 20 reasons referred to in the whole region, each person mentioned on average four reasons, the most important being beauty of crop field (25% of mentions). In Axusco people mentioned on average 2.6 reasons, the most important being provision of food and ethic motives (15% each). In Quiotepec people mentioned on average 2.2 reasons, the most important being obtaining of fruit (27%, Table 3). However, when asking the question about the most interesting attribute of shrubs and trees maintained, people mentioned specific uses (65%) followed by their size, they prefer big trees (35%).

Trees and shrubs more valued by people interviewed were mezquites (*Prosopis laevigata*), ‘guajes’ (*Leucaena esculenta*), lemon (*Citrus limon*), ‘manteco’ (*Parkinsonia praecox*) and ‘nopales’ (*Opuntia* spp.) (Table 4). *Prosopis laevigata* had the highest record of preference and the highest number of uses. It is valued as protection barrier against strong wind, levelling the terrain, its pods and leaves are good fodder, its wood is very good fuel wood and material for construction and handicrafts. It is particularly good support for growing ‘pitahaya’ (*Hylocereus undatus*), the edible insects ‘cocopaches’ live on this tree, and it provides shade and beauty to the plot.

Table 4 Most important trees according to the mention of people interviewed

	Todos	Zapotitlán	Axusco	Quiotepec
<i>Mezquite (Prosopis laevigata)</i>	13	5	4	4
<i>Guaje (Leucaena esculenta)</i>	7	1	4	2
<i>Lemon (Citrus limon)</i>	5	1	1	3
<i>Manteco (Parkinsonia praecox)</i>	4	3	1	0
<i>Nopal (Opuntia sp.)</i>	4	1	3	0

The number of trees and shrubs and vegetation cover maintained in AFS is highly variable. On average, vegetation cover is 12% of agricultural plots. In Zapotitlán the cover was on average 18% while in Axusco it was 5% and in Quiotepec 10%. Reasons mentioned to remove vegetation cover were: "...plants cause obstruction to the pass of tractor and plough", and "...it is necessary to remove plants growing fast and difficult to control which affect crop growing". People also mentioned to remove those plants with spines that hurt persons, those that compete with crops, and those determining excessive shade that affects maize growth and that do not provide any other important function to the system.

People prevent problems associated to maintain trees and shrubs through agroforestry practices that allow them getting benefits and reducing negative effects. In general people maintain vegetation in ground borders (75%), and they function as windbreaker barriers, whereas those in limits of the plot function as live fences. Put in these ways vegetation maintained allow free passing to tractors and plough in the cultivated areas. Trees and shrubs should be pruned to control shade, and the resulting material provide fuel wood. In 80% of the plots studied, people extract fuel wood for direct consumption by the households. The species more valued for this purpose are *Prosopis laevigata* and *Parkinsonia praecox*. These important trees are tolerated as isolated trees within the cultivation areas. Other species are usually transplanted from the centre of the plot to the terraces or borders, but not all of them establish successfully after transplantation. The most successful to this action are agaves and cacti. The agroforestry practices mentioned were recorded in all sites studied, the main difference among sites is the total vegetation cover and the reasons to maintain shrubs and trees.

Land tenure and use rules

In México land tenure may be private, ejidal and communal, and all of these types are represented in the sites studied. However, in Zapotitlán all AFS studied are in communal land, whereas in Axusco in ejidal land and in Quiotepec in private areas. Cutting trees, even those in sites of the production area is under regulation, requiring permit from local authorities. In Zapotitlán the regulations are particularly strict, the study zone is part of a protected area and sanctions are supervised by the Mexican Ministry of Environment as well as by local authorities. In Axusco the Ejidal authority or Comisariado is the one in charge of authorizing or not the vegetation removal, whereas in Quiotepec it is the Communal authority (Comisariado), but people may remove trees without permit in their private land. Sanctions are generally economic but in Zapotitlán people that disobey may be jailed.

People (nearly 47% of interviewees) said that PROCAMPO (a governmental programme in charge of supporting agricultural production) through economic incentives proportional to cultivated land, penalizes the areas maintaining vegetation, which is not considered to be

‘productive’. Contrarily, other governmental programs from SEMARNAT (Mexican Ministry of Environment) or CONANP (National Commission of Protected Areas) enhance reforestation or planting trees in plots. In nearly 33% of the plots sampled we recorded these programs but these were unsuccessful. In Zapotitlán these institutions promoted agaves and *Parkinsonia praecox* but the mortality of plants was high.

Vegetation

On average, we recorded 13 species of trees and shrubs per plot of AFS. However, variation is very high, ranging from 3 to 33 species per plot. In Zapotitán we recorded the highest number of woody species (17.5 ± 5) per plot, whereas in Quiotepec and Axusco we recorded 11.6 ± 3 and 9.2 ± 1.15 woody species per plot, respectively.

Floristic composition

Through the vegetation sampling we recorded a total of 66 species of trees and shrubs in the AFS studied. These species belong to 30 plant families and 49 genera (Table 5). The most represented plant families are Cactaceae with 13 species, and Fabaceae with 12 species. Most species of trees and shrubs recorded (81%) in AFS are native species, which represent approximately 38% of the perennial plant species recorded in the vegetation sampling of forests of the alluvial valleys studied. According to their Ecological Importance Value, The most important species in AFS are *Prosopis laevigata*, *Viguiera dentata*, *Vallesia glabra*, *Leucaena esculenta*, *Cordia curassavica*, and *Parkinsonia praecox* (Figure 4). *Prosopis laevigata* is the most frequent and *Viguiera dentata* the most abundant.

Figure 4 Ecological Importance Value indexes calculated for the most important plant species in agroforestry systems of the sites studied (A) General results at regional level, (B) Zapotitlán (C) Quiotepec, (D) Axusco.

In AFS of Zapotitlán we recorded 48 species, the most important (with the highest EIV) being *Prosopis laevigata* and *Viguiera dentata*, whereas in Quiotepec we recorded 26 species (the highest EIV recorded in *Citrus limon* and *Sida rhombifolia*) and in Axusco 9 species (the highest EIV recorded in *Leucaena esculenta* and *Sideroxylon palmeri* (Figure 4).

Species richness and diversity

AFS maintain a species richness similar to wild forests, without significant differences, which confirms their important capacity for conserving native biodiversity. The rarefaction plot of species richness (Figure 5) shows that AFS has a relatively higher number of species of trees and shrubs than in forests. But this general pattern changes among sites. In Axusco and Quiotepec the wild forest have significantly higher richness of trees and shrubs than AFS, whereas in Zapotitlán AFS have significantly higher species richness than forests (Figure 5). However, the Shannon exponential index value differs statically between wild forest and AFS ($t = 6.0387$, $p = 2.62E-06$), AFS having significantly lower diversity than forests (Figure 6). Loss of diversity is particularly drastic in the community of Axusco, and although we found differences between

Axusco ($t = 4.33$, $p = 0.003$) and Quiotepec ($t = 4.915$, $p = 0.0082$), decreasing of diversity in AFS is considerable in Zapotitlán as well as in Quiotepec.

Figure 5 Plant species richness calculated in agroforestry systems and forest systems of the alluvial valley of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve through the method of rarefaction. (A) General comparison (B) Comparison of systems in the sites studied.

Figure 6 Plant species diversity calculated in agroforestry systems and forest systems of the alluvial valley of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve through the exponential Shannon index. (A) General comparison (B) Comparison of systems in the sites studied.

Vegetation structure

AFS in Quiotepec have higher biomass than AFS of the other sites but differences are not significant (*biom.* $F_{13} = 0.0001$, $p = 0.99$; $^1D.$ $F_{13} = 4.017$, $p = 0.06$; Figure 7). AFS with the higher number of trees and shrubs were those of Zapotitlán (95 individual woody plants per plot on average). It was followed by Quiotepec (on average 35 individuals of trees and shrubs per plot) and Axusco, where the number of trees and shrubs drastically decreased compared with the other sites (on average five individuals per plot; *ind.* $F_{13} = 12.05$, $p = 0.00414$, Figure 7). Woody plants in plots of Axusco are significantly taller (on average 4 m tall *h.* $F_{13} = 5.21$, $p = 0.039$) compared with those in plots of Quiotepec and Zapotitlán (Figure 7).

Figure 7 Vegetation structure parameters comparing agroforestry systems among the sites studied. (A) Biomass, (B) Abundance measured by number of individual plants (C) Average height of the perennial plants with the AFS.

Production system

AFS in the sites studied are mainly dedicated to cultivation of milpa (maize, beans, squashes, chilli pepper), together with some fruit-producing trees (mainly lemon, sapodilla and mango) and other horticultural crops such as watermelon and melon in irrigated plots. The milpa products are directly consumed by households whereas fruits are commercialized. Corn (varieties ‘criollo’, ‘rojo’, ‘azul’, and ‘híbrido’), beans (*Phaseolus vulgaris* varieties ‘enredador’, ‘flor de mayo’, ‘mosquito’, ‘blanco’, ‘delgado’, ‘mazateco’, ‘negro’, and ‘rojo’) and squashes (*Cucurbita pepo* or ‘calabaza de castilla’, *C. argyrosperma* or ‘calabaza acamotada’ and *C. moschata* or ‘calabaza deapenita’) are grown. We found on average three crop species per plot, but some of them have six crop species (in Zapotitlán 2.5, in Axusco 3, and in Quiotepec 3). No significant differences were identified in this aspect among sites.

We found that nearly 80% of the agricultural plots sampled had irrigation; all agriculturalists make use of tractor for tilling the earth, some of them alternating with plough. The agricultural cycle is from three to four months, in Quiotepec people practicing two cycles of cultivation per year, leaving land in fallow only two months, whereas in Zapotitlán and Axusco people practice one single cultivation cycle per year leaving land in fallow 7 to 8 months. To maintain the soil fertility, people make use of organic inputs, mainly goat dung and leaves; in nearly 60% of the plots sampled people make use of chemical fertilizers. For controlling pests of animals, nearly

60% of people interviewed said to add chemical insecticides whereas the rest said not to make use of any type of pest control. In Axusco all people interviewed said to make use of chemicals for controlling larvae affecting maize. Control of weeds is mainly conducted manually, only 14% people interviewed (all of them from Axusco) said to make use of herbicides.

Calculations of *Intensification Value* (Figure 8) indicated that the community of Axusco had the highest values. In this community people make use of machinery more frequently, the higher use of agrochemical inputs was recorded there and agricultural practices are in general more intensive than in the other sites studied (*e. g.* longer use of land in relation to the fallow period, more frequent use of fire). Axusco is followed by Zapotitlán where people make use of tractor combined with plough, but agrochemicals are practically non-used, and the agricultural practices are intense; they have used the land in consecutive cycles for long time. Quiotepec had the lowest values of intensification since use of machinery is less frequent than in the other sites, and although people make use of chemicals this is much less frequent and in lower amounts than in Axusco. In Quiotepec people practice two agricultural cycles per year but they started this use pattern until recently, after land was long time in fallow. Production was generally similar in all sites studied. In Axusco people harvest on average 720 ± 49 kg of maize per ha, whereas in Quiotepec 640 ± 25 kg/ha and in Zapotitlán 588 ± 23 kg / ha.

Figure 8 Intensification Value with the three components analysed: *Machinery, Agrochemical* and *Agricultural practices*, comparing agroforestry systems among the sites studied.

Livestock raising was markedly different among sites. In Zapotitlán people do not raise domestic animals in the plots of AFS, whereas in Quiotepec 80% of the plots are used for feeding animals during the dry season (mainly maize straw and remaining weeds) and in Axusco 60% of the plots have a similar situation. However, in general few animals are maintained in AFS plots (on average two oxen, one donkey and one horse), in Quiotepec the owner of one plot maintain in his AFS plot 30 goats.

Discussion

AFS of alluvial valleys studied maintain traditional technological elements combined with modern intensifier agricultural techniques. These are probably the most interesting features for discussing how much these approaches are viable to interact for constructing sustainable productive agricultural systems more effective for satisfying the need of preserving biodiversity and provision of goods and services to society. The ground terraces were described by archaeologists to have existed in the Tehuacán Valley and Oaxaca, Central Mexico with antiquities between 3,000 to 2,000 years before present [62]. Terraces have traditionally been associated to soil and water management, prevention of soil erosion, forms of social organization and diverse cultural aspects [60], all of which are current aspects documented in this study. This ancient technique has changed throughout time, we know that presence of *Agave* spp. in the ground terraces and borders was more important in the past [23], as they are still important in other zones of the Tehuacán Valley. Displacement of agaves and predominance of *Prosopis laevigata* and other species may be associated to decreasing use of agaves for extracting ‘pulque’

(its fermented sap) and the priority to have fuel wood available. The system therefore exists and species composition may be adjusted according to the changing needs and priorities.

The dynamics of the system makes necessary to pay attention to who manage the system and socio-cultural changes occurring in their households, what are the changing reasons and how these influence decisions for maintaining wild plants in the system. Moreno-Calles *et al.* [23] found that in general for AFS of Mexico numerous studies have reported utilitarian aspects as the main reason motivating the decision to maintain wild plants in the system. These authors found that such interest may be expressed in the fact that the proportion of useful species existing in natural forests may increase in AFS (These authors reported an increase of useful species from 75% to 96% in AFS of arid zones). Those studies have identified that among the main uses of components of AFS are fodder and shade, roles that are consistent in the cases analysed in our current study. However, beauty is a particularly relevant reason in the systems of our study.

Not all wild species in AFS have the same cultural value. In the cases studied the most cultural important species are those with the highest Ecological Importance Value (EIV) like *Prosopis laevigata*, which has eight different uses, it is highly appreciated by people and has a high EIV. It is pertinent to indicate that the EIV is an effect of the cultural importance. Another example is *Beaucarnea gracilis*, which has high aesthetic value (it is considered beautiful) as well as culturally (there were parties dedicated to this plant). People let standing these species because they are interested on them, the contrary interpretation (these plants are culturally important because they are abundant) is incorrect.

Capacity of biodiversity conservation is relatively lower than that of other systems studied in the region. In AFS of temperate forest of the highlands, we [37] recorded on average 46% of capacity whereas in columnar cacti forests Moreno-Calles *et al.* [46] recorded up 70% of capacity. Anyway, these systems have features of high intensive management (more than those others studied in the region) and have the capacity of maintaining 38% of native trees and shrubs. We also identified that AFS of the zone studied the diversity decreases more pronouncedly than AFS in temperate forests, and even more than AFS in columnar cacti forests which have a high capacity to maintain plant diversity [36] did not identify significant differences in diversity of AFS and columnar cacti forests.

In terms of structure, the systems varied among the sites studied. In Zapotitlán AFS are more abundant in terms of number of individuals but have lower biomass than in Quiotepec. This pattern can be explained because in Zapotitlán shrubs and small trees are particularly abundant, whereas in Quiotepec people prefer to maintain big trees and even bigger in Axusco, where few individuals are let standing but most of them are big trees.

The production system maintains features of traditional management combined with use of machinery and chemical inputs. These features contribute to make these systems more productive than those of the columnar cacti forests [46] and those of temperate forests in highlands [37]. But corn yields are not impressive (less than one ton per hectare) and although systems differ in the intensity value their differences in production are not significant. Which allows question the real need of the intensive use of machinery and chemical inputs which determine a higher investment of energy not proportional to the production obtained, making

thus the system more inefficient. It is outstanding that even when features of intensive management are present, the AFS studied maintain an important capacity of biodiversity conservation. Contrasting the sites analysed allows seeing that intensive management does not require removing vegetation cover and that, therefore, it is possible and necessary reinforcing the effort for increasing richness and diversity of native plant species in the terraces and ground borders of this system. Natural ecosystems in the sites studied are similar; therefore, the checklist of species reported, as well as others that have been reported in AFS of the neighbouring columnar cacti forests [46] may be the basis for enriching the plant cover of the systems studied. Such species enrichment is not only desirable but technically possible. The regional experience for managing and cultivating native plant species has for the moment identified nearly 300 plant species [42], many of them viable to be used in the alluvial valleys.

Enriching and increasing plant cover in AFS may be a priority strategy promoted by the authorities of the Biosphere Reserve Tehuacán-Cuicatlán, as well as local authorities of communities. Ethnobotanical studies in the region have inventoried nearly 1600 useful plant species, nearly 90% of them being part of the regional forests [39,41]. There are now conditions to starting a regional program with the purposes of expanding and enriching plant cover of AFS, with the pertinent local species and local techniques. Our studies show that this goal is not confronted with needs of increasing agricultural production. And, for the contrary, that program would contribute to maintain not only plant diversity, but also the associated diversity [63] of animals and insects that find in these microenvironments, important bridges with broader fragments provided by secondary vegetation patches and forest areas. Biodiversity conservation has traditionally been seen as opposed to land use, but AFS reveal that the trade-off is not necessarily true. Conserving biodiversity at regional level should consider biodiversity conservation at landscape level in particular zones. The areas reported in this study, as well as those studied by [36,37,46,64] provide information and techniques that could be adopted by regional authorities for a program on biodiversity conservation considering the productive systems.

Land tenure in Mexico is particularly important for constructing agreements, regulations and institutions. Our study found that the sites studied had the three different regimes (private, comunal and ejidal). We found that collective systems of property have higher capacity to regulate the amount of vegetation cover, but we did not find a concrete influence of this situation on the amount of vegetation cover. In Zapotitlán, because the whole territory is part of the Biosphere Reserve, the authorities of the Reserve control external rules that not always are well considered by local people, but it undoubtedly has contributed to promotion of conservation values and actions. These actions could be enhanced at regional level.

Governmental programs like Procampo do not help in promoting expansion of vegetation cover in AFS. The authorities of the Biosphere Reserve could have an active negotiation with that Federal programme in order to coordinate efforts of the different governmental programmes. However, it is important to mention that Procampo like other governmental programs, including the authorities of the Biosphere Reserve, not always have had the sensibility to include local people in participatory processes to design actions for concealing production and biodiversity conservation. This is a great challenge, and both local people and authorities as well as authorities of the Biosphere Reserve, may be supported by researchers that have generated

information like the current and other referred studies for the Tehuacán-Cuicatlán Valley, one of the most important areas of biocultural heritage in Mexico.

The Tehuacán Valley is an eminent arid zone of Mexico, but the agricultural system studied is located in the ‘oasis’ zone provided by the rivers Salado and Grande. Therefore, the comparison of the systems studied should be made with other similar systems of Mexico and the World. Few studies have been published with a similar approach in similar environmental contexts. For instance, it has been documented that in the Saharan desert traditional agriculture has been maintained throughout time in the oases, where are commonly practiced ancient techniques such as maintenance of trees resistant to soil salinity and favoring Keeling humidity, shade and providing fruits [65]. In Mexico, in the Sonoran Desert, Nabhan [14] documented the traditional agricultural techniques practiced by the Papago people, who have conserved the oases of their territories and have developed a complex system of biotic interactions. This author identified eight plant associations and various agroforestry practices including living fences and windbreaker barriers, as well as high levels of diversity of trees, birds and mammals. The Papago have modified the landscape geomorphology through terraces, channels and flood zones [14,17]. In the Mezquital Valley in central Mexico, the Nãñhú people have constructed terraces and borders to manage water and sediments to improve soil and humidity for crops. Particularly important for these purposes are agave which in addition provide other multiple uses such as food, beverages, and fibers [17].

In the arid zones of the World numerous human cultures have interacted with the difficult conditions of these zones for thousands of years, and a significant amount of knowledge and techniques have been developed [17,65], which are all crucial at present for designing the future. Investigating trees and shrubs associated to crops may provide valuable information for improving the AFS, conserving biodiversity and supporting techniques for restoring disturbed areas of arid zones [33,65].

Conclusions

Information resulting from this study allow confirming the role of AFS as systems able to provide goods and other benefits at the same time that conserving biodiversity and ecosystem services. The AFS studied are the most intensive in the TCV and however, are able to make compatible intensive agricultural practices with biodiversity conservation. Intensive practices should be technically reviewed since they appear to be inefficient and promote contamination. The current practices are compatible with strategies for increasing and diversifying vegetation cover in ground terraces and borders. Local species and management techniques documented for the region make possible such a strategy with high potential benefit.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contributions

MV main author, development throughout the course of this work, from planning, fieldwork, interviews, data analysis and writing of this paper. AC main coordinator of the research project; He directed this work, overseeing the development of all the research and assisted in writing the paper. EPN He participated with the information obtained in Quiotepec, providing data and collaborating throughout the fieldwork. AIMC as an expert in the study of agroforestry systems accompanied the development of work from planning and reviewing advances of the research. OHO assisted in data analysis and writing of the paper. OT and PD contributed in the design of the research, data analyses and writing of the paper. All authors read and approved the final manuscript.

