



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD**

**MANEJO TRADICIONAL Y ECOLOGÍA: BASES PARA LA CONSERVACIÓN DE**  
**BIODIVERSIDAD Y ECOSISTEMAS DE BOSQUE TROPICAL SECO**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**FRANCISCO JAVIER RENDÓN SANDOVAL**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DRA. ANA ISABEL MORENO CALLES**  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA, UNAM  
**DR. EDUARDO GARCÍA FRAPOLLI**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**MORELIA, MICHOACÁN, SEPTIEMBRE, 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ENTIDAD IIES-M

OFICIO CPCB/800/2021

ASUNTO: Oficio de Jurado

**M. en C. Ivonne Ramírez Wence**  
Directora General de Administración Escolar, UNAM  
**P r e s e n t e**

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **24 de mayo de 2021**, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **DOCTOR EN CIENCIAS**, del estudiante **RENDÓN SANDOVAL FRANCISCO JAVIER**, con número de cuenta **512027106** con la tesis titulada **“MANEJO TRADICIONAL Y ECOLOGÍA: BASES PARA LA CONSERVACIÓN DE BIODIVERSIDAD Y ECOSISTEMAS DE BOSQUE TROPICAL SECO”**, realizada bajo la dirección del **DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DRA. MARIANA VALLEJO RAMOS  
Vocal: DR. JOSÉ JUAN BLANCAS VÁZQUEZ  
Vocal: DRA. MARTA ASTIER CALDERÓN  
Vocal: DR. JOSÉ ARNULFO BLANCO GARCÍA  
Secretario: DRA. ANA ISABEL MORENO CALLES

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**  
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 26 de agosto de 2021

**COORDINADOR DEL PROGRAMA**



**DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA**



**COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Unidad de Posgrado, Edificio D, 1º Piso. Circuito de Posgrados, Ciudad Universitaria  
Alcaldía Coyoacán. C. P. 04510 CDMX Tel. (+5255)5623 7002 <http://pbiol.posgrado.unam.mx/>

## AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

- ❖ Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM
- ❖ Al Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES, UNAM Campus Morelia)
- ❖ Al CONACyT por la beca recibida para poder realizar mis estudios de doctorado
- ❖ A los financiamientos para llevar a cabo el trabajo de campo del CONACyT (Proyecto A1-S-14306 *Evolución de recursos genéticos en los centros de domesticación de América: origen, difusión y diversificación en Mesoamérica, los Andes y Amazonia*); CONABIO (Proyecto RG023 *Manejo y domesticación de agrobiodiversidad en Mesoamérica: bases para la soberanía alimentaria sustentable*), y DGAPA, UNAM (Proyecto IN206520 *Domesticación y manejo in situ de recursos genéticos en el Nuevo Mundo: Mesoamérica, la región andina, amazónica y el nordeste de Brasil*)
- ❖ A mi tutor principal, el Dr. Alejandro Casas Fernández por todo su apoyo durante mi proceso de formación académica
- ❖ A mi comité tutorial, la Dra. Ana Isabel Moreno Calles y el Dr. Eduardo García Frapolli por su asesoría y orientación a lo largo del doctorado



## AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

- ❖ A la compañía, afecto, comprensión y colaboración de “el badger”
- ❖ A todos mis seres –humanos– queridos (en especial a la familia y los amigos)
- ❖ A las y los campesinos de La Cañada, en Oaxaca. Especialmente a Robertina Carrera-Osorio, Filogonio Galeote-Guzmán, Chabelita, Pedro Ojeda-Romero, Socorrito, Silvino Arroyo-Medina, Arturo Ojeda-Olmos, Verónica Ojeda-Olmos, Oswaldo Castro, Socorro Ojeda-Romero (de Quiotepec), Pablo Romero-Ferrer, Félix Ferrer, Severiano Villarreal, Félix Martínez (de Cuicatlán), Valentín Roldán, Catalina López, Víctor León, Victoriano Aguilar, Jaime Coronado-Martínez, Raúl Reyes (de Dominguillo), Ema e Isidro López (de San José del Chilar)
- ❖ A los funcionarios de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán: Fernando Reyes y Leticia Soriano
- ❖ A las y los compas que colaboraron en el trabajo de campo: Perla Gabriela Sincoramos, Ignacio Torres-García, José Francisco Paz-Guerra, Gonzalo Álvarez-Ríos, Domingo Valencia-Ramírez, Selene Rangel-Landa y Saúl Gutiérrez-Ramírez
- ❖ A las y los botánicos que apoyaron la identificación taxonómica: Rosalinda Medina-Lemos, Alejandro Zabalgoitia, Ana Nuño-Rubio, Guadalupe Cornejo-Tenorio, Víctor Steinmann, Ignacio Torres-García, Dante Figueroa, Pablo Carrillo-Reyes, Eduardo Soto-Flores y Jesús Padilla-Lepe
- ❖ A los miembros del jurado del examen de candidatura: Angelina Martínez-Yrizar, José Blancas, Ana Isabel Moreno y Andrea Martínez Ballesté por acompañar este proceso
- ❖ A Mariana Vallejo por su amable apoyo y asesoría en varias fases del doctorado
- ❖ A los asesores del diseño de muestreo y de los análisis estadísticos: Mariana Vallejo, Francisco Mora Ardila (Pacho), Iván Ek-Rodríguez y Víctor Arroyo-Rodríguez
- ❖ A lxs profesorxs y compañerxs de los cursos que tomé. En especial a Hermes Machado, Bruno Pinho y Wanessa Vieira por su hospitalidad en Brasil
- ❖ Por la enorme cantidad y calidad de aprendizajes de esta etapa
- ❖ Por las experiencias gratas del trabajo de campo (paisajes, sabores, ríos, personas...)
- ❖ Por los retos bien librados
- ❖ Por los espacios-momentos de admirar, agradecer, valorar y disfrutar plenamente
- ❖ A las plantas de la maravillosa selva seca mexicana
- ❖ A la naturaleza
- ❖ A la vida

*Necesitamos habitar la Tierra con afecto y sabiduría*

## ÍNDICE

RESUMEN .....	9
ABSTRACT.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	13
La esencia del proyecto .....	13
¿Qué se sabe del tema y por qué es importante?.....	13
Las interacciones sociedad-naturaleza .....	13
El manejo tradicional implementado por las y los campesinos .....	16
Las capacidades de los sistemas agroforestales tradicionales.....	19
La selva tropical estacionalmente seca.....	23
El panorama de los sistemas agroforestales asociados a la selva seca en México.....	31
Objetivos .....	36
Hipótesis.....	36
Predicciones .....	36
Estructura de la tesis.....	37
CAPÍTULO II. PRECISIONES METODOLÓGICAS.....	39
Área de estudio.....	39
Los sistemas agroforestales tradicionales de La Cañada: milpa y huertos frutales irrigados con “apancles”.....	40
Diseño metodológico.....	42
Partición de la diversidad .....	43
Análisis cualitativo.....	46
CAPÍTULO III. SISTEMAS AGROFORESTALES TRADICIONALES Y CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD VEGETAL NATIVA DE LA SELVA SECA .....	49
CAPÍTULO IV. MOTIVACIONES CAMPESINAS PARA MANTENER LA VEGETACIÓN DEL BOSQUE TROPICAL SECO EN SISTEMAS AGROFORESTALES TRADICIONALES.....	78
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN GENERAL .....	98
Agriculturas campesinas que resguardan la biodiversidad .....	98
Motivaciones campesinas para mantener la vegetación.....	105
Perspectivas para la política pública .....	112
CONCLUSIONES .....	114
REFERENCIAS .....	116
ANEXOS .....	127

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

- Figura 1.** Sistema agroforestal tradicional –asociado a la selva tropical estacionalmente seca intercalada con cactáceas columnares– en la comunidad de Santiago Quiotepec, Oaxaca. Allí se cultiva milpa –con variedades nativas de maíz, frijol y calabaza–, así como árboles frutales (como limón, chicozapote, ciruela, mango) en coexistencia con la vegetación silvestre. .... 17
- Figura 2.** Paisaje cubierto por selva tropical estacionalmente seca (durante la temporada lluviosa) en la región de La Cañada, Santiago Domingullo, Oaxaca..... 24
- Figura 3.** Patrones geográficos de recambio de especies entre 12 grupos florísticos de selvas secas del Neotrópico. Los círculos de colores indican el número de especies presentes en distintas regiones, mientras que los círculos grises muestran el porcentaje de especies endémicas. El grosor de las líneas indica el número de especies compartidas entre regiones. Fuente: DRYFLOR (2016)..... 26
- Figura 4.** Distribución global de la selva tropical estacionalmente seca (en el año 2000), con una cobertura del dosel forestal > 40%. Fuente: Miles *et al.* (2006). .... 27
- Figura 5.** Distribución de la selva tropical estacionalmente seca en México. Fuente: Miranda & Hernández-X. (2014)..... 28
- Figura 6.** Vegetación de selva tropical estacionalmente seca intercalada con bosque de cactáceas columnares (o “cardonal” de *Pachycereus weberi*) –durante la temporada lluviosa– en Santiago Quiotepec, Oaxaca..... 29
- Figura 7.** Localización del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (con una extensión de 10,000 km<sup>2</sup>; barras horizontales) en los estados de Oaxaca y Puebla. Y zonas áridas más extensas de México: Desierto Sonorense (275,000 km<sup>2</sup>; color gris) y Desierto Chihuahuense (453,000 km<sup>2</sup>; color negro). Fuente: Rzedowski (1978), Casas *et al.* (2008) y Valiente-Banuet *et al.*, (2009). .... 39
- Figura 8.** Proceso empleado para diseñar la investigación. Fuente: Booth *et al.* (2001). .... 43

<b>Figura 9.</b> Comparación entre el porcentaje de especies silvestres mantenidas en los sistemas agroforestales tradicionales asociados a la selva seca (barra gris) y diferentes asociaciones vegetales del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. ....	101
<b>Figura 10.</b> Esquema de los paisajes óptimos –modificados por el humano– para la conservación de biodiversidad. Fuente: Arroyo-Rodríguez <i>et al.</i> (2020). ....	103
<b>Figura 11.</b> La curva de la satisfacción muestra que a medida que aumenta el consumo ( <i>Money Spent</i> ) se experimenta mayor satisfacción ( <i>Fulfillment</i> ) –hasta alcanzar la supervivencia ( <i>Survival</i> ) y algunas comodidades ( <i>Comforts</i> )–. Se plantea que existe un balance cuando se tiene lo suficiente ( <i>ENOUGH</i> ). Sin embargo, al entrar al terreno de los lujos excesivos y el derroche ( <i>Luxuries</i> ), la relación directa entre consumo y satisfacción se invierte; donde al seguir aumentando el consumo se disminuye la satisfacción. Fuente: Domínguez & Robin (1992). ....	109
<b>Tabla 1.</b> Nombres que ha recibido históricamente la selva tropical estacionalmente seca en México. ....	24
<b>Tabla 2.</b> Algunos estudios de sistemas agroforestales tradicionales asociados a selvas tropicales estacionalmente secas en México. ....	32

## RESUMEN

La transformación drástica y profunda del entorno natural –junto con sus consecuencias indeseables– es uno de los problemas actuales más apremiantes que afrontamos como sociedad. En busca de alternativas para lograr la integridad de los sistemas socioecológicos a largo plazo, exploramos la capacidad de los sistemas agroforestales tradicionales (SAFT) para mantener la vegetación nativa de la selva tropical estacionalmente seca, al mismo tiempo que brindan múltiples contribuciones que ayudan a satisfacer algunas necesidades humanas fundamentales. Realizamos un estudio en el que se combinaron abordajes provenientes de ciencias ecológicas y sociales para responder a las siguientes preguntas de investigación: ¿En qué medida los SAFT son capaces de mantener la vegetación silvestre y de proveer contribuciones para las personas? y ¿Cuáles son las motivaciones de los campesinos para mantener la vegetación silvestre dentro de sus parcelas agrícolas? Realizamos el estudio en tres comunidades de la región de La Cañada, en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca, México. Allí se realizaron nueve muestreos de vegetación para registrar la cobertura forestal mantenida por las y los campesinos en sus SAFT –mediante la implementación de prácticas agroforestales– y compararla con nueve muestreos de la vegetación nativa circundante de selva seca. También hicimos colectas etnobotánicas y tomamos fotografías para documentar los valores de las plantas al mostrarlas a los habitantes. Estimamos los números equivalentes de especies como medidas de la diversidad “verdadera” en los SAFT y la vegetación silvestre, con el fin de comparar ambos escenarios. Para identificar las principales motivaciones de los campesinos para mantener la vegetación, hicimos un análisis cualitativo a partir de entrevistas semiestructuradas con los campesinos que manejan los SAFT que estudiamos. Asimismo, realizamos dos talleres con los habitantes de las comunidades, observación participante, charlas informales y registro de notas de campo. Encontramos que los SAFT analizados son capaces de mantener 44% de la cobertura forestal, 68% de las especies (30% de ellas endémicas de México), y 53% de los individuos de plantas perennes nativas de la selva seca. En los SAFT se encontraron 96 especies de plantas útiles (73% del total registrado). La información obtenida confirma la notable capacidad de los SAFT para resguardar la biodiversidad. Por otra parte, el número total de especies registradas en los sitios de selva seca y SAFT fue similar (98 y 101 especies, respectivamente), así como los números equivalentes de especies o comunidades estimados para la diversidad alfa (19.92 y 16.08 especies), beta (2.96 y 3.10 comunidades) y gamma (56.03 y 49.89 especies, respectivamente). Sin embargo, encontramos diferencias significativas en la abundancia de individuos ( $t = 3.414$ ;  $p = 0.001$ ),

pues registramos en promedio casi el doble de individuos presentes en la selva seca (191) en comparación con los SAFT (101). El elevado recambio de especies (diversidad beta) que registramos tanto en la selva seca (72%) como en los SAFT (74%) tiene implicaciones muy relevantes para la conservación, sugiriendo que es necesario mantener varios sitios para conservar la diversidad regional de la vegetación silvestre. Aquí, la agricultura campesina ha resguardado la biodiversidad dentro de los SAFT. Por lo cual, consideramos que la justa valoración y el rescate del manejo campesino agroecológico podría formar parte primordial de las directrices de conservación. Además, identificamos que la obtención de múltiples contribuciones benéficas –que ayudan a satisfacer algunas necesidades fundamentales– representa el motivo principal de las y los campesinos para mantener componentes de la vegetación nativa –de selva seca– dentro de sus parcelas agrícolas. Estas contribuciones benéficas de la vegetación representaron la mayor parte de las contribuciones registradas (83%), mientras que solo un 17% fueron contribuciones perjudiciales. Sin embargo, estas últimas suelen tener una importancia notable para los campesinos, ya que pueden comprometer la producción agrícola (sobre todo al competir con sus cultivos por espacio, luz, agua y/o nutrientes). Al considerar que muchos campesinos viven en condiciones precarias, es razonable que las contribuciones perjudiciales de la vegetación puedan superar las contribuciones benéficas y generar una motivación determinante para eliminar la selva seca. Asimismo, dentro de las contribuciones benéficas encontramos que las contribuciones materiales son las más comunes (62%), en particular frutos comestibles, plantas medicinales, forraje y leña. Le siguen las contribuciones reguladoras (20%) como provisión de sombra, aporte de fertilidad al suelo, atracción de lluvia y mantenimiento de humedad; y las contribuciones inmateriales (18%) como fuente de sabores regionales e identitarios, plantas ornamentales, ceremoniales y rituales. Todas estas contribuciones de la vegetación al bienestar de las personas ayudan primordialmente a satisfacer necesidades fundamentales de subsistencia, protección e identidad, aunque también cubren en menor medida necesidades de afecto, entendimiento, creación, participación y ocio. Con lo cual podemos asumir que existe una relación directa entre el número de contribuciones benéficas y la posibilidad de satisfacer necesidades humanas fundamentales. En este contexto, los SAFT ilustran la importancia de valorar y mantener prácticas de manejo tradicional y relaciones sociedad-naturaleza más armónicas. Pues estas expresiones –de la agricultura campesina– son capaces de conservar la biodiversidad al mismo tiempo de satisfacer necesidades esenciales. Por ello, la continuidad, rescate, mejoramiento y promoción de los SAFT podría ser una alternativa viable para conciliar la conservación de diversidad biocultural, el bienestar humano y el cuidado de la naturaleza.

## ABSTRACT

The drastic and profound transformation of the natural environment –along with its undesirable consequences– is one of the most pressing current problems we face as a society. In search of alternatives to achieve long-term integrity of socio-ecological systems, we explored the ability of traditional agroforestry systems (TAFS) to maintain the native vegetation of the seasonally dry tropical forest while providing access to multiple contributions that help meet some fundamental human needs. We conducted a study in which we combined approaches from ecological and social sciences to answer the following research questions: In what extent are TAFS able to maintain native –dry forest– vegetation and provide contributions to people, and what are the motivations of peasants to maintain wild vegetation within their agricultural plots? We conducted a case study in three communities of La Cañada region in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Oaxaca, Mexico. There, we sampled vegetation in nine plots to record the forest cover maintained by peasants in their TAFS –through the implementation of different agroforestry practices– and compare it with nine plots samples in the surrounding native dry forest vegetation. We also made ethnobotanical collections and photographs to document the values of the plants by showing them to the inhabitants. We estimated equivalent numbers of species as measures of “true” diversity to compare the two scenarios. To identify the principal motivations to maintain the vegetation, we conducted a qualitative analysis based on semi-structured interviews with peasants who manage the TAFS we studied. In addition, we conducted two workshops with the inhabitants of the communities, participant observation, informal talks and recording of field notes. We found that the analyzed TAFS can maintain 44% of the forest cover, 68% of the species (30% of them endemic to Mexico), and 53% of the individuals of perennial plants native to the dry forest, where we registered 96 species of useful plants (73% of the total recorded). This confirms the remarkable capacity of the TAFS to safeguard biodiversity. Likewise, the total number of species recorded in the dry forest and TAFS sites was similar (98 and 101 species, respectively), as well as the equivalent numbers of species or communities estimated for alpha (19.92 and 16.08 species), beta (2.96 and 3.10 communities) and gamma diversity (56.03 and 49.89 species, respectively). However, we found significant differences in the abundance of individuals ( $t = 3.414$ ;  $p = 0.001$ ). We recorded on average almost twice as many individuals in the dry forest (191) compared to the TAFS (101). The high species turnover (beta diversity) that we recorded in both dry forest (72%) and TAFS (74%) has relevant implications for conservation, suggesting that it is necessary to maintain several sites



to conserve the regional diversity of native vegetation. Here, peasant agriculture currently safeguards –and has maintained for thousands of years– the biodiversity within the TAFS. Therefore, we consider that the fair valuation and rescue of agroecological peasant management could form a fundamental part of the conservation guidelines. We identified that obtaining multiple beneficial contributions –that help satisfy some fundamental needs– represents the main motivation of peasants to maintain components of native –dry forest– vegetation within their agricultural parcels. These beneficial contributions of vegetation represent the majority of recorded contributions (83%), while 17% corresponds to detrimental contributions. However, the latter are often of considerable importance to peasants, as they can compromise agricultural production (especially by competing with their crops for space, light, water and/or nutrients). Considering that many peasants live in precarious conditions, it is reasonable that the detrimental contributions of vegetation may outweigh the beneficial contributions and generate a determining motivation to remove wild vegetation from their parcels. Within the beneficial contributions, we found that material contributions are the most common (62%), particularly edible fruits, medicinal plants, fodder, and firewood. This is followed by regulatory contributions (20%) such as shade provision, soil fertility, rain attraction, humidity maintenance, pest control, and habitat for pollinators; and nonmaterial contributions (18%) such as source of regional flavors and identity, ornamental plants, source of inspiration, recreation and health, ceremonial and rituals. All these contributions of vegetation to people’s well-being help primarily to satisfy fundamental needs of subsistence, protection, and identity, although they also cover to a lesser extent needs of affection, understanding, creation, participation, and leisure. Thus, we can assume that there is a direct relationship between the number of beneficial contributions and the possibility of satisfying fundamental human needs. In this context, the TAFS illustrate the importance of valuing and maintaining traditional management practices and more harmonious society-nature relations. For these expressions –of small-scale peasant agriculture– are capable of conserving biodiversity while at the same time satisfying essential needs. Therefore, the continuity, rescue, improvement, and promotion of TAFS could be a viable alternative to reconcile the conservation of biocultural diversity, human well-being, and care for nature.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

### *La esencia del proyecto*

Debido a que los ecosistemas del planeta han sido sometidos a la intervención antrópica (Díaz *et al.*, 2019; Noble & Dirzo, 1997), resulta necesario incluir al ser humano en la concepción de naturaleza y dentro de los sistemas socioecológicos (Berkes & Folke, 1998), con el fin de garantizar su integridad a largo plazo (Burgui, 2015; Casas *et al.*, 2014). En busca de alternativas para lograrlo, analizamos la capacidad de la agricultura campesina para mantener la biodiversidad, al mismo tiempo que puede brindar múltiples beneficios a las personas y satisfacer algunas de sus necesidades esenciales.

La transformación drástica y profunda del entorno natural es uno de los problemas actuales más apremiantes que afrontamos como humanidad (Díaz *et al.*, 2019; Han, 2012; MEA, 2005; Ostrom, 2009; Rendón-Sandoval, 2020). En particular, los sistemas socioecológicos de selva seca destacan por su elevada diversidad biológica y endemismo, larga historia de manejo y alto grado de amenaza (DRYFLOR *et al.*, 2016; Gentry, 1995; Janzen, 1988; Miles *et al.*, 2006; Olson & Dinerstein, 2002; Rzedowski & Calderón, 2013; Trejo & Dirzo, 2002). Por ello, exploramos el punto de encuentro –entre naturaleza y sociedad– que ocurre en una de las expresiones más notables de la agricultura campesina: los sistemas agroforestales tradicionales, ya que estos podrían constituir una alternativa para conciliar el bienestar humano y la conservación biológica.

En estos sistemas es posible encontrar relaciones colaborativas que permiten la presencia de “lo otro” y que aportan beneficios o contribuciones en ambas direcciones de dicha interacción, pues resguardan la biodiversidad, mantienen funciones clave de los ecosistemas y satisfacen algunas necesidades humanas fundamentales (Altieri & Toledo, 2011; Díaz *et al.*, 2018; Max-Neef *et al.*, 1998; Perfecto & Vandermeer, 2008; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020). Por lo tanto, los sistemas agroforestales tradicionales –asociados a la selva seca– representaron la unidad de análisis para buscar y retomar ejemplos de coexistencia con relaciones afectivas de respeto, reciprocidad y responsabilidad para mantener la vida mutuamente.

### **¿Qué se sabe del tema y por qué es importante?**

#### *Las interacciones sociedad-naturaleza*

Gran parte del pensamiento antropológico hace una distinción fundamental entre naturaleza y sociedad (Pálsson, 1996). Al respecto, Hollingshead (1940) formuló ese dualismo al hablar de

los órdenes ecológico y social. Se planteaba que la teoría dualista estaba en lo correcto, prestando poca atención a la manera en que las culturas tradicionales conceptualizan la naturaleza y su relación con ella. Después surgieron corrientes de pensamiento para abordar estas relaciones, como la Ecología cultural que sugiere que la cultura está moldeada por el ambiente (Steward, 1955), la Antropología ecológica que coloca a la cultura dentro de una relación de influencia mutua con la naturaleza (Rappaport, 1971, 1990) y la Etnoecología que plantea que a la naturaleza se le interpreta y dota de significados que varían entre culturas (Conklin, 1954; Toledo, 1992, 2002).

A finales del siglo XX, la frontera entre naturaleza y sociedad seguía siendo controvertida, donde se reconoce que “la naturaleza conforma la cultura y la cultura impone significado a la naturaleza” (Descola & Pálsson, 1996: 13). Estos autores consideran que el verdadero problema reside en sostener ambas entidades como opuestas e independientes, y proponen trascender esta oposición entre naturaleza y sociedad para entenderlas como entidades inseparables tanto en su definición como en su relación.

Descola & Pálsson (1996) explican que los estudios de campo realizados en sociedades no industrializadas evidencian que no en todas las culturas existe la dualidad naturaleza-cultura. Algunos ejemplos destacados podrían ser los “jíbaros” *ashuar* del alto Amazonas, quienes consideran a la mayoría de las plantas y los animales como personas que viven en sus propias sociedades y se relacionan con los humanos de acuerdo con estrictas reglas de comportamiento social. Ahí los animales de cacería son tratados como afines a los hombres, mientras que las plantas cultivadas son tratadas como parientes por las mujeres. Entre los *makuna* –otro pueblo del alto Amazonas– impera una situación similar; para ellos, la humanidad representa una forma particular de vida, que participa en una comunidad mayor de seres vivientes regulada por un conjunto único y totalizante de reglas de conducta. Por su parte, los *chewongs* –de la selva húmeda de Malasia– consideran que las plantas, los animales y los espíritus están dotados de conciencia (es decir, de lenguaje, razón, intelecto y código moral). De manera similar, los habitantes nativos de la laguna Marovo –en las Islas Salomón– no ven a los organismos y a los elementos inanimados de su entorno como partes de un reino de la naturaleza distinto y apartado de la sociedad humana. Así, estas cosmologías no se limitan a dichas comunidades, ya que muchos pueblos del Sur global despliegan formas de existencia sin separaciones entre cultura y naturaleza, ni entre individuo y comunidad (Giraldo, 2018).

En busca de comprender las relaciones de los grupos humanos con los ecosistemas surgió el concepto de sistemas socioecológicos. Aquí, el conjunto de componentes de la

naturaleza y de las sociedades –que hacen uso de ellos– es reconocido como un sistema acoplado que funciona de manera sinérgica (Berkes & Folke, 1998). Estos sistemas son abiertos y complejos, donde hay distintos flujos de materia, energía e información, y los procesos que ocurren dentro de ellos no son lineales (García, 2006). Además, los sistemas socioecológicos están compuestos de múltiples subsistemas y variables internas de forma anidada –de manera análoga a los organismos vivos– en donde podemos observar procesos de autoorganización (Ostrom, 2009).

Más recientemente, el concepto de gobernanza ambiental se ha vuelto central en las discusiones académicas y políticas en torno al manejo sustentable de los sistemas socioecológicos (Berkes, 2017a). La gobernanza ambiental se entiende como “una serie de procesos regulatorios, mecanismos y organizaciones a través de los cuales los actores políticos influyen las acciones y resultados ambientales” (Lemos & Agrawal, 2006: 298). Estos procesos regulatorios pueden entenderse como las instituciones o las “reglas del juego”, que son prescripciones que definen las interacciones entre las personas y el ambiente de manera estructurada (Ostrom, 2005). Las instituciones son determinantes para comprender el manejo de los componentes de la naturaleza, ya que representan los procesos de gobernanza local (Monroy-Sais, 2019), en donde el manejo campesino puede resultar muy relevante para la conservación.