Authors' information

MV postgraduate student at the Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), UNAM. AC full time researchers at CIEco, UNAM. EPN academic technician at CIEco, UNAM. AIMC researcher at the Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia, UNAM. OHO postgraduate student at the Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), UNAM. OT and PD researchers at the UBIPRO, FES Iztacala, UNAM.

Acknowledgements

The authors thank the Posgrado en Ciencias Biológicas of the National Autonomous University of Mexico (UNAM) and the National Council of Science and Technology (CONACYT), Mexico for supporting postgraduate studies and a grant for the first author, respectively. We also thank financial support from CONACYT (Research Project CB-2013-01-221800), and the DGAPA-PAPIIT, UNAM- (Research project IN209214), as well as José Blancas and Ignacio Torres for fieldwork assistance and Selene Rangel for collaboration in plant identification and mapping of the Figure 1. We emphatically thank people of Zapotitlán, Quiotepec and Axusco for their hospitality and friendship.

Table 5 Checklist of trees and shrubs species recorded in Agroforestry systems (AFS) and the natural forest

Voucher	Families	Species	Forest	AFS
MVR254	Acanthaceae	<i>Justicia candicans</i> (Nees) L.D. Benson		x
MVR261	Amaranthaceae	<i>Iresine</i> sp.	x	
Photo	Anacardiaceae	<i>Amphipterygium adstringens</i> (Schltdl.) Standl. <i>Mangifera indica</i> L.	x	x
MVR263		<i>Pseudosmodium multifolium</i> Rose	x	
MVR259		<i>Schinus molle</i> L.	x	x
Photo	Annonaceae	<i>Annona cherimola</i> Mill.		x
MVR296	Apocynaceae	<i>Vallesia glabra</i> (Cav.) Link <i>Plumeria rubra</i> L.	x x	x
Photo	Asparagaceae	<i>Agave karwinskii</i> Zucc.	x	
Photo		<i>Agave macroacantha</i> Zucc.	x	
Photo		<i>Agave marmorata</i> Roezl	x	x
Photo		<i>Agave potatorum</i> Zucc.	x	
Photo		<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck		x
Photo		<i>Agave</i> sp.		x
MVR320	Asteraceae	<i>Gymnosperma glutinosum</i> (Spreng.) Less.		x
MVR325		<i>Montanoa grandiflora</i> DC.		x
MVR313		<i>Sanvitalia fruticosa</i> Hemsl.	x	
MVR229		<i>Verbesina neotenoriensis</i> B.L. Turner	x	x
MVR265		<i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng.	x	x
MVR307		Morfol		x

Photo	Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth		X
Photo	Boraginaceae	<i>Cordia curassavica</i> (Jacq.) Roem. & Schult.	X	X
MVR224		<i>Cordia stellata</i> Greenm.	X	
Photo	Bromeliaceae	<i>Hechtia glomerata</i> Zucc.	X	
Photo		<i>Hechtia sphaeroblata</i> B.L. Rob.	X	X
Photo	Burseraceae	<i>Bursera aloexylon</i> (Schiede ex Schldtl.) Engl.	X	
Photo		<i>Bursera aptera</i> Ramirez	X	
MVR218		<i>Bursera cuneata</i> (Schldtl.) Engl.	X	
MVR299		<i>Bursera fagaroides</i> (Kunth) Engl.	X	
Photo		<i>Bursera morelensis</i> Ramírez	X	
Photo		<i>Bursera schlechtendalii</i> Engl.	X	X
Photo		<i>Bursera submoniliformis</i> Engl.	X	
Photo	Cactaceae	<i>Cephalocereus columna-trajani</i> (Karw. ex Pfeiff.) K. Schum.	X	X
Photo		<i>Coryphantha pallida</i> Britton & Rose	X	X
Photo		<i>Cylindropuntia leptocaulis</i> (DC.) F.M. Knuth	X	
Photo		<i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto	X	X
Photo		<i>Escontria chiotilla</i> (F.A.C. Weber) Rose	X	
Photo		<i>Ferocactus latispinus</i> (Haw.) Britton & Rose	X	X
Photo		<i>Mammillaria carnea</i> Zucc. ex Pfeiff.	X	X
Photo		<i>Mammillaria haageana</i> Pfeiff.	X	X
Photo		<i>Mammillaria sphaelata</i> Mart.	X	X
Photo		<i>Mammillaria</i> sp.	X	
Photo		<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Console	X	
Photo		<i>Neobuxbaumia tetetzo</i> (J.M. Coult.) Backeb.	X	
Photo		<i>Opuntia depressa</i> Rose	X	
Photo		<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.		X
Photo		<i>Opuntia pilifera</i> F.A.C. Weber	X	X
Photo		<i>Opuntia pubescens</i> J.C. Wendl. ex Pfeiff.	X	X
Photo		<i>Opuntia pumila</i> Rose	X	
Photo		<i>Opuntia</i> sp.	X	X
Photo		<i>Pachycereus hollianus</i> (F.A.C. Weber) Buxb.	X	X
Photo		<i>Pachycereus weberi</i> (J.M. Coult.) Backeb.	X	
Photo		<i>Polaskia chichipe</i> (Gosselin) Backeb.	X	
Photo		<i>Pilosocereus chrysacanthus</i> (F.A.C. Weber ex Schum.) Byles & G.D. Rowley	X	
Photo		<i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto ex Pfeiff.) Buxb.	X	
Photo		<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob.	X	
Photo		<i>Peniocereus viperinus</i> (F.A.C. Weber) Buxb.		X
MVR315	Cannabaceae	<i>Celtis pallida</i> Torr.	X	X
MVR305	Cannaceae	<i>Canna indica</i> L.	X	X
MVR211	Capparaceae	<i>Capparis incana</i> Kunth	X	
Photo	Convolvulaceae	<i>Ipomoea arborescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don	X	X
Photo	Ebenaceae	<i>Diospyros digyna</i> Jacq.	X	X
MVR322	Euphorbiaceae	<i>Argythamnia guatemalensis</i> Müll. Arg.	X	
MVR219		<i>Cnidoscolus tehuacanensis</i> Breckon	X	
MVR221		<i>Croton glabellus</i> L.	X	
Photo		<i>Croton alamosanus</i> Rose	X	
MVR295		<i>Croton</i> sp.	X	
MVR223		<i>Euphorbia graminea</i> Jacq.	X	
MVR287		<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	X	X
MVR324		<i>Euphorbia verticillata</i> Desf.	X	
MVR385		<i>Euphorbia</i> sp.		X
Photo		<i>Jatropha rzedowskii</i> J. Jiménez Ram.	X	
Photo		<i>Mabea occidentalis</i> Benth.	X	

MVR230		<i>Manihot pauciflora</i> Brandegee	x	
Photo		<i>Pedilanthus tehuacanus</i> Brandegee	x	
Photo		<i>Ricinus communis</i> L.		x
MVR215	Fabaceae	<i>Acacia angustifolia</i> (Lam.) Desf.	x	x
MVR228		<i>Acacia cochliacantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	x	
Photo		<i>Acacia coulteri</i> Benth.	x	
MVR298		<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	x	x
MVR209		<i>Acacia pringlei</i> Rose	x	
MVR290		<i>Acacia</i> sp.		x
MVR236		<i>Caesalpinia melanadenia</i> (Rose) Standl.	x	
MVR271		<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms	x	
MVR308		<i>Dalea carthagenensis</i> (Jacq.) J.F. Macbr.	x	x
MVR269		<i>Dalea</i> sp.	x	
MVR245		<i>Dalea</i> sp.	x	
MVR213		<i>Dalea</i> sp.	x	
MVR260		<i>Hymenaea courbaril</i> L.	x	x
MVR298		<i>Leucaena esculenta</i> (Moc. & Sessé ex DC.) Benth.		x
MVR232		<i>Mimosa luisana</i> Brandegee	x	x
MVR309		<i>Mimosa polyantha</i> Benth.	x	
MVR269		<i>Mimosa</i> sp.		x
Photo		<i>Parkinsonia praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Hawkins	x	x
Photo		<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.		x
Photo		<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst.	x	x
MVR234		<i>Senna wislizeni</i> (A. Gray) H.S. Irwin & Barneby	x	
Photo		<i>Vachellia constricta</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	x	x
Photo	Fouquieriaceae	<i>Fouquieria formosa</i> Kunth	x	
Photo	Hernandiaceae	<i>Gyrocarpus mocinoi</i> Espejo	x	
Photo	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.		x
MVR331	Loasaceae	<i>Mentzelia hispida</i> Willd.	x	
Photo	Lythraceae	<i>Punica granatum</i> L.		x
MVR231	Malpighiaceae	<i>Echinopterys eglandulosa</i> (A. Juss.) Small	x	
MVR240		<i>Galphimia glauca</i> Cav.	x	x
MVR216	Malvaceae	<i>Ayenia mexicana</i> Turcz.	x	
MVR297		<i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten & Baker f.	x	
MVR220		<i>Herissantia crispa</i> (L.) Brizicky	x	
MVR222		<i>Melochia tomentosa</i> L.	x	x
MVR280		<i>Sida rhombifolia</i> L.	x	x
Photo	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	x	x
Photo	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.		x
MVR244	Phytolaccaceae	<i>Rivina humilis</i> L.		x
MVR212	Primulaceae	<i>Jacquinia seleriana</i> Urb. & Loes. ex Mez	x	
MVR303	Rhamnaceae	<i>Ziziphus amole</i> (Sessé & Moc.) M.C. Johnst.	x	
Photo		<i>Karwinskia mollis</i> Schltdl.	x	
MVR261	Rubiaceae	<i>Randia</i> sp.		x
Photo	Rutaceae	<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck		x
MVR284	Sapotaceae	<i>Sideroxylon capiri</i> (A. DC.) Pittier	x	
Photo		<i>Sideroxylon occidentale</i> (Hemsl.) T.D. Penn.	x	
MVR289		<i>Sideroxylon palmeri</i> (Rose) T.D. Penn.		x
Photo	Simaroubaceae	<i>Castela tortuosa</i> Liebm.	x	x
MVR253	Solanaceae	<i>Capsicum annum</i> L.		x
MVR306		<i>Solanum tridynamum</i> Dunal	x	x
MVR286		<i>Solanum nigrum</i> L.		x
MVR266	Verbenaceae	<i>Lantana achyranthifolia</i> Desf.	x	x
MVR268		<i>Lantana camara</i> L.	x	

References

1. Ryan R, Erickson D, De Young R. Farmers' motivations for adopting conservation practices along riparian zones in a Mid-western agricultural watershed. *J Environmental Planning and Management*. 2003;46(1):19–37.
2. Flores A, Castillo A, Sánchez-Matías M, Maass M. Local values and decisions: views and constraints for riparian management in western Mexico. *Knowl Manag Aquat Ecosyst*. 2014;414:06.
3. Frey GE, Mercer DE, Cubbage FW, Abt RC. Economic potential of agroforestry and forestry in the lower Mississippi alluvial valley with incentive programs and carbon payments. *South J Appl Forest*. 2010;34(4):176–85.
4. Frey GE, Mercer DE, Cubbage FW, Abt RC. A real options model to assess the role of flexibility in forestry and agroforestry adoption and disadoption in the lower Mississippi alluvial valley. *Agr Econ*. 2013;44:73–91.
5. Dawson IK, Guariguata MR, Loo J, Weber Ard Lengkeek JC, Bush D, Cornelius J, et al. What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity in *circa situm*, *in situ* and *ex situ* settings? A review. *Biodivers Conserv*. 2013;22:301–24.
6. Jose S. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agrofor Syst*. 2012;85:1–8.
7. Grumbine RE. What is ecosystem management? *Cons Biol*. 1994;8:27–38.
8. Ajijur Rahman S, Faizar Rahman M, Sunderland T. Increasing tree cover in degrading landscapes: 'Integration' and 'Intensification' of smallholder forest culture in the alutilla valley, matiranga, Bangladesh. *Small-scale For*. 2014;13:237–49.
9. Altieri M, Nicholls C. *Teoría y práctica para una agricultura sostenible, Serie de textos básicos para la formación ambiental. Programa de las naciones unidas para el medio ambiente. México, DF: Red de Formación ambiental para América Latina y el Caribe; 2000.*
10. McFarlane BL, Boxall PC. Factors influencing forest values and attitudes of two stakeholder groups: the case of the Foothills model forest, Alberta, Canada. *Soc Nat Resour*. 2000;13:649–61.
11. Tindall DB. Social values and the contingent nature of public opinion, attitudes, and preferences about forests. *For Chronicle*. 2003;79(3):692–705.
12. Gadd ME. Conservation outside of parks: attitudes of local people in Laikipia, Kenya. *Environ Conserv*. 2005;32(1):50–63.

13. Altieri MA, Toledo VM. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *J Peasant Stud.* 2011;38(3):587–612.
14. Nabhan GP, Amadeo MR, Reichhardt KL, Mellink E, Hutchinson CF. Papago influences on habitat and biotic diversity: quitovac oasis ethnoecology. *J Ethnobiol.* 1982;2:124–43.
15. Altieri MA. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Front Ecol Environ.* 2004;2:35–42.
16. Nandy S, Kumar DA. Comparing tree diversity and population structure between a traditional agroforestry system and natural forests of Barak valley, Northeast India. *Int J Biodivers Sci Ecosyst Serv Manag.* 2013;9(2):104–13.
17. Moreno-Calles A, García-Luna V, Casas A, Toledo VM, Vallejo M, Santos-Fita D, et al. La Etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología.* 2014;12(3):1-16.
18. Kyndt T, Assogbadjo AE, Hardy OJ, Glele-Kakai R, Sinsin B, Damme PV, et al. Spatial genetic structuring of baobab (*Adansonia digitata*, Malvaceae) in the traditional agroforestry systems of West Africa. *Am J Bot.* 2009;96(5):950–7.
19. Wiersum KF. Indigenous exploitation and management of tropical forest resources: an evolutionary continuum in forest-people interaction. *Agri Ecosyst Environ.* 1997;63(1):1–16.
20. World agroforestry centre. www.worldagroforestrycentre.org.
21. Zomer RJ, Trabucco A, Coe R, Place F. Trees on farm: analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry. Nairobi, Kenya: Working Paper No. 89. The World Agroforestry Centre; 2009.
22. Wilken G. Integrating forest and small-scale farm systems in Middle America. *Agro-Ecosystems.* 1977;3:291–302.
23. Moreno-Calles AI, Toledo VM, Casas A. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Bot Sci.* 2013;91(4):375–98.
24. Dosskey MG, Bentrup G, Schoeneberger M. A role for agroforestry in forest restoration in the lower Mississippi alluvial valley. *J Forest.* 2012;110:48–55.
25. Gao J, Barberi C, Valdivia C. A socio-demographic examination of the perceived benefits of agroforestry. *Agrofor Syst.* 2014;88:301–9.
26. Assogbadjo AE, Glèlè Kakai R, Vodouhê FG, Djagoun CAMS, Codjia JTC, Sinsin B. Biodiversity and socioeconomic factors supporting farmers' choice of wild edible trees in the agroforestry systems of Benin (West Africa). *For Policy Econ.* 2012;14:41–9.

27. Ansong M, Røskaft E. Determinants of attitudes of primary stakeholders towards forest conservation management: a case study of Subri Forest Reserve, Ghana. *Int J Biodivers Sci Ecosyst Serv Manag.* 2011;7(2):98–107.
28. Faye MD, Weber JC, Abasse TA, Boureima M, Larwanou M, Bationo AB, et al. Farmers' preferences for tree functions and species in the West African Sahel. *For Trees Livelihoods.* 2011;20:113–36.
29. Van Oudenhoven APE, de Groot R. Editorial: ecological and social factors influencing biodiversity management at different scales. *Int J Biodivers Sci Ecosyst Serv Manag.* 2011;7(2):75–6.
30. Acharya KP. Linking trees on farms with biodiversity conservation in subsistence farming systems in Nepal. *Biodivers Conserv.* 2006;15:631–46.
31. McNeely JA, Schroth G. Agroforestry and biodiversity conservation—traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodivers Conserv.* 2006;15:549–54.
32. Kabir ME, Webb EL. Can homegardens conserve biodiversity in Bangladesh? *Biotropica.* 2008;40:95–103.
33. Moreno-Calles AI, Casas A. Agroforestry Systems: Restoration of Semiarid Zones in the Tehuacán Valley Central Mexico. *Ecol Restor.* 2010;28(3):1543–4079.
34. Gonthier DJ, Ennis KK, Farinas S, Hsieh H, Iverson AL, Batáry P, et al. Biodiversity conservation in agriculture requires a multi-scale approach. *Proc R Soc B.* 2014;281:20141358.
35. Schroth G, da Fonseca GAB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AMN. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes.* Washington, USA: Island Press; 2004.
36. Moreno-Calles A, Casas A, García-Frapolli E, Torres-García I. Traditional agroforestry systems of multi-crop “milpa” and “chichipera” cactus forest in the arid Tehuacán Valley, Mexico: their management and role in people's subsistence. *Agrofor Syst.* 2012;84(2):207–26.
37. Vallejo M, Casas A, Blancas J, Moreno-Calles AI, Solís L, Rangel-Landa S, et al. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: indigenous cultures and biodiversity conservation. *Agrofor Syst.* 2014;88:125–40.
38. Dávila P, Arizmendi MC, Valiente-Banuet A, Villaseñor JL, Casas A, Lira R. Biological Diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodivers Conserv.* 2002;11:421–41.
39. Casas A, Valiente-Banuet A, Viveros JL, Caballero J. Plant resources of the Tehuacán Valley, México. *Econ Bot.* 2001;55:129–66.

40. MacNeish RS. A summary of subsistence. In: Byers DS, editor. The prehistory of the tehuacán valley: environment and subsistence. vol.1. Austin, Texas: University of Texas Press; 1967. p. 290–309.
41. Lira R, Casas A, Rosas-López R, Paredes-Flores M, Rangel-Landa S, Solís L, et al. Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán, México. *Econ Bot.* 2009;63:271–87.
42. Blancas J, Casas A, Rangel-Landa S, Moreno-Calles A, Torres I, Pérez-Negrón E, et al. Plant Management in the tehuacán-cuicatlán Valley, Mexico. *Econ Bot.* 2010;64:287–302.
43. Blancas J, Casas A, Pérez-Salicrup D, Caballero J, Vega E. Ecological and socio-cultural factors influencing plant management in Náhuatl communities of the Tehuacán Valley Mexico. *J Ethnobiol Ethnomed.* 2013;9:39.
44. CONANP. Programa de manejo reserva de la biosfera tehuacán-cuicatlán. México: D.F: CONANP-SEMARNAT; 2013.
45. Valiente-Banuet A, Solís L, Dávila P, Arizmendi MC, Silva PC, Ortega-Ramírez J, et al. Guía de la vegetación del Valle de Tehuacan-Cuicatlán. Transcontinental, México: Impresora; 2009.
46. Moreno-Calles A, Casas A, Blancas J, Torres I, Rangel-Landa S, Pérez-Negrón E, et al. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central México. *Agrofor Syst.* 2010;80:315–31.
47. Rzedowski J, Vegetación de México. Vegetación de México. México, D.F: Limusa; 1978.
48. Valiente-Banuet A, Casas A, Dávila P, Arizmendi MC, Villaseñor JL, Ortega-Ramírez J. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Bol Soc Bot Méx.* 2000;67:24–74.
49. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 1988.
50. Valiente-Banuet A, Arizmendi MC, Rojas-Martínez A, Casas A, Godínez-Alvarez H, Silva C, et al. Biotic interactions and population dynamics of columnar cacti. In: Flemming T, Valiente-Banuet A, editors. Columnar cacti and their mutualists: evolution, ecology and conservation. Tucson: University of Arizona Press; 2002. p. 225–40.
51. Trilleras J. Análisis Socio-ecológico del manejo, degradación y restauración del bosque tropical seco de la región de Chamela-Cuixmala, México. In: Master Thesis. Posgrado en Ciencias Biológicas. Centro de Investigaciones en Ecosistemas: Universidad Nacional Autónoma de México; 2008.
52. Colwell RK, Coddington JA. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Phil Trans Royal Soc.* 1994;345:101–18.