Hoy en día la discusión en torno a las interacciones entre la sociedad y la naturaleza trasciende las diferentes concepciones de estas relaciones, pues es necesario retomar lo mejor de cada enfoque para generar nuevas formas de vida en sociedad que nos permitan construir e implementar relaciones sociedad-naturaleza (Durand, 2002) más conscientes, sensatas y responsables.

Diversos estudios realizados en algunas comunidades campesinas –incluyendo este trabajo de la región del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en México– han documentado que los campesinos establecen relaciones en un gradiente de manejo que va desde la explotación (dirigida sobre todo a comercializar sus cosechas), pasando por un aprovechamiento menos impactante (dedicado principalmente al autoconsumo) –con expresiones de cuidado y reciprocidad–, hasta llegar a la conservación y restauración activa de la vegetación silvestre (Blancas *et al.*, 2010; Casas *et al.*, 2007; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020). Estas relaciones suelen situarse en formas de aprovechamiento con matices intermedios entre la explotación y la protección. En la zona de estudio, son pocos los campesinos que explotan sus parcelas agrícolas de manera intensiva con la idea de maximizar los rendimientos económicos (Moreno-Calles *et al.*, 2016; Pérez-Negrón & Casas, 2007; Vallejo *et al.*, 2016). En contraste

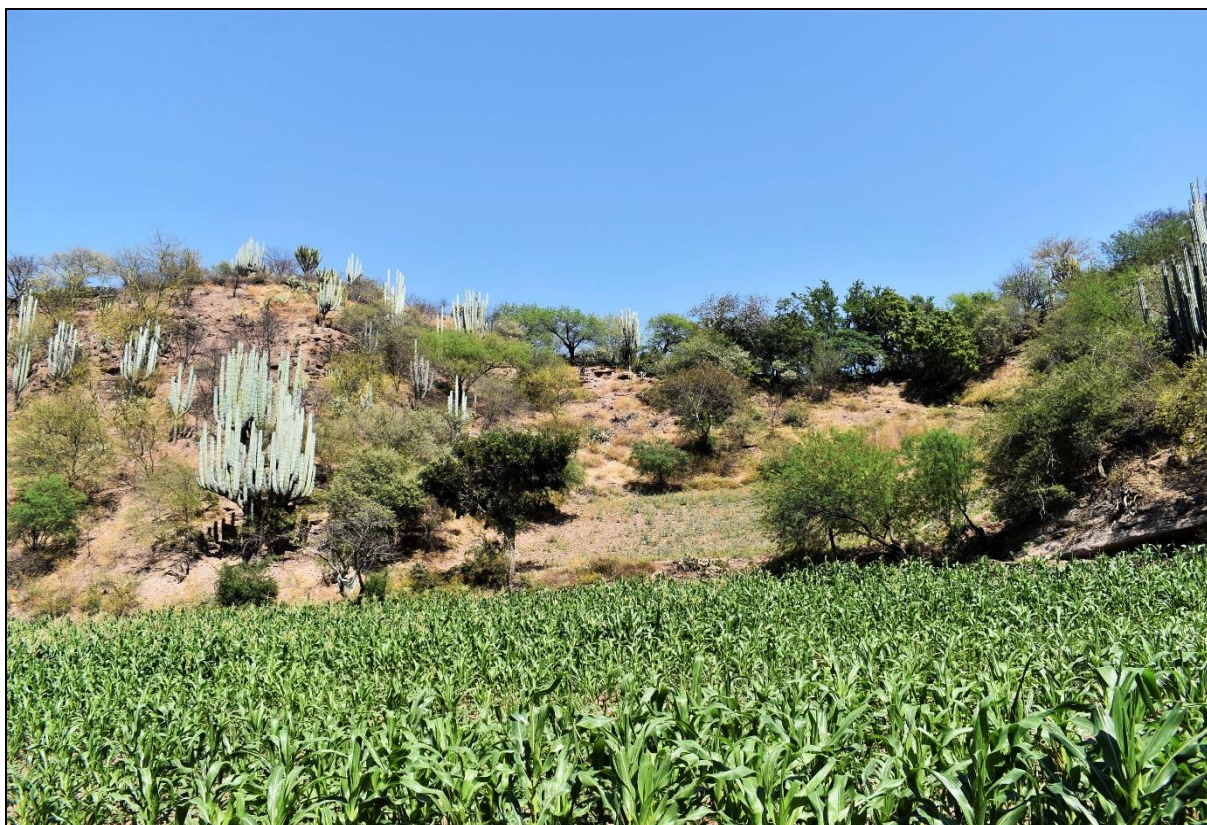
–y aún en menor medida– están los campesinos que podríamos llamar “conservacionistas”, quienes reconocen que “*las plantas tienen el derecho a la vida*” y dedican algunas de sus parcelas exclusivamente a la conservación (Blancas *et al.*, 2013; Rangel-Landa *et al.*, 2017; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020).

Diversos autores (p. ej. Blancas *et al.*, 2010, 2013; Casas *et al.*, 1997, 2007, 2014) reconocen un gradiente de manejo donde las comunidades campesinas: i) recolectan plantas silvestres como fuente de diversos productos forestales (p. ej. frutos comestibles, leña, forraje, plantas medicinales), ii) toleran la presencia de algunas plantas silvestres –que consideran útiles– dentro de sus parcelas agrícolas, iii) brindan cuidados especiales a estas plantas útiles, iv) promueven la abundancia de plantas útiles mediante su propagación, y finalmente v) cultivan plantas domesticadas.

Con respecto a este punto, es indispensable comprender de manera adecuada las relaciones que los campesinos establecen a nivel local, pues estas son altamente dependientes de contextos particulares y multidimensionales; donde sería arriesgado deducir modelos simples y predictivos de sistemas socioecológicos altamente complejos, así como proponer soluciones “universales” o panaceas extrapolables a los problemas de sobreexplotación o destrucción de los componentes naturales (Ostrom, 2007). De ahí la importancia de poner atención a los sistemas locales (Casas, com. pers., 2021).

### *El manejo tradicional implementado por las y los campesinos*

En particular, exploramos las relaciones sociedad-naturaleza a través del manejo, entendido como la interacción que establecen los humanos con elementos, sistemas y procesos naturales con la intención de transformarlos o mantenerlos de acuerdo con un propósito (Casas *et al.*, 1997). El manejo de la naturaleza implica diferentes manifestaciones que pueden ir desde la explotación, pasando por el uso o aprovechamiento, hasta llegar a la conservación y la restauración (Blancas *et al.*, 2010, 2013; Casas *et al.*, 1997, 2014). Estas expresiones de manejo ocurren en los sistemas agroforestales tradicionales (SAFT) (**Figura 1**), que son formas de manejo agrícola que integran la retención o introducción deliberada de componentes silvestres (o forestales) en coexistencia con cultivos y/o animales domésticos, con el objetivo de obtener distintos beneficios ecológicos, económicos y sociales (Casas *et al.*, 2007; Moreno-Calles, 2014; SEMARNAT, 2019).



**Figura 1.** Sistema agroforestal tradicional –asociado a la selva tropical estacionalmente seca intercalada con cactáceas columnares– en la comunidad de Santiago Quiotepec, Oaxaca. Allí se cultiva milpa –con variedades nativas de maíz, frijol y calabaza–, así como árboles frutales (como limón, chicozapote, ciruela, mango) en coexistencia con la vegetación silvestre.

Los SAFT son laboratorios vivientes de procesos de domesticación, manejo de biodiversidad y ecosistemas, así como generadores importantes de agrobiodiversidad (Boege, 2008; Casas *et al.*, 2014). Asimismo, son escenarios fundamentales para ensayar y experimentar el manejo de componentes, sistemas y procesos naturales, así como para la domesticación de especies de gran importancia para la humanidad (Casas *et al.*, 1997, 2007, 2017; Moreno-Calles *et al.*, 2014).

La existencia de los SAFT es posible gracias al denominado conocimiento ecológico tradicional y local de las y los campesinos, que envuelve al conjunto de conocimientos y creencias sobre la relación de los seres vivos entre sí y con su entorno, que es transmitido de generación en generación (Berkes *et al.*, 1994; Davis & Wagner, 2003). El carácter tradicional de estos sistemas se refiere a una continuidad histórica y cultural –reconociendo que las sociedades están redefiniendo constantemente lo que es considerado tradicional– (Berkes & Folke, 1998) que los distingue de los sistemas agroforestales convencionales, que aunque pueden integrar cultivos agrícolas y plantaciones forestales, incorporan en mayor medida los

finés productivos y la obtención de “servicios” ecosistémicos<sup>1</sup> (Nair, 1985; Zomer *et al.*, 2009), relegando así al componente social.

En el caso de la agricultura, el manejo tradicional con frecuencia implica el mantenimiento de especies silvestres con importancia económica o cultural, a través de la tolerancia, el fomento y los cuidados especiales, así como el enriquecimiento de parcelas agrícolas mediante la introducción y el reemplazo continuo de plantas silvestres (Blancas *et al.*, 2010; Casas *et al.*, 1997, 2007, 2014). Detrás de esto, subyacen las motivaciones de los campesinos para mantener algunos componentes vegetales silvestres dentro de sus parcelas agrícolas, en donde se han documentado múltiples contribuciones benéficas (materiales, reguladoras e inmateriales) (Díaz *et al.*, 2018; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020, 2021), que ayudan a satisfacer algunas de sus necesidades fundamentales (Max-Neef *et al.*, 1998).

En este estudio consideramos a las y los campesinos como actores estratégicos de la conservación, porque son ellas y ellos quienes se vinculan más directamente con el entorno natural al planificar el uso de la diversidad del paisaje (Boege, 2008; Gerritsen, 2010; Moreno-Calles *et al.*, 2016; Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Al respecto, es notable que existe una correspondencia muy alta entre las áreas de mayor biodiversidad del planeta (*hotspots*) y los territorios de las comunidades campesinas e indígenas, lo que demuestra que la diversidad biológica y cultural son recíprocamente dependientes y geográficamente coterráneas (Toledo & Boege, 2010).

Asimismo, consideramos la definición que aporta Ploeg (2010) sobre la condición campesina, la cual busca la generación de una base de recursos controlada y administrada por el campesino, misma que proviene de formas de coproducción (o interacción continua y transformación mutua) entre el ser humano y la naturaleza que a su vez interactúan con el mercado y permiten la supervivencia; con lo cual los campesinos amplían la autonomía y disminuyen la dependencia. De acuerdo con Wolf (1955), los campesinos tienen en común estas características: i) la producción agrícola como ocupación principal, ii) control efectivo de la tierra y toma de decisiones autónoma sobre los cultivos y iii) una orientación más hacia la subsistencia que hacia la reinversión.

---

<sup>1</sup> En la discusión se abordan algunas limitaciones del concepto de “servicios” ecosistémicos. Aquí solo precisaré mi posicionamiento de desaprobación ante los términos de “servicio” (que proviene del latín *servitium* ‘esclavitud, servidumbre’) y “recursos” naturales, puesto que consideran a la naturaleza como un bien gratuito e inagotable del cual el sistema económico podría extraer sus componentes de manera ilimitada para que entraran como simples insumos al proceso de producción de mercancías y acumulación de capital (Leff, 2004).

La agricultura campesina distinguida como agroecológica por autores como Perfecto & Vandermeer (2008) y Rosset & Altieri (2019) resulta muy importante porque representa: i) reservorios de agrobiodiversidad con miles de plantas comestibles que fortalecen la autonomía alimentaria, ii) sistemas diversificados a pequeña escala que aportan una dieta más variada con implicaciones benéficas para la salud, iii) reservorios de variedades de cultivos locales, iv) sistemas regenerativos que protegen el suelo incorporando materia orgánica, v) escenarios donde se producen innovaciones locales, intercambios horizontales, relaciones de cooperación, conocimiento y experimentación holística de la naturaleza, y vi) una compleja matriz de corredores biológicos –a nivel de paisaje– que proporcionan hábitat a una gran variedad de especies asociadas.

Para recapitular, es relevante que una gran cantidad de campesinos<sup>2</sup> tengan estrategias de aprovechamiento de los componentes de la naturaleza que permiten la continuidad de ambos (Gerritsen, 2002, 2010; Ploeg, 1997). Por ello, consideramos que es fundamental establecer un diálogo de saberes para retomar algunas enseñanzas del conocimiento ecológico tradicional y local, y conjuntarlas con un conocimiento científico comprometido para atender los retos ambientales que afrontamos hoy en día (Mariaca-Méndez, 2003).

Finalmente, ante la pluralidad de visiones para conceptualizar las relaciones sociedad-naturaleza y el contexto actual de transformación drástica y profunda del entorno natural, reiteramos que los SAFT podrían representar una alternativa viable para integrar la conservación biológica y el bienestar humano.

### *Las capacidades de los sistemas agroforestales tradicionales*

#### **Conservación de biodiversidad**

En la actualidad, aún existen formas de vida rural tradicional que logran satisfacer algunas de sus necesidades de subsistencia, así como la conservación de biodiversidad y funciones ecosistémicas relevantes (Altieri & Toledo, 2011; Casas *et al.*, 2014; Fischer *et al.*, 2014; Perfecto & Vandermeer, 2008). Una de las expresiones más notables al respecto son los SAFT, que son importantes reservorios de cultura, experiencia técnica y diversidad biológica, en los

---

<sup>2</sup> Aquí nos referimos a 1,500 millones de campesinos, 190 millones de pastores nómadas y más de 100 millones de pescadores artesanales; de los cuales al menos 370 millones pertenecen a pueblos indígenas que habitan en más de la mitad de las tierras de cultivo a escala global (ETC Group, 2017; Giraldo, 2018). Mientras que en México existen 30,305 ejidos y comunidades agrarias con alrededor de 105 millones de hectáreas (o poco más de un millón de km<sup>2</sup> que representan la mitad del territorio nacional), donde predomina la propiedad ejidal (92%) sobre la propiedad comunal (8%); a excepción del estado de Oaxaca, que alberga el 50% de todas las tierras comunales del país (Boege, 2008).



que se ha reconocido una alta capacidad para resguardar la diversidad biocultural, así como para brindar múltiples contribuciones para las sociedades (Altieri & Toledo, 2011; Casas *et al.*, 2014; Moreno-Calles *et al.*, 2014; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020, 2021; Vallejo *et al.*, 2016).

Los SAFT podrían representar etapas tempranas de coexistencia de elementos agrícolas dentro de paisajes forestales (Casas *et al.*, 1997), pues existen evidencias que sugieren prácticas de manejo agrícola y forestal asociadas con formas iniciales de agricultura (MacNeish, 1967; Smith, 1967). Estos sistemas son el resultado de largos periodos de interacción sociedad-naturaleza, por lo que poseen un conocimiento acumulado milenario de gran importancia biocultural (Boege, 2008; Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Existen evidencias que demuestran que los SAFT poseen una alta capacidad para conservar la biodiversidad. Por ejemplo, a escala pantropical Bhagwat *et al.* (2008) estimaron que los SAFT mantienen, en promedio, el 64% de las especies nativas (de árboles y herbáceas) de los ecosistemas contiguos. Mientras que Noble y Dirzo (1997) encontraron que algunos SAFT de Indonesia pueden conservar entre 50 y 80% de las especies (de plantas y aves) propias de los bosques adyacentes. En México, en la región del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, se ha documentado que los SAFT son capaces de mantener alrededor del 70% de los componentes presentes en la vegetación silvestre circundante (Vallejo *et al.*, 2016).

Los SAFT envuelven formas de manejo silvícola que contribuyen a la conservación de biodiversidad (Casas *et al.*, 1997). Estas formas de manejo *in situ* incluyen: i) tolerancia (dirigida a mantener, dentro de ambientes modificados por el humano, las plantas útiles que existían ahí antes de ser transformados), ii) promoción, inducción o fomento (basada en incrementar la densidad de plantas útiles en sus hábitats naturales) y iii) protección (que consiste en brindar cuidados especiales a plantas útiles con el fin de asegurar y ampliar su producción; estos cuidados incluyen eliminación de competidores, podas, fertilización y resguardo contra depredadores). Conjuntamente, existen formas de manejo que contribuyen a conservar y restaurar activamente la vegetación, como la siembra de semillas y el trasplante de propágulos o individuos completos (Blancas *et al.*, 2010; Casas *et al.*, 1997).

En México, diversos autores (Campos-Salas *et al.*, 2016; Moreno-Calles *et al.*, 2010, 2012, 2016b; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020, 2021; Vallejo *et al.*, 2014, 2015) han reconocido distintas prácticas agroforestales<sup>3</sup> que promueven el mantenimiento de especies silvestres y

---

<sup>3</sup> Intervenciones en los componentes domesticados y silvestres de los SAFT que son llevadas a cabo deliberadamente por los campesinos para obtener diferentes tipos de beneficios (Rendón-Sandoval *et al.*, 2020).

que incluyen: i) cercos vivos comúnmente contruidos con plantas (o sus partes) reubicadas desde el interior de las parcelas (o provenientes de los bosques circundantes) hacia los bordes; que sirven para delimitar los terrenos y proteger a los cultivos del ganado; ii) remanentes de vegetación nativa –con distintos grados de conservación– que generalmente están asociados con sitios inapropiados para la agricultura o zonas inaccesibles en los bordes de la parcela; iii) árboles aislados –con frecuencia de gran tamaño– que son valorados por brindar múltiples contribuciones benéficas (como sombra, frutos comestibles, aporte de fertilidad al suelo); iv) manchones de cobertura forestal –con una composición de especies muy distinta a la original– donde se promueve la abundancia de individuos de especies con un alto valor comercial (p. ej. limón, guaje, ciruela, chicozapote, mango); v) islas de vegetación o manchones pequeños de plantas útiles situados dentro de la parcela que no estorban a las labores agrícolas; y vi) franjas contra la erosión que estabilizan el terreno, retienen el suelo y mantienen la humedad.

Es posible encontrar parcelas agrícolas en donde los campesinos implementan estas formas de manejo silvícola y prácticas agroforestales, permitiendo el mantenimiento de una proporción importante de cobertura forestal y diversidad florística, lo cual posibilita la provisión de múltiples contribuciones benéficas que además ayudan a satisfacer algunas necesidades humanas fundamentales.

### **Satisfacción de necesidades humanas**

La agricultura campesina tiene una importancia primordial para la alimentación humana. A escala global se estima que las redes campesinas proveen alrededor del 70% de los alimentos disponibles para el consumo humano (da Silva, 2014; ETC Group, 2017; Graeub *et al.*, 2016; McKeon, 2015; Shiva, 2016), en contraste con menos del 30% de los alimentos industrializados que llegan hasta los consumidores finales –debido al desperdicio durante su procesamiento, transporte y almacenamiento– (Alexander *et al.*, 2017). A pesar de que la cadena agroindustrial produce cantidades enormes de alimentos, cerca de la mitad de su producción total (44%) se destina a forrajes para alimentar al ganado y para la subsecuente producción de carne y lácteos, mientras que alrededor de un 9% se utiliza para producir agrocombustibles y otros productos no alimentarios (Cassidy *et al.*, 2013).

Recientemente, dentro de la Plataforma Intergubernamental sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por sus siglas en inglés), Díaz *et al.* (2018) categorizaron distintas contribuciones de la naturaleza al bienestar humano en tres grandes grupos: i) contribuciones materiales, ii) reguladoras e iii) inmateriales. Por contribuciones de la naturaleza a las personas se entienden todas las contribuciones que la humanidad obtiene de

la naturaleza, incluyendo los bienes y funciones de los ecosistemas. Lo interesante de esta propuesta es que también se incluyen aspectos de la naturaleza que pueden ser nocivos para las personas, como las plagas, los patógenos o los depredadores (IPBES, 2019); constituyendo así contribuciones tanto benéficas como perjudiciales.

Es notable que los SAFT que mantienen una alta proporción de cobertura forestal se caracterizan por brindar múltiples contribuciones benéficas, tales como provisión de alimento, forraje, medicinas, preservación de hábitat, polinización, dispersión, calidad del aire, regulación climática, purificación del agua, formación y protección del suelo, regulación de riesgos ante eventos extremos, regulación de organismos perjudiciales y procesos biológicos, fuente de aprendizaje e inspiración, experiencias de trabajo colaborativo, soporte de identidades y mantenimiento de opciones (Díaz *et al.*, 2018; Rendón-Sandoval *et al.*, 2021).

Conjuntamente, estas contribuciones aportan a la satisfacción o realización –de manera continua y renovada– de algunas de las necesidades humanas planteadas en la propuesta de Max-Neef *et al.* (1998) sobre Desarrollo a escala humana<sup>4</sup>, como subsistencia, protección, identidad, afecto, entendimiento, creación, participación y ocio. En esta propuesta los autores hacen una distinción entre las necesidades humanas fundamentales (que son carencias y simultáneamente potencialidades humanas esenciales, finitas y comunes a todas las culturas), los satisfactores de dichas necesidades (diversos medios conducentes a la realización de necesidades) y los bienes económicos (objetos o artefactos que permiten afectar la eficiencia de un satisfactor, alterando así el umbral de realización de una necesidad). Por ejemplo, alimentación y abrigo no deben considerarse como necesidades, sino como satisfactores de la necesidad fundamental de subsistencia. Del mismo modo, la educación, el estudio, la investigación, la estimulación temprana y la meditación son satisfactores de la necesidad de entendimiento. O bien, los sistemas curativos, la prevención y los esquemas de salud, en general, son satisfactores de la necesidad de protección.

Asimismo, no existe una correspondencia simple entre necesidades y satisfactores. Puesto que un satisfactor puede contribuir simultáneamente a la satisfacción de diversas necesidades o, a la inversa, una necesidad puede requerir de diversos satisfactores para ser satisfecha (Max-Neef *et al.*, 1998).

---

<sup>4</sup> Esta propuesta cristaliza un trabajo multidisciplinario realizado por un equipo de investigadores de distintos países de América Latina con la colaboración de profesionales provenientes de Chile, Uruguay, Bolivia, Colombia, México, Brasil, Canadá y Suecia, dedicados a disciplinas tales como economía, sociología, psiquiatría, filosofía, ciencia política, geografía, antropología, periodismo, ingeniería y derecho (Max-Neef *et al.*, 1998).

Por último, es importante señalar que las capacidades aquí mencionadas se modifican en función de las particularidades de cada sistema socioecológico. Por ejemplo, en algunos bosques templados de México se ha documentado que los SAFT son capaces de mantener alrededor del 43% de las especies presentes en la vegetación silvestre circundante (Vallejo *et al.*, 2014). Por su parte, en las selvas tropicales húmedas –donde se ha concentrado un mayor esfuerzo de investigación– los valores oscilan entre 50 y 80% (Noble & Dirzo, 1997), mientras que en la selva tropical estacionalmente seca nuestro equipo ha registrado valores promedio de 68% (Rendón-Sandoval *et al.*, 2020); de ahí la importancia de estudiar los SAFT asociados a este socioecosistema.

### *La selva tropical estacionalmente seca*

La selva seca (**Figura 2**), bosque tropical caducifolio, selva baja caducifolia, o los diferentes nombres con los que se ha reconocido en México a esta agrupación vegetal (**Tabla 1**), es una comunidad formada por elementos tropicales dominada por especies que pierden sus hojas durante una marcada y prolongada temporada seca del año (Rzedowski, 1978).

Los árboles que componen la selva seca presentan una altura que varía entre 4 a 15 m y un porte característico con copas extendidas que pueden igualar o superar la altura del individuo. El diámetro de los troncos por lo general no sobrepasa 50 cm, con frecuencia son retorcidos y se ramifican cerca de la base. Muchas especies tienen cortezas exfoliantes, coloridas y brillantes. El follaje suele ser de color verde claro, en donde prevalecen las hojas compuestas y pequeñas. Muchas especies leñosas florecen hacia mediados o finales de la temporada seca, cuando la temperatura alcanza mayor intensidad, pues numerosas plantas de esta comunidad nunca poseen hojas y flores al mismo tiempo (Rzedowski, 1978).



**Figura 2.** Paisaje cubierto por selva tropical estacionalmente seca (durante la temporada lluviosa) en la región de La Cañada, Santiago Dominguillo, Oaxaca.

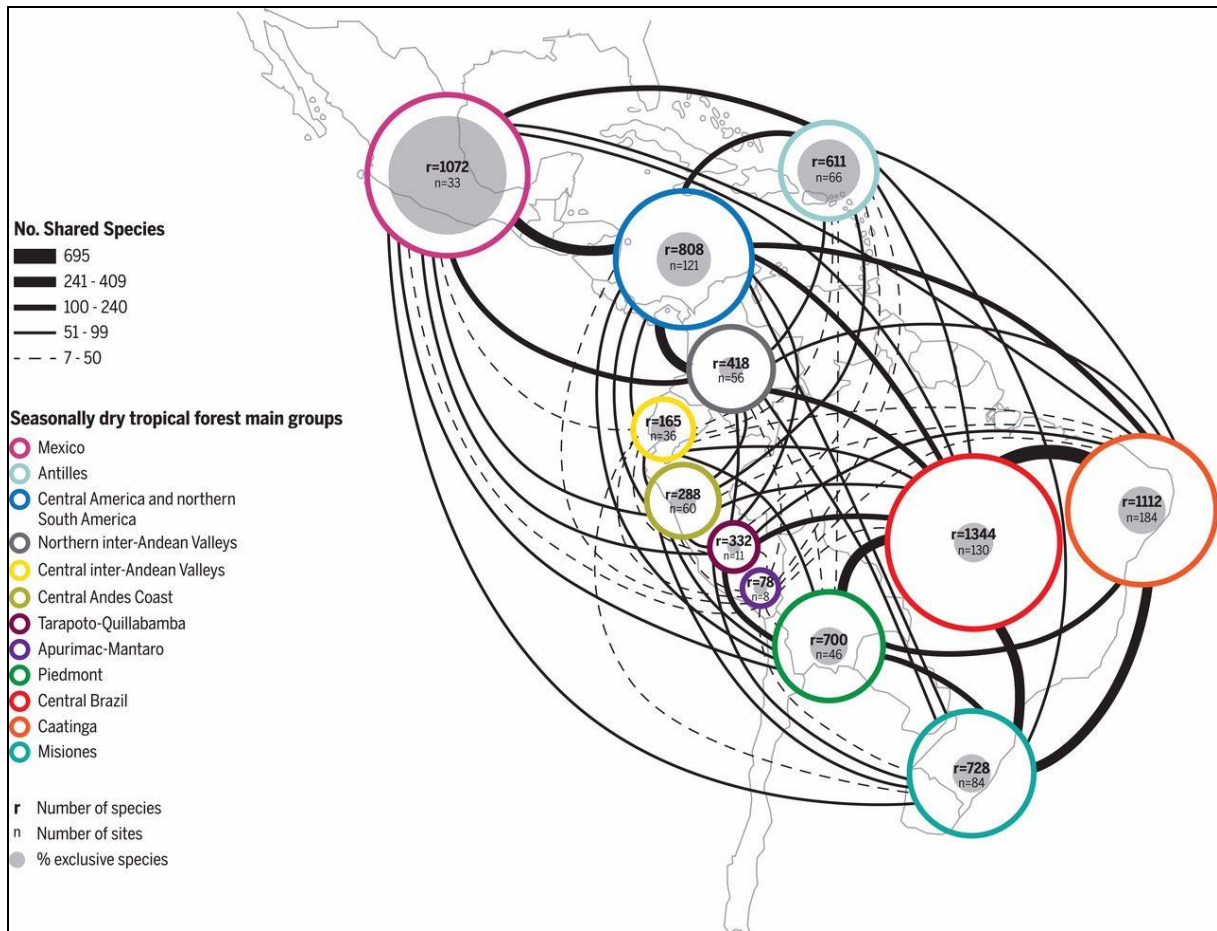
**Tabla 1.** Nombres que ha recibido históricamente la selva tropical estacionalmente seca en México.

<b>Denominación</b>	<b>Fuente</b>
Monte mojino	(Ochoterena, 1923)
Short tree forest	(A.H. Gentry, 1942, 1946)
Heterogenous forest of canyon and valley	(Leavenworth, 1946)
Bosque tropical deciduo	(Leopold, 1950; Rzedowski & McVaugh, 1966)
Selva baja decidua	(Miranda, 1952)
Shrubby tree jungle	(Turner, 1960)
Selva baja caducifolia	(Miranda & Hernández-X., 1963)
Forêt tropicale basse caducifoliée	(Puig, 1974)
Bosque tropical caducifolio	(Rzedowski, 1978)
Tropical dry forest	(A.H. Gentry, 1982)
Bosque tropical estacionalmente seco	(Bullock <i>et al.</i> , 1995; Villaseñor & Ortiz, 2014)
Selva tropical estacionalmente seca	(Rendón-Sandoval <i>et al.</i> , 2020; Trejo & Dirzo, 2002)

### **Estructura y composición**

En la selva seca lo más frecuente es que haya un solo estrato arbóreo, además de algunas eminencias aisladas (de hasta 15 m de alto). El estrato arbustivo es muy denso (Rzedowski, 1978). Es posible encontrar suculentas como cactáceas columnares y candelabroiformes, sobre todo en sitios áridos (como en el caso del Valle de Tehuacán-Cuicatlán), mientras que el número de lianas se incrementa en zonas con mayor humedad (Trejo, 1999). En situaciones de poca perturbación el estrato herbáceo está poco desarrollado o ausente. Son especialmente características de esta comunidad las especies de la familia Leguminosae [Fabaceae], así como aquellas del género *Bursera*, conocidas localmente como “copales” y “cuajotes” (Gentry, 1995; Méndez-Toribio *et al.*, 2014; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020; Rzedowski & Calderón, 2013; Trejo, 1999; Trejo & Dirzo, 2002).

Es relevante la alta diversidad presente en la selva seca, pero destaca aún más su elevado grado de endemismo (**Figura 3**), ya que las selvas secas mexicanas se posicionan en el primer lugar a nivel del Neotrópico con alrededor del 60-73% de sus especies restringidas al territorio nacional (DRYFLOR, 2016; Rzedowski, 1991). De manera general, estos endemismos se concentran en la Cuenca del Balsas, la Península de Yucatán y en el noreste de México (Rzedowski, 1991). Por lo anterior, además de su alto grado de amenaza, las selvas secas mexicanas se consideran prioritarias para la conservación a escala global (Miles *et al.*, 2006; Olson & Dinerstein, 2002).



**Figura 3.** Patrones geográficos de recambio de especies entre 12 grupos florísticos de selvas secas del Neotrópico. Los círculos de colores indican el número de especies presentes en distintas regiones, mientras que los círculos grises muestran el porcentaje de especies endémicas. El grosor de las líneas indica el número de especies compartidas entre regiones. Fuente: DRYFLOR (2016).

## Orígenes

Existen numerosos indicios de la existencia antigua de la selva seca en México, entre los que destacan su elevada diversidad, la distribución heterogénea de su flora y su considerable magnitud de endemismo (Pennington *et al.*, 2009; Rzedowski, 1991). Inicialmente, Gentry (1995) propuso que las selvas secas neotropicales habían derivado de las selvas cálido-húmedas. Sin embargo, en México esta procedencia solo se manifiesta en una proporción limitada (Challenger, 1998) y dada su ubicación geográfica, es muy probable que durante periodos prolongados existieran condiciones de precipitación de tipo estacional. Por lo anterior, la selva seca debió haber tenido tiempo suficiente para desarrollar una propia y diversa flora termófila (Rzedowski, 1991).

Por su parte, Becerra (2005) sugirió el origen de la selva seca en México entre 20 y 30 millones de años (Ma), apelando a la conformación de la Sierra Madre Occidental y del Eje

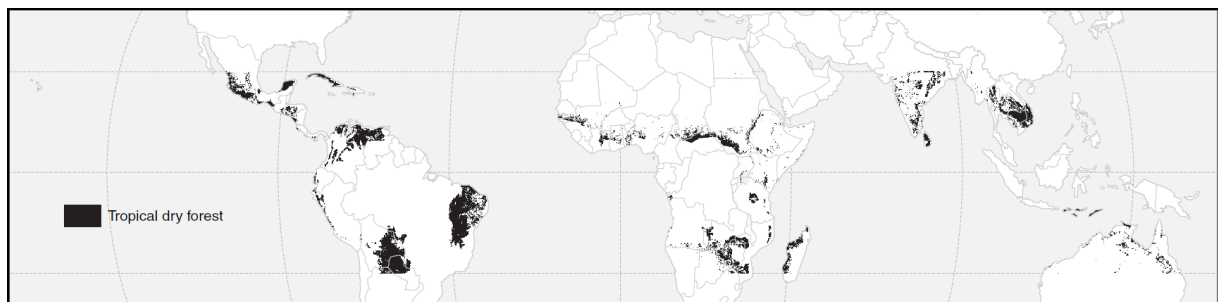


Neovolcánico Transversal, así como a la especiación coincidente del género *Bursera*; un grupo altamente adaptado a las condiciones de las selvas secas mesoamericanas. Esta autora sugirió que el levantamiento de las cadenas montañosas pudo haber sido crítico para proporcionar las condiciones no solo para la persistencia, sino también para el establecimiento original de este tipo de vegetación en México. Posteriormente, de Nova *et al.* (2012) así como Becerra *et al.* (2012) estimaron el origen de la selva seca en México entre 50 y 60 Ma, a partir del Cenozoico temprano, cuando los climas cálidos predominaban en la mayor parte del planeta. Estas últimas propuestas también están basadas en la cronología evolutiva del género *Bursera* y podrían ser las más acertadas.

### Distribución geográfica

La selva seca representa el 41.5% de las áreas cubiertas por bosques tropicales alrededor del mundo (Bastin *et al.*, 2017; Olson *et al.*, 2001) (**Figura 4**).

En México, la selva seca ocupa el 11.26% del territorio nacional (Challenger & Soberón, 2008) y se distribuye preferentemente sobre suelos pedregosos, someros y con buen drenaje en laderas de cerros, desde el nivel del mar hasta cerca de los 2,000 m s.n.m, pero preferentemente por debajo de los 1,500 m (Rzedowski, 1978).

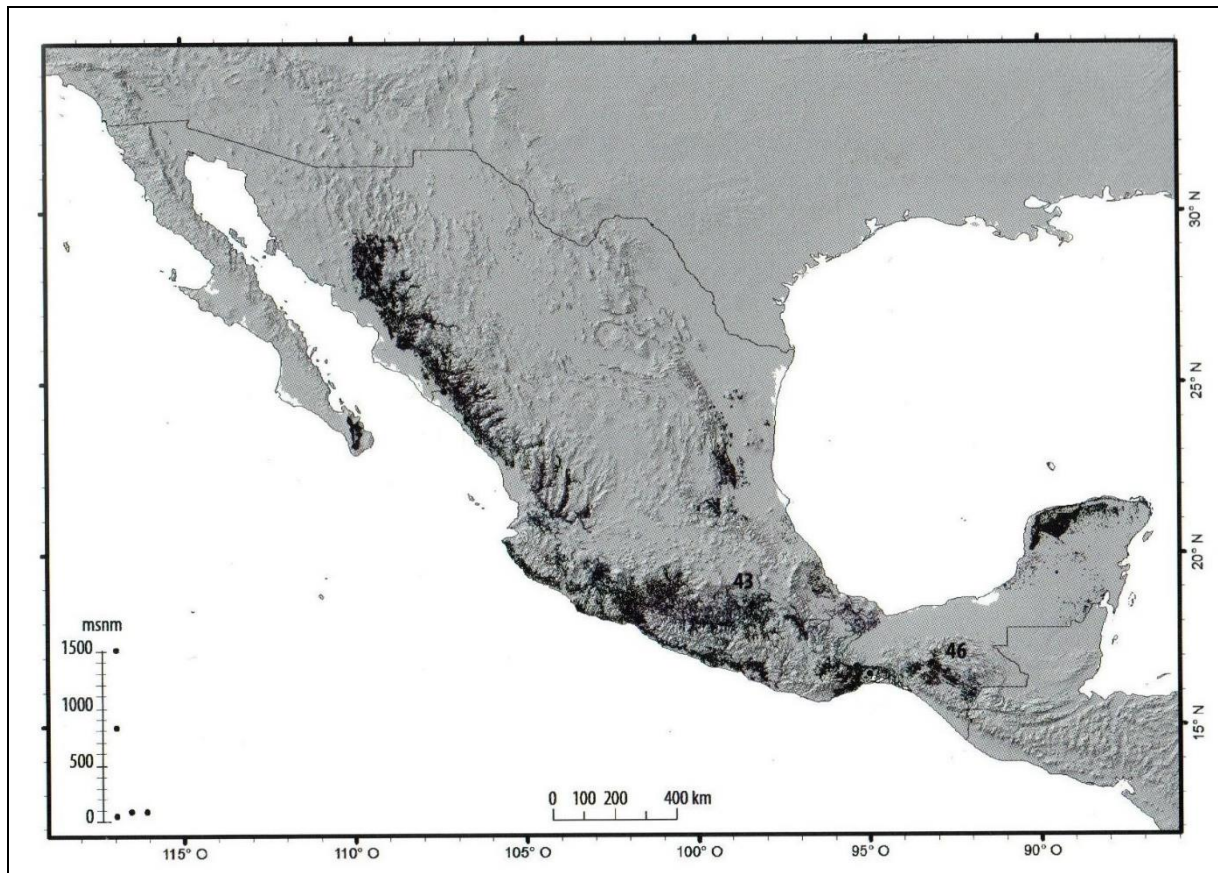


**Figura 4.** Distribución global de la selva tropical estacionalmente seca (en el año 2000), con una cobertura del dosel forestal > 40%. Fuente: Miles *et al.* (2006).

Esta comunidad vegetal cubre extensiones considerables en la vertiente del Pacífico mexicano, desde Sonora y Chihuahua hasta Chiapas; en una franja casi continua con algunas interrupciones en las porciones más húmedas de Nayarit y Oaxaca, penetrando de manera importante en las cuencas de los ríos Santiago y Balsas (Trejo, 1999). También se encuentra en las áreas menos áridas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en la región del Bajío (en el Altiplano Mexicano), y en la porción sur de la Península de Baja California (en el área de Los Cabos). En la vertiente del Golfo se distribuye desde Tamaulipas hasta la Península de Yucatán, pero en áreas más aisladas y discontinuas; donde destaca el sur de la Sierra de



Naolinco (en Veracruz) y región de La Huasteca (Miranda & Hernández-X., 1963, 2014) (Figura 5).



**Figura 5.** Distribución de la selva tropical estacionalmente seca en México. Fuente: Miranda & Hernández-X. (2014).

## Clima

Las selvas secas constituyen el límite hídrico y térmico de las comunidades vegetales de las zonas cálido-húmedas (Pennington & Sarukhán, 2005). En México, se desarrollan en una amplia variedad de condiciones climáticas, donde un factor fundamental es la marcada estacionalidad que se presenta durante un periodo de 6.2-10 meses secos al año –donde la precipitación no supera los 60 mm– (Trejo, 1999). La lluvia se concentra en una estación delimitada (por lo general de mayo a octubre), lo que constituye uno de los componentes determinantes para las respuestas fenológicas de la selva seca (Rzedowski, 1978). El tipo de clima más representativo es el cálido subhúmedo, con régimen de lluvias en verano y con oscilación térmica anual extrema [Aw0 (w)(e); el más seco de los subhúmedos] (E. García, 2004; Trejo, 1999). Se encuentra en regiones con ausencia de heladas –casi por completo–,

con valores anuales promedio de temperatura entre 18-30 °C y precipitación de 300-1500 mm.

Cuando las condiciones climáticas más típicas en las que se encuentra la selva seca se alejan del promedio, el gradiente entre comunidades adaptadas a estas características dificulta su distinción. Si las condiciones tienden a ser más secas, el cambio hacia comunidades aledañas como el matorral xerófilo, complica en gran medida su delimitación clara. Esto sucede comúnmente en áreas como Baja California Sur, Sonora, la Cuenca del Balsas y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (**Figura 6**).

Las distintas condiciones climáticas, topográficas, geológicas y edáficas en las que se asienta la selva seca permiten la presencia de comunidades distintas e intercaladas en una misma área, como las franjas de selva mediana subcaducifolia en zonas de mayor humedad, o los matorrales en las áreas más expuestas y secas que presentan efectos de sombra orográfica que provocan aridez elevada (Búrquez & Martínez-Yrizar, 2009; Murphy & Lugo, 1986; Trejo, 1999).



**Figura 6.** Vegetación de selva tropical estacionalmente seca intercalada con bosque de cactáceas columnares (o “cardonal” de *Pachycereus weberi*) –durante la temporada lluviosa– en Santiago Quiotepec, Oaxaca.

## **Amenazas**

Las selvas secas se encuentran entre los ecosistemas tropicales más amenazados por la actividad humana (Búrquez & Martínez-Yrizar, 2009; DRYFLOR, 2016; Janzen, 1988; Murphy & Lugo, 1986; Trejo & Dirzo, 2000), donde se estima que solo queda el 44% de su superficie original (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2009). A escala global, Miles *et al.* (2006) identificaron cuatro ecorregiones donde se encuentran las selvas secas más amenazadas: i) Indochina, ii) Chhota-Nagpur (India), iii) México y iv) Chiquitano (Bolivia). América tropical es relevante porque contiene más del 60% de los remanentes de selva seca del planeta (Miles *et al.*, 2006; Montes-Londoño, 2017). En México, en zonas donde la pendiente de las laderas es pronunciada (p. ej. en las barrancas), existen aún extensiones considerables de selva seca más o menos bien conservadas; aun cuando es notoria la presencia de ganado, incendios provocados y tala selectiva (Rzedowski, 1978).

A nivel mundial, los principales agentes de cambio de esta comunidad son la fragmentación, el fuego, la conversión para agricultura y los asentamientos humanos de alta densidad (Miles *et al.*, 2006). Mientras que en México destacan la deforestación para establecer pastos para alimentar al ganado y para cultivos intensivos, la extracción de productos forestales, la ausencia de aplicación de los reglamentos relativos al manejo de estos componentes y la extracción de especies en peligro de extinción (Búrquez & Martínez-Yrizar, 2009; Trejo & Dirzo, 2000).

El severo grado de transformación de la selva seca puede explicarse parcialmente por haber estado sujeta a perturbaciones antrópicas crónicas (Ribeiro *et al.*, 2015) y representar uno de los hábitats tropicales más deseables para la explotación y los asentamientos humanos (Murphy & Lugo, 1986; Sánchez-Azofeifa, 2005), pues las selvas secas de América Latina fueron el hogar de grandes civilizaciones con una larga historia de interacción en donde se domesticaron plantas de gran importancia para la humanidad; como el maíz, el frijol y la calabaza (Challenger, 1998; DRYFLOR, 2016; Murphy & Lugo, 1986).

\*\*\*

Considerando todo lo anterior, resulta innegable la necesidad de diseñar e implementar estrategias de conservación –de manera colaborativa con las y los campesinos– para proteger la enorme y única diversidad biocultural que alberga la selva seca y poder garantizar su continuidad a largo plazo, donde los SAFT pueden contribuir en gran medida para alcanzar estos propósitos.

### *El panorama de los sistemas agroforestales asociados a la selva seca en México*

En México se han analizado varios SAFT en la Península de Yucatán, el Valle de México, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, el Soconusco, la Chontalpa, la Selva Lacandona, el Altiplano, los Altos de Chiapas y Los Tuxtlas, por mencionar algunas regiones (Moreno-Calles *et al.*, 2014, 2016). Entre ellos, son relevantes los esfuerzos concentrados en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, una de las regiones con mayor diversidad de plantas útiles (1,608 especies que representan el 61% de su flora total) (Casas *et al.*, 2014). Ahí se han analizado los SAFT asociados a distintos tipos de vegetación, como: i) bosques de cactáceas columnares (Moreno-Calles *et al.*, 2010, 2012), ii) bosques templados (Vallejo *et al.*, 2014), iii) bosques espinosos (o “mezquitales”) (Vallejo *et al.*, 2015) y iv) bosques rosetófilos (Campos-Salas *et al.*, 2016). Sin embargo, aún son insuficientes los esfuerzos dedicados a los SAFT presentes en las selvas secas, las cuales cubren una extensión considerable en la región (SEMARNAT-CONANP, 2013).

En México los estudios de SAFT asociados a la selva seca son escasos y se han enfocado sobre todo a sistemas de descanso largo (roza, tumba y quema) y hacia unos cuantos sistemas irrigados, sistemas silvopastoriles y huertos familiares (**Tabla 2**).



**Tabla 2.** Algunos estudios de sistemas agroforestales tradicionales asociados a selvas tropicales estacionalmente secas en México.

Sistema	Grupo cultural*	Región	Autores
<b>Sistemas de descanso largo (roza, tumba y quema)</b>			
Coamil	Nahua ( <i>macehuale</i> ) y mestizo	Occidente de México (Jalisco y Nayarit)	(Gerritsen, 2002, 2010, 2018)
Yunta de lluvia	Nahua ( <i>macehuale</i> )	Cuzalapa, Jalisco	(Gerritsen, 2002)
Huamil	Mestizo de origen p'urhépecha	Valle de Santiago, Guanajuato	(Colunga, 1984; Palerm, 1997)
Tlacolol	Nahua ( <i>macehuale</i> ), tlapaneco ( <i>me'phaa</i> ) y mixteco ( <i>ñuu savi</i> )	Montaña de Guerrero, Costa de Michoacán y estado de Morelos	(Avilés, 2012; Barrera-Cristóbal, 1999; Casas <i>et al.</i> , 1994; Rojas-Rabiela, 1991)
Kool (milpa-maya)	Maya ( <i>maaya t'aan</i> )	Península de Yucatán	(Barrera-Bassols & Toledo, 2005; Remmers & Ukán-Ek, 1996; Terán & Rasmussen, 1994)
<b>Sistemas irrigados</b>			
Milpa y huertos frutales	Mestizo de origen mazateco ( <i>enna</i> )	Santa María Tecomavaca, Oaxaca	(Blanckaert <i>et al.</i> , 2007)
Yunta de riego	Nahua ( <i>macehuale</i> )	Cuzalapa, Jalisco	(Gerritsen, 2002)
Milpa y huertos frutales irrigados con “apancles”	Mestizo de origen cuicateco ( <i>y'an yivacu</i> ) y mazateco ( <i>enna</i> )	Santiago Quiotepec, Cuicatlán y Santiago Dominguillo, Oaxaca	(Rendón-Sandoval <i>et al.</i> , 2020, 2021)
<b>Sistemas silvopastoriles</b>			
Agostadero	Nahua ( <i>macehuale</i> )	Cuzalapa, Jalisco	(Gerritsen, 2002)
Sistema silvopastoril	Mestizo	Tierra Caliente, Michoacán	(González-Gómez <i>et al.</i> , 2006)
<b>Huertos familiares</b>			
Huerto	Mestizo	San Rafael Coxcatlán, Puebla	(Blanckaert <i>et al.</i> , 2004)
Huerto maya	Maya ( <i>maaya t'aan</i> )	Península de Yucatán (Maxcanú y Xuilub)	(Hernández-X., 1990; Herrera-Castro, 1993; Martínez-Ballesté & Caballero, 2016)
Huerto	Nahua ( <i>macehuale</i> )	Santa María Coyomeapan, Puebla	(Larios <i>et al.</i> , 2013)

\*El nombre que se otorga cada pueblo en su propia lengua se indica entre paréntesis.

### **Sistemas de descanso largo (roza, tumba y quema)**

Estos sistemas de agricultura itinerante incluyen el aclareo de vegetación, seguido del empleo del fuego, el cultivo por periodos cortos y su alternancia con un descanso forestal que excede al periodo agrícola (Moreno-Calles, *et al.*, 2013, 2016a; Thrupp *et al.*, 1997). Estas expresiones podrían tener una antigüedad de alrededor de 4,500 años en México (Rojas-Rabiela, 1991), pero también podrían ser las reminiscencias de las formas más antiguas de agricultura en Mesoamérica (Casas *et al.*, 1997; Smith, 1976). Actualmente estos sistemas se encuentran en laderas pronunciadas de terrenos montañosos, principalmente en los estados de Chihuahua, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Sinaloa, así como en áreas planas con suelos delgados y pobres, y en las regiones con suelos calcáreos como la Península de Yucatán (Moreno-Calles *et al.*, 2013, 2016a; Rojas-Rabiela, 1991; Toledo *et al.*, 2003).

En las yuntas de lluvia y coamiles se realizan prácticas como el “barbecho” en donde las tierras de cultivo se dejan de sembrar periódicamente para regenerarse. Además, se mantienen distintas especies arbóreas que aportan alimento, madera para construcción, leña, materiales para elaborar utensilios y herramientas agrícolas, medicinas, sombra, así como propósitos ornamentales y recreativos (Gerritsen, 2002). En los huamiles se ha documentado la tolerancia de cactáceas debido al aprovechamiento de sus frutos comestibles, así como “mezquites” (*Prosopis laevigata*) por su sombra. Además, es notoria la importancia de los “nopales” y “xoconostles” (*Opuntia* spp.), ya que se encuentran variedades toleradas, fomentadas y plantadas en cercos vivos y huertos (Colunga-GarcíaMarín, 1984).

Por su parte, en el tlacolol se transforma la selva seca en un área agrícola por un periodo (de tres a siete años) y se abandona el terreno para su regeneración, o bien se deja como pastizal para el ganado. Una característica distintiva del tlacolol, es que se practica en sitios con pendientes pronunciadas (25-45%), sobre suelos con pedregosidad marcada o afloramientos rocosos (Barrera-Cristóbal, 1999). En este sistema se fomentan “tomatillos” (*Physalis philadelphica*), “quelites” (*Amaranthus hybridus*) y “pápalos” (*Porophyllum ruderale*).

Una de las limitaciones principales de los sistemas de descanso largo radica en la pérdida de nutrientes durante la quema, misma que representa una de las perturbaciones más impactantes. De esta manera, la destrucción de materia orgánica superficial y microorganismos, así como la alteración de las propiedades físico-químicas del suelo, causan a largo plazo una reducción en la fertilidad y productividad (Ceccon, 2013). Asimismo, estos sistemas se enfrentan al acortamiento de los períodos de descanso, la disminución y pérdida de prácticas agroforestales, la reducción de la cobertura forestal, el uso de agroquímicos y la pérdida de variedades de cultivos locales (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

## **Sistemas irrigados**

En el sistema yunta de riego que describe Gerritsen (2002) en Cuzalapa, Jalisco, se emplea un sistema de canales provenientes de arroyos y manantiales para irrigar por gravedad cultivos de maíz y frijol durante la temporada seca. Estos son semejantes –respecto al sistema de irrigación– a los SAFT que encontramos en la selva seca de la región de La Cañada, en Oaxaca (milpa y huertos frutales irrigados con “apancles”). Aquí hemos documentado formas de manejo silvícola como la tolerancia, el fomento y la protección de leguminosas, cactáceas columnares y “copales” (*Bursera* spp.); debido a que ayudan a mantener la fertilidad y humedad del suelo (mediante la incorporación de hojarasca y provisión de sombra), brindan frutos comestibles y son apreciados por sus resinas, respectivamente. Los campesinos también trasplantan “cocoques” y “nopales” (*Opuntia* spp.), cactáceas columnares y otras plantas espinosas para formar cercos vivos que sirven para delimitar las parcelas y protegerlas del ganado (Rendón-Sandoval *et al.*, 2020).

En el caso de las herbáceas, en la comunidad de Santa María Tecomavaca dentro de esta misma región de Oaxaca, se han documentado más de 160 especies asociadas a los SAFT, incluyendo algunas especies endémicas de la región (p. ej. *Sida pueblensis*), en donde más del 90% de ellas tienen uno o más usos como forraje, medicina, alimento y ornato (Blanckaert *et al.*, 2007).

Lamentablemente, en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán estos sistemas enfrentan el desabasto de agua durante la temporada seca. Pues en la última década la disminución de lluvias –y la consecuente escasez en arroyos y manantiales que nutren al sistema de riego de “apancles”–, provoca que algunos campesinos ya no estén sembrando maíz y frijol, o hayan tenido que sustituir estos cultivos tradicionales por plantaciones de maguey mezcalero “espadín” (*Agave angustifolia*) como una alternativa, pues este cultivo es más resistente a la sequía.

## **Sistemas silvopastoriles**

En sentido amplio se trata de sistemas ganaderos que integran especies leñosas. Los agostaderos son percibidos localmente como áreas sin cultivar en donde el ganado puede pastar; incluyen “barbechos” (áreas agrícolas en descanso), pastizales naturales o establecidos y vegetación forestal (Gerritsen, 2002). Por ejemplo, en la selva seca de Tierra Caliente, Michoacán, se ha documentado que estos sistemas mantienen 80 especies de árboles nativos que proveen forraje, leña, postes para cerca, medicina, herramientas y alimento (González-Gómez *et al.*, 2006). Algunas de estas especies son relevantes por ser endémicas o estar

catalogadas en peligro de extinción por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (p. ej. los “granadillos” con maderas de alta densidad *Dalbergia congestiflora* y *Platymiscium lasiocarpum*), lo cual implica que “sus áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el territorio nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros” (SEMARNAT, 2010).

Los sistemas silvopastoriles han surgido como un modelo alternativo para hacer un uso más intensivo del suelo, aumentar la productividad, generar ingresos complementarios y reducir los impactos de la ganadería extensiva. Las prácticas en estos sistemas incluyen la tolerancia de árboles aislados y manchones de vegetación para brindar sombra al ganado, además del establecimiento de cercas vivas a partir de estacas de especies con capacidad de rebrotar; como leguminosas (por su contribución a la fertilidad del suelo y la producción de forraje) y cactáceas columnares (por sus frutos comestibles y para delimitar los terrenos). Desafortunadamente, una de las limitantes principales de estos sistemas es la poca aceptación que tienen frente a los esquemas imperantes de ganadería extensiva (Fuentealba & González-Esquivel, 2016).