53. Gotelli NJ, Colwell RK. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecol Lett*. 2001;4:379–91.
54. Colwell RK. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8. 2006. Persistent URL <http://purl.oclc.org/estimates>.
55. Jost L. Entropy and diversity. *Oikos*. 2006;113:363–75.
56. Chao A, Shen T-J. Program SPADE (Species Prediction And Diversity Estimation). 2010; Program and User's Guide published at <http://chao.stat.nthu.edu.tw>.
57. Jost L. The relation between evenness and diversity. *Diversity*. 2010;2:207–32.
58. Crawley MJ. *The R Book*. Chichester, United Kindon: John Wiley & Sons, Ltd.; 2007.
59. Rojas-Rabiela T. Agricultura prehispánica. In: Coord R-RT, editor. *La agricultura En tierras mexicanas desde Sus orígenes hasta nuestros días*. México, D.F: Los Noventa: CONACULTA y Grijalbo S.A. de C.V; 1991. p. 15–119.
60. González-Jácome A. Ambiente y cultura en la agricultura tradicional de México, casos y perspectivas. *Anales de Antropología*. 2003;37:117–40.
61. Whitmore TM, Tuner II BL. *Cultivated landscapes of middle America on the Eve of conquest*. 1st ed. New York USA: Oxford University Press; 2001.
62. Donkin RA. *Agricultural terracing in the aboriginal New world*. U.S.A, Arizona: Viking Fund Publications in Anthropology; 1979.
63. Perfecto I, Vandermeer J. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems. *Ann N Y Acad Sci*. 2008;1134:173–200.
64. Larios C, Casas A, Vallejo M, Moreno-Calles AI, Blancas J. Plant management and biodiversity conservation in Náhuatl homegardens of the Tehuacán Valley Mexico. *J Ethnobiol Ethnomed*. 2013;9:74.
65. Nabhan GP. Agrobiodiversity change in a Saharan Desert Oasis, 1919–2006: Historic Shifts in Tasiwit (Berber) and Bedouin Crop Inventories of Siwa, Egypt. *Econ Bot*. 2007;61:31–43.

Figure 1. Study area. Location of the communities studied in the alluvial valleys of the Salado and Grande Rivers at the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve in Puebla and Oaxaca, central Mexico.

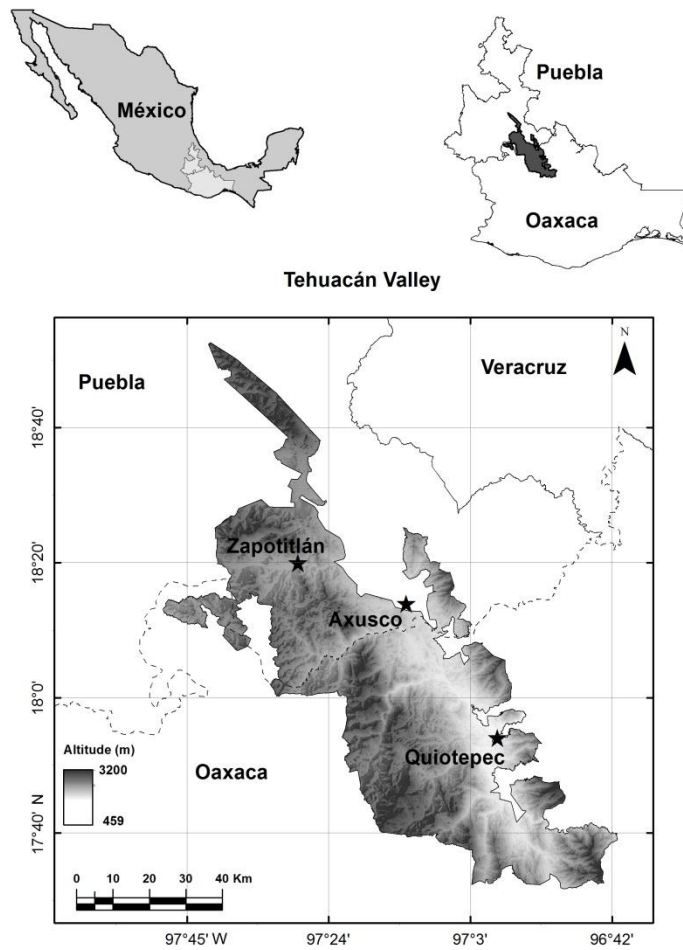


FIGURE 1

Figure 2. Aspect of agroforestry systems and forest of the alluvial valley of the Tehacán-Cuicatlán Valley, Mexico. (A) Plot of agroforestry system showing the ground borders with vegetation forming flat terrains. (B) Aspect of the “*mezquital*” thorn forest described by Valiente-Banuet *et al.* [45,48].

(A)



(B)



FIGURE 2

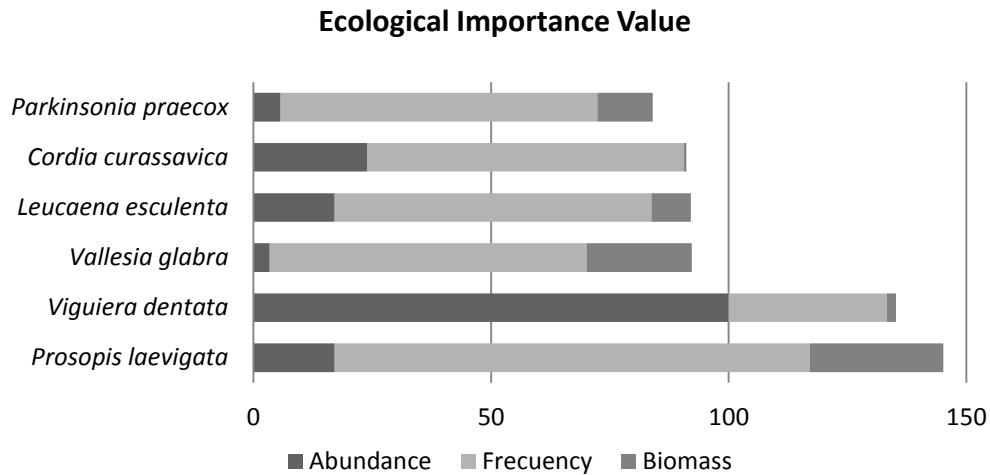
Figure 3. Aspect of the terraces formed by ground borders stabilized with vegetation cover in the basin of the Salado River and smaller tributaries in Zapotitlán de las Salinas, Puebla.



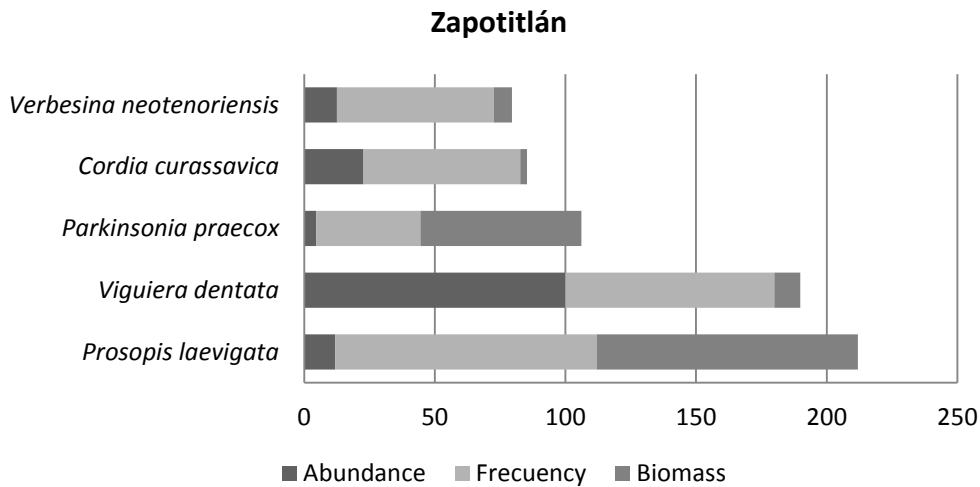
FIGURE 3

Figure 4. Ecological Importance Value indexes calculated for the most important plant species in agroforestry systems of the sites studied (A) General results at regional level, (B) Zapotitlán (C) Quiotepec, (D) Axusco.

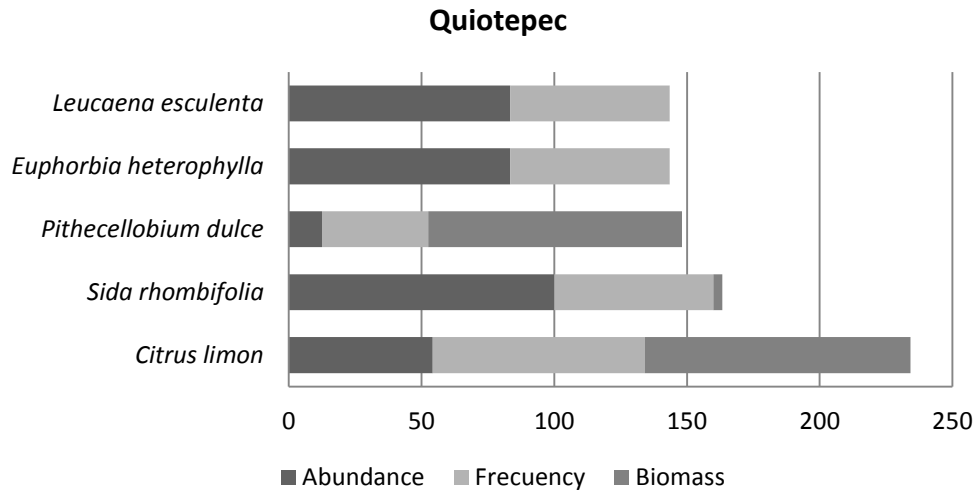
(A)



(B)



(C)



(D)

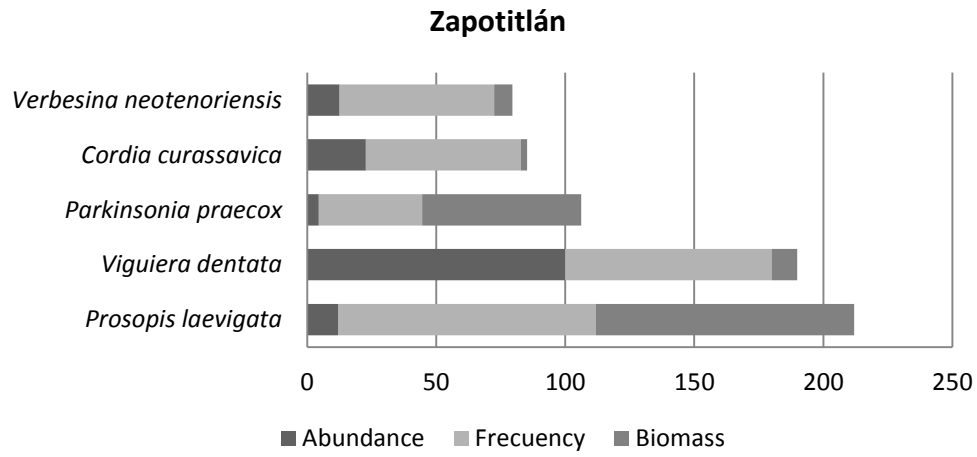


FIGURE 4

Figure 5. Plant species richness calculated in agroforestry systems and forest systems of the alluvial valley of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve through the method of rarefaction.

(A) General comparison (B) Comparison of systems in the sites studied.

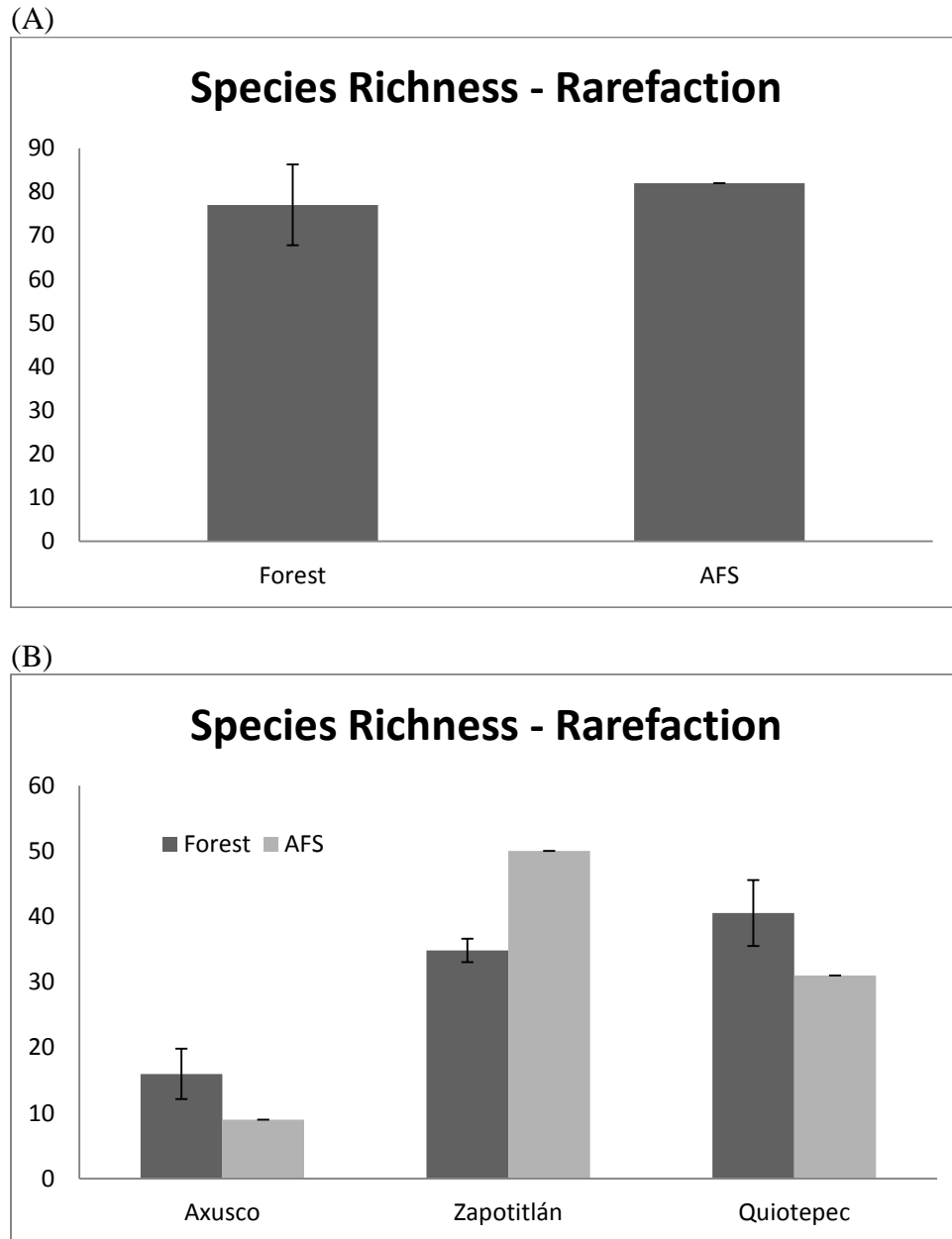


FIGURE 5

Figure 6. Plant species diversity calculated in agroforestry systems and forest systems of the alluvial valley of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve through the exponential Shannon index. (A) General comparison (B) Comparison of systems in the sites studied.

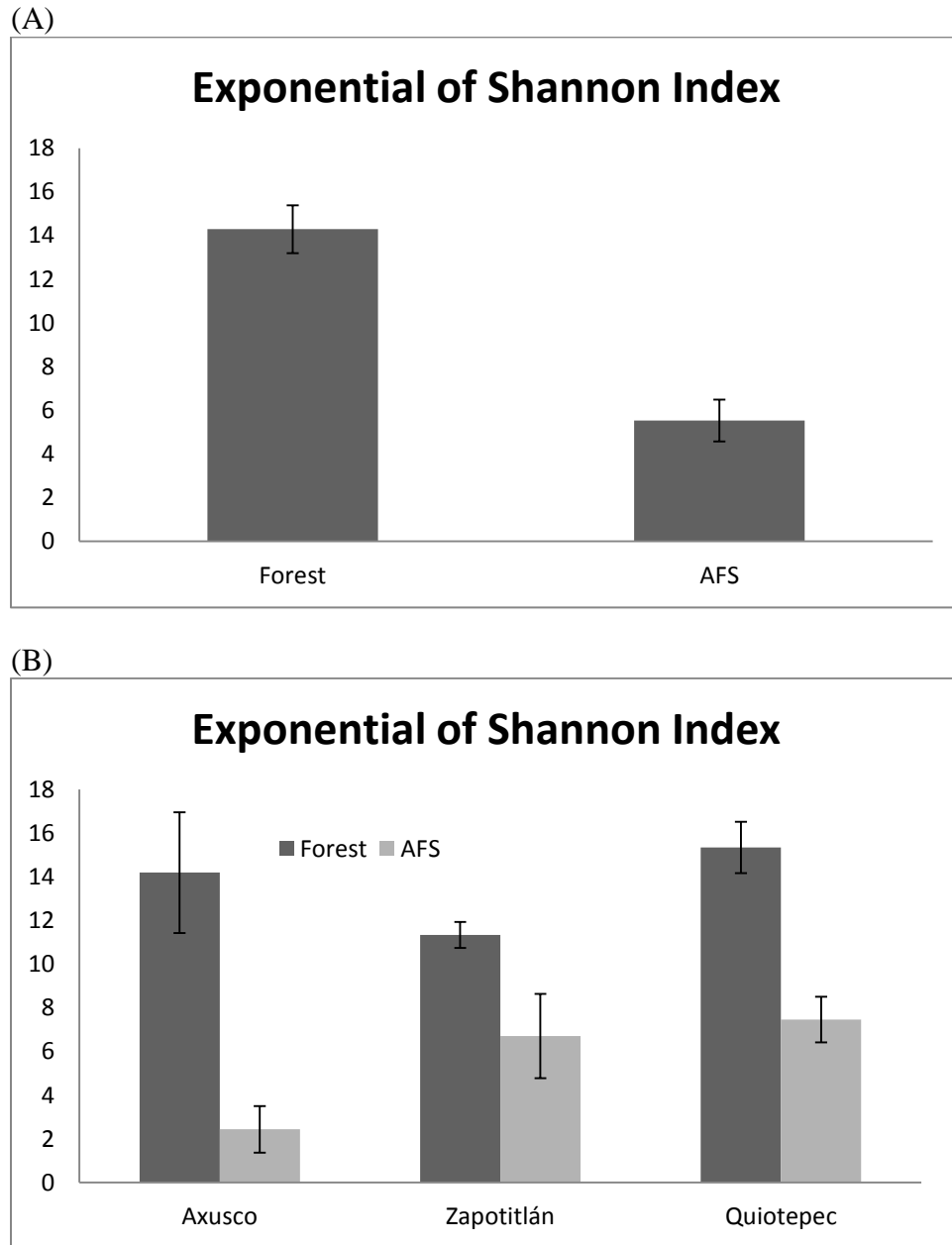
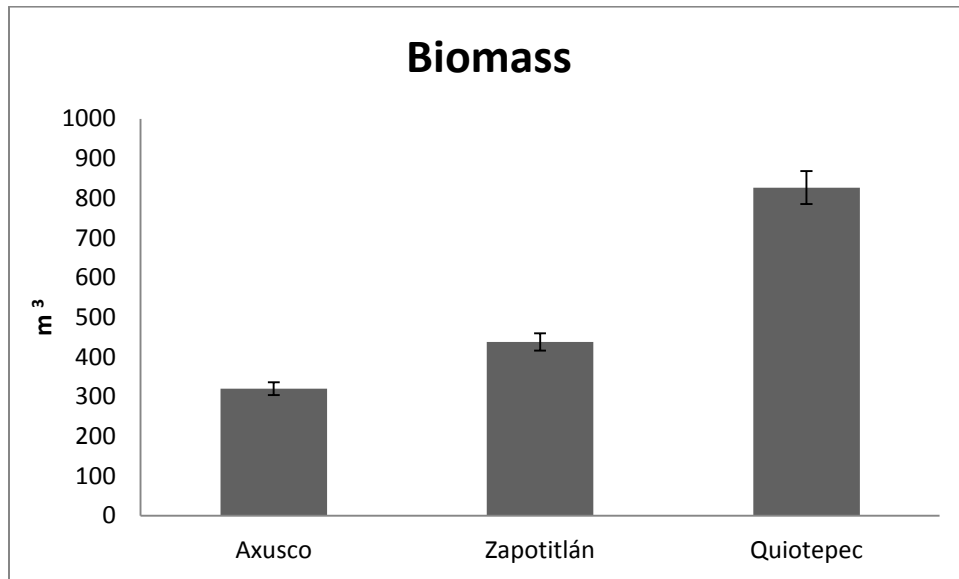
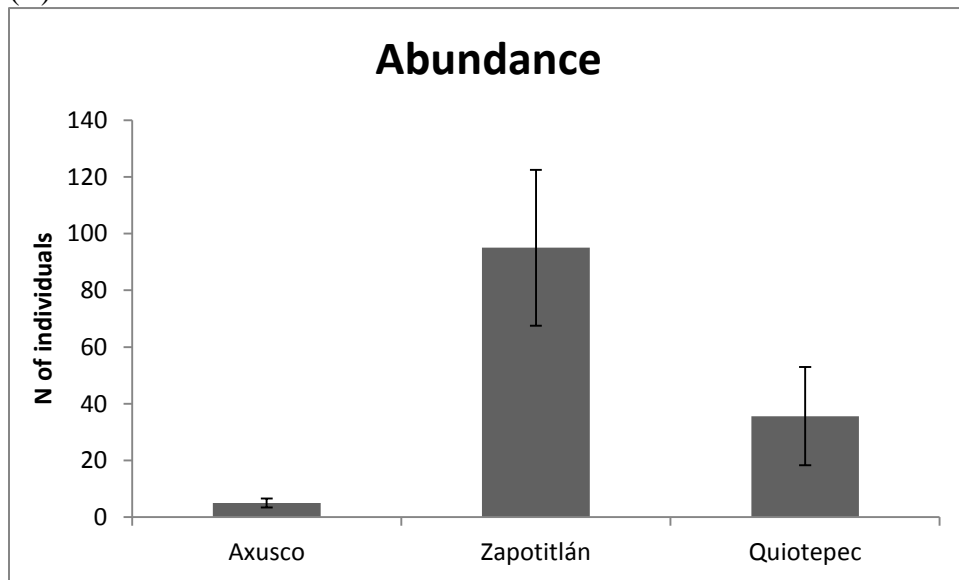


FIGURE 6

Figure 7. Vegetation structure parameters comparing agroforestry systems among the sites studied. (A) Biomass, (B) Abundance measured by number of individual plants (C) Average height of the perennial plants with the AFS.