### **Huertos familiares**

Estos se ubican cerca o al lado de la casa, donde se manejan varias especies perennes y anuales y en algunas ocasiones animales. Los huertos tradicionales comparten muchas características con la agricultura de pequeña escala, pues no dependen de fertilizantes químicos, maquinaria industrial o pesticidas. Aquí se han registrado formas de manejo como el cultivo, protección y tolerancia de “mezquites” (*Prosopis laevigata*), “guajes” (*Leucaena* spp.) y cactáceas con frutos comestibles (Blanckaert *et al.*, 2004).

En los huertos la amplia diversidad de plantas brinda diferentes contribuciones, tales como alimento, medicinas, sombra, bebidas, forrajes, limpiadores, juguetes, materiales para construcción, fibras, leña, así como usos ornamentales y ceremoniales. Los productos del huerto tienen un papel importante en la economía de subsistencia familiar, pues son consumidos principalmente en el hogar, pero ocasionalmente los excedentes se venden en el mercado local o se regalan a familiares o amigos (Blanckaert *et al.*, 2004). A pesar de la importancia que tienen los huertos para resguardar una gran variedad de especies, es necesario señalar que contribuyen a la conservación con solo alrededor del 40% de las especies de plantas nativas, en comparación con otros sistemas (Moreno-Calles, 2016b).



Al tener en cuenta lo anterior, en especial la relevancia de la selva seca en cuanto a su prominente diversidad, endemismo, larga historia de manejo y alto grado de amenaza, así como el papel protagónico de las y los campesinos en la conservación de diversidad biocultural, buscamos responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿En qué medida los SAFT son capaces de mantener la vegetación silvestre y de brindar contribuciones al bienestar humano?

## **Objetivos**

### General

- ❖ Analizar el papel de los SAFT en la conservación de la diversidad florística nativa de la selva seca y en la provisión de contribuciones para las sociedades.

### Particulares

- ❖ Caracterizar las prácticas agroforestales que implementan los campesinos, así como documentar las contribuciones que brinda la vegetación a los habitantes locales.
- ❖ Evaluar la capacidad de los SAFT para conservar la diversidad de plantas nativas de la selva seca (capítulo III).
- ❖ Identificar las motivaciones más determinantes de las y los campesinos para mantener la vegetación silvestre dentro de sus parcelas agrícolas (capítulo IV).

## **Hipótesis**

A comparación de la agricultura industrial, los SAFT poseen una capacidad relativamente alta para conservar la diversidad vegetal nativa, así como para proveer múltiples contribuciones benéficas para las sociedades. Estas capacidades están determinadas por i) la diversidad de la vegetación silvestre de la que derivan, ii) el grado de intensidad de aprovechamiento, y iii) la existencia de reglas colectivas en torno al manejo de la vegetación.

## **Predicciones**

- ❖ Los SAFT de la zona deben ser reservorios de una alta diversidad vegetal. De acuerdo con los estudios realizados en otros ecosistemas de la región (p. ej. Campos-Salas *et al.*, 2016; Moreno-Calles & Casas, 2008; Moreno-Calles *et al.*, 2010; Vallejo *et al.*, 2014, 2015), se esperaría el mantenimiento de alrededor del 70% de las especies presentes en la selva seca (Casas, com. pers., 2017).

- ❖ Estos sistemas deben resguardar una alta proporción de recursos específicos, dada la alta diversidad beta reconocida para los ecosistemas locales (Rendón-Sandoval *et al.*, 2020; Valiente-Banuet *et al.*, 2000). También se espera, que sus particularidades ecosistémicas involucren técnicas locales de manejo específicas para la selva seca, que pueden incorporarse a los programas de conservación a nivel regional.
- ❖ De acuerdo con Moreno-Calles *et al.* (2010, 2012), en los SAFT se espera la disminución o incluso la ausencia de las especies raras presentes en la selva seca. En contraste, se prevé un aumento en la abundancia de individuos de las especies más importantes para los habitantes locales.
- ❖ Suponemos que la vegetación silvestre resguardada por los campesinos –en los SAFT– brinda múltiples contribuciones benéficas que ayudan a satisfacer algunas necesidades fundamentales.

### **Estructura de la tesis**

La presente tesis está compuesta por cinco capítulos: la introducción general (capítulo I), algunas precisiones metodológicas (capítulo II), un par de artículos publicados basados en información de campo (capítulos III y IV), así como la discusión general (capítulo V) y las conclusiones.

En la introducción buscamos i) transmitir la esencia del proyecto y las motivaciones que tuvimos para realizarlo, ii) plantear las bases teóricas de donde parte el proyecto, así como iii) mostrar una síntesis de la información disponible que está vinculada a la conservación de biodiversidad mediante el manejo campesino.

En las precisiones metodológicas describimos el área de estudio situada en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y caracterizamos los SAFT asociados a la selva seca que encontramos en la región: milpa y huertos frutales irrigados con “apancles”. Además, presentamos un diseño metodológico basado en el planteamiento de preguntas de investigación que pretenden ayudar a resolver problemas prácticos (existentes en el “mundo real”). Por último, relatamos el procedimiento que seguimos para obtener y analizar la información referente a los abordajes ecológicos y sociales que empleamos para la investigación (partición de la diversidad y análisis cualitativo, respectivamente).

En el capítulo III se presenta un artículo en el que evaluamos la capacidad de los SAFT para conservar la diversidad de plantas nativas de la selva seca. Mientras que el capítulo IV es un artículo que identifica las principales motivaciones de los campesinos para mantener la vegetación silvestre en sus parcelas agrícolas.

En la discusión mostramos la capacidad de los SAFT para resguardar la cobertura forestal, diversidad y endemismo presente en la selva seca de la región de La Cañada Oaxaqueña. Aquí, abordamos algunos aspectos relacionados con el mantenimiento de biodiversidad, damos algunas recomendaciones para la realización de estudios futuros similares a este, comparamos la información obtenida con otros trabajos realizados en la región y discutimos algunas implicaciones para el diseño de estrategias de conservación. Del mismo modo, presentamos las motivaciones de los campesinos para mantener la vegetación silvestre dentro de sus parcelas, hacemos algunas precisiones respecto a las necesidades humanas fundamentales y discutimos la pertinencia de ciertos términos relevantes para la investigación.

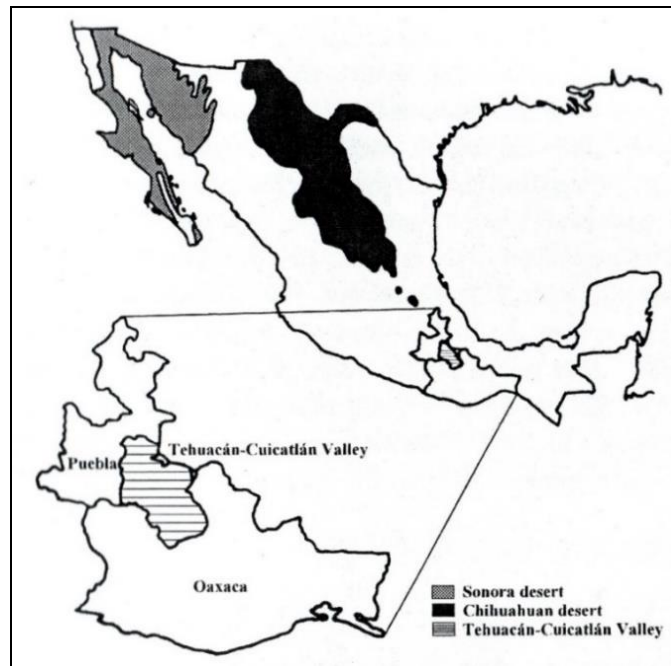
Al final, aportamos algunas propuestas para la política pública en donde reconocemos las capacidades de los SAFT para conjuntar la producción de alimentos saludables, la conservación de diversidad biocultural, el cuidado de la naturaleza y el bienestar humano.

## CAPÍTULO II. PRECISIONES METODOLÓGICAS

### Área de estudio

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán (**Figura 7**) es uno de los principales reservorios de diversidad biológica y cultural de México, con una historia de más de 10,000 años que resguarda elementos arqueológicos con signos tempranos de agricultura asociada al manejo forestal, y es uno de los sitios más antiguos de prácticas agrícolas en Mesoamérica (MacNeish, 1967; Smith, 1967).

Esta región constituye la zona árida y semiárida más biodiversa y septentrional de América del Norte, que resguarda 37 tipos de asociaciones vegetales distintas, entre las que destacan los bosques de cactáceas columnares con mayor densidad de individuos del planeta (Dávila *et al.*, 2002; Valiente-Banuet *et al.*, 2000). En el Valle de Tehuacán-Cuicatlán habitan ocho pueblos originarios: chochos (*ngiba*), popolocas (*ngiwa*), nahuas (*macehualte*), cuicatecos (*y'an yivacu*), mazatecos (*enna*), chinantecos (*tsa ju jmi*), mixtecos (*ñuu savi*) e ixcatecos (*xwja*)<sup>5</sup>, además de poblaciones mestizas y afrodescendientes (Boege, 2008; Casas *et al.*, 2001).



**Figura 7.** Localización del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (con una extensión de 10,000 km<sup>2</sup>; barras horizontales) en los estados de Oaxaca y Puebla. Y zonas áridas más extensas de México: Desierto Sonorense (275,000 km<sup>2</sup>; color gris) y Desierto Chihuahuense (453,000 km<sup>2</sup>; color negro). Fuente: Rzedowski (1978), Casas *et al.* (2008) y Valiente-Banuet *et al.* (2009).

<sup>5</sup> El nombre que se otorga cada pueblo en su propia lengua se indica entre paréntesis.

Con el fin de resguardar tal diversidad biocultural, en esta región compartida entre los estados mexicanos de Oaxaca y Puebla, fue decretada la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán en 1998, misma que fue inscrita en la Lista del Patrimonio Mundial (cultural y natural) de la UNESCO en 2018 debido a sus extraordinarios valores del entorno natural y de las tradiciones culturales mesoamericanas que alberga. Asimismo, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán ha sido catalogado como una de las 23 Regiones Bioculturales Prioritarias para la Conservación del país, en donde los territorios indígenas coinciden en gran medida con los centros de diversidad biológica y endemismo (Boege, 2008; Toledo, 2002).

La investigación se llevó a cabo en tres comunidades mestizas de origen cuicateco y mazateco de la región de La Cañada, en el municipio de San Juan Bautista Cuicatlán, Oaxaca. Este territorio, situado alrededor de los 700 m s.n.m., presenta un clima semiárido muy seco con valores anuales promedio de 485 mm de precipitación, ocho meses secos al año y 25 °C de temperatura (García, 2004). Constituye la zona de confluencia de varios ríos que permiten la presencia de vegetación riparia, bosques de cactáceas columnares y selvas secas.

En particular, trabajamos con las comunidades de Santiago Quiotepec, Cuicatlán y Santiago Dominguillo, poblaciones que mantienen actividades primarias como la agricultura (milpa tradicional con variedades nativas de maíz, frijol y calabaza), la producción de frutales (limón, mango, chicozapote, ciruela, anona, zapote negro) –gracias a la disponibilidad de riego en la zona–, la cría de ganado caprino y la recolección de productos forestales maderables y no maderables (Brunel, 2008; Rendón-Sandoval *et al.*, 2020).

### *Los sistemas agroforestales tradicionales de La Cañada: milpa y huertos frutales irrigados con “apancles”*

Los SAFT –asociados a la selva seca– que estudiamos en la región de La Cañada, en Oaxaca, corresponden a expresiones de agricultura campesina de pequeña escala (en parcelas de 1-3 ha) que se realiza en áreas irrigadas por un sistema de canales (conocidos localmente con el nombre de “apancles”) provenientes de arroyos y manantiales cercanos. Allí se cultiva la milpa tradicional con variedades nativas de maíz (“blanco”, “negrito” o “prieto”, “pinto”, “amarillo” o “dorado”), frijol (“delgadito”, “mosquito”) y calabaza (“támala”), destinadas principalmente al autoconsumo, trueque, regalos para familiares y amigos, así como para la comercialización a escala local.

Sin embargo, es necesario señalar que algunos campesinos utilizan semillas comerciales (supuestamente “mejoradas”) a pesar de que reconocen algunas ventajas de las

semillas nativas (también llamadas “criollas”) sobre las variedades comerciales. De acuerdo con los campesinos entrevistados, las semillas nativas tienen mayor resistencia y adaptabilidad a los ambientes locales, menor incidencia de plagas, menor costo (ya que después de la cosecha pueden almacenarse para el siguiente ciclo agrícola) y menor dependencia de insumos agroquímicos. Las personas entrevistadas consideran que las semillas nativas son mejores que las semillas comerciales en apariencia, textura, valor nutricional, rendimiento y, principalmente, sabor (un aspecto destacado que les confiere identidad y orgullo).

De manera intercalada con la milpa, se cultivan árboles frutales como limón (*Citrus aurantifolia*), chicozapote (*Manilkara zapota*), mango (*Mangifera indica*), ciruela (*Spondias purpurea*), anona (*Annona reticulata*) y zapote negro (*Diospyros digyna*), los cuales representan ingresos monetarios, por lo que se destinan principalmente a los mercados regionales y en menor medida al autoconsumo. Además, los campesinos permiten que sus cultivos coexistan con remanentes de vegetación nativa, cercos vivos, manchones de cobertura forestal, franjas contra la erosión, islas de vegetación y árboles aislados nativos de la selva seca.

En estos SAFT los campesinos utilizan abonos orgánicos combinados con fertilizantes químicos (como urea y fosfato diamónico), así como insecticidas (malatión), herbicidas (glifosato) y fungicidas (sulfurados) sintéticos que ocasionan que algunas plagas desarrollen una resistencia progresiva (p. ej. el “gusano cogollero” *Spodoptera frugiperda*, la “araña roja” *Tetranychus urticae* y la “cenicilla” causada por un hongo de la familia Erysiphaceae); lo que demuestra la existencia de prácticas tradicionales y modernas paralelamente. No obstante, la agricultura en la región supone una inversión económica relativamente baja en insumos externos, ya que las personas seleccionan y almacenan sus semillas para el siguiente ciclo agrícola, y hacen uso de la fuerza de trabajo familiar (excepto durante la siembra, cuando usualmente contratan a dos jornaleros durante dos días para sembrar 0.5 ha). No se utiliza el fuego para “limpiar” los terrenos (en la comunidad de Quiotepec). La mecanización es relativamente baja y se utilizan principalmente herramientas manuales como pala, talacho, machete y “chicole”. La yunta de bueyes se usa para arar la tierra –de manera más precisa– y se prefiere sobre el uso del tractor –que suele emplearse en algunos casos para preparar la tierra. Después de la cosecha los campesinos permiten que el ganado entre en los campos agrícolas para alimentarse del rastrojo, por lo que estos SAFT podrían considerarse como sistemas agrosilvopastoriles conforme a la clasificación de Nair (1985).

Uno de los atributos más destacados de los SAFT de la región, que favorece el mantenimiento de la diversidad biocultural –y que no es tan fácilmente reconocible como las prácticas agroforestales–, es el manejo agroecológico implementado por los campesinos. Este manejo comprende: i) el mantenimiento intergeneracional de la agrobiodiversidad mediante la selección y el almacenamiento de semillas nativas (una actividad realizada principalmente por mujeres), ii) el empleo de abonos orgánicos (como estiércol de chivo, guano de murciélago y ceniza vegetal), iii) el cuidado de la fertilidad del suelo mediante la reincorporación de hojarasca, iv) el uso de conservadores y repelentes orgánicos contra las plagas (p. ej. ajo contra el gorgojo, látex contra las hormigas), v) la experimentación sistemática de intervenciones en la vegetación (p. ej. probar plaguicidas menos tóxicos en pocos individuos y observar cómo responden), vi) la minimización del uso de agroquímicos, vii) la práctica de la agricultura “natural” (sin el uso de insumos externos), y viii) la propagación vegetativa y la trasposición de plantas silvestres hacia las orillas de sus parcelas.

Finalmente, en este punto conviene tener presente el riesgo que señala Durand (2002) en torno a la idealización de las comunidades tradicionales, suponiendo relaciones funcionales entre conocimiento y manejo, así como la simplificación de sus múltiples contextos frente a las presiones de la modernidad, reforzando el mito de que las sociedades indígenas, tradicionales o preindustriales son siempre ecológicamente sustentables; cuando en realidad es común la implementación de prácticas tradicionales y modernas de forma simultánea.

### **Diseño metodológico**

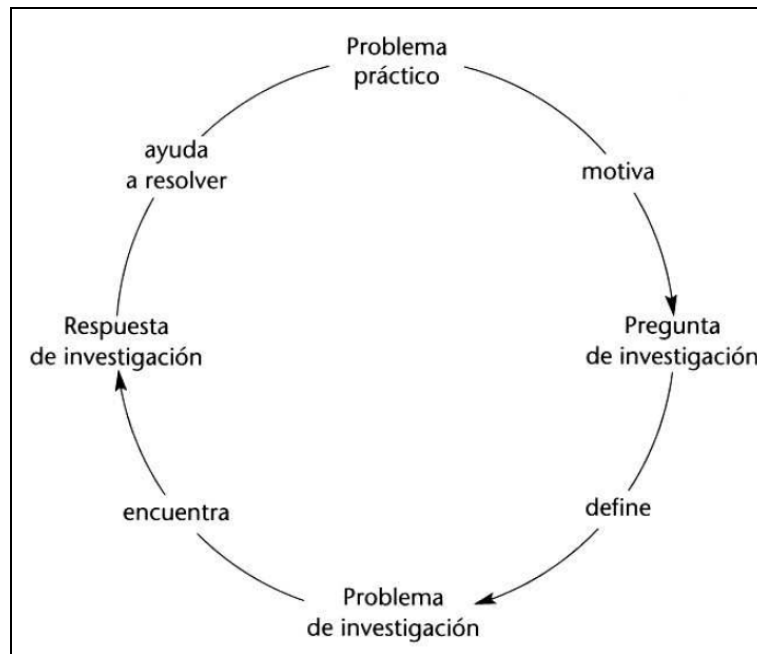
Realizamos un estudio híbrido en el que mezclamos abordajes provenientes de disciplinas ecológicas (como la partición de la diversidad) y sociales (como el análisis cualitativo). Fue necesario emplear ambos enfoques para responder más integralmente a las preguntas de investigación planteadas.

Para el diseño de la investigación tuvimos en cuenta la propuesta de Booth *et al.* (2001), en donde:

- ❖ Dentro de un área de interés (la conservación de diversidad biocultural).
- ❖ Se identifica un problema práctico –existente en el “mundo real”– (la destrucción y/o la transformación drástica y profunda de la naturaleza, así como el detrimento de la diversidad biocultural que esto conlleva).
- ❖ Que motiva el planteamiento de preguntas de investigación (¿En qué medida los SAFT son capaces de mantener la vegetación nativa –de la selva seca– y de proveer

contribuciones para las personas? y ¿Cuáles son las motivaciones más determinantes de los campesinos para mantener la vegetación silvestre dentro de sus parcelas agrícolas?).

- ❖ Que definen un problema de investigación (el desconocimiento sobre la capacidad de los SAFT tanto para mantener la biodiversidad, como para proveer contribuciones benéficas que satisfacen algunas necesidades humanas fundamentales); que implica algunos costos (como seguir perdiendo y deteriorando la diversidad, así como el detrimento del bienestar humano).
- ❖ Para buscar y encontrar una respuesta de investigación que, en alguna medida, ayude a resolver el problema práctico (**Figura 8**).



**Figura 8.** Proceso empleado para diseñar la investigación. Fuente: Booth *et al.* (2001).

### *Partición de la diversidad*

Para evaluar la capacidad de conservación de diversidad vegetal de los SAFT con respecto a la vegetación nativa de selva seca, analizamos la cobertura forestal que los campesinos mantienen en sus parcelas agrícolas mediante la implementación de prácticas agroforestales, así como su estructura (densidad, frecuencia), composición florística y disponibilidad espacial.

Para lograr lo anterior, adecuamos un diseño de muestreo con base en otros estudios realizados en la región (p. ej. Moreno-Calles *et al.* 2010; Vallejo *et al.* 2014, 2015, 2016;



Campos-Salas *et al.* 2016). Los ajustes más sustanciales que planteamos fueron: i) identificar varias parcelas agroforestales (o SAFT) dentro del área de estudio, ii) etiquetarlas y elegir algunas de ellas mediante el uso de números aleatorios, iii) gestionar el permiso de los propietarios de las parcelas seleccionadas para realizar el estudio, iv) comenzar con el muestreo de las parcelas agroforestales y después muestrear la vegetación silvestre circundante en condiciones geomorfológicas semejantes (de altitud, pendiente, tipo de suelo), y v) desarticular la superficie total de la unidad muestral en fragmentos más pequeños –para los muestreos tanto de SAFT como de vegetación silvestre– con la finalidad de captar la mayor heterogeneidad posible en ambos escenarios, pero considerando los fragmentos como pseudoréplicas.

### **Obtención de los datos**

Para reunir la información llevamos a cabo lo siguiente:

- ❖ Nueve muestreos de vegetación silvestre con una superficie de 500 m<sup>2</sup> cada uno, que están conformados por cinco cuadros –de 10 × 10 m cada uno– repartidos dentro de una superficie aproximada a 1.5 ha (que corresponde al tamaño promedio de las parcelas agrícolas del área de estudio) y con una distancia mínima de separación entre sí de 20 m, para registrar la altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP; a 1.3 m del suelo) de los árboles y las cactáceas columnares enraizadas dentro de esta superficie. Cada cuadro de 10 × 10 m, se dividió en cuatro cuadros –de 5 × 5 m– y se eligió uno de ellos al azar para registrar la altura y dos diámetros de cobertura (lado mayor de la copa y el perpendicular a este) de arbustos, lianas (trepadoras leñosas), cactáceas globosas y plantas rosetófilas (de los géneros *Agave* y *Hechtia*).
- ❖ Nueve muestreos de parcelas agroforestales (o SAFT) de la misma superficie que los muestreos de vegetación silvestre (500 m<sup>2</sup>), también conformados por cinco cuadros de 100 m<sup>2</sup> cada uno (con forma variable; 10 × 10 m o 20 × 5 m), con un diseño específico para cada SAFT (porque cada uno de ellos es distinto), sectorizados y proporcionalmente representativos de cada práctica agroforestal observada, así como mapeados previamente con ayuda de Google Earth Pro.
- ❖ Colectas etnobotánicas y captura de fotografías para documentar el valor de las plantas al mostrarlas a los habitantes de las comunidades.
- ❖ Identificación y procesamiento de las muestras para su inclusión a colecciones de herbario (en donde nos fue de gran ayuda la *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*; [www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras\\_tehuacan/florastehuacan.htm](http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras_tehuacan/florastehuacan.htm)).

## Análisis de la información

Estimamos los números equivalentes de especies (también llamados *Hill numbers*) como medida de la diversidad “verdadera”<sup>6</sup> de orden  $q = 0, 1$  y  $2$  (Jost, 2006), ya que estos permiten obtener una interpretación intuitiva y fácilmente comparable de la diversidad de especies (Moreno *et al.*, 2011). Aquí el exponente  $q$  determina la sensibilidad del índice a las abundancias relativas de las especies, es decir, la influencia que pueden tener las especies comunes o las especies raras en la estimación de la diversidad (Jost & González-Oreja, 2012).

En esta aproximación, cuando  $q = 0$  ( ${}^0D$ ; diversidad de orden 0) la abundancia de las especies no influye en el valor de  $q$ , por lo que el valor obtenido equivale al número (o “riqueza”) de especies; en donde los valores de  $q$  menores de 1 sobrevaloran las especies raras. Cuando  $q = 1$  ( ${}^1D$ ; diversidad de orden 1) todas las especies son incluidas con un peso exactamente proporcional a su abundancia en la comunidad y equivale al exponencial del índice de Shannon calculado con el logaritmo natural ( ${}^1D = \exp H'$ ); por lo que esta estimación de la diversidad podría ser una de las más adecuadas. Finalmente, cuando  $q = 2$  ( ${}^2D$ ; diversidad de orden 2) tienen más influencia las especies comunes y equivale al inverso del índice de dominancia de Simpson ( ${}^2D = 1/D$ ).

También calculamos el factor de equitatividad ( ${}^2D/{}^0D$ ) que indica que tan equitativamente se distribuyen las abundancias de las especies (entre más cercano a la unidad la comunidad es más equitativa) (Jost, 2006; Jost & González-Oreja, 2012; Moreno *et al.*, 2011), así como los índices de entropía de Shannon ( $H'$ ) y de dominancia Simpson ( $D$ ; entre más cercano a la unidad la comunidad es más dominante y se asume menos diversa).

Finalmente, empleamos pruebas  $t$  de Student para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los sitios de selva seca y SAFT en términos de abundancia de individuos. Los análisis se realizaron con el paquete entropart (Marcon & Hérault, 2015) del software estadístico R (v. 3.6.3).

---

<sup>6</sup> El término de diversidad “verdadera” (*true diversity*) fue propuesto por Jost (2006) para referirse de manera particular a las medidas que conservan las propiedades intuitivas esperadas del concepto de diversidad (como la propiedad matemática de duplicación), así como para diferenciar estas medidas de la plétora de índices que se pueden encontrar en la literatura bajo el nombre de diversidad y que no cumplen con estas propiedades (Moreno *et al.*, 2011).

### *Análisis cualitativo*

Con el fin de identificar las motivaciones más determinantes de las y los campesinos para mantener la biodiversidad y analizar la capacidad de los SAFT para proveer contribuciones al bienestar de las personas, realizamos un análisis cualitativo incorporando el referente metodológico de la teoría fundamentada (*Grounded Theory*) propuesto por Glaser & Strauss (1967). Este enfoque ayuda a descubrir conceptos, proposiciones, hipótesis y teorías partiendo directamente de los datos (Taylor & Bogdan, 1987). Tal aproximación fue considerada adecuada porque buscamos generar explicaciones de forma inductiva, es decir, extrayendo el principio general implícito en observaciones y experiencias particulares.

El análisis cualitativo se sustenta en una retroalimentación continua –desde los datos hacia la formulación de interpretaciones– donde: i) se analiza la información de forma sistemática para generar códigos (o identificadores de temas particulares), ii) se depuran y/o matizan estos códigos y sus interpretaciones mediante la contrastación continua de los datos, iii) se identifican sus propiedades, iv) se clasifican y agrupan dentro de categorías, v) se exploran sus interrelaciones, y finalmente vi) se integran en una explicación o teoría coherente (Taylor & Bogdan, 1987).

El trabajo de campo inició con visitas exploratorias a las comunidades potenciales de estudio con el fin de confirmar la presencia de SAFT en su territorio, así como para solicitar el consentimiento de las autoridades comunitarias para realizar la investigación. Asimismo, visitamos a los funcionarios de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán para informarles de nuestra intervención, solicitar su autorización y recibir asesoría de su parte.

### **Obtención de los datos**

Para recopilar la información realizamos lo siguiente:

- ❖ 10 entrevistas semiestructuradas con las y los campesinos que manejan los SAFT que analizamos con el abordaje ecológico de partición de la diversidad descrito anteriormente. Participaron dos mujeres y ocho hombres de entre 29 y 81 años (promedio 60 años), durante los meses de febrero de 2018 y agosto de 2019; lo que representó alrededor de 15 horas de grabaciones que fueron transcritas para ser analizadas posteriormente.
- ❖ Dos talleres con habitantes de las comunidades (en los que participaron 13 jóvenes y adultos de ambos sexos), en donde abordamos “los beneficios de las plantas del

monte” –empleando listados libres sobre las contribuciones de la vegetación– y la reconstrucción del calendario agrícola de la comunidad.

- ❖ Observación participante en algunas actividades de las comunidades (como pizarcar maíz, hacer bultos de pastura, acompañar a pastorear rebaños de chivos, asistir a ceremonias religiosas y ritos funerarios).
- ❖ Charlas informales con los campesinos mientras hacíamos recorridos por el monte, compartíamos la hora de la comida o disfrutábamos de la tarde en su casa.
- ❖ Registro de notas en un diario de campo.

Las entrevistas comprendieron 85 preguntas sobre: i) las características e historia de las parcelas agroforestales, ii) el nivel de intensificación agrícola, iii) el manejo de la vegetación, iv) las contribuciones al bienestar humano, y v) las motivaciones de las y los campesinos para el mantenimiento o la eliminación de plantas silvestres dentro de sus parcelas.

Previamente, habíamos realizado muestreos comparativos entre nueve SAFT y nueve sitios de vegetación adyacente de selva seca, con el fin de evaluar la capacidad de conservación de diversidad de los SAFT respecto a la vegetación silvestre (ver Rendón-Sandoval *et al.*, 2020). Esto último nos permitió documentar la capacidad de conservación de algunos SAFT de la región, comenzar a comprender la realidad campesina en distintos contextos locales y explorar las contribuciones que brinda la vegetación al bienestar de las personas.

### **Análisis de la información**

Para analizar la información: i) partimos de la transcripción de entrevistas, identificando los elementos más relevantes para generar un listado de temas centrales que complementamos con la información proveniente de los talleres, la observación participante, las charlas informales y las notas de campo, ii) organizamos los temas para establecer categorías preliminares y asignamos códigos *a priori* que sirvieron de base para un análisis más cuidadoso, iii) analizamos a profundidad las entrevistas con ayuda del programa Atlas.ti (versión 7); lo que facilitó la generación de códigos más robustos que se agruparon en categorías y subcategorías de análisis más precisas (relacionadas principalmente con temas emergentes como la continuidad de la condición campesina, el conocimiento ecológico tradicional y local, las contribuciones de la naturaleza y la intensificación agrícola), y finalmente iv) analizamos las relaciones entre los códigos, y entre los códigos y el contexto

local, realizando una revisión continua de la coherencia entre los datos y las interpretaciones dadas para asegurar la veracidad de los resultados y explicaciones.

Clasificamos las contribuciones de la vegetación al bienestar humano con base en la propuesta de Díaz *et al.* (2018) en las categorías de: i) contribuciones materiales (sustancias, objetos u otros elementos tangibles de la naturaleza que sostienen directamente la existencia física de las personas y que usualmente son consumidos en el proceso de ser experimentados), ii) contribuciones inmateriales (efectos de la naturaleza en aspectos subjetivos o psicológicos que sustentan la calidad de vida de las personas y que brindan oportunidades para la recreación, inspiración, experiencias espirituales o de cohesión social) y iii) contribuciones reguladoras (aspectos estructurales y funcionales –de los organismos y ecosistemas– que modifican las condiciones ambientales experimentadas por las personas y/o que regulan la generación de contribuciones materiales e inmateriales).

Conjuntamente, vinculamos estas contribuciones con la satisfacción de algunas de las necesidades humanas fundamentales planteadas por Max-Neef *et al.* (1998), tales como: i) subsistencia (mediante satisfactores como alimentación, abrigo, descanso, trabajo), ii) protección (cuidado, descanso, morada, salud), iii) identidad (pertenencia, costumbres, valores, reconocimiento), iv) afecto (autoestima, respeto, aprecio, relaciones personales), v) entendimiento (intuición, racionalidad, experimentación, interpretación), vi) creación (imaginación, curiosidad, destreza, autonomía), vii) participación (solidaridad, derechos, obligaciones, cooperación) y viii) ocio (despreocupación, tranquilidad, recreación, relajación).

### CAPÍTULO III. SISTEMAS AGROFORESTALES TRADICIONALES Y CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD VEGETAL NATIVA DE LA SELVA SECA



---

Rendón-Sandoval, F. J., Casas, A., Moreno-Calles, A. I., Torres-García, I. & García-Frapolli, E. (2020). **Traditional agroforestry systems and conservation of native plant diversity of seasonally dry tropical forests.** *Sustainability* 12(11): 4600.

<https://doi.org/10.3390/su12114600>

---

#### **Resumen**

Los sistemas agroforestales tradicionales (SAFT), que integran los cultivos con la vida silvestre, son importantes reservorios de cultura, conocimiento local y experiencia técnica con una alta capacidad de conservación de biodiversidad. Nuestro estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad de los SAFT para conservar la diversidad florística nativa de la selva seca en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Comparamos los SAFT y la selva seca midiendo su cobertura forestal, composición florística y estructura, además de documentar las motivaciones de los campesinos para mantener la vegetación silvestre en sus parcelas agrícolas. Realizamos un muestreo aleatorio restringido de especies de plantas perennes, incluyendo nueve sitios de SAFT y nueve de selva seca para determinar la diversidad alfa, beta

y gamma. Además, realizamos entrevistas semiestructuradas con los campesinos que manejan los SAFT que estudiamos. También realizamos talleres con los habitantes de las comunidades. Nuestros resultados muestran que los SAFT pueden mantener, en promedio, el 68% de las especies (95% de ellas nativas de la región) y el 53% de los individuos presentes en la vegetación nativa de selva seca adyacente. Los SAFT albergan 30% (39 especies) de plantas endémicas de México. El número total de especies presentes en la selva seca y en los SAFT fue similar, así como el número equivalente de especies o comunidades estimados para la diversidad alfa, beta y gamma, pero difirió en la abundancia de individuos. El alto recambio de especies (diversidad beta) registrado en la selva seca (72%) y en los SAFT (74%) tiene implicaciones relevantes para la conservación, sugiriendo que sería necesario mantener varios sitios para conservar la diversidad regional de la vegetación silvestre. La obtención de contribuciones materiales, inmateriales y reguladoras fue señalada como la razón principal por la cual los campesinos mantienen la vegetación silvestre. Los SAFT asociados a la selva seca de la región resguardan una parte importante de la diversidad y el endemismo de los ecosistemas circundantes, además de proporcionar múltiples contribuciones socioecológicas. Por lo tanto, estos sistemas podrían representar una alternativa viable para conciliar la conservación biológica y el bienestar humano.

**Palabras clave:** agroforestería, conservación de biodiversidad, conservación del bosque tropical seco, diversidad biocultural, manejo tradicional, Valle de Tehuacán-Cuicatlán.



Article

# Traditional Agroforestry Systems and Conservation of Native Plant Diversity of Seasonally Dry Tropical Forests

Francisco J. Rendón-Sandoval <sup>1,\*</sup> , Alejandro Casas <sup>1,\*</sup> , Ana I. Moreno-Calles <sup>2</sup> ,  
Ignacio Torres-García <sup>2</sup>  and Eduardo García-Frapolli <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES), Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Morelia 58190, Mexico; frendon@cieco.unam.mx (F.J.R.-S.); eduardo@cieco.unam.mx (E.G.-F.)

<sup>2</sup> Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Morelia 58190, Mexico; isabel\_moreno@enesmorelia.unam.mx (A.I.M.-C.); itorresg@enesmorelia.unam.mx (I.T.-G.)

\* Correspondence: acasas@cieco.unam.mx; Tel.: +52-4433-222-703

Received: 17 April 2020; Accepted: 2 June 2020; Published: 4 June 2020



**Abstract:** Traditional agroforestry systems (TAFS), which integrate crops with wildlife, are important reservoirs of human culture and technical experiences with a high capacity for biodiversity conservation. Our study aimed to evaluate the capacity of TAFS to conserve the floristic diversity of tropical dry forests (TDF) in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. We compared TAFS and TDF by measuring their forest cover, floristic composition, and structure, in addition to documenting the motivations of people to maintain native vegetation in their agricultural fields. We conducted a restricted randomized sampling of perennial plant species, including nine sites of TAFS and nine of TDF to determine the alpha, beta, and gamma diversity. Furthermore, we conducted semi-structured interviews with peasants who managed the agricultural plots we studied. We also performed workshops with people of the communities where surveys were performed. Our findings show that TAFS can maintain, on average, 68% of the species (95% of them native to the region) and 53% of the abundance of individuals occurring in the adjacent TDF. TAFS harbour 30% (39 species) of plants endemic to Mexico. Total species richness of TDF and TAFS were similar, as well as the effective number of species or communities estimated for the alpha, beta, and gamma diversity, but differed in the abundance of individuals. The high species turnover recorded in TDF (72%) and TAFS (74%) has profound implications for conservation, suggesting that it would be necessary to maintain several sites in order to conserve the regional diversity of native vegetation. Material, non-material, and regulatory contributions were reported to be the reason that peasants take into account maintaining natural vegetation. TAFS associated with TDF in the region (also called “Apancles”) contain an important richness, diversity, and endemism of components of natural ecosystems, as well as provide multiple socio-ecological contributions. These systems could represent a viable alternative to reconcile biological conservation with social well-being.

**Keywords:** agroforestry; Apancles; biocultural diversity; biodiversity conservation; traditional plant management; Tehuacán-Cuicatlán Valley; tropical dry forest conservation

## 1. Introduction

Traditional forms of rural life are commonly able to satisfy basic peasants households’ needs by using natural ecosystems and biodiversity while conserving them [1–4]. Among the strategies for such purposes, traditional agroforestry systems (TAFS) are outstanding. These systems deliberately



integrate the conservation of forest species with crops and a high diversity of semi-domesticated organisms for the purpose of obtaining ecological, economic, and social benefits [5,6].

TAFS are important reservoirs of human culture, technical experiences, biodiversity, and ecosystems [4]. Agroforestry is probably the earliest form of agricultural management, since the development of agriculture was associated with forest management [7], and the earliest phases of agriculture likely integrated incipient crops within forest landscapes or forest components in agricultural systems. These practices have persisted over millennia [5]. Current TAFS are a result of a long history of silvicultural and agricultural management [8,9], and are of great relevance for facing the challenges in designing sustainable production systems [10,11].

These systems have a high capacity for biodiversity conservation. For instance, reports from Bhagwat et al. [12] suggest that, in the pan-tropical area, TAFS have an arboreal and herbal species richness of 64% occurring in adjacent native forests, whereas Noble and Dirzo [13] found that in Indonesia these systems may conserve 50% to 80% of the plant and bird species diversity of native forests. In Mexico, several studies in the Tehuacán-Cuicatlán Valley region have reported that TAFS contain, on average, 70% of the components of the surrounding forests of temperate and semi-arid areas (not including tropical dry forest) [14]. In addition, these systems maintain a mosaic of vegetation forming biological corridors at the landscape level that provide a favourable habitat for a great variety of associated species [1].

TAFS involve management forms that contribute to biodiversity conservation, among them: (i) tolerance, directed to deliberately maintaining within TAFS wild and weedy plants that occurred in the areas before their transformation; (ii) protection, which consists of providing special care to desirable plants to ensure their permanence in the managed systems—these practices include the removal of competitors, pruning, fertilization, protection against herbivores, procuring light or shade, and protection against other environmental risks; and (iii) promotion, through which people increase the abundance of desirable plants in their natural habitats or TAFS by sowing seeds, planting vegetative structures or entire plants from forests to agricultural fields, managing fire and water, and practicing other strategies that support the abundance of some species. These activities enhance the availability of plant components valued by people, as well as conserving and restoring vegetation [5,13–15].

All these management forms sustain what we call in this study the agroforestry practices, which are interventions in domesticated, weedy, and wild components of TAFS that are deliberately carried out by peasants in these systems to maintain biodiversity and obtain different types of benefits. In the study area and other regions of Mexico, Moreno-Calles et al. [15–17] and Vallejo et al. [18] characterized different types of agroforestry practices for different ecosystems, not including tropical dry forests: (i) vegetation patches, which are areas of forest left inside crop fields (mainly on the edges of the plots and commonly connected with adjacent forest areas) to protect them against landslides, or because they have some valuable forest components, or simply because these areas are stony and difficult to till, or have pronounced slopes or inappropriate soil; (ii) vegetation islands, or small patches of vegetation distributed in the fields (which are small areas combining remnants of native vegetation and other managed plants or deliberately designed sites that are located within the plots); (iii) vegetation fringes that are strips of vegetation forming terraces, barriers, or borders of plants tolerated or promoted inside crop fields to protect soils against erosion and crops against wind, being also effective for maintaining soil and humidity; (iv) isolated trees, which are individuals of arboreal species with special value for people because they provide shade, edible fruits, fodder, firewood, or other benefits; and (v) live fences that include plant components, some of which are from natural vegetation, for delimiting crop fields.

Commonly, people move young plants from inside the fields (or even from forests) to some of the mentioned types of agroforestry practices, most commonly live fences and vegetation fringes. In some crop fields, it is possible to find some or all of these types of agroforestry practices favouring the conservation of a high proportion of biodiversity and ecosystem functions, while satisfying basic human needs.

Seasonally dry tropical forests (or tropical dry forests, TDF) are plant communities formed by tropical species characterized by their loss of leaves during the dry season [19]. TDF represent 41.5% of the areas of the world covered by tropical forests [20,21]. In Mexico, they cover 11.26% of the terrestrial national territory [22] and are mainly distributed on thin, stony soils with good drainage on hill slopes at elevations from 0 to nearly 2000 m [19].

Mexican TDF occur in a wide variety of climatic conditions, but most importantly in those with a marked seasonality, with 6.2 to 10 dry months of the year [23]. Rainfall concentrates in a season generally from May to October, which is determinant in the phenological responses of their components [19]. According to García [24] and Trejo [23], the most representative climate type is the warm sub-humid climate, with summer rains and extreme annual thermic oscillations, in areas where frosts are usually absent and annual averages of temperature are between 18 and 30 °C, and rainfall of 300 to 1500 mm.

TDF are among the tropical ecosystems most threatened by human activities [25–29], and it has been estimated that only 44% of the original surface of these forests remain [30]. Miles et al. [31] identified four regions of the world where TDF are particularly threatened: (i) Indochina, (ii) Chhota-Nagpur (India), (iii) Mexico, and (iv) Chiquitano (Bolivia). The neotropical region is especially relevant since it harbours more than 60% of the remnants of TDF existing on the planet [31,32].

The severe degree of transformation of TDF can be explained because it has suffered chronic anthropogenic disturbance [33] and because it is one of the tropical habitats preferred for the exploitation of natural components and establishing human settlements [26,34]. Neotropical TDF were the setting of great civilizations with a long history of interaction with local ecosystems and where domestication of plants like maize, beans, squashes, cotton, and chili peppers, among others, took place [25,26,35].

The high biological diversity contained in TDF, and even more the high degree of endemism, is remarkable. TDF concentrate the highest endemism in the neotropics; for instance, in Mexico 60–73% of species of these forests are endemic [25,36], and are therefore a priority for conservation [31,37]. Strategies of use and human subsistence that allow the maintenance of such enormous and unique diversity are of extraordinary importance and, in this task, TAFS may make a valuable contribution.

The main aim of this study is to evaluate the capacity of TAFS for conserving the native vegetation of the seasonally dry tropical forests. For this purpose, we conduct studies in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, central Mexico. Based on studies of TAFS [15,16,38–40] conducted in other ecosystems of the region, we expect that these systems have a high capacity for plant diversity conservation, substantially contributing to satisfying human needs, and that these features are intimately linked. For this reason, we document the main motivations of local people to maintain native vegetation and to analyse the potential role of TAFS for designing regional strategies for the conservation of biocultural diversity.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study Area

The Tehuacán-Cuicatlán Valley is one of the main reservoirs of the biocultural richness of Mexico, with a human cultural history of approximately 12,000 years [7], and early archaeological signs of agriculture in association with forest management [7,41–44]. In 1998, the Mexican government decreed the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, with the purpose to maintain the regional biodiversity shared among the states of Oaxaca and Puebla. More recently, in 2018, the UNESCO inscribed the “Tehuacán-Cuicatlán Valley: originary habitat of Mesoamerica” within the World Heritage List as a Mixed Heritage of Humanity (both cultural and natural), due to the extraordinary value of the regional natural ecosystems and biodiversity, the unique cultural history, and the diversity of traditional Mesoamerican cultures.

This study was conducted in three communities of Mazatec and Cuicatec origin, in the “Cañada Oaxaqueña” region, in the municipality of San Juan Bautista Cuicatlán. This territory has a semi-arid and very dry climate (annual mean temperature and precipitation of 25 °C and 485 mm, respectively),

being the confluence zone of several rivers that allow the presence of riparian vegetation, columnar cacti forests, and TDF. Our studies were conducted in the communities of Santiago Quiotepec, San Juan Bautista Cuicatlán, and Santiago Dominguillo, where local people practice primary activities like agriculture, raising goats, and planting fruit trees and gathering of non-timber forest products [45,46].

### The Apangle: A Traditional Agroforestry System Associated with Tropical Dry Forest

The term “Apangle” or “Apantle” is the local name for the TAFS associated with the TDF of the Cañada Oaxaqueña region. The name derives from “Apantli”, a Náhuatl term referring to the irrigation channels [47] that make agriculture possible in the dry zone studied. It is also the name given to the irrigated agricultural systems found in practically all the communities of the region.

The Apangle is a small-scale traditional agricultural system, carried out in crop fields of 1–3 ha on average ( $1.66 \pm 0.55$  ha, min. 0.69, max. 2.38), in areas irrigated by permanent rivers, springs, and seasonal streams. There, people cultivate native varieties of maize (“blanco”, “negrito” or “prieto”, “pinto”, “amarillo”), beans (“delgadito”, “mosquito”), and squash (“támala”), mainly destined for direct consumption by households and partly used for barter, presents to friends, and commercialization at local level. Fruit trees cultivated there (lemon, *Citrus aurantifolia*; sapodilla, *Manilkara zapota*; mango, *Mangifera indica*; jobo, *Spondias purpurea*; annona *Annona reticulata*) are directed mainly to regional markets and partly to direct consumption. In the Apangle, the domesticated plants are integrated with remnants of native vegetation, live fences, forest cover patches, vegetation islands, and fringes, as well as isolated trees of the TDF. In these TAFS, people make use of organic fertilizers (dung from goats, cows, and bats, and ash from home stoves) combined with chemical fertilizers (urea and other nitrogen compounds, and diammanic phosphate). This means a relatively low economic investment in external inputs, since people select and store their seeds for the following agricultural cycle, and make use of the labour of family members (except during seed sowing, when they pay two people for two days for sowing 0.5 ha). Land rotation without using fire is undertaken in one- to two-year cycles (in the community of Quiotepec). Mechanization is at a low level, mainly using manual tools like shovels, sticks, “talacho” (a hand tool used for digging), machetes, “chicole” (a long stick with a basket in the tip for fruit harvesting), and ploughs; tractors are most commonly rented and used only for preparing the land. After harvest, people allow cattle and goats to enter the agricultural fields to feed on straw, and therefore the Apangle should be considered an agrosilvopastoral system, according to Nair [48].

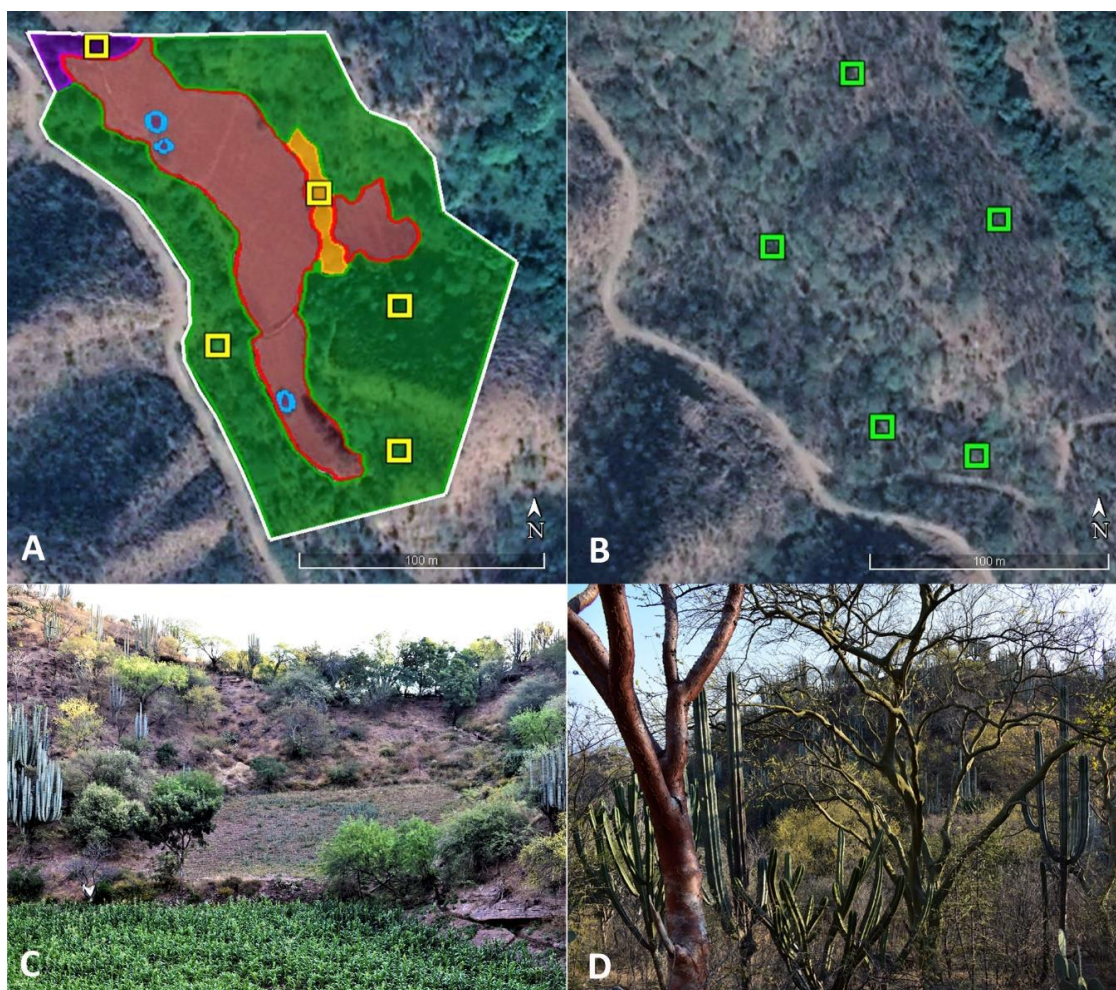
### 2.2. Sampling Design

To evaluate the capacity of TAFS for plant diversity conservation, we compared the vegetation maintained in these systems with areas of TDF. We measured the vegetation cover maintained in the agricultural plots through the different types of agroforestry practices, as well as the floristic composition, structure (abundance, density, frequency), the spatial arrangement of components, and motivations of people to maintain plants and vegetation in their agricultural fields.

We adapted sampling methods developed for analysing TAFS in other vegetation types of the region by Moreno-Calles et al. [15–17], Vallejo et al. [14,38,39] and Campos-Salas et al. [40]. We conducted a restricted randomized sampling of perennial species, including nine sites of TAFS and nine of TDF. For selecting the TAFS plots studied, we firstly identified several plots, numbered these, selected three from each community by randomly choosing numbers, and then asked for permission to sample from the various landowners. TDF sites were selected considering similar topographic, soil, and geomorphological conditions to TAFS. In each site of TDF, we sampled a total area of 500 m<sup>2</sup> by sampling five squares of 10 × 10 m (100 m<sup>2</sup>) each, randomly located in an area of 1.5 ha (the average area of agricultural plots studied), separating each 100 m<sup>2</sup> by at least 20 m. In each sampling square, we counted all individuals of the different species of trees and columnar cacti (abundance), registering for each tree its height and diameter at breast height  $\geq 2$  cm (DBH, approximately at 1.3 m). Each 100 m<sup>2</sup> square was subdivided into four 5 × 5 m (25 m<sup>2</sup>) nested squares, one of which was randomly selected for recording height and two perpendicular diameters of shrubs, lianas (woody climbers), rosetophyllous



m). Each 100 m<sup>2</sup> square was subdivided into four 5 × 5 m (25 m<sup>2</sup>) nested squares, one of which was planted with a species of *Agave* according to height and globe characteristics. In each site, one of the plants of the same area and plot in the Elobos site (500 m<sup>2</sup>) in each site were also vegetated in 100 m<sup>2</sup> of TAFS (to a total size of 100 m<sup>2</sup> in each plot) in the form of sites (vegetation patches), where we also included five 100 m<sup>2</sup> squares (referred to as agricultural plots) required a specific design for the form of the vegetation patches, where we measured the growth form every type of agroforestry practice recorded, for defining such strategies, we mapped the distribution and proportionally representing every type of agroforestry practice recorded; for defining such strategies, we mapped the distribution of the vegetation areas inside the plot, with the help of Google Earth Pro<sup>®</sup> (Figure 1). Sampled TAFS included plots with different levels of management intensity, which was considered to be higher in plots with lower vegetation cover and higher energy invested in management, complexity of tools used, and crop production [49,50].



**Figure 1.** Sampling design. (A) Example of a traditional agroforestry system (TAFS) sampling site. Colours indicate different coverages: remnants of native vegetation (green); live fences (purple); isolated trees (blue); vegetation fringes (orange); agricultural cover (red). The yellow squares indicate samples of 10 × 10 m. (B) Example of a tropical dry forest (TDF) sampling site. The green squares indicate samples of 10 × 10 m. (C) View of a TAFS site. (D) View of a TDF site. Credit for (A–B): Google Earth Pro<sup>®</sup>; (C–D): Francisco J. Rendón-Sandoval.