(B)



(C)

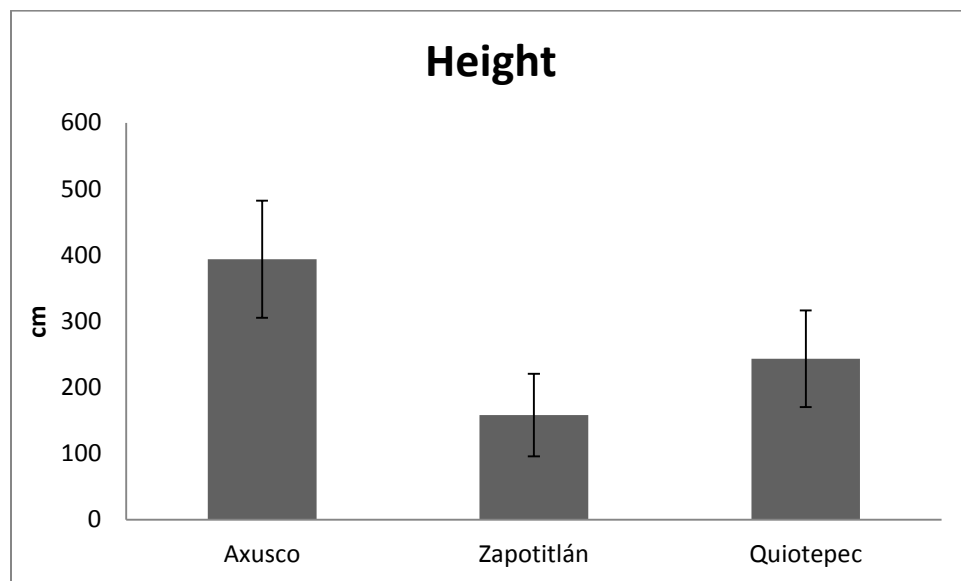


FIGURE 7

Figure 8. Intensification Value with the three components analysed: *Machinery*, *Agrochemical* and *Agricultural practices*, comparing agroforestry systems among the sites studied.

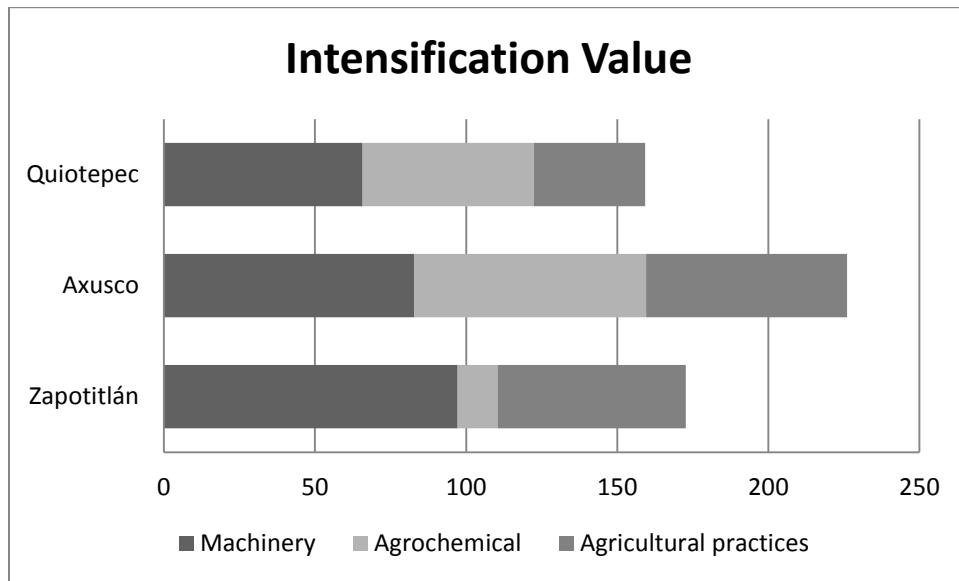


FIGURE 8

CAPÍTULO IV

Vallejo M, Casas A, Moreno-Calles AI, Blancas J. Los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán: una perspectiva regional. En Moreno-Calles AI, Casas A, Toledo V, Vallejo M. *El Manejo Etnoagroforestal en México*. (Aceptado)

LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DEL VALLE DE TEHUACÁN: UNA PERSPECTIVA REGIONAL

Mariana Vallejo¹, Alejandro Casas¹, Ana Isabel Moreno-Calles² y José Blancas³

¹Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia. Universidad Nacional Autónoma de México.

²Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México

³Departamento de Biología-Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa

^{1,2}Apartado Postal 27 – 3. Santa María de Guido, 58190, Morelia, Michoacán, México.

Autor de correspondencia: acasas@cieco.unam.mx

RESUMEN

El Valle de Tehuacán Cuicatlán (VTC) es una región con presencia humana de más de 12000 años y con registros de agricultura de alrededor de 9000 años. Conforme la agricultura se desarrolló, los Sistemas Agroforestales (SAF) evolucionaron tanto en los campos de cultivo asociados a las milpas localizadas fuera de los poblados, como en los huertos establecidos junto a las casas. Los SAF han sido reconocidos por su alto potencial de conciliar los propósitos productivos con la conservación de biodiversidad y funciones ecosistémicas de gran importancia. En el VTC se han llevado a cabo estudios en varios sistemas particulares; éstos han documentado niveles relativamente altos de conservación de especies forestales nativas dentro de los huertos y en las milpas. En este trabajo se recopila la información disponible, las características de los SAF regionales, y su capacidad de mantener diversidad biológica. Se sistematiza información sobre los SAF, así como sobre la riqueza y diversidad de especies vegetales que alojan, las categorías de uso y formas de manejo de diferentes componentes de la vegetación, las razones que

considera la gente para el mantenimiento de las especies en los sistemas y aspectos culturales de los manejadores de los mismos. En las milpas se registraron 183 especies de árboles y arbustos, siendo el 88% nativas, y en los huertos se documentaron 376 especies con el 65% de especies nativas. En promedio los SAF regionales mantienen el 45% de las especies de la vegetación natural. Se identificaron cinco prácticas agroforestales principales, siendo la más frecuente y extendida las cercas vivas; se encuentran también islas de vegetación, manchones, franjas y árboles aislados. Se enlistaron 25 razones para mantener plantas silvestres dentro de SAF, los más mencionados incluyen criterios utilitarios, principalmente como alimento, forraje, leña. También se incluyen criterios asociados a beneficios ecosistémicos, como control de erosión y mantenimiento de la fertilidad; hasta las razones éticas, como el que son parte de la naturaleza o el derecho de existir de las plantas. Se encontró que las distintas características locales de las comunidades humanas como tenencia de la tierra, aunadas a las características ecológicas, influyen en las características de los SAF del VTC.

PALABRAS CLAVE: Conservación biológica, biodiversidad, biodiversidad útil, diversidad cultural, manejo

ABSTRACT

The Tehuacan Cuicatlán Valley (TCV) is a region with a human presence of more than 12,000 years and agriculture records about 9000 years. As agriculture developed, Agroforestry Systems (AFS) evolved in crop fields located outside the villages, and established homegardens near the houses. The AFS have been recognized for their high potential for productive purposes, reconciling the conservation of biodiversity and ecosystem functions of great importance. In the TCV studies have been conducted in several individual systems; they have documented

relatively high levels of conservation of native forest species in homegardens and cornfields. In this work, the available information, the characteristics of regional AFS, and their ability to maintain biodiversity is compiled. Information on AFS is systematized, as well as the richness and diversity of plant species present, use categories and ways of managing different components of the vegetation, the reasons people consider to maintain the species and cultural aspects of systems managers. In the cornfields 183 species of trees and shrubs were recorded, with 88% of them native, and 376 species in homegarden with 65% of native species were documented. On average regional SAF maintain 45% of the species of natural vegetation. Five main agroforestry practices were identified, the most common and widespread being were hedges; as well as islands, vegetation patches, strips and isolated trees. 25 reasons enlisted to keep wild plants within AFS, the most frequently mentioned include utilitarian criteria, mainly as food, fodder and firewood. Criteria are also associated to ecosystem benefits, such as erosion control and fertility maintenance; to ethical reasons, as they are part of nature or the right to exist of plants. It was found that different local characteristics of human communities and land tenure, coupled with ecological characteristics influence the characteristics of the AFS in TCV.

KEYWORDS: Biological conservation, biodiversity, useful biodiversity, cultural diversity, management

INTRODUCCIÓN

El Valle Tehuacán Cuicatlán (VTC) es una zona con una reconocida importancia biológica y cultural, ya que en sólo 10 000 Km² se han registrado 37 asociaciones vegetales que albergan 2621 especies de plantas vasculares (Dávila *et al.*, 2002; Lira *et al.*, 2009; Valiente-Banuet *et al.*, 2009). Tiene una historia de presencia humana desde hace 12 000 años y de presencia de la

agricultura desde hace cuando menos 9000 años (MacNeish, 1967), lo que indica que el VTC es una región con una historia de larga interacción entre seres humanos y naturaleza, y ésta ha dado como resultado una alta riqueza en conocimientos y formas de manejo tanto de las especies locales como de los ecosistemas que caracterizan el medio (Casas *et al.*, 2001, 2008). Resultado de esa larga historia cultural, en la región mantienen presencia ocho grupos étnicos indígenas: náhuatl, ixcatecos, cuicatecos, popoloca, chochos, mazatecos, chinantecos y mixtecos (Casas *et al.*, 2001).

En la actualidad, las diversas comunidades indígenas y mestizas llevan a cabo actividades agrícolas, pecuarias y forestales en las 37 asociaciones vegetales registradas por Valiente-Banuet *et al.* (2009). Esta condición hace del VTC una de las zonas con mayor riqueza de conocimientos etnobotánicos en México (Casas *et al.*, 2001; Lira *et al.*, 2009; Blancas *et al.*, 2010). Un indicador de tal riqueza son las más de 1600 especies de plantas de la región utilizadas de alguna manera por los pobladores locales (Casas *et al.*, 2001; Lira *et al.*, 2009). Asimismo son un importante indicador las 32 categorías de uso registradas, siendo las más importantes las alimenticias, ornamentales, forrajeras y medicinales; se ha documentado que una especie puede tener hasta 14 usos diferentes (Blancas *et al.*, 2010).

Hoy en día las prácticas agrícolas se efectúan en tres grandes zonas: (1) Las partes bajas, conformadas por los valles aluviales de los principales ríos regionales: Salado, Grande, Cacahuatal y Santo Domingo, donde la vegetación original predominante son mezquites y bosques tropicales secos; esta es la zona que alberga los sistemas agrícolas más intensivos, principalmente destinados a la caña de azúcar, pues reciben riego y son tierras planas. (2) La zona montañosa templada de la Sierra de Zongolica, entre los 2200 a 3200 msnm, donde predominan los bosques templados de pino y encino; es una zona altamente transformada,

principalmente por la agricultura de temporal dirigida al autoconsumo, en esta franja predomina la milpa con presencia de árboles frutales para venta, y (3) la franja árida y semiárida en las laderas y cimas derivadas de matorrales xerófilos y bosques de cactáceas columnares, donde se cultiva milpa de temporal para el autoconsumo (Casas *et al.*, 2008). En estas regiones existen sistemas agroforestales de campo (parcelas), tanto de temporal como de riego, así como sistemas de traspatio que incluyen diversos tipos de huertos y solares. Aunque han sido aún poco estudiados, la información disponible indica que estos sistemas albergan una importante fracción de la diversidad biológica regional (Moreno Calles *et al.*, 2010; Larios *et al.*, 2013; Vallejo *et al.*, 2014). En las tres grandes regiones que se han caracterizado se encontró como parte importante de los sistemas agrícolas y de la cultura a SAF que han formado parte de las prácticas agrícolas. De las 1600 especies útiles registradas hasta el momento, 120 son especies nativas manejadas en SAF (Casas *et al.*, 2008; Blancas *et al.*, 2010).

Aunque algunos sistemas de huerto y de campo se estudiaron hace algunos años (Wilken, 1977), los sistemas agroforestales de Tehuacán comenzaron a estudiarse sistemáticamente recientemente. Se han caracterizado como sistemas dedicados en mayor medida a cultivos de milpa de temporal en parcelas de 0.5 a 4 hectáreas con bajos niveles de insumos. Estos se han documentado como sistemas que mantienen altos niveles de riqueza de especies silvestres y diversidad de componentes tanto silvestres como cultivados, así como altos niveles de diversidad genética entre las especies silvestres dominantes (Casas *et al.*, 2006; Parra *et al.*, 2008; Moreno-Calles *et al.*, 2010, 2012; Vallejo *et al.*, 2014).

Dentro de los SAF del VTC se ha registrado el manejo tradicional que implica el mantenimiento de las especies con importancia económica y cultural, a través de la tolerancia, promoción y cuidados especiales (Moreno-Calles *et al.*, 2012; Larios, 2013). También se ha documentado el

continuo reemplazo e introducción de plantas de la vegetación silvestre hacia los sistemas (Moreno-Calles *et al.*, 2010; Vallejo *et al.*, 2014), sobresaliendo en ambos casos las especies arbóreas.

En la franja árida, en los bosques de cactáceas columnares destacan especies como *Stenocereus stellatus*, *Escontria chiotilla*, *Polaskia chichipe*, *Polaskia chende*, *Myrtillocactus schenckii* y *Lemaireocereus hollianus*, cuya diversidad genética de las poblaciones en SAF mantienen el 93 % de la diversidad genética de las poblaciones silvestres (Casas *et al.*, 2008; Parra *et al.*, 2008; Moreno-Calles *et al.*, 2010). Estudios en ecología de poblaciones encontraron que los sistemas agroforestales son sitios propicios para regeneración de poblaciones de especies dominantes, como en el caso de *Polaskia chichipe*, investigado por Farfán Heredia (2006). Junto a las especies arbóreas, los SAF albergan una considerable diversidad de arbustos y herbáceas nativas que contribuyen significativamente a incrementar la diversidad que se mantiene en los sistemas y que al mismo tiempo aportan servicios y funciones ecosistémicas de alta importancia (Blanckaert *et al.*, 2007; Moreno-Calles *et al.*, 2010; Vallejo *et al.*, 2014).

En general los SAF están ampliamente reconocidos por brindar recursos, los cuales son aprovechados por las personas que los manejan (Donald, 2004). De igual manera son reconocidos por distintos beneficios ecosistémicos como: mantenimiento de polinizadores, dispersores de semillas, controladores naturales de plagas (Jose, 2009; Nair, 2011; Tschardtke *et al.*, 2011), y su presencia contribuye a controlar erosión y retención de agua, así como a proporcionar sombra y microambientes para el mantenimiento de una humedad relativa (Altieri y Toledo, 2005; Nabhan, 2007). Asimismo, la presencia de diversidad de elementos de la flora nativa favorece la diversidad de elementos micorrícicos y bacterianos en las comunidades bióticas de los suelos que retribuyen una mayor producción (Dechert, 2004; Jose, 2009).

Los SAF satisfacen diversas necesidades campesinas, son fuente de ingresos económicos para quienes comercializan los excedentes en la producción (Boffa, 2000; Donald, 2004), proveen de importantes productos para la salud local, reducen la presión sobre la vegetación local al propagar especies con alto valor cultural (Altieri y Toledo, 2005; Moreno-Calles *et al.*, 2011), son importantes espacios de diversificación (Casas *et al.*, 2008; Parra *et al.*, 2008), reducen la incertidumbre económica y ecológica al asegurar una provisión mínima de especies útiles, entre otros beneficios (Schroth *et al.*, 2004; McNeely y Schroth, 2006).

Dentro de los sistemas agroforestales, los huertos merecen una mención particular, ya que son sitios en donde los diferentes grupos culturales recrean sus entornos y constituyen una expresión clara de los elementos y procesos de su entorno que aprecian y valoran como recursos vegetales y otros procesos que constituyen servicios ecosistémicos (Kumar y Nair, 2004; Montagnini, 2006). Los huertos son sistemas agroforestales próximos al sitio donde las personas habitan (Pulido *et al.*, 2008). Al mismo tiempo, son espacios de intercambio, de experimentación y aclimatación de numerosas especies que serán posteriormente ensayadas en otros sistemas de producción (Torquebiau, 1992; Nair y Kumar, 2006). Estos aspectos se aplican tanto al manejo de plantas como de animales.

Por lo tanto, los huertos, así como los sistemas agroforestales en general, son espacios cambiantes que constantemente son modificados en función de las necesidades humanas (Altieri y Nicholls, 2000). La composición y abundancia de especies en particular, dicen mucho acerca de la dinámica social de una cultura y al mismo tiempo pueden fungir como un indicador de los cambios económicos, sociales, ecológicos, ambientales y en general en los patrones culturales de una comunidad (Albuquerque *et al.*, 2005).

Los SAF de las comunidades rurales tradicionales son reservorios tanto de agrobiodiversidad como de la biodiversidad natural local. Permiten que numerosas especies endémicas, raras, escasas, de distribución restringida o incluso aquellas que se han extinto en la vegetación natural, tengan la posibilidad de prosperar en estos espacios (Pulido *et al.*, 2008; Larios *et al.*, 2013).

Los estudios que se han desarrollado hasta el presente sugieren que los SAF del VTC son sitios propicios para el mantenimiento de especies de importancia ecológica, cultural y económica y al mismo tiempo, espacios de producción agrícola, reservorios de conocimientos y formas de manejo tradicional, así como de elementos materiales y culturales de valor para las poblaciones que los manejan. Los estudios revisados permiten identificar que no todos los SAF son igualmente exitosos, que esas capacidades referidas pueden ser diferentes en distintos contextos. Suponemos que los sitios cuyos ecosistemas son naturalmente diversos tienen una base material propicia para favorecer también SAF diversos. Pero para que ello se exprese en diversidad agroforestal, la cultura de quienes manejan el sistema debe tener entre sus valores el aprecio y aprovechamiento de tal diversidad. Es decir, los sitios con alta heterogeneidad ecológica y cultural donde se valora la diversidad, serán áreas propicias para encontrar SAF diversos. Ante tal suposición, las preguntas que guiaron esta investigación son: ¿Qué capacidad tienen los sistemas agroforestales para mantener la biodiversidad regional? ¿Qué procesos socio-económicos y culturales influyen las decisiones de manejo y mantenimiento de diversidad en los SAF? ¿Qué factores socio-ecológicos influyen en la capacidad de los sistemas agroforestales de mantener biodiversidad? ¿Cuál es el papel de los SAF de la región en la conservación de la biodiversidad y la retroalimentación y mantenimiento de las culturas locales?

Para contestar estas preguntas, el presente capítulo analiza las características socio-ecológicas de los SAF del VTC, las prácticas agroforestales más importantes, su capacidad de mantener

biodiversidad, mediante los parámetros de riqueza y diversidad vegetal de la región, los elementos culturales expresados en las razones de mantener los elementos forestales dentro de los sistemas productivos, identificando los factores que influyen para la conformación de los SAF en la región y su importancia tanto biológica como cultural.