In all sites sampled, we conducted ethnobotanical collection and preparation of herbarium specimens, and took photographs. Based on these materials, we then documented the cultural value of the plants occurring in the studied areas. We identified and processed all samples and the voucher specimens were deposited to the herbaria the National Herbarium of Mexico MEXU and the IBUG from the University of Guadalajara, Mexico (acronyms according to Thiers [51]). The taxonomic

identification was carried out rigorously by experts in the field, in addition to the support by specialists in some plant groups. Particularly helpful for identifying plant specimens was the collection of the project “Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán”. For estimating and comparing plant diversity in the different settings, as far as possible, we carried out vegetation sampling under similar environmental conditions to the sites where the TAFS were sampled, particularly elevation and slope inclination. For TAFS, on average,  $652 \pm 79.73$  m (min. 590, max. 770) and  $19.33 \pm 9.81^\circ$  (min. 0, max. 30), respectively, while for TDF  $771 \pm 163.23$  m (min. 625, max. 1071) and  $19.78 \pm 9.93^\circ$  (min. 5, max. 32).

To document the motivations of local people for conserving native vegetation, we conducted semi-structured interviews with the peasants who managed the agricultural plots studied, as well as workshops with groups of people of the communities where the research was conducted. In the interviews, we asked questions about the history of each crop field, socio-economic aspects of the production units, aspects of agricultural management to characterize the level of intensification, and forms of managing vegetation and criteria for making decisions about the maintenance of wild species in the agricultural plots (Supplementary File S2). We classified the benefits of the vegetation maintained within agricultural plots following the proposal of Díaz et al. [52] into three main topics: (i) material contributions—substances, objects, or other tangible elements of nature that directly sustain the existence of people; (ii) nonmaterial contributions—effects of nature on subjective or psychological aspects that sustain the quality of life of people and that provide opportunities for recreation, inspiration, spiritual experiences, or social cohesion; and (iii) regulating contributions—structural and functional aspects of organisms and ecosystems that modify the environmental conditions experienced by people and that regulate the generation of material and nonmaterial contributions. The study was conducted from September 2017 to August 2019.

### 2.3. Data Analyses

We estimated the average diversity at the local level of each site (alpha diversity;  $\alpha$ ), the total diversity at the regional level of the Cañada Oaxaqueña (gamma diversity;  $\gamma$ ), and the relationship between both, which reflects the change in species composition (beta diversity;  $\beta = \gamma/\alpha$ ) [53], indicating the number of effective communities, which can range from 1 to N (nine in this case).

For the beta diversity, we estimated the Sørensen pairwise dissimilarity index ( $\beta_{sor} = b + c/2a + b + c$ ), where  $a$  represents the total number of species that occur in both sites,  $b$  represents the total number of species that occur in the neighbouring site but not in the focal site, and  $c$  represents the total number of species that occur in the focal site but not in the neighbouring site [54]. We used this index to describe the spatial differentiation and the differences in species richness between communities, as well as to obtain the total beta diversity expressed as a percentage. Furthermore, we explored the partitioning of the spatial turnover and nestedness of species assemblages proposed by Baselga [55]. The spatial turnover ( $\beta_{sim} = \min(b, c)/a + \min(b, c)$ ) estimated the replacement of some species by others, while the nestedness ( $\beta_{nes} = \beta_{sor} - \beta_{sim}$ ) identified which of the biotas of sites with smaller numbers of species were subsets of the biotas at richer sites [55].

We estimated the effective numbers of species (also called Hill numbers) as measures of “true” diversity of order  $q = 0, 1$ , and  $2$  [56] for perennial species, including trees, shrubs, lianas, cacti (columnar and globose), and rosetophyllous plants (of the genera *Agave* and *Hechtia*). The  $q$  exponent determines the sensitivity of the index to relative species abundance, that is, the influence that rare, typical, or dominant species may have in the estimation of diversity [56–58]. When  $q = 0$  ( ${}^0D$ , diversity of order 0) the abundance of species does not influence the value of  $q$ , thus providing disproportionate weight to rare species, and the obtained value is equivalent to the species richness. When  $q = 1$  ( ${}^1D$ , diversity of order 1) all species have a weight proportional to their abundance in the community (it is, therefore, one of the best parameters to estimate diversity), and is equivalent to the exponential of Shannon’s entropy index calculated with the natural logarithm ( ${}^1D = \exp H'$ ). The Hill number of order 1 can be therefore interpreted as the number of typical species in the community. When  $q = 2$  ( ${}^2D$ , diversity of order 2) the abundant species have higher influence and rare species are discounted;



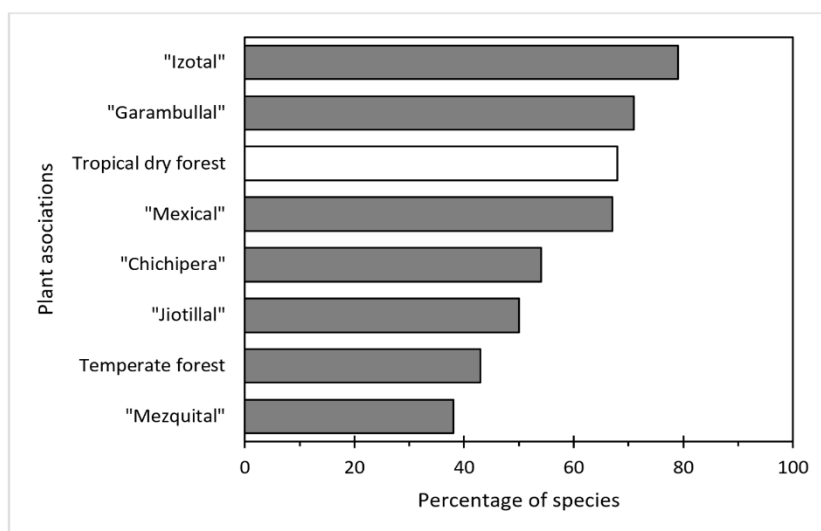
When  $q = 2$  ( ${}^2D$ , diversity of order 2) the abundant species have higher influence and rare species are hence, this diversity can be interpreted as the number of dominant species in the community, in this equivalent, and the inverse value of the inverse value of Simpson's dominance index ( ${}^2D = 1/D$ ).

We used  $t$ -tests to assess statistically significant differences between TDF and TAFS sites in terms of abundance of individuals, richness, and species diversity. In addition, we calculated the evenness factors ( $E = \sigma / ({}^2D / D)$ ), which indicate how equitably the abundances of species were distributed (the closer to 1, the more the community was equitable) [59]. We also estimated the indexes of Shannon's entropy ( $H'$ ) and Simpson's dominance ( $D$ ), the closer to 1, the community had higher dominance and was less diverse).

The analyses were performed using R statistical software (v. 3.6.3; R Development Core Team) with the package entropart [60].

### 3. Results

The TAFS studied can maintain on average 71% of the families, 66% of the genera, and 68% of the perennial species (95% of them native to the region), and 53% of the abundance of individuals occurring in the neighbouring TDF. The percentage of species is one of the highest recorded in TAFS of other vegetation types studied in the region, as shown in Figure 2. TAFS also provide multiple benefits to local societies, among which the most outstanding were shade, firewood, edible fruit, medicine, wood for making tools and fences, and ornamental and ritual uses.

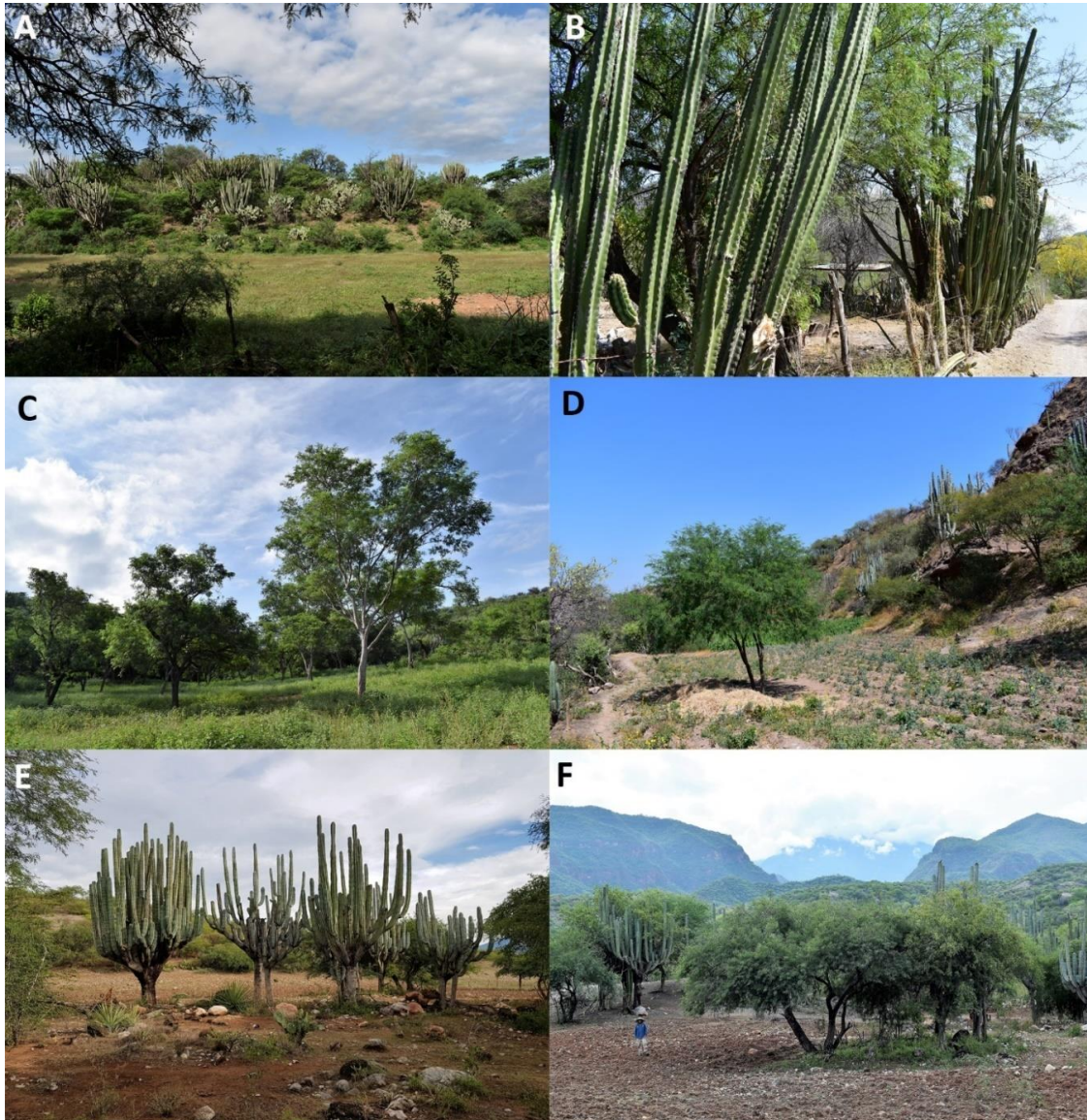


**Figure 2.** Comparison between the percentage of species maintained within traditional agroforestry systems associated with tropical dry forest (white bars) and different plant associations (grey bars) occurring in the Tehuacán-Cuicatlán Valley.

#### 3.1. Types of Agroforestry Practices

In the study area, we found the following types of agroforestry practices: (i) remnants of native vegetation, that are areas of TDF with different degrees of conservation, from those well conserved and with high ecological integrity (even higher than some adjacent forest areas where the raising of goats and firewood extraction are practiced) to those with highly modified structure (most commonly favouring the abundance of useful plants); (ii) forest cover patches are formed by native species of TDF (i.e., "guajes", *Leucaena* spp. and jobo or "ciruelas", *Spondias purpurea*), wild species from other plant communities (i.e., "coyul", *Acrocomia mexicana* and sapedilla or "chicozapote", *Manihara zapota* from the tropical moist forest), or exotic species (i.e., lemon and mango), and people promote the abundance of individuals for establishing orchards of useful species with high commercial value. These patches represent forest cover, but no remnants of TDF; (iii) TDF fences are mainly composed of species with the capacity for rooting and sprouting of branches, like Cactaceae, Burseraceae, Fabaceae, and

Rhamnaceae, or other spiny plants used with the purpose of delimiting and protecting crops against livestock. Here, these species are also valued because they provide edible fruit, shade, and organic matter to enrich soils; (iv) isolated trees, which are commonly relatively large and multi-purpose individual trees, especially those providing shade, fruits, fodder, or wood (i.e., “mezquite” *Prosopis laevis*, “matagallina”, *Quadrilla incana*, and “cardón” *Pachycereus weberi*); (v) vegetation fringes that we recorded in only one field mainly composed of species of the genus *Agave*, placed perpendicular to the slope inclination, forming terraces that contribute to retaining soil and humidity [61]; and (vi) vegetation islands (recorded in only one field) are a small vegetation patch, which is maintained since it has plants providing shade, microclimate regulation, and edible fruit (Figure 3).

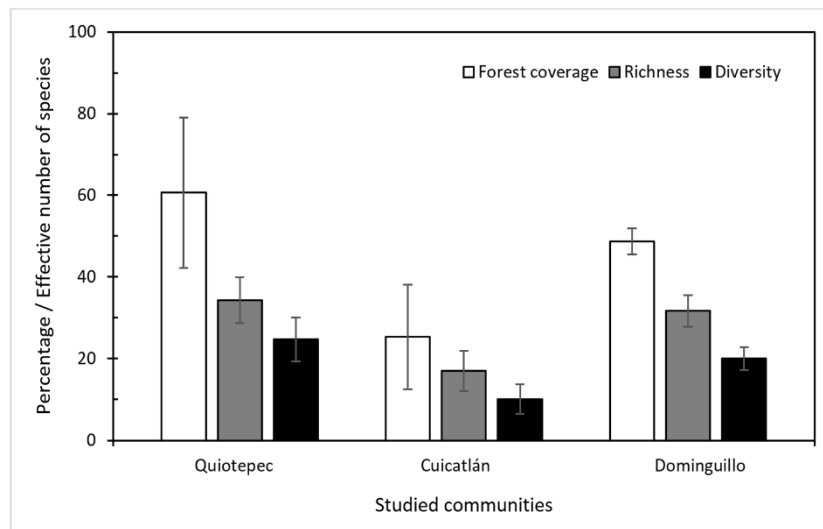


**Figure 3.** Types of agroforestry practices recorded in traditional agroforestry systems (“Apaches”) of the Cañada Oaxaqueña region. (A) Remnants of native vegetation. (B) Live fences. (C) Forest cover patches. (D) Isolated trees. (E) Vegetation fringes. (F) Vegetation islands. Photo credit for (A–D) and (F): Francisco J. Rendón-Sandoval; (E): Ignacio Torres-García.

In the Apaches analysed, we recorded a higher proportion of agricultural area (54.02%) compared to forest cover, considering as forest cover the area occupied by the sum of all types of agroforestry practices. The average percentage of forest cover in Apaches was 45.98%. We practices. The average percentage of forest cover in Apaches was 45.98%. We documented a gradient



documented a gradient of management intensity in the varying percentage of forest cover that TAFS maintain, which ranged from 11.11% (in “Rincónada” Cuicatlán) to 89.29% (in “La Cañadita” Quiotepec) (Table 1). We also documented correspondence between the amount of vegetation cover and the capacity for biodiversity conservation in the Apañcles, as shown in Figure 4. The most frequent types of agroforestry practice were live fences and remnants of native vegetation, occurring in 89% of the sampling sites, then isolated trees in 78% of the sites, forest cover patches in 44% of the sites, and finally vegetation islands and fringes, which were recorded in one site each. In general, the forest cover was mainly due to remnants of native vegetation (58.33%), live fences (9.21%), and forest cover patches (4.29%). Isolated trees covered 0.88% of the area, vegetation fringes 0.38%, and vegetation islands 0.11% (Table 1).



**Figure 4.** Correspondence between the average percentage of forest coverage (white bars), richness (grey bars), and species diversity (black bars) recorded in traditional agroforestry systems of three communities of the Cañada Oaxaqueña region. Error bars indicate 95% confidence intervals.

### 3.2. Capacity for Biodiversity Conservation

We documented in total 132 perennial plant species belonging to 101 genera and 39 families of Magnoliophyta (Supplementary File S1). We found significant differences only in the abundance of individuals ( $t \equiv 3.414$ ;  $p \equiv 0.001$ ; Figure 5). Total species richness ( ${}^0B$ ) recorded in the sampling sites of TDF and TAFS were similar (98 and 101 species, respectively), as well as the effective number of species or communities estimated for the alpha, beta, and gamma diversity of order 1 ( ${}^1D$ ) and 2 ( ${}^2D$ ) (Figure 6). However, the average alpha diversity was slightly higher in TDF ( ${}^0D_\alpha = 34.67$ ,  ${}^1D_\alpha = 19.92$ , and  ${}^2D_\alpha = 11.72$  effective species) than in the Apañcles ( ${}^0D_\alpha = 27.67$ ,  ${}^1D_\alpha = 16.08$ , and  ${}^2D_\alpha = 9.29$  effective species) (Figure 6A, Table 2).

For beta diversity between sites (Figure 6B), we found higher values of the effective number of communities in TAFS for order 0 ( ${}^0D_\beta = 3.65$  versus 2.83 in TDF), which indicates that in the Apañcles the species turnover is mostly due to the rare species. On the other hand, the typical species in the Apañcles and TDF are not being replaced ( ${}^1D_\beta = 3.10$  and 2.96 effective communities, respectively), while the turnover of dominant species in TDF sites is slightly higher ( ${}^2D_\beta = 3.73$ ) than in the Apañcles ( ${}^2D_\beta = 3.41$ ).

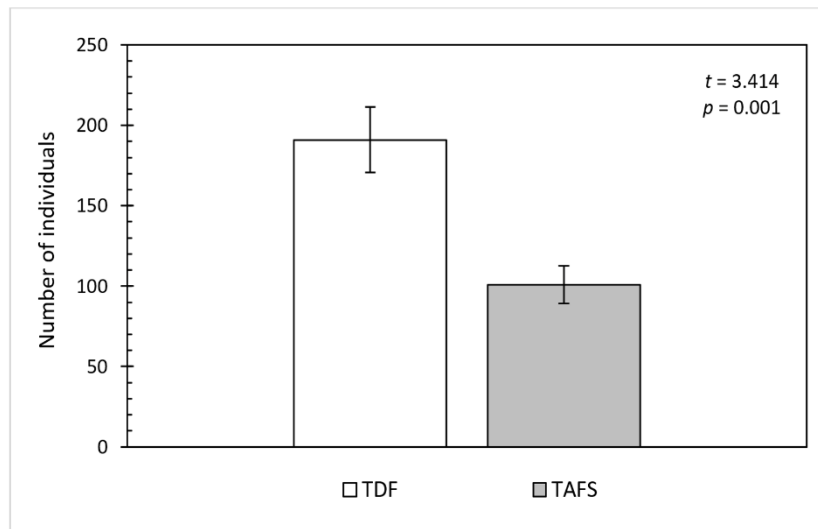


**Table 1.** Surface occupied by different types of agroforestry practices (forest cover) versus agricultural cover recorded in nine traditional agroforestry systems (“Apancles”) analysed in the Cañada Oaxaqueña region. The forest cover corresponds to the area occupied by the sum of all the recorded agroforestry practices. The percentage of each type of cover is indicated in parentheses.

Sites	Agroforestry Practices Cover in m <sup>2</sup> (%)						Surface in ha (%)		Total
	Remnants of Native Vegetation	Live Fences	Forest Cover Patches	Isolated Trees	Vegetation Fringes	Vegetation Islands	Forest Cover	Agricultural Cover	
<b>Quiotepec</b>									
Los Chivos	12,676 (56)	380 (2)	1687 (7)	137 (1)			1.49 (66)	0.76 (34)	2.25
La Cañadita	7373 (52)	2541 (18)	2765 (19)				1.27 (89)	0.15 (11)	1.42
El Panteón	588 (9)	299 (4)		329 (5)	572 (8)		0.18 (26)	0.51 (74)	0.69
<b>Cuicatlán</b>									
La Cruz			1459 (12)	285 (2)			0.17 (14)	1.02 (86)	1.20
Hormiga	7901 (46)	482 (3)		262 (2)			0.86 (51)	0.84 (49)	1.70
Rinconada	1812 (8)	575 (3)		80 (0)			0.25 (11)	1.97 (89)	2.22
<b>Dominguillo</b>									
Manantial	7495 (49)	520 (3)		141 (1)		159 (1)	0.83 (54)	0.70 (46)	1.53
Abandonada	5852 (37)	830 (5)		96 (1)			0.68 (43)	0.89 (57)	1.57
El Tablero	9472 (40)	1463 (6)	540 (2)				1.15 (48)	1.24 (52)	2.38
<b>Total</b>	<b>53,169 (35.54)</b>	<b>7090 (4.74)</b>	<b>6451 (4.31)</b>	<b>1330 (0.89)</b>	<b>572 (0.38)</b>	<b>159 (0.11)</b>	<b>6.88 (45.98)</b>	<b>8.08 (54.02)</b>	<b>14.96 (100)</b>

Despite finding no significant differences, the gamma diversity of order 1 ( $^1D_\gamma$ ) and 2 ( $^2D_\gamma$ ) in TDF were higher ( $^1D_\gamma = 56.03$  and  $^2D_\gamma = 41.50$  effective species, respectively) than in the Apancles ( $^1D_\gamma = 49.89$  and  $^2D_\gamma = 31.71$  effective species), and the opposite pattern was found for total species richness (Figure 6C, Table 2).

TDF was a more equitable community (evenness factor = 0.423) than Apancles (evenness factor = 0.314) (Table 2), although both system types had similar richness and diversity.



**Figure 5.** Average abundance of individuals of perennial plants (collected in 18 sampling sites of 500 m<sup>2</sup>) of tropical dry forests (TDF) and transitional dry forests (TAFS) in the Cañada Cuicatlán region. Error bars indicate 95% confidence intervals.

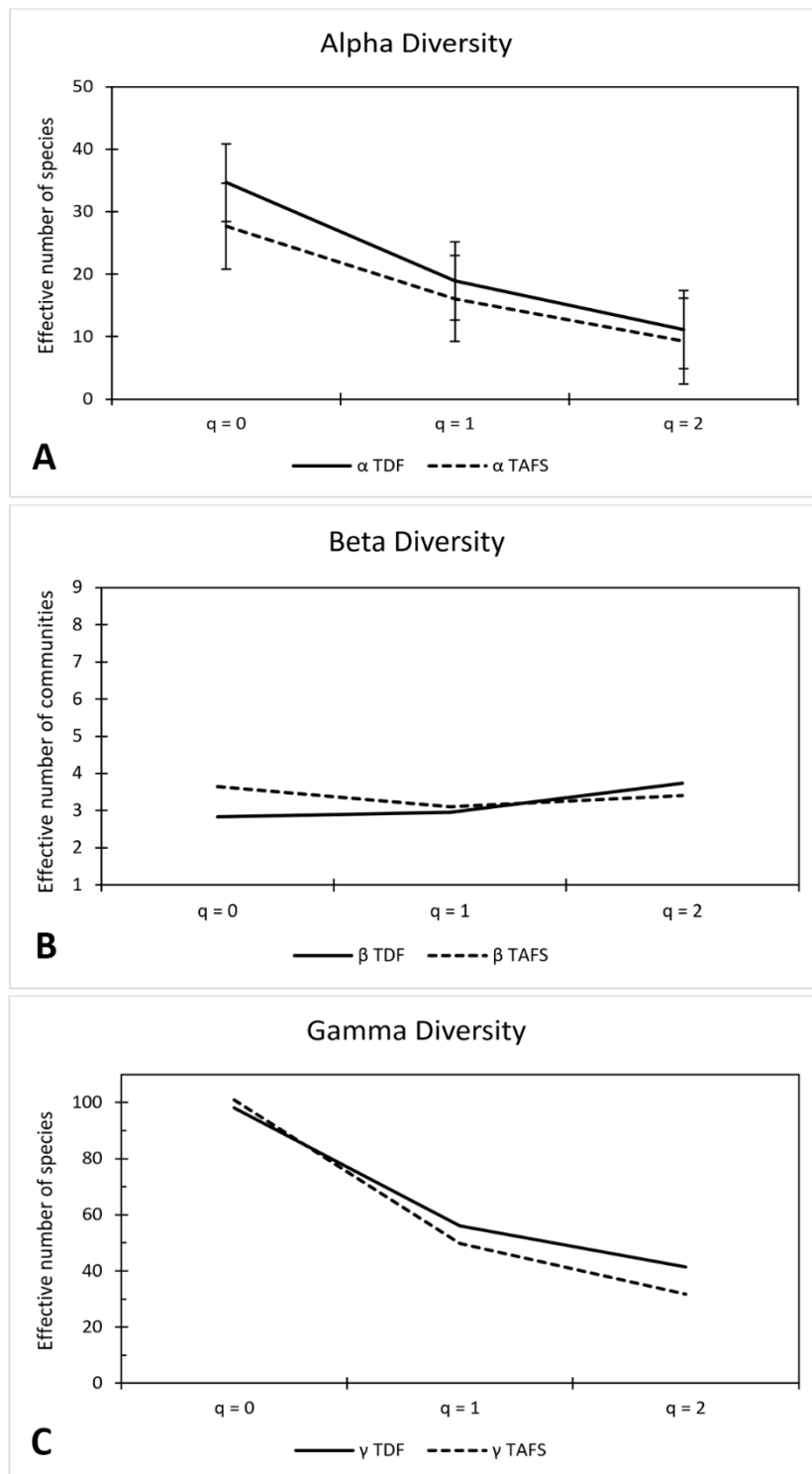
Estimations of Shannon ( $H'$ ) and Simpson ( $D$ ) indexes of Apancles revealed lower entropy ( $H' = 3.94$  nats) and higher dominance ( $D = 0.024$ ) compared with sites of TDF ( $H' = 4.05$  nats;  $D = 0.032$ ). Among all sites sampled, a TAFS of Quirotepec ("La Cañadita") had the highest values of alpha diversity ( $^0D = 45$ ,  $^1D = 35.23$  and  $^2D = 27.76$  effective species;  $H' = 3.56$  nats), while the least alpha-diverse was one Apancle particularly intensified in Cuicatlán ("La Cruz"), with only eight species recorded ( $^0D = 8$ ,  $^1D = 6.12$ ,  $^2D = 5.12$  effective species;  $H' = 1.81$  nats) (Table 2).

The Apancles had 81% dissimilarity between sites ( $\beta_{sor} = 0.8134 \pm 0.1451$ ), 74% of it due to the species turnover ( $\beta_{sim} = 0.7376$ ) and 7% to the nestedness ( $\beta_{nes} = 0.0758$ ), which is according to the number of singletons (24) and doubletons (15) recorded in these TAFS. The TDF sites had 77% dissimilarity ( $\beta_{sor} = 0.7697 \pm 0.1361$ ), 72% of it due to the species turnover ( $\beta_{sim} = 0.7192$ ) and 5% to the nestedness ( $\beta_{nes} = 0.0505$ ), with fewer singletons (13) and doubletons (6).