MÉTODOS

Zona de estudio

El VTC se localiza en la porción sureste del estado de Puebla y el noroeste del estado de Oaxaca (Rzedowski, 1978). Tiene una extensión de 10,000 km² y presenta una alta heterogeneidad ambiental (Valiente-Banuet *et al.*, 2000). La mayor parte de su territorio es semiárido con una precipitación promedio anual 300 a 500 mm, mientras en las partes montañosas el clima es templado con una precipitación de 700 a 800 mm (García, 1988). Es una región particularmente biodiversa; se han identificado 37 tipos de asociaciones vegetales (Valiente *et al.*, 2000) y se han registrado más de 3000 especies de plantas de las cuales cerca de 400 son endémicas a la región. Además, cuenta con una considerable riqueza cultural, con la presencia de ocho grupos indígenas, lo que lo hace una región biocultural de alta importancia para México y la región mesoamericana en general (Figura 1).

Delimitación de los sistemas de estudio

Para estudiar los SAF del Valle de Tehuacán, primeramente se consideraron dos grandes sistemas, los SAF de campo, es decir las parcelas productivas alejadas de las casas, y los huertos aledaños a las viviendas. En cada uno de ellos se llevaron a cabo distintos métodos de investigación, los cuales se mencionan a continuación.

Milpas

En el VTC se desarrollan diversos sistemas agroforestales, principalmente cafetales, huertas de diversas especies frutales, cañaverales y milpas. Sin embargo, el SAF de mayor extensión, que se mantiene a lo largo y ancho del Valle, en el mayor espectro de condiciones climáticas, de riego y temporal, tipos de vegetación, grupos étnicos y contextos de producción intensiva, es el de la milpa. Por ello, decidimos centrar la atención en este sistema. Se estudiaron milpas de 1 a 2 ha.

Se realizó una revisión e integración de distintos trabajos que se han realizado en el VTC, incluyendo tesis y artículos científicos. Se incorporaron comunidades que están distribuidas en las tres grandes zonas agrícolas, la zona alta de los bosques templados (Coyomeapan, San Lorenzo Pápalo, Santa María Ixcatlán); la zona intermedia con los bosques de cactáceas columnares (San Luis Atolotitlán) y la parte baja de los valles aluviales (Santiago Quiotepec, Zapotitlán Salinas y San José Axusco) (Tabla 1). Todas éstas son comunidades rurales, donde la principal actividad productiva es la agricultura. Aunque la mayoría de las personas son de origen indígena, en algunas de ellas se ha perdido la lengua originaria, como es el caso de Santiago Quiotepec, San Luis Atolotitlán y Zapotitlán Salinas. En el caso de Santa María Ixcatlán sólo quedan 10 hablantes de ixateco (una lengua otomangué, cercanamente emparentada con el mixteco), y esta es la única comunidad en la que se habla esa lengua. En comunidades como San Lorenzo Pápalo, Coyomeapan y Axusco, la mayoría de sus habitantes hablan su lengua originaria, en algunos casos bilingües y en otros sólo su lengua materna, son cuicateco y náhuatl respectivamente.

Los trabajos incorporados registran muestreos de vegetación natural con la finalidad de conocer las características ecológicas de las comunidades bióticas y su composición florística. De igual manera, documentan muestreos de vegetación y censos al interior de las parcelas de SAF, con lo

cual se puede comparar la vegetación natural con aquella mantenida en los SAF. Además, los estudios sistematizados comprenden entrevistas a los dueños de cada cultivo, con base en las cuales se documenta el manejo de la parcela, el tipo de tenencia de la tierra, los cultivos que utilizan, el destino de la producción, el total de la producción, el uso de maquinaria y agroquímicos, así como las diferentes estrategias y técnicas de manejo de la vegetación silvestre mantenida en las parcelas y de algunos componentes en particular, incluyendo las razones del mantenimiento de esos elementos.

La información analizada se incorporó en una base de datos, con el fin de obtener los siguientes análisis: Número de especies, riqueza, diversidad, cobertura, tanto en los SAF, como en los sitios de vegetación natural. Con esta información se evaluó y comparó cuánta diversidad se está manteniendo en los SAF y la capacidad de éstos para mantener los elementos de los bosques circundantes en el paisaje. También se registraron patrones de uso y manejo de la vegetación en los SAF, relacionándolo con distintos factores ecológicos, físicos, sociales, culturales y económicos. Particular énfasis se puso en la documentación de las prácticas agroforestales y las técnicas de manejo de especies en particular asociadas a tales prácticas.

Huertos

Se realizó una revisión de los 13 trabajos llevados a cabo en comunidades indígenas y mestizas que se encuentran dentro de la Reserva de Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (Tabla 2). Con base en la información de tales estudios se construyó una base de datos que documentó el conocimiento etnobotánico que éstas poseen. Esta base de datos contiene información sobre nomenclatura local, formas de uso y preparación, tipos de manejo e importancia económica. Sólo se consideraron aquellas especies en los que claramente se identificó su presencia en los huertos.

RESULTADOS

A nivel regional, en el VTC se mantienen sistemas agroforestales, siendo los de mayor extensión aquellos asociados a la milpa y a los huertos. Los de milpa se encuentran difundidos en todo el territorio de la región, desde las partes más altas, asociadas a bosques templados, hasta las partes más profundas del Valle, en las llanuras aluviales donde la vegetación dominante son los mezquiales y remanencias de bosque seco. Entre tales condiciones de elevaciones contrastantes, la milpa se desarrolla en un gradiente altitudinal continuo en el que se encuentra una gran diversidad de tipos de vegetación.

Los SAF son mantenidos y manejados tanto por comunidades mestizas como indígenas. Generalmente el destino de la producción es para el autoconsumo familiar y es una agricultura de bajos insumos e intensificación; sin embargo, hay algunas excepciones que se mencionaran más adelante. Son sistemas agrícolas que permanecen, pero la cobertura de la vegetación silvestre que los constituye, el manejo tradicional silvícola, las prácticas agroforestales, los usos que se da a la vegetación que se mantiene, entre otros aspectos, expresan importantes variaciones influidas por factores ecológicos, sociales, económicos y culturales. Este aspecto se discute adelante con mayor profundidad.

Riqueza y diversidad biológica

Los SAF del Valle de Tehuacán mantienen 183 especies de árboles y arbustos (Apéndice 1), dentro de cada parcela se identificaron de 2 a 35 especies y de 5 a 250 individuos por especie. Al dividir la región en tres grandes zonas agrícolas con base en la altitud, se identifica la parte alta con lomeríos, laderas y valles intermontanos con suelos derivados de rocas volcánicas y calizas, en donde predominan los bosques templados de pino y encino-pino. En la zona de altitudes

intermedias predominan las laderas con suelos calizos caracterizados por la presencia de bosques de cactáceas columnares y diversos tipos de matorrales rosetófilos. En la parte baja de los valles aluviales irrigados, en donde predominan los bosques secos y los mezquitales, con presencia de la agricultura manejada con mayor intensidad.

En cada una de estas zonas la riqueza vegetal perenne que se mantiene es diferente. En los SAF de los bosques templados se documentaron 79 especies pertenecientes a 27 familias botánicas, de las cuales, el 88% son nativas y representan el 43% de la vegetación natural (Vallejo *et al.*, 2014). En los SAF derivados de los bosques de cactáceas se registraron 87 especies de 24 familias botánicas, siendo el 94% flora nativa y representan el 54% de la vegetación natural (Moreno-Calles *et al.*, 2010). En los valles aluviales (Vallejo *et al.*, en prensa) se registraron 66 especies siendo el 81% nativas y representan el 38% de la vegetación natural. Se encontró que incluso algunas especies endémicas pueden incrementar su abundancia bajo las prácticas de manejo agroforestal. 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 (Moreno-Calles *et al.*, 2010).

En cuanto a las herbáceas, Blanckaert *et al.* (2007) encontraron dentro de sistemas agrícolas en la zona árida, 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 (Moreno-Calles *et al.*,

2010). Numerosas especies de plantas herbáceas son consideradas ‘malezas’ en los contextos de la agricultura moderna; sin embargo, también son apreciadas por la gente en estas zonas, ya que pueden tener usos específicos, incluso algunas plantas tóxicas son toleradas, puesto que pueden emplearse como medicina, por lo tanto, son valoradas y mantenidas en SAF.

Prácticas agroforestales

En los SAF del VTC se encontraron diversas prácticas de manejo, como las islas de vegetación, los manchones de vegetación, los cercos vivos y franjas de vegetación, y árboles aislados. En todos los sistemas se identificó al cerco vivo como la práctica con mayor extensión, en donde se mantiene el mayor número de individuos de vegetación silvestre. En la mayoría de los casos también, cuando se trasplantan individuos del interior de la parcela son incorporados en los cercos vivos (Figura 2). Las distintas prácticas agroforestales se mantienen por las razones que se exponen a continuación:

Islas de vegetación. Éstas constituyen un arreglo espacial de elementos de la vegetación en pequeños manchones, el cual permite el mantenimiento de vegetación nativa con algún uso y que es tolerada, pues no estorban las labores agrícolas, principalmente el paso de arados y maquinaria para arar la tierra. Esta práctica se observó principalmente en comunidades de zonas templadas, donde las islas de vegetación están dirigidas a mantener frutales y junto con ellos se conservan diversas especies de plantas nativas con otros usos, las cuales por lo general son toleradas.

Manchones de vegetación. Generalmente se presentan cuando al interior de la parcela hay zonas donde no se puede acceder a la siembra; tal es el caso de áreas pedregosas, inclinadas, con topografía irregular, zonas inundadas o de suelos inapropiados para la siembra. En estas áreas se tolera el crecimiento y proliferación de diversas especies de la vegetación natural; la gente

procura únicamente que tales áreas no estorben al cultivo. Esta práctica se encontró en todas las zonas del Valle de Tehuacán.

Cercos vivos y franjas de vegetación. Como su nombre lo indica, éstas son líneas de vegetación que se mantienen al interior de la parcela, cuando se encuentran en las orillas, delimitando el terreno, se les llama cerco vivo. Esta práctica la encontramos con distintos propósitos en diferentes zonas del Valle de Tehuacán. En los bosques templados, las prácticas están dirigidas a proteger los cultivos de fuertes vientos, mientras que en los valles aluviales, el arreglo busca mantener las franjas como parte de terrazas o bordos, por lo que en éstas las franjas juegan un papel en el mantenimiento del suelo y humedad, así como para abatir la erosión hídrica de la lluvia o riego.

Árboles aislados. Éstos son especies de árboles con un alto valor para el campesino, lo cual motiva su mantenimiento. Generalmente son árboles grandes que brindan sombra o algún otro beneficio de primordial importancia (e. g. frutos, leña). Esta práctica se registró en el 100% de las parcelas estudiadas.

Manejo

Se entiende por manejo, la interacción que establecen los seres humanos con los elementos, sistemas y procesos naturales (Casas *et al.*, 1997). En el caso de los elementos de la vegetación, se han caracterizado cuatro grandes tipos de manejo, que incluyen de menor a mayor intensidad la tolerancia, la protección, la siembra o trasplante, y el cultivo de plantas domesticadas. A su vez, cada una de estas formas de manejo puede expresarse en distintos niveles de intensidad (Casas *et al.*, 1996, 1997, 2007; Blancas *et al.*, 2010).

En los SAF se encontraron todas las formas de manejo referidas y una amplia gama de expresiones de intensidad de manejo dentro de cada categoría mencionada. Una misma especie

puede estar sujeta a diferentes tipos y grados de intensidad de manejo (Casas *et al.*, 1996, 1997, 2007; Blancas *et al.*, 2010). Para los elementos vegetales silvestres al interior de los SAF, lo más común es que la gente practique la tolerancia, lo que incluye del 60 al 80% del total de los individuos registrados en las parcelas. En promedio las plantas protegidas son el 30%, las trasplantadas el 15% y las cultivadas únicamente el 5%. Estos patrones pueden ser distintos en los huertos, en donde se ha registrado que en promedio el 65% de las especies son cultivadas, el 25% toleradas y el 10% protegidas (Larios *et al.*, 2013) (Tabla 3).

Las distintas prácticas de manejo mencionadas están dirigidas a algunas especies en particular y de entre éstas, a algunos individuos con ciertos fenotipos preferidos por la gente. En sus parcelas, la gente distingue variabilidad de cada especie, algunas de las variantes incluso reciben nombres y usos particulares. Esta situación establece condiciones que permiten la práctica de selección artificial y la operación de procesos de domesticación (Casas *et al.*, 1997, 2007).

Razones para el mantenimiento de la vegetación silvestre en los SAF

Las razones para mantener elementos de la vegetación natural al interior de las parcelas productivas son variables. Algunas razones son de carácter utilitario, pues son alimenticias (por ejemplo, frutales, quelites), medicinales, forraje, leña y madera. También se mantienen plantas con el fin de conservar otros recursos naturales como el suelo y el agua; directamente la gente expresa su interés por mantener elementos vegetales con el fin de evitar la erosión, para mantener la fertilidad, o para tener una sombra que los resguarde en las tareas del campo. Además, en numerosas ocasiones mantienen árboles o arbustos como hábitat de otras especies útiles; como por ejemplo, el árbol *Parkinsonia praecox* llamado ‘manteco’, una de las razones principales para mantenerlo es porque ahí se reproduce la oruga llamada cuchamá que es

comestible y altamente valorada. Otro ejemplo es el mezquite (*Prosopis laevigata*), que en muchos casos se mantiene para que crezca la pitahaya (*Hylocereus undatus*), la cual tiene un alto valor económico y cultural. También existen razones que no son utilitarias o para algún beneficio directo, sino que corresponden a aspectos éticos, como la belleza escénica, los rituales, las reglas de uso, el prestigio o simplemente el reconocimiento del derecho a existir que tienen las plantas (Tabla 4).

Según la región en donde se encuentren los SAF, algunas razones que expresan las personas para mantener elementos de la vegetación pueden ser más importante que otras; por ejemplo, en las comunidades con mayor disponibilidad de agua, una parte de la parcela se dedica a la producción de árboles frutales, la razón más importante es para obtener beneficios alimentarios. En contraparte, en lugares más secos cobra mayor importancia la sombra o la provisión de forraje complementario. En comunidades como Zapotitlán y San Luis Atlotitlán, las razones éticas son particularmente importantes y explícitas; en dichas comunidades se perciben más elementos que muestran una estrecha relación entre ellas y el medio que las rodea.

Coberturas

En general, la cobertura de los elementos forestales en los SAF del VTC puede variar entre el 2 y el 30% de la parcela. En la parte intermedia de la región, en los bosques de cactáceas columnares, la comunidad de San Luis Atlotitlán por ejemplo, registró una pérdida de la cobertura vegetal, identificando tres factores principales: 1) la inequitativa distribución de la tierra, 2) cambios en las prácticas de manejo e intensificación agrícola, 3) programas gubernamentales (PROCAMPO) que incentivan la remoción de vegetación al interior de los SAF (Moreno-Calles *et al.*, 2010, 2012).

Factores que intervienen en las características de los sistemas agroforestales

Los SAF del VTC pueden tener características propias y formas de manejo particulares dependiendo de diferentes factores. El análisis de las entrevistas permitió identificar las siguientes:

- 1) *Condiciones del terreno.* Si la parcela se encuentra en un llano o en una pendiente, las prácticas de manejo cambian. En una pendiente muy pronunciada no es posible el paso de maquinaria, por lo que las prácticas de manejo se adecuan para el trabajo manual y se pone principal atención a prácticas que protejan al suelo de la erosión y al cultivo del aire, por lo que es común encontrar árboles de mayor altura en los bordes y franjas de vegetación al interior. En cambio, si la parcela se encuentra en un llano, es más probable encontrar un arreglo que permite al paso de maquinaria y se mantienen islas de vegetación o zonas sin desmontar a un lado del cultivo.
- 2) *Clima* (disponibilidad de agua). En los sitios donde el clima y la humedad lo permite se pueden mantener en las milpas árboles frutales, lo cual implica dedicarle partes de la parcela para esta actividad, generalmente en la parte donde se mantienen los árboles suele tolerarse mucha de la vegetación nativa, los árboles frutales pueden estar en los linderos, en las franjas, en islas de vegetación o distribuidos por toda la parcela.
- 3) *Maquinaria.* Este es un factor muy importante, en los terrenos donde se utiliza maquinaria la vegetación tiene que tener un arreglo tal que permita el paso de ella. Si no usan ni tractor ni yunta, los árboles pueden mantenerse distribuidos por toda la parcela, la tolerancia se hace mayor en dejar en pie individuos donde nazcan. En los sitios donde sí utilizan maquinaria generalmente se mantiene la vegetación en los linderos o a un lado de las parcelas, para dejar el libre paso.

4) *Tenencia de la tierra*: El hecho de que la tenencia de la tierra sea comunal, ejidal o privada tiene un efecto, pues ello determina el tamaño de las parcelas y uso común de la tierra. En los casos en los que la propiedad es comunal pueden tener una distribución de las actividades productivas en todo el territorio, liberando de presión a las parcelas agrícolas. Generalmente en los sitios en donde el terreno es de propiedad comunal el manejo es más importante a escala de paisaje; en cambio, en los sitios donde la propiedad es privada (pequeña propiedad), el manejo se hace más intenso en las parcelas, pero en el sentido de uso múltiple de los recursos; es decir, en un sólo espacio tienen que mantener el cultivo, pero también especies para leña, madera, medicina, frutales, etc, lo que puede resultar en un SAF inclusive con mayor cobertura. Principalmente en los terrenos ejidales y de pequeña propiedad privada, se suele parcelar más, al tener que dar tierra a los hijos se dividen las parcelas y se puede intensificar más la agricultura.

Huertos

En los huertos de la región se han registrado hasta el presente un total de 376 especies, de las cuales 245 (65%) son nativas y 131 (35%) introducidas. Estas especies se agrupan en 68 familias y 167 géneros. Las familias más importantes por el número de especies que agrupan son la Cactaceae (48), Rutaceae (22), Asteraceae (20), Lamiaceae (18), Leguminosae (18), Solanaceae (17), Crassulaceae (13), Agavaceae (12) y Cucurbitaceae (12). En cuanto a los géneros más importantes por el número de especies que agrupan están: *Agave* (6), *Citrus* (5), *Opuntia* (5), *Echeveria* (4), *Ficus* (4), *Prunus* (4), *Sedum* (4) y *Solanum* (4). Las categorías de uso más importantes que se documentaron en los huertos fueron: Alimento (123), ornamental (106) y medicinal (84). Las restantes 13 categorías agrupan entre 1 y 11 especies distintas.

DISCUSIÓN

Siendo el VTC una región de reconocida importancia biológica y cultural (Casas *et al.*, 2001; Dávila *et al.*, 2002; Lira *et al.*, 2009), los SAF son sitios donde podemos ver expresada la historia de la interacción del hombre con su medio, son espacios dinámicos donde se conjugan propósitos productivos, elementos culturales, de manejo y mantenimiento de la vegetación y con ella de distintas comunidades biológicas.

Los SAF del VTC tienen una alta capacidad de mantener la biodiversidad de la región, pues en los SAF de campo encontramos que pueden mantener en promedio 45% de la vegetación natural, habiendo sitios en los bosques de cactáceas columnares que pueden mantener hasta 97%. Son sistemas que pueden conservar no sólo riqueza de especies, sino también diversidad y cobertura vegetal que permite mantener funciones ecosistémicas de la región. En los huertos encontramos un mayor número de especies (376), aunque el 35% son exóticas, mientras que en las milpas el 88 % de las especies son nativas.

Una característica del VTC es su heterogeneidad, tanto biológica como cultural, por ello no es de asombrarse que los SAF presentes son distintos en cada comunidad, por lo que existe una alta heterogeneidad en los SAF de la región. En comunidades aisladas, como el caso de Santa María Ixcatlán, única comunidad en donde habitan los integrantes del grupo étnico ixcateco, donde se han registrado 347 especies de plantas con algún uso (Rangel-Landa y Lemus, 2002); es la única comunidad que el 100% de las especies presentes en los SAF son nativas. En Ixcatlán, en San Luis Atolotitlán y en Zapotitlán Salinas es donde las razones para el mantenimiento de la vegetación son de corte ético, como el que son parte de la naturaleza o el derecho de existir de las plantas. Ixcatlán es una comunidad que está perdiendo su lengua y obviamente con ello

cambios culturales, que habrá que estudiar si esto trae efectos en el manejo o mantenimiento de los SAF ahí presentes.