Despite finding no significant differences, the gamma diversity of order 1 ( $^1D_\gamma$ ) and 2 ( $^2D_\gamma$ ) in TDF were higher ( $^1D_\gamma = 56.03$  and  $^2D_\gamma = 41.50$  effective species, respectively) than in the Apancles ( $^1D_\gamma = 49.89$  and  $^2D_\gamma = 31.71$  effective species), and the opposite pattern was found for total species richness (Figure 6C, Table 2).

TDF was a more equitable community (evenness factor = 0.423) than Apancles (evenness factor = 0.314) (Table 2), although both system types had similar richness and diversity.

Estimations of Shannon ( $H'$ ) and Simpson ( $D$ ) indexes of Apancles revealed lower entropy ( $H' = 3.94$  nats) and higher dominance ( $D = 0.024$ ) compared with sites of TDF ( $H' = 4.05$  nats;  $D = 0.032$ ). Among all sites sampled, a TAFS of Quirotepec ("La Cañadita") had the highest values of alpha diversity ( $^0D = 45$ ,  $^1D = 35.23$  and  $^2D = 27.76$  effective species;  $H' = 3.56$  nats), while the least alpha-diverse was one Apancle particularly intensified in Cuicatlán ("La Cruz"), with only eight species recorded ( $^0D = 8$ ,  $^1D = 6.12$ ,  $^2D = 5.12$  effective species;  $H' = 1.81$  nats) (Table 2).



**Figure 6.** Diversity profiles of perennial species (recorded in 18 sampling sites of 500 m<sup>2</sup>) of tropical dry forests (TDF; continuous line) and traditional agroforestry systems (TAFS; dotted line) in the Cañada Oaxaqueña region. **(A)** Average alpha diversity ( $\alpha$ ) among sites. **(B)** Beta diversity ( $\beta$ ) among communities. **(C)** Gamma diversity ( $\gamma$ ). Error bars indicate 95% confidence intervals.

**Table 2.** Diversity values (from 18 sampling sites of 500 m<sup>2</sup>) of the perennial species of tropical dry forests and traditional agroforestry systems in three communities of the Cañada Oaxaqueña region.

Sites	Abundance of Individuals	<sup>0</sup> D (Species Richness)	<sup>1</sup> D (Typical Species)	<sup>2</sup> D (Dominant Species)	Evenness Factor ( <sup>2</sup> D/ <sup>0</sup> D)	Shannon (H')	Simpson (D)
<b>Tropical Dry Forests</b>							
<b>Quiotepec</b>							
El Mono	113	38	27.77	22.21	0.584	3.32	0.045
Pitayagrande	168	38	26.33	20.31	0.534	3.29	0.049
La Roseta	203	33	18.71	13.68	0.415	2.93	0.073
<b>Cuicatlán</b>							
Tabuada	244	37	23.20	17.24	0.466	3.14	0.058
Plan dos	182	32	20.85	16.16	0.505	3.04	0.062
Cañada de Marcelino	248	42	22.70	13.73	0.327	3.12	0.073
<b>Dominguillo</b>							
Las Manitas	139	46	31.35	21.40	0.465	3.45	0.047
Tepalcates	166	24	9.02	4.99	0.208	2.20	0.200
La Coyotera	252	22	7.31	4.94	0.225	1.99	0.202
<b>Alpha Diversity (<math>\alpha</math>)</b>	<b>191 ± 49.93</b>	<b>34.67 ± 7.86</b>	<b>19.92 ± 8.10</b>	<b>11.12 ± 6.44</b>	<b>0.321</b>	<b>2.95</b>	<b>0.090</b>
<b>Gamma Diversity (<math>\gamma</math>)</b>	<b>1715</b>	<b>98</b>	<b>56.03</b>	<b>41.50</b>	<b>0.423</b>	<b>4.05</b>	<b>0.024</b>
<b>Traditional Agroforestry Systems ("Apancles")</b>							
<b>Quiotepec</b>							
Los Chivos	87	32	21.81	15.48	0.484	3.08	0.065
La Cañadita	140	45	35.23	27.76	0.617	3.56	0.036
El Panteón	83	26	17.06	12.83	0.493	2.84	0.078
<b>Cuicatlán</b>							
La Cruz	26	8	6.12	5.12	0.640	1.81	0.195
Hormiga	107	25	17.26	13.61	0.544	2.85	0.073
Rinconada	77	18	6.85	3.30	0.183	1.92	0.303
<b>Dominguillo</b>							
Manantial	130	39	25.74	19.56	0.502	3.25	0.051
Abandonada	90	26	17.47	12.70	0.488	2.86	0.079
El Tablero	169	30	16.85	11.20	0.373	2.82	0.089
<b>Alpha Diversity (<math>\alpha</math>)</b>	<b>101 ± 41.63</b>	<b>27.67 ± 10.87</b>	<b>16.08 ± 8.94</b>	<b>9.29 ± 7.29</b>	<b>0.336</b>	<b>2.80</b>	<b>0.108</b>
<b>Gamma Diversity (<math>\gamma</math>)</b>	<b>909</b>	<b>101</b>	<b>49.89</b>	<b>31.71</b>	<b>0.314</b>	<b>3.94</b>	<b>0.032</b>

### 3.3. Floristic Composition

In the sampling sites, the plant families better represented were Fabaceae, Cactaceae, Euphorbiaceae, and Burseraceae, and the genera *Bursera*, *Opuntia*, *Agave*, and *Vachellia* (Table 3). We identified the species *Phaulothamnus spinescens* (Achatocarpaceae), which is a new record for the state of Oaxaca, a scarce species previously reported in arid zones of southwestern US, and the Mexican states of Baja California, Nayarit, Nuevo León, Puebla, Tamaulipas, and Sonora, in xerophytic scrubs at elevations of 900 to 1100 m [62]. This species was recorded only in one site of TDF and one Apancle of the community of Quiotepec at an elevation of 615 m.

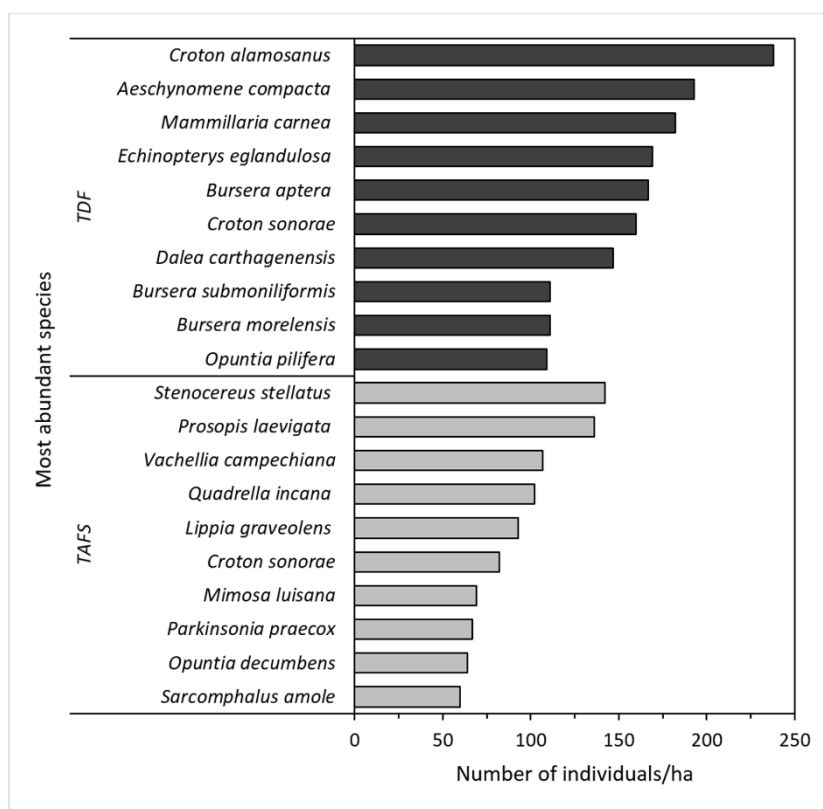
**Table 3.** Distribution of the number of genera and species (recorded in 18 sampling sites of 500 m<sup>2</sup>) in the most diverse families and genera of tropical dry forests and traditional agroforestry systems of the Cañada Oaxaqueña region. The percentage with respect to the total number of genera and species is indicated in parentheses.

Families	Genera (%)/Species (%)	Genera	Species (%)
Fabaceae	14 (13.86)/19 (14.39)	<i>Bursera</i>	7 (5.30)
Cactaceae	12 (11.88)/18 (13.64)	<i>Opuntia</i>	6 (4.55)
Euphorbiaceae	6 (5.94)/9 (6.82)	<i>Agave</i>	4 (3.03)
Burseraceae	1 (0.99)/7 (5.30)	<i>Vachellia</i>	3 (2.27)
Malvaceae	6 (5.94)/6 (4.55)	<i>Croton</i>	3 (2.27)
Rhamnaceae	4 (3.96)/5 (3.79)	<i>Mimosa</i>	3 (2.27)
Malpighiaceae	5 (4.95)/5 (3.79)	<i>Sarcomphalus</i>	2 (1.52)
Verbenaceae	3 (2.97)/5 (3.79)	<i>Stenocereus</i>	2 (1.52)
Others	51 (50.50)/58 (43.94)	Others	101 (77.28)

In TDF we recorded a remarkably higher abundance of individuals (1715; on average  $191 \pm 49.93$  individuals per site (min. 113, max. 252)) and species diversity ( $35 \pm 7.86$  species; min. 22, max. 46), than in Apancle systems, where 909 individuals (on average  $101 \pm 41.63$ ; min. 8, max. 45 per site) and  $28 \pm 10.87$  species (min. 26, max. 169) were recorded (Table 2).

The most frequent species in TDF sites were *Bursera aptera* (occurring in all sampled sites), *Bursera submoniliformis* (in 89% of the sites), *Ceiba parvifolia*, *Pachycereus weberi*, and *Randia thurberi* (in 78% of the sites). In contrast, 27% of species were recorded in one single site, most of them (58%; 15 species) occurred only in the TDF. In the Apancles, the most frequent species were *Prosopis laevigata* and *Quadrella incana* (occurring in 89% of the sites), as well as *Escontria chiotilla*, *Mimosa luisana*, and *Pachycereus weberi* (occurring in 78% of the sites). These species have multiple uses, mainly providing shade, firewood, and wood for tools and fences, as well as edible fruits, mainly cacti, which is highly valued in the region. In the Apancles, 46% of the species were recorded in one single site, 50% of them (23 species) only found in these systems.

Species with the highest relative density (Figure 7) in TDF were *Croton alamosanus* (238 individuals/ha), *Aeschynomene compacta* (193), *Mammillaria carnea* (182), *Echinopterys eglandulosa* (169), and *Bursera aptera* (167). In the Apancles, the species with the highest relative density were *Stenocereus stellatus* (142 individuals/ha), *Prosopis laevigata* (136), *Vachellia campechiana* (107), *Quadrella incana* (102), and *Lippia graveolens* (93).



**Figure 7:** Relative density (extrapolated to 1 ha) of the most abundant perennial species recorded in 18 sampling sites (of 500 m<sup>2</sup>) of tropical forests (TDF; black bars) and traditional agroforestry systems (TAFS; grey bars) in the Cañada Oaxaqueña region.

### 3.4. Endemism

We recorded a high degree of endemism in the study area: 58 species (44% of all species recorded) are distributed only in Mexico. Seven species (12%) are restricted to the states of Oaxaca and Puebla, eight species (14%) are only found in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, and one species (*Agave quiotepecensis*) is micro-endemic of the Cañada Oaxaqueña region, in slopes of mountains neighbouring the Sabán and Grande rivers [62]. Also relevant is the presence of *Securifera monotypica* genus endemic of Mexico in the states of Guerrero, Michoacán, Oaxaca and Puebla [64,65] and Puebla [64,65], which is a genus which endemic to Mexico with 96% of its species restricted to its national territory [66]. TDF contain 66.37% (50 species) endemic (six species) while TAFS had 80% (39 species) of plants endemic to Mexico (Figure 8; Supplementary File S1).

Some of the species recorded that are restricted to Mexico are within some risk category according to the Red List of Threatened Species of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) [67] and Mexican laws (NOM-059- SEMARNAT-2010) [68] (Supplementary File S1). In addition, all species of the Cactaceae family are listed in Appendix II of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) [69], which includes species that are not necessarily endangered, but whose trade must be controlled to avoid incompatible use with the survival of species.





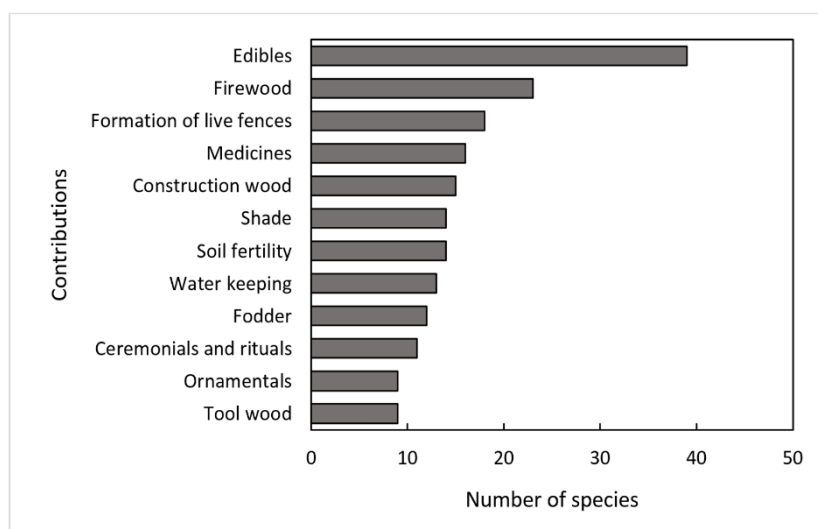
**Figure 8.** Some species of perennial plants endemic to Mexico preserved within the traditional agroforestry systems (“Apantles”) of the Cañada Oaxaqueña region. (A) *Agave quiotepecensis*. (B) *Vachellia campechiana*. (C) *Mimosa luisana*. (D) *Bursera linanoe*. (E) *Bursera morelensis*. (F) *Bursera aptera*. (G) *Mammillaria carnea*. (H) *Lophocereus marginatus*. (I) *Pachycereus weberi*. (J) *Myrtillocactus aptera*. (K) *Stenocereus stellatus*. (L) *Escontria chiotilla*. Photo credit: Francisco J. Rendón-Sandoval.

Some of the species recorded that are restricted to Mexico are within some risk category according to the Red List of Threatened Species of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) [67] and Mexican laws (NOM-059- SEMARNAT-2010) [68] (Supplementary File S1). In addition, all species of the Cactaceae family are listed in Appendix II of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) [69], which includes species that are not necessarily endangered, but whose trade must be controlled to avoid incompatible use with the survival of species.

### 3.5. Reasons for Conserving the Native Vegetation

Among the native plant species, we recorded 96 (73% of the total) with at least one local use. Many species had more than one local use (i.e., edible, medicine, fodder, wood). We documented that the main motives for maintaining (through tolerance, protection, and promotion) components of TDF within agricultural plots were different benefits that can be classified as contributions: (i) material, (ii) nonmaterial, and (iii) regulating.

The material contributions included plants providing edible roots, stems, flowers, or fruits (specially Cactaceae species), some used for preparing beverages, establishing live fences, or medicines, or used as firewood, fodder, resins, poisons, and wood. Nonmaterial contributions included ornamental plants that form part of ceremonies and rituals, do not cause damage, and have a "right to live", as well as those that "cause well-being". The regulating contributions included plants that provide shade, "attract rain", maintain water, regulate the climate, are the habitat of other useful species, increase soil fertility, control pests, and protect soil against erosion (Figure 9, Table 4, Supplementary File S1).



**Figure 9.** Main contributions of plant species to the satisfaction of human needs in the Cañada Oaxaqueña region.

## 4. Discussion

### 4.1. Capacity for Biodiversity Conservation

The findings of this study show that the TAFS analysed can conserve an important proportion of the plant species richness (68%) and abundance of individuals (53%) native to the TDF. At the same time, the Apancle systems contribute to satisfying basic human needs. These systems are sources of food, firewood, medicine, materials for construction, shade, soil fertility, hydric regulation, fodder, and inputs for ornamental and ritual uses, among others (Figure 9).

Analysis of beta diversity showed that the high dissimilarity between sites, which can be explained by the species turnover and that we found in the Apancles (74%) and TDF (72%), has profound implications for conservation, suggesting that it is necessary to maintain several sites in order to conserve the regional diversity of natural ecosystems.



**Table 4.** Contributions of vegetation to the satisfaction of human needs in the Cañada Oaxaqueña region. Species mentioned in workshops and interviews are included. The contributions are ordered from the highest to lowest number of species recorded in each category.

Contributions	Number of Species	Some Outstanding Examples
<b>Material</b>		
Edible fruits	23	columnar cacti
Edible stems	12	“quelites” ( <i>Crotalaria pumila</i> , <i>Porophyllum ruderale</i> ), “nopal de cruz” <i>Acanthocereus subinermis</i>
Edible flowers	2	“cacayas” of “rabo de león” <i>Agave quitopecensis</i> and “mano de león” <i>Agave seemanniana</i>
Edible roots	1	“jícama de pochote” <i>Ceiba parvifolia</i>
Firewood	23	Fabaceae
Formation of live fences	18	Cactaceae, Burseraceae, Fabaceae, Rhamnaceae
Medicines	16	“cuachalalá” <i>Amphipterygium adstringens</i> (healing), “oreganillo” <i>Lippia graveolens</i> (digestive)
Construction wood	15	“mezquite” <i>Prosopis laevigata</i> , “quebracho” <i>Vachellia pringlei</i>
Fodder	12	Fabaceae (tender fruits), “caulote” <i>Guazuma ulmifolia</i>
Tool wood	9	“agalán” <i>Karwinskia humboldtiana</i> , “palo prieto” <i>Krugiodendron ferreum</i> , “matagallina” <i>Quadrella incana</i>
Beverage preparation	5	“cardón” <i>Pachycereus weberi</i> (“pulque rojo”), others columnar cacti, “chupandía” <i>Cyrtocarpa procera</i>
Thirst quencher	1	fruit of “biznaga” <i>Ferocactus latispinus</i> var. <i>spiralis</i>
Resins	1	“linaloe” <i>Bursera linanoe</i>
Saponifers	1	“cholulo” <i>Sarcomphalus pedunculatus</i>
Poisons	1	“brea” <i>Bursera aptera</i>
<b>Regulating</b>		
Shade	14	“mezquite” <i>Prosopis laevigata</i> , “guamúchil” <i>Pithecellobium dulce</i>
Soil fertility	14	“chimalacate” <i>Viguiera dentata</i> , Fabaceae
Water keeping	13	“mezquite” <i>Prosopis laevigata</i> , “palo de agua” <i>Astianthus oimimalis</i>
Protect soil from erosion	6	<i>Agave</i> spp., <i>Hechtia</i> spp., <i>Opuntia</i> spp.
Pest control	1	“venenillo” <i>Cascabela thevetia</i> (versus the ant “chicatana” <i>Atta mexicana</i> )
Habitat of other useful species	1	“mantecoso” <i>Parkinsonia praecox</i> (host of the mushroom “nanacate” <i>Schizophyllum commune</i> )
Rainfall attraction		“all the trees on the hill call the water”
<b>Nonmaterial</b>		
Ceremonials and rituals	11	“copales” and “cuajjotes” of genus <i>Bursera</i>
Ornamentals	9	“huesito” <i>Plocosperma buxifolium</i> , “solterito” <i>Petrea volubilis</i>
“They have a right to life”		“all plants”

## 4. Discussion

### 4.1. Capacity for Biodiversity Conservation

The findings of this study show that the TAFS analysed can conserve an important proportion of the plant species richness (68%) and abundance of individuals (53%) native to the TDF. At the same time, the Apancles systems contribute to satisfying basic human needs. These systems are sources of food, firewood, medicine, materials for construction, shade, soil fertility, hydric regulation, fodder, and inputs for ornamental and ritual uses, among others (Figure 9).

Analysis of beta diversity showed that the high dissimilarity between sites, which can be explained by the species turnover and that we found in the Apancles (74%) and TDF (72%), has profound implications for conservation, suggesting that it is necessary to maintain several sites in order to conserve the regional diversity of natural ecosystems.

Comparing this information with that of similar studies in other ecosystems of the region, like columnar cacti forests (“chichipera”, “garambullal”, “jiotillal”) [15,16], temperate forests [39], scrub forests (“mezquital”) [38], and rosetophyllous forests (“izotal” and “mexical”) [40], the high capacity for biodiversity conservation of the Apancles is clear, since these are among the most effective systems for conserving plant diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley (Figure 2). In addition, the proportion of perennial species conserved in TAFS recorded in our study (68%) is similar to that documented at a pan-tropical level by Bhagwat et al. [12] (64%), and within the range estimated by Noble and Dirzo [13] for Indonesia (50–80%).

Considering the effective numbers of species estimated for the alpha and gamma diversity of order 1 (one of the better parameters, since all species are included with a weight proportional to their abundance in the community), the capacities of plant diversity conservation of the Apancles studied are 81% and 96%, respectively. These figures suggest that Apancles can conserve the greater part of the diversity of perennial plant species of the neighbouring TDF. However, despite such remarkable conservation capacity, Apancles maintain only one half of the abundance of individuals (53%; Figure 5) and are “samples of diversity”, where half of the representation of individuals has been reduced, and, thereby, part of the ecological interactions and ecosystem functions. Therefore, it is necessary to go beyond the estimation of diversity and to evaluate these effects. It has been documented that although TAFS may be similar to native vegetation in terms of species richness, the floristic composition is not consistent and may represent an excess of pioneer species that spread and establish in the disturbed areas easily [70,71]. It is important to have in mind that pioneers can have a role in creating an ecological succession in highly degraded land.

Based on this aspect, to evaluate the capacity for biodiversity conservation of the TAFS, we considered it pertinent to study which conditions best maintain the diversity inside these systems and to include more detailed approaches to robustly characterize their configuration. In this study, for instance, we documented higher dominance and lower equitability in Apancles than in TDF, even when we recorded that total species richness and diversity were similar in both systems (Table 2, Figure 6).

An outstanding aspect of the Apancles is their capacity for harbouring endemic species, since nearly 30% of species whose distribution is restricted to Mexico are maintained there. This pattern is consistent with the high degree of endemism documented in the Mexican TDF, which are the main reservoir of endemism in the neotropics with nearly 60–73% endemic species [25,36]. Hence, these are considered a priority for conservation on a global scale [31,37].

### 4.2. Floristic Composition

The most diverse families and genera recorded in the Cañada Oaxaqueña region (Table 3) were also reported by several studies in the neotropical TDF [72–76]. The review by Rzedowski and Calderón de Rzedowski [77] reported the predominance of the family Fabaceae in the Mexican TDF, as confirmed

in this study. Also outstanding in the study area were the families Cactaceae, Euphorbiaceae, and Burseraceae, which is consistent with previous studies [73,78].

The genus with a higher number of species in the sampling sites was *Bursera*, represented by trees producing aromatic resins that are locally used in ceremonies and rituals. Some of these species have the capacity for rooting and sprouting of branches, and hence are frequently used for live fences in the Apancles. Such high diversity of *Bursera* has prompted some authors to characterize a type of TDF as “Cuajiotal”, where photosynthetic stemless trees of this genus are dominant [79]. Oaxaca is one of the states with more species of *Bursera* (37), only surpassed by Guerrero (47 species) [80]. Other genera well represented in this study were *Croton*, *Euphorbia*, *Lysiloma*, *Mimosa*, *Randia*, and *Vachellia*, which have a wide distribution in TDF of the neotropics [78]. All these genera were mentioned by Rzedowski and Calderón de Rzedowski [77] among those that contain the greatest number of species and that live preferentially or exclusively in the TDF.

We found a marked differentiation in the species more abundantly recorded in the TAFS and TDF (Figure 7). In the Apancles, the most abundant were species of multi-purpose plants like *Stenocereus stellatus* producing edible fruit and live fences (which are relatively easy to propagate from branches, and have rapid growth and production), *Prosopis laevigata* and *Vachellia campechiana* providing wood, shade, and firewood, *Quadrella incana* providing fencing stakes and tool wood, and *Lippia graveolens* with medicinal and condimental uses. Plants more abundant in TDF (*Croton alamosanus*, *Aeschynomene compacta*, *Mammillaria carnea*, *Echinopterys eglandulosa*, and *Bursera aptera*) were little or not used. Peasant management increases the abundance of useful plants inside agricultural fields, as documented in several studies [5,15,40,81], through the implementation of different types of agroforestry practices.

#### 4.3. Types of Agroforestry Practices Implemented in the Apancles

Peasants of the Cañada Oaxaqueña maintain native varieties of maize, beans, and squashes, some “improved” commercial varieties or hybrid cultivars, and exotic fruit trees coexisting with components of neighbouring TDF through traditional and modern practices, similarly described by Durand [82] for the rural areas of Mexico. This real situation in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, as in other regions of Mexico, should discourage oversimplified conclusions about the supposition of functional relationships between knowledge and management, and that traditional societies are in all cases ecologically sustainable [82].

Some types of agroforestry practices are more passive than others, and in some cases it is questionable if they are genuine agroforestry practices; for instance, when a remnant of native vegetation or a vegetation island may be maintained in an agricultural field simply because people do not have machines or sufficient labour to remove the vegetation. In contrast, live fences, one of the most frequent practices and with high capacity for biodiversity conservation [83], actively contribute to maintaining and recovering elements of TDF because they do not interfere with agricultural practices, and are areas continually enriched as new components replace others [5,14,15,46]. These facts make it necessary to evaluate more specifically which type of agroforestry practices are more efficient for conserving biodiversity and contributing to satisfy people’s needs. However, we could see that peasants actively design their plots, where they make management decisions planned and with clearly defined purposes.

In this study, we identified a type of agroforestry practice scarcely described before, i.e., forest cover patches, which are composed of native and exotic species that constitute orchards with high economic importance in the region. This practice contributes to satisfying human needs more than conserving native biodiversity, but through these patches people obtain monetary incomes and maintain other socio-ecological functions.

The forest cover maintained in the Apancles (45.98%) is also remarkable, as it is much higher than that recorded in other ecosystems in the region (on average 25%) [84,85]. We found that the communities with higher vegetation cover (Quiotepec and Dominguillo) conserve higher richness and diversity of TDF species, whereas in Cuicatlán, where intensive agriculture predominates, forest cover,

species richness, and diversity are all low in Apancles (Figure 4). In consequence, increasing forest cover in TAFS would increase their capacity for biodiversity conservation.