De todas las comunidades contempladas en este estudio, San Luis Atolotitlán, comunidad mestiza de origen náhuatl ubicada en la parte intermedia del Valle, es donde se registraron los niveles más altos de diversidad vegetal dentro de los SAF, en esta comunidad se tienen documentadas 280 especies de plantas útiles y reconocidas 13 categorías de uso (Torres, 2004), siendo el más importante el forrajero dentro de los SAF (Moreno-Calles *et al.*, 2012). En esta comunidad es donde las razones para mantener vegetación además de ser éticas, es donde hay más número de razones distintas y que sólo se mencionaron ahí, como como mantenimiento del paisaje, por prestigio, por reglas de uso y para almacenaje de rastrojo.

Una comunidad que se encuentra en la parte alta, en los bosques de pino, es San Lorenzo Pápalo, comunidad indígena donde se mantiene la lengua cuicateca. Ahí se tienen registradas 367 especies útiles, siendo la categoría más importante las forrajeras (Solís, 2006), mientras en los SAF la categoría de uso más importante es la sombra. Los SAF presentes se encuentran embebidos en el bosque de pino encino, y mantienen en promedio 60 individuos de árboles por parcela, principalmente encinos, ya que estos los cortan pero de tal manera que pueden rebrotar. Se mantienen para que en el momento en que se deje descansar la parcela, exista una cobertura vegetal la cual proteja el suelo, el abono de las hojas para la fertilidad y mantenga la humedad. La productividad en esta comunidad ha ido a la baja, por lo que se ha incrementado el uso de agroquímicos y con ello, en algunos casos, la pérdida de cobertura de vegetación (Vallejo *et al.*, 2014).

En Santiago Quiotepec, el uso de un amplio espectro de recursos vegetales silvestres continúa siendo parte fundamental en los patrones de subsistencia de los pobladores. Cerca del 10% de la

flora regional se encuentra representada en la comunidad como flora útil. Destaca la considerable diversidad de recursos para la alimentación y salud humana, así como para la crianza de animales domésticos (Pérez Negrón, 2002). En la actualidad la comunidad atraviesa por un proceso de pérdida de conocimiento tradicional y un incremento de huertas de frutales; sin embargo, los SAF presentes aun guardan técnicas antiguas de manejo y usos de la vegetación y de agricultura, es la comunidad de la parte baja del Valle que mantiene mayor número de especies.

Zapotitlán Salinas es una comunidad mestiza de origen mixteco, se encuentra en los valles aluviales. Los SAF de esta comunidad son los que mantienen mayor número de individuos de especies vegetales y de especies nativas de esta parte del Valle. Conservan bordos llamados meteplantes o melgas, arregladas además en forma de gajos para evitar la erosión y el mejor manejo del agua. En cada uno de los escalones de los bordos, llamados cabezales, es donde se mantiene la vegetación, tolerando todo lo que ahí crece y protegiendo las especies más apreciadas como la pata de elefante (*Beaucarnea gracilis*) endémica a la región.

La comunidad donde los SAF fueron más pobres, tanto en número de especies, como en número de individuos de especies vegetales, diversidad y cobertura, fue San José Axusco. Es una comunidad náhuatl ubicada en la parte baja del Valle, donde la principal actividad productiva es la agricultura intensiva de caña de azúcar. Existen pocas milpas destinadas al autoconsumo y se encuentran bajo la presión a cambiar hacia el cultivo de caña.

Con estos ejemplos, se ve la estrecha relación que existe entre los aspectos culturales, económicos y las características ecológicas dentro de los SAF del área que nos concierne. Los campesinos son quienes establecen relaciones más estrechas con los sistemas, lo que hace que lleguen a ser profundos conocedores de las especies. Son ellos los que determinan los objetivos de la selección, tomando en cuenta el lugar donde habitan y sus necesidades, extendiéndose sus

conocimientos de generación en generación, y recabando información sobre los nuevos usos o nuevas especies.

Cuando se revisan los factores que influyen en las características de los SAF, se observa que los factores son interdependientes, es decir que no son aislados, no es que un sólo factor determine a los SAF, intervienen los aspectos ecológicos, los propósitos productivos, las características del terreno, los aspectos culturales, las técnicas implementadas, y no es fácil discernir cual es la determinante o cual depende de cual. Por ello, al estudiar este tipo de sistemas, es fundamental considerar a todos los factores en su conjunto, que permita tener la historia más completa de los procesos dinámicos que envuelven a los sistemas agroforestales.

CONCLUSIONES

Los SAF del VTC son reservorios para la conservación de la biodiversidad nativa, debido a que logran mantener altos niveles de riqueza y diversidad vegetal, de manera similar a lo encontrado en la vegetación natural.

De igual manera, los SAF son reservorios de aspectos culturales, ya que ahí se mantienen técnicas de manejo tradicional, así como conocimientos milenarios resultado de la estrecha relación del hombre con su medio, expresado en el uso múltiple de los recursos, la cantidad de especies útiles, el número de categorías de uso y las razones para el mantenimiento de especies vegetales. Al ser el VTC un espacio heterogéneo biológica y culturalmente, brinda en cada comunidad que lo compone, particularidades que responden a las características locales, la cultura, la presencia o ausencia de rasgos indígenas, las características ecológicas, que resultan en prácticas de manejo distintas y con ello en SAF diferentes.

Algo común a todos los SAF de la región es la presión a la que están sometidos, debido principalmente a la intensificación agrícola, ocasionando en la mayoría de los casos la pérdida en la cobertura vegetal. Este problema es más notable en los SAF presentes en la parte baja del Valle, lo que se expresa en el poco número de especies y coberturas reportados en estos sistemas. Aunque se identificó la intensificación agrícola como un factor de presión a la pérdida de los SAF, no es el único factor que participa en las características que tienen los SAF de esta región. La historia del uso del suelo, la tenencia de la tierra, las capacidades productivas, las características de los terrenos, los aspectos ecológicos, los valores culturales y las reglas comunitarias, son algunos de los factores que interactúan y tornear a los SAF del VTC.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las comunidades del Valle de Tehuacán, por permitirnos trabajar y conocer sus territorios y compartirnos sus conocimientos. También agradecemos Laboratorio Ecología y Evolución de Recursos Vegetales, CIECO, UNAM, ya que este trabajo es fruto de años de estudios ahí realizados. Proyectos participantes: PAPIIT IA203213-2 ‘Caracterización de sistemas agroforestales desde un enfoque biocultural’ y IN209214 ‘Domesticación y manejo in situ de recursos genéticos forestales en Mesoamérica’. CONACYT Proyecto CB-2013-01-221800 ‘Domesticación y manejo in situ de recursos genéticos en el Nuevo Mundo: Mesoamérica, Los Andes y Amazonia’.

LITERATURA CONSULTADA

- Albuquerque U, Andrade L, Caballero J. 2005. Structure and Floristics of Homegardens in Northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments* 62:491-506.
- Altieri M, Toledo VM. 2005. Natural Resource Management among Small-scale Farmers in Semi-arid Lands: Building on Traditional Knowledge and Agroecology. *Annals of Arid Zone* 44(3&4): 365-385.
- 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.
- Blancas J, Casas A, Rangel-Landa S, Moreno-Calles A, Torres I, Pérez-Negrón E, Solís L, Delgado-Lemus A, Parra F, Arellanes Y, Caballero J, Cortés L, Lira R, Dávila P. 2010. Plant Management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany* 64:287-302.
- Blanckaert I, Vancraeynest K, Swennen RL, Espinosa-García FJ, Piñero D, Lira R. 2007. Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semiarid production of Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 39-48.
- Casas A, Caballero J, Mapes C, Zárate S. 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61: 31-47.
- Casas A, Valiente-Banuet A, Viveros JL, Caballero J. 2001. Plant resources of the Tehuacán Valley, México. *Economic Botany* 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. *Biodiversity Conservation* 15: 879-898.
- Casas A, Otero-Arnaiz A, Pérez-Negrón E, Valiente-Banuet A. 2007. *In situ* management and Domestication of Plants in Mesoamerica. *Annals of Botany* 100: 1101-1115.
- Casas A, Rangel-Landa S, Torres-García I, Pérez-Negrón E, Solís L, Parra F, Delgado A, Blancas J, Farfán B, Moreno-Calles AI. 2008. *In situ* Management and Conservation of Plant Resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: An Ethnobotanical and Ecological Perspective. In: De Albuquerque U, Alves-Ramos M, (Eds). *Current Topics in Ethnobotany*. Research Signpost, Kerala, India. 1-25 pp.
- Dávila P, Arizmendi MC, Valiente-Banuet A, Villaseñor JL, Casas A, Lira R. 2002. Biological Diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity Conservation* 11: 421-441.
- Dechert G, Veldkamp E, Anas I. 2004. Is soil degradation unrelated to deforestation? Examining soil parameters of land use systems in upland Central Sulawesi, Indonesia. *Plant Soil* 265: 197-209.
- Donald PF. 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 chichi* Beckeberg en el Valle de Tehuacán- Cuicatlán, México. Tesis de

- Maestría. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán.
- Jose S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76:1-10.
- Kumar B, Nair P. 2004. The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* 61:135–152.
- Larios C, Casas A, Vallejo M, Moreno-Calles AI, Blancas J. 2013. Plant management and biodiversity conservation in Náhuatl homegardens of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9:74.
- 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. *Economic Botany* 63: 271-287.
- MacNeish RS. 1967. A summary of subsistence. In: Byers DS (ed), *The prehistory of the Tehuacán Valley: Environment and Subsistence* vol.1. University of Texas Press, Austin, Texas, pp 290-309
- Montagnini F. 2006. Homegardens of Mesoamerica: biodiversity, food security, and nutrient management. In Kumar B, Nair P. *Tropical Homegardens: A Time Tested Example of Sustainable Agroforestry*. The Netherlands: Springer 61–84 pp.
- Moreno-Calles A, Casas A, Blancas J, Torres I, Rangel-Landa S, Pérez-Negrón E, Caballero J, Masera O, García-Barrios L. 2010. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central México. *Agroforestry Systems* 80:315-331.
- Moreno-Calles A, Casas A, García-Frapolli E, Torres-García I. 2012. Traditional agroforestry systems of multi-crop “milpa” and “chichipera” cactus forest in the arid Tehuacán Valley, Mexico: their management and role in people’s subsistence. *Agroforestry Systems* 84(2):207-226.
- Nabhan GP. 2007. Agrobiodiversity change in a Saharan desert oasis, 1919–2006: historic shifts in Tasiwit (Berber) and Bedouin crop inventories of Siwa, Egypt. *Economic Botany* 61:31–43.
- Nair PKR, Kumar B. 2006. *Introducion*. In Kumar BM, Nair PKR (Eds). *Tropical Homegardens: A Time-Tested Example of Sustainable Agroforestry*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Nair PKR. 2011. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality* 40: 784–790.
- Parra F, Pérez-Nasser N, Pérez Salicrup D, Lira R, Casas A. 2008. Populations genetics and process of domestication of *Stenocereus pruinosus* in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Arid Environments* 72: 1997-2010.
- Parra F, Casas A, Peñaloza-Ramírez JM, Cortés Palomec AC, Rocha Ramírez V, González-Rodríguez A. 2010. Evolution under domestication: ongoing artificial selection and divergence of wild and managed *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) populations in the Tehuacán Valley, Mexico. *Annals of Botany* 483-496.

- Pulido M, Pagaza-Calderón E, Martínez-Ballesté A. 2008. Home garden as an alternative for sustainability: Challenges and perspectives in Latin America. In De Albuquerque U, Alves-Ramos M (Eds). *Current Topics in Ethnobotany*. Research Signpost, Kerala, India.
- Rangel-Landa S, Lemus R. 2002. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales entre los ixcatecos de Santa María Ixcatlán, Oaxaca. Tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F.
- Solis L. 2006. Etnoecología cuicateca en San Lorenzo Pápalo, Oaxaca. Tesis de maestría, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.
- Torquebiau E. 1992. Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 41:189-207.
- Torres I. 2004. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla, México. Tesis Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Tscharntke T, Clough Y, Bhagwat SA, Buchori D, Faust H, Hertel D, Hölscher D, Juhbandt J, Kessler M, Perfecto I, Scherber C, Schroth G, Veldkamp E, Wanger TC. 2011. Multi-functional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. *Journal of Applied Ecology* 48:619-629.
- Valiente-Banuet A, Solís L, Dávila P, Arizmendi MC, Silva PC, Ortega-Ramírez J, Treviño CJ, Rangel-Landa S, Casas A. 2009. *Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Impresora Transcontinental, México.
- Vallejo M, Casas A, Blancas J, Moreno-Calles AI, Solís L, Rangel-Landa S, Dávila P, Téllez O. 2014. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: indigenous cultures and biodiversity conservation. *Agroforestry Systems* 88:125–140.
- Wilken G .1977. Integrating forest and small-scale farm systems in Middle America. *Agro-Ecosystems* 3:291-302.

Figura 1. Ubicación del Valle de Tehuacán – Cuicatlán.

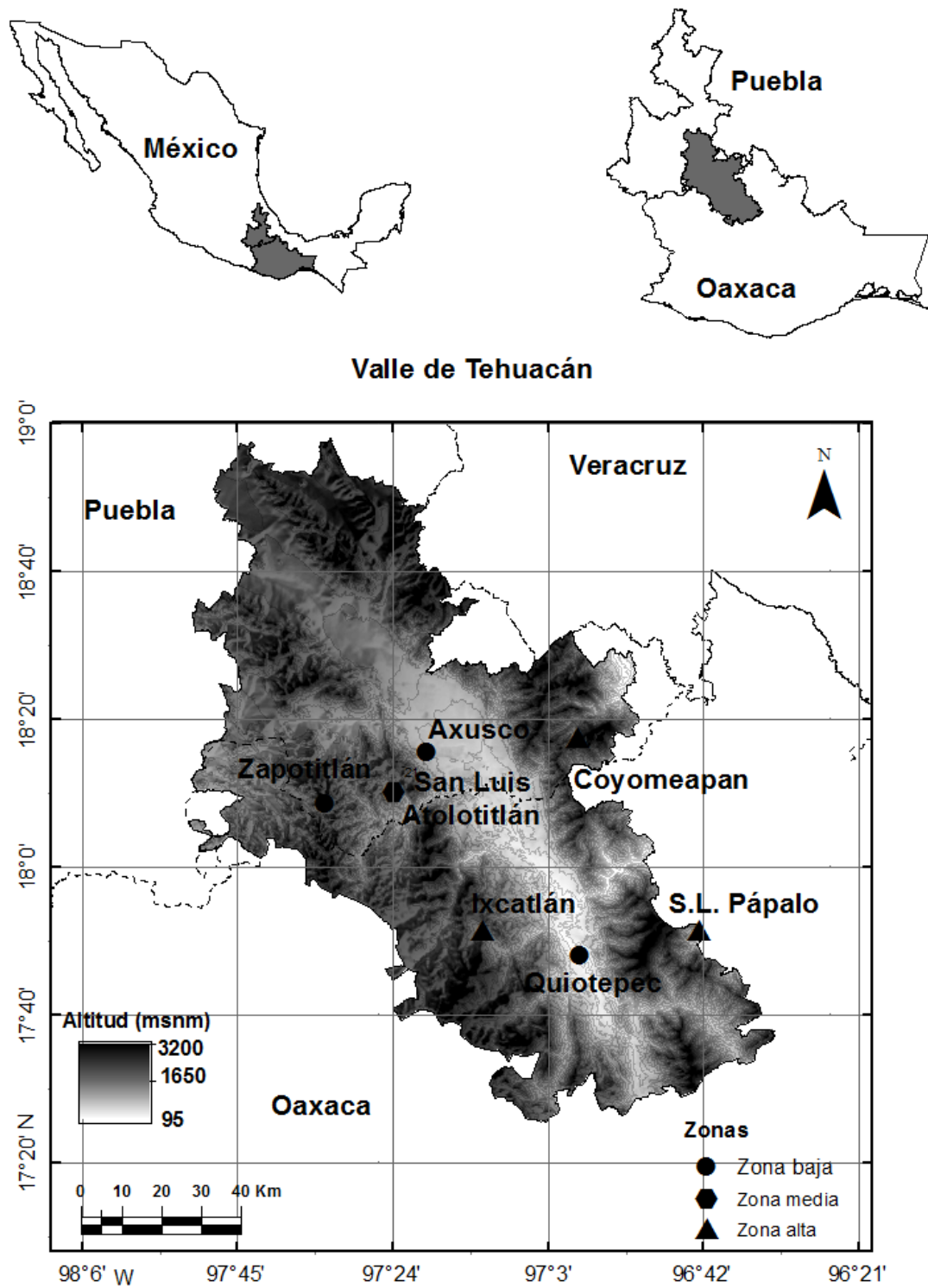


Figura 2. Esquema de los distintos arreglos de la vegetación de los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán. La composición florística presentada es esquemática.



Tabla 1.-Características de las comunidades consideradas en el estudio

Zonas	Estado	Comunidad	Composición étnica	Altitud	Ubicación		Precipitación media anual	Tipo de vegetación
					N	W		
Zona alta	Puebla	Coyomeapan	Nahuatl	2000-3200	18°16'58.9"	96°59'33.64"	2200mm	Bosque de pino y pino-encino
	Oaxaca	San Lorenzo Pápalo	Cuicateco	1800-3000	17°54'07.3"	96°51'38.5"	900mm	Bosque de pino-encino y encino-pino
	Oaxaca	Santa María Ixcatlán	Ixcateco	2020-2200	17°51'10.5"	97°12'28.7"	600mm	Bosque de encino y Bosque de <i>juniperus</i>
Zona media	Puebla	San Luis Atolotitlán	Mestiza-Nahuatl	1700	18°11'20.15"	97°25'40.73"	407mm	Bosque de cactáceas columnares
Zona baja	Puebla	Zapotitlán Salinas	Mestiza-Mixteco	1500	18°19'44.17"	97°28'29.54"	450 mm	Mezquitales y matorral xerófilo
	Puebla	San José Axusco	Nahuatl	960	18°13'52.29"	97°12'28.59"	350 mm	Mezquitales y bosque seco
	Oaxaca	Santiago Quiotepec	Cuicateco	545	18°03'23.27"	97°04'06.03"	500 mm	Mezquitales y bosque seco

Tabla 2. Trabajos revisados de huertos en comunidades indígenas y mestizas que se encuentran dentro de la Reserva de Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

Referencia	Autor(es)	Año	Vegetación Asociada	Comunidad de estudio	Grupo cultural al que hace referencia
Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales entre los ixcatecos de Santa María Ixcatlán, Oaxaca. B.Sc. thesis, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.	Rangel-Landa S. y R. Lemus	2002	Mexical, Palmar, Bosque de encino y Vegetación Riparia	Santa María Ixcatlán, Oaxaca, México.	Ixcatecos
Etnoecología cuicateca: Recursos bióticos y subsistencia campesina. Tesis Maestría, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México.	Solis-Rojas L.	2006	Bosque de Pino-Encino, Matorral micrófilo, Seva Baja Caducifolia y Bosque de cactáceas columnares	San Lorenzo Pápalo, Oaxaca, México.	Cuicatecos
Floristic composition, plant uses and management practices in homegardens of San Rafael Coxcatlán, Valley of Tehuacán-Cuicatlán, Mexico. <i>Journal of Arid Environments</i> 57:39–62.	Blanckaert I. et al.	2004	Matorral micrófilo, Selva Baja Caducifolia	San Rafael Coxcatlán	Mestizos
Estudio etnobotánico de Zapotitlán Salinas, Puebla. <i>Acta Botánica Mexicana</i> 79:13–61.	Paredes Flores, M.	2007	Matorral micrófilo, Bosque de Cactáceas columnares	Zapotitlán Salinas, Puebla, México.	Mestizos
Etnobotánica y actividad antimicrobiana de algunas plantas utilizadas en la medicina tradicional del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis Doctoral. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Posgrado en Ciencias Biológicas. UNAM.	Hernández-Delgado C.T.	2004	Matorral micrófilo, Bosque de Cactáceas columnares	Zapotitlán Salinas, Puebla, México.	Mestizos
Plant management and biodiversity conservation in Náhuatl homegardens of the Tehuacán Valley, Mexico. <i>Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine</i> 2013, 9:74	Larios, C. et al.	2013	Bosque de Pino-Encino, Matorral micrófilo, Seva Baja Caducifolia, Bosque Mesófilo y Selva Mediana Perennifolia	Santa María Coyomeapan, Puebla, México.	Nahuas
Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en las comunidades mixtecas de San Pedro	Echeverría, Y.	2003	Mexical, Bosque de encino	San Pedro Nodón y San Pedro Jocotipac,	Mixtecos

Nodón y San Pedro Jocotipac, Oaxaca, México. Tesis Licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.				Oaxaca, México.	
Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla, México. Tesis Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.	Torres, I.	2004	Matorral micrófilo, Bosque de cactáceas columnares	San Luis Atolotitlán, México.	Mestizos
Etnobotánica y aspectos ecológicos de las plantas útiles de Santiago Quiotepec, Cuicatlán, Oaxaca. Tesis Licenciatura, Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.	Pérez-Negrón, E.	2002	Bosque de Cactáceas columnares y Vegetación ripiaría	Santiago Quiotepec, Oaxaca, México.	Mestizos
Plantas comestibles en la Sierra Negra de Puebla, México. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo Edo. de Mex.	Mota, C.	2007	Selva Mediana Perennifolia	Tepepan de Zaragoza y la Guacamaya, Puebla, México.	Nahuas
Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán–Cuicatlán Valley, Central México. <i>Agrofor Syst</i> 80:315–331	Moreno-Calles, A. et al.	2010	Matorral micrófilo, Bosque de cactáceas columnares	San Luis Atolotitlán, México.	Mestizos
Diagnóstico de las plantas silvestres, arvenses y ruderales que son empleadas como alimento por habitantes de cuatro localidades del Valle de Tehuacán-Cuicatlan.	Pardo-Núñez J.	2001			
Estudio de los huertos familiares en el Municipio de Coxcatlán, Puebla. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores-Iztacala. UNAM.	Hernández Soto, D.	2009	Matorral micrófilo, Bosque de cactáceas columnares	Coxcatlán, Puebla, México.	Mestizos

Tabla 3. Prácticas de manejo. BT bosques templados, BCC: bosque de cactáceas columnares.

	Toleradas	Trasplantadas	Protegidas	Cultivadas
BT	62%	6%	22%	9%
BCC	67%	35%	35%	
Mezquiales	81%	2%	7%	10%
Huertos	25%	12%		63%

Tabla 4. Razones para el mantenimiento de especies silvestres en los sistemas agroforestales, en las distintas comunidades evaluadas.

Razones para el mantenimiento de especies silvestres	Zona alta			Zona media	Zona baja		
	Coyomeapan	San Lorenzo Pápalo	Santa María Ixcatlán	San Luis Atolotitlán	Santiago Quiotepec	Zapotitlán Salinas	San José Axusco
Utilitarias	Comestibles	16%	0	0	12%	9%	15%
	Leña	16%	18%	6%	11%	10%	
	Forraje	0	0	6%	22%	9%	7.5%
	Fruta	26%	9%	0%		27%	
	Herramientas	0	0	20%	1%		7.5%
	Medicina	11%	0	0%	15%	9%	
	Madera	10%	0	0			
	Construcción				2%		
	Bebidas			1%	1%		
Beneficios ecosistémicos	Sombra	11%	27%	25%	6%	18%	7.5%
	Mantenimiento de la fertilidad		9%		0.5%		
	Control de la erosión				2%		5%
	Control del agua					9%	10%
	Rompevientos	5%	0	0		9%	7.5%
	Atractor de lluvia	0	0	5%			
Manejo del cultivo	Delimitadores	5%	0	13%	2%		
	Guías	0	10%	6%			
	Hábitat de especies útiles				1%	20%	
	Almacenamiento				5%		
	Dar forma al terreno						
Éticas	Parte de la naturaleza	0	0	6%			
	Estético					25%	7.5%
	Ceremonial				2%		7.5%
	No afectan/no estorban	0	27%	6%		9%	15%
	Reglas de uso						7.5%

Imágenes del sistema



Zona alta de bosques templados



Zona media. Franja árida y semiárida con Bosques de cactaceas columnares



Zona baja de Valles aluviales

DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN GENERAL

El estudio de los sistemas agroforestales (SAF) del Valle de Tehuacán Cuicatlán (VTC) a escala regional permitió: (1) Evaluar la capacidad que tienen de conservar biodiversidad con base en la comparación de la vegetación existente en el bosque circundante y la que se mantiene como parte del sistema productivo, (2) identificar las prácticas de manejo agroforestal, (3) identificar los factores que intervienen en el manejo y a su vez en la configuración espacial de los SAF y en los beneficios de la gente que los maneja.

Al ser un estudio regional, se clasificó al VTC en tres grandes subregiones, la parte alta, con presencia de bosques templados, la franja semiárida de las laderas cuya vegetación dominante son los bosques de cactáceas columnares, y los valles aluviales, donde la vegetación remanente es el bosque seco y los mezquiales (Rzedowski, 1978). Dentro de cada subregión se encontraron diversos grupos culturales, nahuas, ixcatecos, cuicatecos y pobladores de las diversas comunidades, manejando activamente una gran diversidad de recursos. Tal heterogeneidad de escenarios socio-ecológicos, brindó la posibilidad de analizar las siguientes preguntas (1) ¿Qué capacidad tienen los sistemas agroforestales para mantener la biodiversidad regional? (2) ¿Es similar la capacidad de mantener biodiversidad en distintos contextos socio-ecológicos? (3) ¿Qué factores ecológicos, socio-económicos y culturales influyen en la capacidad de los sistemas agroforestales de mantener biodiversidad, y cuáles son los más relevantes?

1.-La capacidad de los sistemas agroforestales para mantener la biodiversidad regional

De acuerdo con los resultados de la investigación realizada, los SAF del VTC conservan importantes niveles de riqueza y diversidad vegetal, comparables con los de otras partes de México y del Mundo (Noble y Dirzo, 1997; Schroth *et al.*, 2004; McNeely y Schroth, 2006;

Nair, 2011; Tschardtke *et al.*, 2011). Los SAF estudiados (29 parcelas) mantienen en promedio 80% de componentes de vegetación nativa, encontrando parcelas (en la comunidad de Ixcatlán) donde el 100% de la vegetación registrada es nativa de la región. Phalan *et al.* (2011b) discuten después de revisar algunos trabajos en cafetales y cacaotales (Sonwa *et al.*, 2007; Ambinakudige and Sathish, 2009; Cassano *et al.*, 2009), que la capacidad de los SAF de conservar especies está sesgada hacia especies exóticas con usos específicos y de crecimiento rápido, lo cual no coincide en el caso de los SAF estudiados en este trabajo.

Un caso diferente son los huertos de la región, donde el porcentaje de especies exóticas es de 35%, pero en éstos el número de especies conservadas es mayor que en los sistemas estudiados en esta tesis. Larios *et al.* (2013) documentan en los huertos un total de 376 especies de plantas, mientras que el total de especies registradas en los SAF de este estudio fue de 186. Esto hace interesante explorar las diferencias de manejo en ambos sistemas agroforestales y ampliar el estudio de los huertos que permita hacer una comparación más precisa.

Los SAF de la región conservan en promedio el 46% de especies perennes de la vegetación natural circundante. Este resultado se encuentra dentro de los rangos registrados por Noble y Dirzo (1997) a nivel mundial y por Bhagwat *et al.* (2008) en los bosques tropicales húmedos.

Al considerar las tres subregiones, se encontró que el número de especies de árboles y arbustos está estrechamente relacionado con el número de especies registradas en los bosques naturales. En los bosques de cactáceas columnares se registró el mayor número de especies tanto en la vegetación natural (126 spp.) como en los SAF (87 spp.) (Moreno-Calles *et al.*, 2010). En los bosques templados se registraron 96 spp. en vegetación natural y 79 spp. en los SAF. Mientras que en los valles aluviales se encontraron 103 spp. en la vegetación natural y 66 spp. en los SAF,

siendo el sitio con mayor pérdida de especies. En cuanto a la diversidad, en los bosques de cactáceas, los SAF mantienen una diversidad similar a la de las unidades forestales (Moreno-Calles *et al.*, 2010), los SAF en los que se pierde más acentuadamente la diversidad son aquellos de los valles aluviales, donde la vegetación es menos diversa, hay un mayor número de especies exóticas y la agricultura es más intensiva. La relación intensidad agrícola – pérdida de biodiversidad está documentada en diversos trabajos, Scales y Marsden (2008) después de revisar 27 artículos que comparaban la conservación de biodiversidad en distintos SAF, encontraron que los factores que más influían en la pérdida de biodiversidad eran la intensificación de manejo y la intensificación agrícola, tendencia que se repite en los resultados de este trabajo.

Dentro de cada subregión estudiada, se observó que existen diferencias importantes entre comunidades humanas que corresponden a una misma zona ecológica. Por ejemplo, entre las comunidades de la zona templada, Coyomeapan conserva más riqueza de especies y diversidad que lo registrado en los bosques cercanos, mientras que en San Lorenzo Pápalo la riqueza y diversidad son significativamente menores que en los bosques circundantes y que los SAF de Coyomeapan.

En la franja árida, los bosques de cactáceas columnares, donde domina *Escontria chiotilla* conservan en promedio el 54% de la vegetación natural, y en donde domina *Myrtillocactus* conservan en promedio el 97% (Moreno-Calles *et al.*, 2010). Al interior de las comunidades localizadas en los valles aluviales, en Zapotitlán se registraron parcelas con hasta 33 especies y en Axusco se encontraron parcelas solamente con tres especies. El hecho de las condiciones climáticas y biológicas sean similares y sin embargo existan diferencias en las características técnicas y la capacidad de conservación de la vegetación al interior de los SAF nos lleva a

considerar que algunas de esas diferencias responden a las particularidades culturales, sociales y económicas de los manejadores de cada sitio, similar a lo reportado por Assogbadjo *et al.* (2012), quienes encontraron diferencias en los SAF presentes en tres comunidades de Benin, las cuales fueron atribuidas a factores culturales y sociales.

Debido a que son sistemas manejados por grupos humanos, la dominancia de especies útiles o de alto valor cultural y/o económico es más común que en áreas de vegetación natural, ya que éstas son deliberadamente toleradas, promovidas o cultivadas (Casas *et al.*, 2001). En los casos estudiados se encontraron especies claramente favorecidas y, por lo tanto, excepcionalmente abundantes. Son los casos de *Prosopis laevigata*, *Escontria chiotilla*, *Myrtillocactus schenckii*, *Polaskia chichipe*, así como especies de los géneros *Quercus* y *Pinus*, las cuales tuvieron los valores más altos en el índice de Valor de Importancia Ecológica (VIE).

La composición de la vegetación puede resultar crucial en procesos de regeneración natural o restauración ecológica asistida, ya que la presencia de vegetación nativa permite la disponibilidad de propágulos, presencia de dispersores, etc. (Chazdon 2003; Harvey *et al.*, 2008). El entendimiento de los SAF, su composición y dinámica ofrece pautas muy importantes para guiar el uso de los sistemas a largo plazo y dirigir su estructura para facilitar procesos asistidos de restauración. En particular hay que poner atención en las especies de distribución restringida, las cuales son poco abundantes en los SAF (García-Fernández y Pérez, 2003; Moreno-Calles *et al.*, 2010, Vallejo *et al.*, 2014).

Por todo lo anterior, retomando la hipótesis central de este estudio, la cual plantea que el contexto ambiental es un factor en las características de los SAF, expresada de la siguiente forma: “*El contexto ambiental, (entendiendo lo ambiental en su dualidad socio-ecológica); la*

riqueza y diversidad del sistema forestal del que se deriva el sistema agroforestal, influirá de manera directamente proporcional a la riqueza de especies que se encuentre en el sistema agroforestal. Asimismo, influirá la inversión de manejo motivado por el uso diversificado de los recursos y los valores intrínsecos que se le dan a la tierra". Podemos decir que las características de los bosques naturales de donde se derivaron los SAF influyen en la composición de los mismos y su capacidad de conservación de biodiversidad; pero este atributo no es *per se* determinante. Por ello, para entender el funcionamiento de los SAF del VTC, junto al contexto ecológico es necesario considerar los factores socio-económicos y culturales de los que los crean, desarrollan y manejan (Donald, 2004; Moreno-Calles *et al.*, 2013; Dawson *et al.*, 2013).

2.-Los factores socio-económicos y culturales

El VTC, es una región con una larga historia cultural (MacNeish, 1967; Casas *et al.*, 2001). Es uno de los sitios en donde se han encontrado los vestigios más antiguos de agricultura. Mac Neish (1967) propuso dos posibles sistemas originales: la horticultura de barranca, que pudo haber implicado la derivación de sistemas de irrigación en parcelas a pequeña escala en los costados de las barrancas con escurrimientos permanentes; a la otra forma la denominó horticultura de oasis, igualmente en pequeñas parcelas, en este caso asociadas a los oasis asociados a los manantiales de la región. Por su parte, Earle C. Smith (1965), un arqueobotánico, propuso que las primeras formas de agricultura en la región pudieron implicar simplemente perturbaciones del bosque para propiciar la abundancia de algunos recursos (principalmente plantas pioneras de la sucesión, entre las que abundan recursos útiles). Estas formas de perturbación han sido asociadas en otras partes del mundo con estrategias para favorecer la cacería, por lo que también podría deberse a tal propósito la perturbación intencional

del bosque. Estos modelos de agricultura primigenia aún se encuentran en debate, pues no existe suficiente información arqueológica que las sustente; pero todas ellas son posibles.

Lo importante es apreciar que sea cual sea la forma más antigua de agricultura, ésta partió del manejo del bosque y en algún momento de la historia comenzaron a coexistir los elementos humanizados o domesticados y los silvestres. Ello significa que las formas más antiguas de agricultura que involucraron el cultivo de plantas domesticadas fueron desarrolladas en SAF. Por eso, es posible afirmar que los SAF de Tehuacán constituyen la expresión de una larga historia de interacción hombre-naturaleza. De acuerdo con lo documentado en este estudio, son espacios dinámicos que integran propósitos productivos, mantenimiento de vegetación mediado por el manejo, incorporando elementos culturales y tecnológicos que a su vez responden a cambios sociales y económicos. Esta ha sido una historia de miles de años y la estructura que representan en la actualidad ha sido moldeada por siglos de cambios ecológicos, y además por cambios culturales, económicos y tecnológicos.

El presente estudio documentó que la forma de manejo más frecuente y extendida, y por lo tanto la más importante en lo SAF asociados a la milpa, es la tolerancia (Blancas *et al.*, 2010). Sólo las especies más valoradas pueden ser protegidas o propagadas. Esta forma de manejo puede compararse con lo que ocurre con los huertos, en los cuales dominan las plantas cultivadas (Blanckaert *et al.*, 2004; Larios *et al.*, 2013; Blancas *et al.*, 2013). Se registraron en total 25 razones por las cuales la gente afirma mantener plantas silvestres dentro de SAF, los más mencionados incluyen criterios utilitarios, principalmente como alimento, forraje y leña. Pero también se incluyen criterios asociados a beneficios ecosistémicos, como control de erosión y mantenimiento de la fertilidad; hasta las razones éticas, como el que son parte de la naturaleza o

el derecho de existir de las plantas. (Moreno-Calles *et al.*, 2012; Larios *et al.*, 2013; Vallejo *et al.*, 2014).

Las especies registradas en los SAF del VTC tienen un valor cultural y/o económico sumamente heterogéneo, y son igualmente variables los propósitos de ser dejadas en pie en los sistemas. Por ejemplo, Moreno-Calles *et al.* (2012) reportaron que la comunidad San Luis Atolotitán promovió la introducción de árboles exóticos en los SAF, con el fin de favorecer el establecimiento y crecimiento de *Hylocereus undatus*, una especie de cactácea epífita, por su importancia económica y cultural, generando un cambio en la composición en los SAF. Mientras que en las comunidades presentes en los valles aluviales, el mezquite (*Prosopis laevigata*) es la especie más apreciada, con un registro de ocho usos diferentes, y es sobre este árbol nativo en donde se desarrolla *Hylocereus undatus*. En este último caso, el manejo de *H. undatus* no sólo no genera un cambio en la composición, sino que fomenta la permanencia de *Prosopis* en los SAF. Este hecho es similar a los casos registrados por Assogbadjo *et al.* (2012), quienes encontraron que en tres comunidades las personas valoran de manera distinta las mismas especies. Nuestros resultados refuerzan la idea que las diferencias culturales tienen una influencia determinante en el conocimiento etnobotánico y, por lo tanto, en la valoración de las especies y en el manejo de los sistemas (Lawrence *et al.*, 2005; Vodouhê *et al.*, 2011).

En este estudio se documentaron prácticas agroforestales que están presentes en todos los SAF evaluados, como por ejemplo los cercos vivos y árboles aislados; pero otras prácticas se han ido adaptando a los cambios tecnológicos y culturales o de uso. Por ejemplo, las islas de vegetación han sido una opción para los terrenos en donde se trabaja con tractor. Otro caso es el de las semi-terrazas o bordos de tierra, presentes en los valles aluviales; en éstas originalmente la especie más valorada y por lo tanto abundante en los bordes eran los agaves. Pero éstos fueron perdiendo

valor para los pobladores, debido principalmente a que otro grupo de personas intensificó la extracción de hojas para mixiote, lo que mal manejado, implica la muerte de la planta de agave. Los dueños de los SAF, al ver que morían sus plantas decidieron dejar de promoverlos; sin embargo, el sistema de semi-terrazas se mantuvo, desarrollándose cambios en la composición de las especies que se mantienen en los bordos. Algo similar sucede en el sistema de terrazas en el estado de Tlaxcala, donde esta práctica se ha llevado a cabo por cientos de años (González-Jácome, 1993; Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Las prácticas agroforestales pueden ser también influidas por aspectos fisiográficos y económicos. En parcelas donde no hay acceso a tractor, la distribución de los árboles y arbustos al interior de la parcela se hace posible, permitiendo mantenerlos dispersos y repercutiendo en algunos casos en un aumento en la cobertura vegetal.

También se registró que la tenencia de la tierra influye de manera determinante en las características de los SAF. Por ejemplo, los SAF de Santa María Ixcatlán, donde la tenencia de la tierra es comunal, y los terrenos tienen más de dos hectáreas por comunero; la gente decide sembrar sólo una parte de la parcela, en promedio 2ha, dejando el resto del espacio para la vegetación natural de donde obtienen diversos recursos. En Coyomeapan la mayoría de los SAF son pequeña propiedad privada, con un tamaño promedio de 2 ha; esto parece determinar una estrategia de uso múltiple de los recursos, siendo parcelas particularmente diversas, manteniendo en un mismo espacio cultivos anuales, árboles frutales, árboles maderables, plantas medicinales y comestibles, generalmente distribuidos en todo el espacio.

Uno de los resultados relevantes de este trabajo, fue encontrar sistemas tradicionales combinados con técnicas agrícolas modernas, como el uso de maquinaria y agroquímicos, que pueden

mantener altos niveles de cobertura, riqueza y diversidad. Esta es una característica interesante para incluir en el debate de intensidad de manejo *versus* conservación (Altieri y Nicholls, 2000; Altieri y Toledo, 2011). Sin embargo, no es la condición más extendida, en este estudio se observó que en dos comunidades presentes en los valles aluviales con características ecológicas similares, en las dos practican agricultura intensiva con riego, maquinaria y agroquímicos. Pero en Zapotitlán Salinas los niveles de riqueza de especies leñosas son similares a lo encontrado en los bosques circundantes, donde la cobertura vegetal puede alcanzar hasta el 30%. En Axusco la historia es muy distinta, son los SAF con menor cobertura vegetal y con los niveles de riqueza y diversidad más bajos de todo el VTC y son también los manejados con métodos más intensivos.

En Axusco destaca el hecho de que es una comunidad indígena, donde la mayoría de su población es hablante de náhuatl y es la comunidad que practica métodos agrícolas más intensivos y mantiene menor cobertura y riqueza de especies; en comparación con Zapotitlán, comunidad predominantemente mestiza, y en donde los métodos agrícolas son menos intensivos y conservan mayor cobertura vegetal y riqueza de especies en sus parcelas. De acuerdo con nuestra hipótesis original, esperaríamos el patrón inverso, en concordancia con lo registrado por diversos autores como Toledo (2003), Boege (2008), Altieri y Toledo (2005). El patrón sugiere que Zapotitlán es una comunidad mestiza que está manteniendo prácticas tradicionales y Axusco es una comunidad indígena que está perdiendo prácticas tradicionales y con ello pérdidas más profundas como el conocimiento etnobotánico.

En el estudio de los valles aluviales se puede observar que la eliminación de la cubierta vegetal no es un requisito necesario en el uso intensivo de la tierra. Además, el estudio muestra que es posible y necesario reforzar los esfuerzos para aumentar la riqueza y diversidad de especies de plantas nativas en los SAF de la región.

En el VTC operan diversos programas gubernamentales. Algunos como PROCAMPO favorecen la eliminación de cubierta vegetal en las parcelas agrícolas, buscando aumentar la superficie agrícola y con ello la producción. Otros programas, como los promovidos por autoridades de la Reserva de Biosfera Tehuacán Cuicatlán, buscan fomentar la presencia de cobertura vegetal en los paisajes agrícolas mediante programas de inclusión de árboles frutales o reforestación con árboles locales. Lamentablemente varios de los programas que promueven el aumento de la cobertura vegetal no consideran a la población local, ni sus conocimientos ni sus opiniones, por lo que frecuentemente se registran fracasos en las acciones emprendidas. Por ello, diversas investigaciones han apuntado que es fundamental incluir a los pobladores y manejadores de los paisajes en procesos de participación que se dirijan hacia la conservación de biodiversidad y de la producción (Ansong and Røskaft, 2011). La selección de especies a mantener o a fomentar, las técnicas locales para lograrlo, su adaptación a la topografía, suelos, clima y vegetación locales y su armonización con los ritmos y técnicas agrícolas son todos factores decisivos en el éxito o fracaso de un programa. El carácter participativo de éstos no es entonces un discurso retórico o demagógico, sino una necesidad real.

Después de lo expuesto, regresamos a los otros factores que planteamos en nuestra hipótesis: “***La intensidad de manejo***; relacionada a su vez con el propósito de la producción, el valor del cultivo y de la capacidad intrínseca del ecosistema de intensificarse; a mayor intensidad de manejo (evaluada en términos de energía invertida, herramientas usadas y productividad), menor diversidad”. Podemos decir que en general la hipótesis es correcta, pero debe relativizarse en relación con el contexto técnico y cultural. Encontramos al menos un caso donde la intensidad de manejo no interfirió en el mantenimiento de la cobertura vegetal ni redujo la diversidad de la comunidad vegetal.

El tercer factor: “*El aprovechamiento múltiple de los recursos; a mayor presencia de uso múltiple (incluyendo elementos culturales y organización social, economía de auto-subsistencia) significará una mayor capacidad de mantener biodiversidad y viceversa*”; es decir, los aspectos culturales, juegan un papel fundamental en las decisiones que toman los dueños de los SAF, las prácticas de manejo forestal y agroforestal.

La relación cultura-lengua ha sido explorada por varios autores (Bonfil-Batalla, 1991; Hamel 1996; Ávila, 1998), donde se ha planteado que la pérdida de la lengua indígena conlleva en ocasiones a la pérdida de más elementos de la cultura propia, y por lo tanto que la conservación de la lengua indígena implica el mantenimiento de más aspectos culturales. En este estudio encontramos situaciones en las que aunque persisten elementos indígenas como la lengua, al mismo tiempo las técnicas empleadas pueden determinar pérdidas de manejo tradicional del bosque y de las parcelas agrícolas.

Integrando todo lo documentado en el presente estudio, podemos plantear que al revisar los factores que influyen en las características de los SAF, éstos son interdependientes, es decir que no son aislados. No es un sólo factor el que define que los SAF tengan determinada configuración, destino o función. Los SAF son sistemas complejos moldeados por procesos ecológicos, propósitos productivos, las características del terreno, los aspectos culturales, las técnicas implementadas; y no es simple identificar una o pocas variables determinantes, así como tampoco la relación lineal de inter-dependencia. Por ello, al estudiar este tipo de sistemas es fundamental considerar a todos los factores en su conjunto, lo cual permita tener una historia lo más completa posible, de los procesos dinámicos que envuelven a los sistemas agroforestales.

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán Cuicatlán son importantes reservorios para la conservación de la biodiversidad nativa, debido a que logran mantener altos niveles de riqueza y diversidad vegetal, similares a los encontrados en la vegetación natural. De igual manera, los SAF son reservorios de cultura, ya que ahí se mantienen técnicas de manejo tradicional, así como conocimientos milenarios resultado de la estrecha relación del hombre con su medio, expresado en el uso múltiple de los recursos, la cantidad de especies útiles, el número de categorías de uso y las razones para el mantenimiento de especies vegetales. No son aspectos estáticos, sino expresiones de procesos altamente dinámicos que acoplan las visiones tradicionales con el mundo contemporáneo.

Se considera que la cultura en cada comunidad es diferente y la preservación de rasgos indígenas es variable. Se identificó que aunque en general, los patrones de vida indígenas son más favorables para la conservación de la biodiversidad como en el uso múltiple de los recursos y los ecosistemas; la historia del uso del suelo, la intensificación agrícola, tenencia de la tierra, los aspectos ecológicos que influyen en las técnicas agrícolas y el acceso a los recursos forestales, son todos los aspectos que intervienen de manera significativa en el manejo y la capacidad de los SAF para mantener la diversidad de especies de plantas. Sin embargo, como se analiza anteriormente, no es esta una regla ni una conclusión generalizable.

Con base en los resultados y discusión de este trabajo, proponemos que enriquecer y aumentar la cobertura vegetal en los SAF es viable, factible y deseable. Con las especies locales pertinentes y técnicas locales, puede ser una estrategia prioritaria promovida por las autoridades de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, así como las autoridades locales de las comunidades. Esto

podría contribuir a mantener no sólo la diversidad vegetal, sino también la diversidad de los animales, como conectores de fragmentos de parches de vegetación secundaria y áreas forestales.

Se recomienda la inclusión de la gente que habita en la región en el proceso de elaboración de programas dirigidos a la conservación, en ese mismo sentido sugerimos el intercambio de experiencias locales exitosas como una forma de promover la recuperación y mejora de estos sistemas en áreas en las que se están perdiendo.

Por lo tanto se concluye que el estudio de los aspectos ecológicos, sociales, económicos y culturales que motivan la construcción y mantenimiento de los sistemas agroforestales, así como los que determinan su pérdida, puede contribuir de manera significativa al desarrollo de la tecnología y los criterios para las políticas públicas que contribuyan a mejorar estos sistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri MA. 1991. How best can we use biodiversity in agroecosystems. *Outlook on Agriculture* 20: 15-23.
- Altieri MA, Rosset P. 1999. Ten reasons why biotechnology will not ensure food security, protect the environment and reduce poverty in the developing world. *AgBioForum* 2(3-4):155:162.
- Altieri MA, Nicholls C. 2000. *Teoría y práctica para una agricultura sostenible*. Serie de Textos Básicos para la Formación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación ambiental para América Latina y el Caribe, México, DF.
- Altieri MA, Toledo VM. 2005. Natural Resource Management among Small-scale Farmers in Semi-arid Lands : Building on Traditional Knowledge and Agroecology. *Annals of Arid Zone* 44(3-4):365-385.
- Altieri M, Toledo VM. 2011. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies* 38:(3)587-612.
- Ambinakudige S, Sathish B. 2009. Comparing tree diversity and composition in coffee farms and sacred forests in the Western Ghats of India. *Biodiversity Conservation* 18:987-1000.
- Ansong M, Røskaft E. 2011. Determinants of attitudes of primary stakeholders towards forest conservation management: a case study of Subri Forest Reserve, Ghana. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 7(2):98-107.
- Assogbadjo AE, Glèlè Kakai R, Vodouhê FG, Djagoun CAMS, Codjia JTC, Sinsin B. 2012. Biodiversity and socioeconomic factors supporting farmers' choice of wild edible trees in the agroforestry systems of Benin (West Africa). *Forest Policy and Economics* 14:41–49.
- Astier M. 1994. *Hacia una agricultura ecológica en México. El problema de la transición para el productor campesino*. GIRA. A. C. Michoacán, México.
- Avila R. 1998. Lenguaje, medios e identidad nacional. *Revista Europea de Estudios Latinoamericanos y del Caribe/European Review of Latin American and Caribbean Studies* 105-112.
- Bawa K, Kress W, Nadkarni N. 2004. Beyond paradise-meeting the challenges in tropical biology in the 21st century. *Biotropica* 36:276-284.
- Bhagwat SA, Willis KJ, Birks HJB, Whittaker RJ. 2008 Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology & Evolution* 23:261–267.
- Blancas J, Casas A, Rangel-Landa S, Moreno-Calles A, Torres I, Pérez-Negrón E, Solís L, Delgado-Lemus A, Parra F, Arellanes Y, Caballero J, Cortés L, Lira R, Dávila P. 2010. Plant management in the Tehuacán–Cuicatlán Valley Mexico. *Economic Botany* 64:287-302.

- Blancas J, Casas A, Pérez-Salicrup D, Caballero J, Vega E. 2013. Ecological and socio-cultural factors influencing plant management in Náhuatl communities of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9:39
- Blanckaert I, Swennen RL, Paredes-Flores M, López R, Lira R. 2004. Floristic composition, plant uses and management practices in homegardens of San Rafael Coxcatlán, Valley of Tehuacán-Cuicatlán, Mexico. *Journal of Arid Environments* 57: 39–62.
- 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.
- Boffa JM. 2000. Parques agroforestales en África occidental: claves para la conservación y la sostenibilidad. *Unasylva* 51:11-17.
- Bonfil-Batalla GB. 1991. *Pensar nuestra cultura*. Alianza Editorial.
- Brussaard L, Caron P, Campbell B, Lipper L, Mainka S, Rabbinge R, Babin D, Pulleman M. 2010. Reconciling biodiversity conservation and food security: scientific challenges for a new agriculture. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2(1-2):34-42.
- Cassano CR, Schroth G, Faria D, Delabie JHC, Bede L. 2009. Landscape and farm scale management to enhance biodiversity conservation in the cocoa producing region of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity Conservation* 18:577-603.
- Casas A, Valiente-Banuet A, Viveros JL, Caballero J. 2001. Plant resources of the Tehuacán Valley, México. *Economic Botany* 55:129-166.
- Casas A, Caballero J, Mapes C, Zárate S. 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61: 31-47.
- Casas A, Rangel-Landa S, Torres-García I, Pérez- Negrón E, Solís L, Parra F, Delgado A, Blancas, J, Farfán B, Moreno-Calles A. 2008. In situ Management and Conservation of Plant Resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: An Ethnobotanical and Ecological Perspective. In De Albuquerque U and Alves-Ramos M (Eds). *Current Topics in Ethnobotany*. Research Signpost, Kerala, India. 1-25 pp.
- Chazdon RL. 2003. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 6: 51-71.
- Daily GC. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Dagang ABK, Nair PKR. 2003. Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. *Agroforestry Systems* 59:149-155.
- Dawson IK, Guariguata MR, Loo J, Weber Ard Lengkeek JC, Bush D, Cornelius J, Guarino L, Kindt R, Orwa C, Russell J, Jamnadass R. 2013. What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity in *circa situm*, *in situ* and *ex situ* settings? A review. *Biodiversity Conservation* 22:301-324.
- DeClerck FA, Chazdon RL, Holl KD, Milder JC, Finegan B, Martinez- Salinas A, Imbach P, Canet L, Zayra R. 2010. Biodiversity conservation in human-modified landscapes of

- Mesoamerica: Past, present, and future. *Special Issue: Biodiversity Conservation* 143:2301-2313.
- Donald PF. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18:17–37.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. *State of the world's forests 2005*. FAO, Rome.
- Flores A, Castillo A, Sánchez-Matías M, Maass M. 2014. Local values and decisions: views and constraints for riparian management in western Mexico. *Knowledge and management of aquatic ecosystems* 414:06.
- Frey GE, Mercer DE, Cabbage FW, Abt RC. 2010. Economic Potential of Agroforestry and Forestry in the Lower Mississippi Alluvial Valley with Incentive Programs and Carbon Payments. *Southern Journal of Applied Forestry* 34(4):176-185.
- Frey GE, Mercer DE, Cabbage FW, Abt RC. 2013. A real options model to assess the role of flexibility in forestry and agroforestry adoption and disadoption in the Lower Mississippi Alluvial Valley. *Agricultural Economics* 44: 73–91.
- García-Fernández C, Pérez MA, Ruiz M. 2003. Benzoin gardens in North Sumatra, Indonesia: effects of management on tree diversity. *Conservation Biology* 17:829–836.
- Gibbs HK, Ruesch AS, Achard F, Clayton MK, Holmgren P, Ramankutty N, Foley JA. 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *PNAS* 107(38):16732-16737.
- González-Jácome A. 1993. Management of Land, Water and Vegetation in Traditional Agro-Ecosystems in Central Mexico. *Landscape and Urban Planning* 27:141-150.
- Gordon AG, Newman S. 1998. *Temperate Agroforestry Systems*. Cabi Internacional. UK.
- Grau R, Kuemmerle T, Macchi L. 2013. Beyond “land sparing versus land sharing”: environmental heterogeneity, globalization and the balance between agricultural production and nature conservation. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5(5):477-483.
- Green RE, Cronell SJ, Scharlemann JPW, Balmford A. 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science* 307:550-555.
- Haines-Young R. 2009. Land use and biodiversity relationships. *Land use policy* 26:178-186.
- Hamel RE. 1996. Conflicto entre lenguas, discursos y culturas en México indígena: ¿La apropiación de lo ajeno y la enajenación de lo propio? En: Klesing-Rempel (Ed.) *Lo propio y lo ajeno; Interculturalidad y sociedad multicultural*. México: Plaza y Valdés Pp. 149-189.
- Harvey CA, Medina A, Sánchez DM, Vilchez S, Hernández B, Saenz JC. 2006. Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16:1986–1999.
- Harvey CA, Komar O, Robin C, Ferguson BG, Finegan B, Griffith DM, Martínez-Ramos M, Morales H, Nigh R, Soto-Pinto L, Van Breugel M, Wishnie M. 2008. Integrating Agricultural Landscapes with Biodiversity Conservation in the Mesamerican hotspot. *Conservation Biology* 22: 8-15.

- ICRAF. 2000. *Paths to prosperity through agroforestry*. ICRAF's corporate strategy, 2001-2010. Nairobi: International Centre for Research in Agroforestry.
- Jose S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76:1–10.
- Jose S. 2012. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems* 85:1–8.
- Krishnamurthy L, Ávila M. 1999. *Agroforestería básica. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental N° 3*. México D.F., México.
- Kumar BM, Nair PKR. 2004. The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* 61:135-152.
- Lappe FM, Collins J, Rosset P. 1998. *World hunger: twelve myths*. New York: Grove Press.
- Larios C, Casas A, Vallejo M, Moreno-Calles AI, Blancas J. 2013. Plant management and biodiversity conservation in Náhuatl homegardens of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9:74.
- Lawrence A, Philips OL, Ismodes AR, Lopez M, Rose S, Wood D, Farfan AJ. 2005. Local values for harvested forest plants in Madre de Dios, Peru: towards a more contextualized interpretation of quantitative ethnobotanical data. *Biodiversity and Conservation* 14:45-79.
- Organización Mundial de la Salud. 2013. <http://www.who.int/features/factfiles/obesity/es/>
- MacNeish RS. 1967. A summary of subsistence. In: Byers DS (Ed) *The prehistory of the Tehuacán Valley: Environment and Subsistence*. Vol.1. Edited by University of Texas Press, Austin, Texas, Pp 290-309.
- McNeely J, Schroth G. 2006. Agroforestry and Biodiversity Conservation – Traditional Practices, Present Dynamics, and Lessons for the Future. *Biodiversity Conservation* 15(2):549-554.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005a. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Montagnini F. 2006. Homegardens of Mesoamerica: biodiversity, food security, and nutrient management. In Kumar BM, Nair PKR (Eds) *Tropical Homegardens: A Time Tested Example of Sustainable Agroforestry*. The Netherlands: Springer 61-84 pp.
- Moreno-Calles AI, Casas A, Blancas J, Torres I, Pérez-Negrón E, Caballero J, Masera O, García-Barrios L. 2010. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *Agroforestry Systems* 80(3): 315-331.
- Moreno-Calles A, Casas A, García-Frapolli E, Torres-García I. 2012. Traditional agroforestry systems of multi-crop “milpa” and “chichipera” cactus forest in the arid Tehuacán Valley, Mexico: their management and role in people’s subsistence. *Agroforestry Systems* 84(2):207-226.

- Moreno-Calles AI, Toledo VM, Casas A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Science* 91(4): 375-398.
- Moreno-Calles A, García-Luna V, Casas A, Toledo VM, Vallejo M, Santos-Fita D, Camou-Guerrero A. 2014. La Etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología* 12(3):1-16.
- Nabhan GP, Amadeo MR, Reichhardt KL, Mellink E, Hutchinson CF. 1982. Papago influences on habitat and biotic diversity: Quitovac oasis ethnoecology. *Journal of Ethnobiology* 2:124-143.
- Nabhan GP. 2007. Agrobiodiversity change in a Saharan desert oasis, 1919–2006: historic shifts in Tasiwit (Berber) and Bedouin crop inventories of Siwa, Egypt. *Economic Botany* 61:31–43.
- Nair PKR. 2011. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality* 40:784–790.
- Nandy S, Kumar Das A. 2013. Comparing tree diversity and population structure between a traditional agroforestry system and natural forests of Barak valley, Northeast India. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 9(2):104-113.
- Noble I, Dirzo R. 1997. Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277:522-525.
- Phalan B, Onial M, Balmford A, Green RE. 2011a. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science* 333:1289-1291.
- Phalan B, Balmford A, Green RE, Scharlemann J. 2011b. Minimising the harm to biodiversity of producing more food globally. *Food Policy* 36:S62–S71.
- Perfecto I, Armbrecht I, Philpott SM, Soto-Pinto L, Dietsch TM. 2007. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. In Tschardt T, Leuschner C, Zeller M, Guhadja E, Bidin A (Eds.). *The Stability of Tropical Rainforest Margins, Linking Ecological, Economic and Social Constraints of Land Use and Conservation*. Environmental Science Series, Springer Verlag, Berlin. Pp. 227–264.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134:173-200.
- Pulido MT, Pagaza-Calderón M, Martínez-Ballesté A, Maldonado-Almanza B, Saynes A, Pacheco RM. 2008. Home gardens as an alternative for sustainability: challenges and perspectives in Latin America. In Albuquerque UP, Alves-Ramos M (Eds.). *Current Topics in Ethnobotany*. Kerala, India: Research Signpost. Pp 55–79.
- Prasad K. 2006. Linking trees on farms with biodiversity conservation in subsistence farming systems in Nepal. *Biodiversity and Conservation* 15:631-646.
- Rosset PM, Altieri MA. 1997. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources: An International Journal* 10(3):283-295.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México.

- Scales BR, Marsden SJ. 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 GG, da Fonseca AB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AMN. 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, USA.
- Sinclair FL. 1999. A general classification of agroforestry practice. *Agroforestry Systems* 46: 161–180.
- Smith E. 1965. Agriculture, Tehuacan Valley. *Fieldiana Botany* 31:53–100.
- Sonwa D, Nkongmeneck B, Weise S, Tchataat M, Adesina A, Janssens M. 2007. Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodiversity Conservation* 16:2385–2400.
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Caballero-Nieto J. 2002. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55:37-45.
- Swift MJ, Vandermeer J, Ramakrishnan PS, Anderson JM, Ong CK, Hawkins BA. 1998. Biodiversity and Agroecosystem Function. In Mooney HA, Cushman JH, Medina E, Sala OE, Schulze DE (Eds). *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. Chichester, New York, Brisbane, Toronto and Singapore, John Wiley & Sons. 262-294 pp.
- Toledo VM, Ortiz-Espejel B, Cortés L, Moguel P, Ordoñez M. 2003. The multiple use of tropical forests by indigenous peoples in Mexico: a case of adaptive management. *Conservation Ecology* 7:9.
- Torquebiau E. 1992. Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 41: 189-207.
- Tougiani A, Chaibou G, Rinaudo T. 2009. Community mobilization for improved livelihoods through tree crop management in Niger. *Geographical Journal* 74:377-389.
- Tscharntke T, Klein AM, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity –ecosystem services management. *Ecology Letters* 8:857–874.
- Tscharntke T, Clough Y, Bhagwat SA, Buchori D, Faust H, Hertel D, Hölscher D, Jührbandt J, Kessler M, Perfecto I, Scherber C, Schroth G, Veldkamp E, Wanger TC. 2011. Multi-functional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. *Journal of Applied Ecology* 48: 619–629.
- Vallejo M, Casas A, Blancas J, Moreno-Calles AI, Solís L, Rangel-Landa S, Dávila P, Tellez O. 2014. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: Indigenous culture and biodiversity conservation. *Agroforestry Systems* 88:125-140.
- Vodouhê FG, Coulibaly O, Biaou G, Sinsin B. 2011. Traditional Agroforestry Systems and Biodiversity Conservation in Benin (West Africa). *Agroforestry Systems* 82:1–13.
- Wiersum KF. 1997. Indigenous exploitation and management of tropical forest resources: an evolutionary continuum in forest-people interaction. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 63(1):1–16.