#### *4.4. Implications of the Apancles for Conservation of Biocultural Diversity*

Our study reveals that Apancles are important for biodiversity conservation and satisfying human needs. The main reasons motivating the maintenance of native vegetation inside Apancles are the material contributions (as edibles plants, firewood, formation of live fences, medicines, construction wood, fodder, and tool wood), then the regulating contributions (mainly shade, soil fertility, and protection against erosion), and with a relatively lower weight, the nonmaterial contributions (as plants for ceremonies, rituals, and ornaments). These results are similar to those reported by other studies in the region [15,18,46].

Currently, the need to establish horizontal communication between scientists and people with traditional ecological knowledge is recognized in order to effectively attend to the complex multidimensional environmental and social challenges affecting local people [86–90]. Science possesses a dynamic and effective agenda for producing new knowledge and local people have gathered knowledge and tested experience for millennia [9,91,92]. For this reason, the challenges would be more effectively addressed by the combination of views, methods, and perspectives of both approaches.

It is also necessary to integrate some antagonist perspectives in science about the trade-offs associated with biodiversity conservation and food security of the human population [93,94]. The debate has been around the strategy of land-sparing, which proposes intensifying industrialized agricultural production and locating areas for conservation in different places [95], whereas land-sharing argues that primary productive activities can be compatible with biodiversity conservation [1,96,97], as this study showed. Recent reviews of the topic [98] suggest that none of the strategies are sufficient for finding one single solution to find a balance between producing and conserving, because of the high complexity of socio-ecological systems and their multiple contexts. Instead, they appear more effective in constructing local management alternatives, considering the specific contexts, the local needs, motivations, knowledge, techniques, and customs. In all cases it is important to have in mind that the main aims are that the management of productive systems should be effective and rentable, without risk to human well-being and biodiversity conservation [98]. We consider that the complementarity of both strategies and other multiple options should be analysed contexts, considering local peoples' views and those of other sectors interacting in local contexts.

Summarizing, it is relevant that many peasants maintain strategies to take advantage of the components of nature that allow them to ensure their permanence [1–4]. At the same time, the new challenges of a rapidly changing world would be more effectively solved through dialogs between local people, scientists, and other actors (nongovernmental organizations and government, among others), offering accompaniment from a committed science. TAFS, with their advantages and limitations, offer viable opportunities to find solutions to the purposes of satisfying human needs and biodiversity conservation.

#### *4.5. Strategies and Perspectives for Public Policies*

Based on the consideration of factors that put the TAFS identified by Moreno-Calles et al. [99] at risk, we have delineated some proposals for strengthening these systems, which, if implemented could support participatory processes with local people: (i) to promote increasing the forest components inside agricultural fields; it would be desirable to increase the forest cover with multipurpose species native to the region, which would favour regional biological conservation and provide benefits for the peasants; (ii) to value and rescue local views, knowledge, and techniques sustaining biocultural diversity; (iii) to enhance programs directed toward favouring the existence and improvement of TAFS from the perspectives of academia, governments, and civil society organizations, among others; (iv) to encourage the involvement of young people in agroforestry management; and (v) to communicate alternative strategies of conservation promoted by the Mexican government, such as payment for

environmental services, promoting areas for voluntary conservation, and unities for the conservation of wildlife. However, to include TAFS in public policies at the regional scale, it is necessary to enhance a strategy of communication among different sectors of the area, particularly with those decision-makers and political actors involved in environmental legislation.

Similarly to other protected areas of Mexico with great extents of TDF (i.e., Sierra de Huautla Biosphere Reserve, in the state of Morelos, or Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, in Jalisco), it is also crucial to encourage spaces for social participation where local people make public their opinions and perspectives, and to have access to decision-making and mechanisms for compensating the cost of conservation [100].

## 5. Conclusions

Biodiversity loss has been shown to threaten the maintenance of human well-being [101]. Moreover, the maintenance of socio-ecological systems is highly dependent on biodiversity [102]. In this context, although conservation supposes contraposition with the satisfaction of social needs, it is possible and necessary to reconstruct and enhance systems where the production and maintenance of ecosystem integrity are possible [100]. TAFS represent an outstanding opportunity to maintain socio-ecological systems for the long term but they need improvements, which scientific and participatory research may identify, to increase their capacities for both purposes.

We recognize that TAFS associated with TDF in the study area harbour an important richness, diversity, and endemism of plant components of natural ecosystems. The Apancles are an expression of traditional and contemporaneous management with features of sustainability and respectful coexistence between societies and ecosystems, so they may be viable options for constructing sustainable agricultural systems. Therefore, these systems should be studied more deeply, revalued in terms of their role in caring for nature, improved in their capacities for conserving and producing, and explored as regional strategies for biodiversity and biocultural diversity conservation at local, regional, national, and global scales.

**Supplementary Materials:** The following are available online at <http://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4600/s1>. Supplementary File S1: Perennial species (recorded in 18 sampling sites of 500 m<sup>2</sup>) of seasonally dry tropical forests and traditional agroforestry systems (also called “Apancles”) of the Cañada Oaxaqueña region. Supplementary File S2: Guide of semi-structured interviews.

**Author Contributions:** F.J.R.-S. was the leading author who conducted the research as part of his Ph.D. studies and made the systematization, taxonomic identification, data analysis, and writing of this paper. A.C. guided the development of the research, wrote and provided feedback on the paper. A.I.M.-C. and E.G.-F. were Ph.D. advisors, who guided the research and reviewed the manuscript. I.T.-G. collaborated with fieldwork logistics, data gathering, and taxonomic identification. All authors revised, commented on, and improved the manuscript. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** The first author acknowledges CONACYT for their support with a Ph.D. scholarship, the PAEP program for the economic support received through the IIES-UNAM. To the DGAPA-UNAM for supporting the PAPIIT IN206217 and IN206520 projects “Domesticación y manejo in situ de recursos genéticos en el Nuevo Mundo: Mesoamérica, la región andina, amazónica y el nordeste de Brasil” and “Agricultura y Agroforestería social y familiar en contextos de cambios locales y globales”, respectively. This study is part of the thematic network of Agroforestry Systems of Mexico. In addition, the authors thank financial support from CONACYT, research project A1-S-14306.

**Acknowledgments:** For the people of the Cañada Oaxaqueña region, in special to Pedro Ojeda-Romero, “Chabelita”, Filogonio Galeotte-Guzmán, Robertina Barrera-Osorio, Silvino Arroyo-Medina, Socorro Romero, Arturo Ojeda-Olmos, Verónica Ojeda-Olmos, Oswaldo Castro, Socorro Ojeda-Romero (from Quiotepec), Félix Martínez, Pablo Romero-Ferrer, Félix Ferrer, Severiano Villarreal (from Cuicatlán), Raúl Reyes, Víctor León, Catalina López, Valentín Roldán, Victoriano Aguilar, Jaime Coronado-Martínez (from Dominguillo) and Isidro López (from San José del Chilar). To the directors of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: Fernando Reyes and Leticia Soriano. To the Posgrado en Ciencias Biológicas-UNAM. To partners in the fieldwork: Perla Gabriela Sinco-Ramos, José Francisco Paz-Guerrero, Domingo Valencia-Ramírez, Gonzalo Álvarez-Ríos, Selene Rangel-Landa and Saúl Gutiérrez-Ramírez. Who supported the taxonomic identification: Rosalinda Medina-Lemos, Guadalupe Cornejo-Tenorio and Victor Steinmann. To consultants in experimental design and statistical analysis: Mariana Vallejo, Francisco Mora-Ardila, Iván Ek-Rodríguez and Víctor Arroyo-Rodríguez.



**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Perfecto, I.; Vandermeer, J. Biodiversity Conservation in Tropical Agroecosystems. A New Conservation Paradigm. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **2008**, *1134*, 173–200. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Altieri, M.A.; Toledo, V.M. The agroecological revolution in Latin America: Rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *J. Peasant Stud.* **2011**, *38*, 587–612. [[CrossRef](#)]
3. Fischer, J.; Abson, D.J.; Butsic, V.; Chappell, M.J.; Ekroos, J.; Hanspach, J.; Kuemmerle, T.; Smith, H.G.; von Wehrden, H. Land sparing versus land sharing: Moving forward. *Conserv. Lett.* **2014**, *7*, 149–157. [[CrossRef](#)]
4. Casas, A.; Camou, A.; Otero Arnaiz, A.; Rangel Landa, S.; Cruse-Sanders, J.; Solís, L.; Torres, I.; Delgado, A.; Moreno Calles, A.I.; Vallejo, M.; et al. Manejo tradicional de biodiversidad y ecosistemas en Mesoamérica: El Valle de Tehuacán. *Investig. Ambient.* **2014**, *6*, 23–44.
5. Casas, A.; Caballero, J.; Mapes, C.; Zárate, S. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Bol. Soc. Bot. México* **1997**, *61*, 31–47. [[CrossRef](#)]
6. Moreno-Calles, A.I.; Galicia-Luna, V.; Casas, A.; Toledo, V.M.; Vallejo-Ramos, M.; Santos-Fita, D.; Amou-Guerrero, A. La Etnoagroforestería: El estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología* **2014**, *12*, 1–16.
7. MacNeish, R.S. A summary of subsistence. In *The Prehistory of the Tehuacán Valley: Environment and Subsistence*; Byers, D.S., Ed.; University of Texas Press: Austin, TX, USA, 1967; pp. 209–309.
8. Altieri, M.A.; Toledo, V.M. Natural resource management among small-scale farmers in semi-arid lands: Building on traditional knowledge and agroecology. *Ann. Arid Zone* **2005**, *44*, 365–385.
9. Boege, E. *El Patrimonio Biocultural de los Pueblos Indígenas de México. Hacia la Conservación in Situ de la Biodiversidad y Agrodiversidad en los Territorios Indígenas*, 1st ed.; Instituto Nacional de Antropología e Historia: Ciudad de México, Mexico; Comisión Nacional Para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas: Mexico City, Mexico, 2008; ISBN 9789680303854.
10. Casas, A.; Lira, R.; Torres, I.; Delgado-Lemus, A.; Moreno-Calles, A.I.; Rangel-Landa, S.; Blancas, J.; Larios, C.; Solís, L.; Pérez-Negrón, E.; et al. Ethnobotany for Sustainable Ecosystem Management: A Regional Perspective in the Tehuacán Valley. In *Ethnobotany of Mexico. Interactions of People and Plants in Mesoamerica*; Lira, R., Casas, A., Blancas, J., Eds.; Springer: Utrecht, The Netherlands, 2016; pp. 179–206, ISBN 9781461466697.
11. Leakey, R.R.B. The Role of Trees in Agroecology and Sustainable Agriculture in the Tropics. *Annu. Rev. Phytopathol.* **2014**, *52*, 113–133. [[CrossRef](#)]
12. Bhagwat, S.A.; Willis, K.J.; Birks, H.J.B.; Whittaker, R.J. Agroforestry: A refuge for tropical biodiversity? *Trends Ecol. Evol.* **2008**, *23*, 261–267. [[CrossRef](#)]
13. Noble, I.R.; Dirzo, R. Forests as Human-Dominated Ecosystems. *Science* **1997**, *227*, 522–525. [[CrossRef](#)]
14. Vallejo, M.; Moreno-Calles, A.I.; Casas, A. TEK and biodiversity management in agroforestry systems of different sociocological contexts of the Tehuacán Valley. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* **2016**, *12*, 31. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Moreno-Calles, A.I.; Casas, A.; Blancas, J.; Torres, I.; Masera, O.; Caballero, J.; García-Barrios, L.E.; Pérez-Negrón, E.; Rangel-Landa, S. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: The case of the Tehuacán Valley, Central México. *Agrofor. Syst.* **2010**, *80*, 315–331. [[CrossRef](#)]
16. Moreno-Calles, A.I.; García-Frapolli, E.; Casas, A.; 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*, 207–226. [[CrossRef](#)]
17. Moreno-Calles, A.I.; Toledo, V.M.; Casas, A. La importancia biocultural de los sistemas agroforestales tradicionales de México. In *Hacia un Modelo Intercultural de Sociedad del Conocimiento en México*; Olive, L., Lazos-Ramírez, L., Eds.; Universidad Nacional Autónoma de México: Ciudad de México, Mexico, 2014; pp. 35–56, ISBN 9786070263002.
18. Vallejo, M.; Casas, A.; Moreno-Calles, A.I.; Blancas, J. Los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán: Una perspectiva regional. In *Etnoagroforestería en México*; Moreno-Calles, A.I., Casas, A., Toledo, V.M., Vallejo, M., Eds.; Universidad Nacional Autónoma de México: Morelia, Mexico, 2016; pp. 192–216.
19. Rzedowski, J. *Vegetación de México*; Limusa: Ciudad de México, Mexico, 1978; ISBN 9789681800024.

20. Bastin, J.-F.; Berrahmouni, N.; Grainger, A.; Maniatis, D.; Mollicone, D. The extent of forest in dryland biomes. *Science* **2017**, *356*, 635–638. [[CrossRef](#)]
21. Olson, D.M.; Dinerstein, E.; Wikramanayake, E.D.; Burgess, N.D.; Powell, G.V.N.; Underwood, E.C.; D'Amico, J.A.; Itoua, I.; Strand, H.E.; Morrison, J.C.; et al. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *Bioscience* **2001**, *51*, 933–938. [[CrossRef](#)]
22. Challenger, A.; Soberón, J. 3. Los ecosistemas terrestres. In *Capital Natural de México, Vol. I: Conocimiento Actual de la Biodiversidad*; Sarukhán, J., Ed.; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Mexico City, Mexico, 2008; pp. 87–108, ISBN 978-607-7607-02-1.
23. Trejo, I. El clima de la selva baja caducifolia en México. *Investig. Geográficas* **1999**, *39*, 40–52.
24. García, E. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Para Adaptarlo a Las Condiciones de la República Mexicana)*, 5th ed.; Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México: Ciudad de México, Mexico, 2004.
25. Banda, K.; Delgado-Salinas, A.; Dexter, K.G.; Linares-Palomino, R.; Oliveira-Filho, A.; Prado, D.; Pullan, M.; Quintana, C.; Riina, R.; Rodríguez, G.M.; et al. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science* **2016**, *353*, 1383–1388.
26. Murphy, P.G.; Lugo, A.E. Ecology of Tropical Dry Forest. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **1986**, *17*, 67–88. [[CrossRef](#)]
27. Búrquez, A.; Martínez-Yrizar, A. Límites geográficos entre selvas secas y matorrales espinosos y xerófilos: ¿qué conservar? In *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias Para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*; Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury Creel, J., Dirzo, R., Eds.; Fondo de Cultura Económica y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Mexico City, Mexico, 2009; pp. 53–62, ISBN 9709000381.
28. Janzen, D.H. Tropical dry forests: The most endangered major tropical ecosystem. In *Biodiversity*; Wilson, E.O., Peters, F.M., Eds.; National Academy Press: Washington, DC, USA, 1988; pp. 130–137.
29. Trejo, I.; Dirzo, R. Deforestation of seasonally dry tropical forest: A national and local analysis in Mexico. *Biol. Conserv.* **2000**, *94*, 133–142. [[CrossRef](#)]
30. Sánchez-Azofeifa, G.A.; Quesada, M.; Cuevas-Reyes, P.; Castillo, A.; Sánchez-Montoya, G. Land cover and conservation in the area of influence of the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Mexico. *For. Ecol. Manag.* **2009**, *258*, 907–912. [[CrossRef](#)]
31. Miles, L.; Newton, A.C.; DeFries, R.S.; Ravilious, C.; May, I.; Blyth, S.; Kapos, V.; Gordon, J.E. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *J. Biogeogr.* **2006**, *33*, 491–505. [[CrossRef](#)]
32. Montes-Londoño, I. Tropical Dry Forests in Multi-functional Landscapes: Agroforestry Systems for Conservation and Livelihoods. In *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty*; Montagnini, F., Ed.; Springer: Cham, Switzerland, 2017; pp. 47–78.
33. Ribeiro, E.M.S. *Efeitos da Perturbações Antrópicas Crônicas Sobre a Diversidade da Flora Lenhosa da Caatinga*; Universidade Federal de Pernambuco: Recife, Brazil, 2015.
34. Sánchez-Azofeifa, G.A. Research priorities for Neotropical dry forests. *Biotropica* **2005**, *37*, 477–485.
35. Challenger, A. *Utilización y Conservación de Los Ecosistemas Terrestres de México: Pasado, Presente y Futuro*; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre, S.C.: Ciudad de México, Mexico, 1998; ISBN 9789709000023.
36. Rzedowski, J. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: Una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mex.* **1991**, *15*, 47–64. [[CrossRef](#)]
37. Olson, D.M.; Dinerstein, E. The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation. *Ann. Mo. Bot. Gard.* **2002**, *89*, 199–224. [[CrossRef](#)]
38. Vallejo, M.; Casas, A.; Pérez-Negrón, E.; Moreno-Calles, A.I.; Hernández-Ordoñez, O.; Tellez, O.; Dávila, P. Agroforestry systems of the lowland alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: An evaluation of their biocultural capacity. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* **2015**, *11*, 8. [[CrossRef](#)]
39. Vallejo, M.; Casas, A.; Blancas, J.; Moreno-Calles, A.I.; Solís, L.; Rangel-Landa, S.; Dávila, P.; Tellez, O. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: Indigenous cultures and biodiversity conservation. *Agrofor. Syst.* **2014**, *88*, 125–140. [[CrossRef](#)]
40. Campos-Salas, N.; Casas, A.; Moreno-Calles, A.I.; Vallejo, M. Plant Management in Agroforestry Systems of Rosetophyllous Forests in the Tehuacán Valley, Mexico. *Econ. Bot.* **2016**, *70*, 254–269. [[CrossRef](#)]
41. Smith, E.C. Plant remains. In *The Prehistory of the Tehuacan Valley*; MacNeish, R., Ed.; The Prehistory of the Tehuacan Valley: Austin, TX, USA, 1976; pp. 220–225.

42. 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. [[CrossRef](#)]
43. Smith, E.J. Agriculture, Tehuacan Valley. *Fieldiana Bot.* **1965**, *31*, 53–98.
44. Casas, A.; Otero Arnaiz, A.; Pérez-Negrón, E.; Valiente-Banuet, A. In situ Management and Domestication of Plants in Mesoamerica. *Ann. Bot.* **2007**, *100*, 1101–1115. [[CrossRef](#)]
45. Brunel, M.C. Poner la conservación al servicio de la producción campesina, reto para la construcción de un nuevo paradigma de desarrollo. *Argumentos* **2008**, *57*, 115–137.
46. Blancas, J.; Casas, A.; Rangel-Landa, S.; Moreno-Calles, A.; Torres, I.; Pérez-Negrón, E.; Solís, L.; Delgado-Lemus, A.; Parra, F.; Arellanes, Y.; et al. Plant Management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Econ. Bot.* **2010**, *64*, 287–302. [[CrossRef](#)]
47. Rojas-Rabiela, T.; Martínez-Ruiz, J.L.; Murillo-Licea, D. *Cultura Hidráulica y Simbolismo Mesoamericano del Agua*; Rojas-Rabiela, T., Martínez-Ruiz, J.L., Murillo-Licea, D., Eds.; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)/Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS): Jiutepec, Mexico, 2009; ISBN 978-697-7563-06-8.
48. Nair, P.K.R. Classification of agroforestry systems. *Agrofor. Syst.* **1985**, *3*, 97–128. [[CrossRef](#)]
49. Casas, A.; Rangel-Landa, S.; Torres, I.; Pérez-Negrón, E.; Solís, L.; Parra, F.; Delgado, A.; Blancas, J.; Farfán-Heredia, B.; Moreno-Calles, A.I. In situ management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México: An ethnobotanical and ecological approach. In *Current Topics in Ethnobotany*; De Albuquerque, U.P., Alves-Ramos, M., Eds.; Research Signpost: Kerala, India, 2008; pp. 1–25, ISBN 9788130802435.
50. Blancas, J.; Casas, A.; Moreno-Calles, A.I.; Caballero, J. Cultural Motives of Plant Management and Domestication. In *Ethnobotany of Mexico. Interactions of People and Plants in Mesoamerica*; Lira, R., Casas, A., Blancas, J., Eds.; Springer: Utrecht, The Netherlands, 2016; pp. 233–255, ISBN 978-1-4614-6668-0.
51. Thiers, B. Index Herbariorum: A Global Directory of Public Herbaria and Associated Staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Available online: [Sweetgum.nybg.org/ih/](http://Sweetgum.nybg.org/ih/) (accessed on 3 December 2019).
52. Díaz, S.; Pascual, U.; Stenseke, M.; Martín-López, B.; Watson, R.T.; Molnár, Z.; Hill, R.; Chan, K.M.A.; Baste, I.A.; Brauman, K.A.; et al. Assessing nature's contributions to people. *Science* **2018**, *359*, 270–272. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
53. Whittaker, R.H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.* **1960**, *30*, 279–338. [[CrossRef](#)]
54. Koleff, P.; Gaston, K.J.; Lennon, J.J. Measuring beta diversity for presence-absence data. *J. Anim. Ecol.* **2003**, *72*, 367–382. [[CrossRef](#)]
55. Baselga, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **2010**, *19*, 134–143. [[CrossRef](#)]
56. Jost, L. Entropy and diversity. *Oikos* **2006**, *113*, 363–375. [[CrossRef](#)]
57. Jost, L.; González-Oreja, J.A. Midiendo la diversidad biológica: Más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana* **2012**, *56*, 3–14.
58. Moreno, C.E.; Barragán, F.; Pineda, E.; Pavón, N.P. Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Rev. Mex. Biodivers.* **2011**, *82*, 1249–1261. [[CrossRef](#)]
59. Jost, L. The relation between evenness and diversity. *Diversity* **2010**, *2*, 207–232. [[CrossRef](#)]
60. Marcon, E.; Hérault, B. entropart: An R Package to Measure and Partition Diversity. *J. Stat. Softw.* **2015**, *67*, 1–26. [[CrossRef](#)]
61. Torres-García, I.; Rendón-Sandoval, F.J.; Blancas, J.; Casas, A.; Moreno-Calles, I. The genus *Agave* in agroforestry systems of Mexico. *Bot. Sci.* **2019**, *97*, 263–290. [[CrossRef](#)]
62. Medina-Lemos, R. Achatocarpaceae. In *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*; Medina-Lemos, R., Ed.; Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México: Ciudad de México, Mexico, 2009; pp. 1–5, ISBN 9786070206399.
63. García-Mendoza, A.J.; Franco Martínez, I.S.; Sandoval Gutiérrez, D. Cuatro especies nuevas de *Agave* (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta Bot. Mex.* **2019**, e1461. [[CrossRef](#)]



64. Arias, S.; Gama-López, S.; Guzmán-Cru, L.U.; Vázquez-Benítez, B. Cactaceae. In *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*; Medina-Lemos, R., Ed.; Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México: Ciudad de México, Mexico, 2012; Volume 95, pp. 1–235, ISBN 9786070230790.
65. Miguel-Talonia, C.; Téllez-Valdés, O.; Murguía-Romero, M. Las cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México: Estimación de la calidad del muestreo. *Rev. Mex. Biodivers.* **2014**, *85*, 436–444. [[CrossRef](#)]
66. Espejo-Serna, A. El endemismo en las Liliopsida mexicanas. *Acta Bot. Mex.* **2012**, *100*, 195–257. [[CrossRef](#)]
67. International Union for Conservation of Nature (IUCN). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3. Available online: <https://www.iucnredlist.org/> (accessed on 20 May 2019).
68. SEMARNAT. *NOM-059-SEMARNAT, Protección Ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre-Categorías de Riesgo y Especificaciones Para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo*; Secretariat of the Interior: Mexico City, Mexico, 2010; p. 77.
69. The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES). Apéndices I, II y III valid from 26 November 2019. Available online: <https://www.cites.org> (accessed on 17 March 2020).
70. Marjokorpi, A.; Ruokolainen, K. The role of traditional forest gardens in the conservation of tree species in West Kalimantan, Indonesia. *Biodivers. Conserv.* **2003**, *12*, 799–822. [[CrossRef](#)]
71. McNeely, J.A. Nature vs. nurture: Managing relationships between forests, agroforestry and wild biodiversity. *Agrofor. Syst.* **2014**, *61*, 155–165.
72. Trejo, I.; Dirzo, R. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodivers. Conserv.* **2002**, *11*, 2063–2084. [[CrossRef](#)]
73. Méndez-Toribio, M.; Martínez-Cruz, J.; Cortés-Flores, J.; Rendón-Sandoval, F.J.; Ibarra-Manríquez, G. Composición, estructura y diversidad de la comunidad arbórea del bosque tropical caducifolio en Tzirtzicuaru, Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Rev. Mex. Biodivers.* **2014**, *85*, 1117–1128. [[CrossRef](#)]
74. Lott, E.J.; Bullock, S.H.; Solis-Magallanes, A. Floristic Diversity and Structure of Upland and Arroyo Forests of Coastal Jalisco. *Biotropica* **1987**, *19*, 228–235. [[CrossRef](#)]
75. Gillespie, T.W.; Grijalva, A.; Farris, C.N. Diversity, composition, and structure of tropical dry forests in Central America. *Plant Ecol.* **2000**, *147*, 37–47. [[CrossRef](#)]
76. Gallardo-Cruz, J.A.; Meave, J.A.; Pérez-García, E.A. Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Bot. Sci.* **2017**, *35*, 19–35. [[CrossRef](#)]
77. Rzedowski, J.; Calderón, G. Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del bosque tropical caducifolio de México. *Acta Bot. Mex.* **2013**, *102*, 1–23. [[CrossRef](#)]
78. Gentry, A.H. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. In *Seasonally Dry Tropical Forests*; Bullock, S.H., Mooney, H.A., Medina, E., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1995; pp. 146–194.
79. Valiente-Banuet, A.; Casas, A.; Alcántara, A.; Dávila, P.; Flores-Hernández, N.; del Coro Arizmendi, M.; Villaseñor, J.L.; Ortega Ramirez, J. La vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín La Soc. Botánica México* **2000**, *67*, 24–74. [[CrossRef](#)]
80. Rzedowski, J.; Medina-Lemos, R.; Calderón de Rzedowski, G. Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Bot. Mex.* **2005**, *70*, 85–111. [[CrossRef](#)]
81. Casas, A.; Parra, F.; Aguirre-Dugua, X.; Rangel-Landa, S.; Blancas, J.; Vallejo, M.; Moreno-Calles, A.I.; Guillén, S.; Torres-García, I.; Delgado-Lemus, A.; et al. Manejo y domesticación de plantas en Mesoamérica. Una estrategia de investigación y estado del conocimiento sobre los recursos genéticos. In *Domesticación en el Continente Americano. Volumen 2. Perspectivas de investigación y manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo*; Universidad Nacional Autónoma de México/Universidad Nacional Agraria La Molina/CONACYT: Morelia, México, 2017; pp. 69–102, ISBN 978-607-02-9334-4.
82. Durand, L. La relación ambiente-cultura en antropología: Recuento y perspectivas. *Nueva Antropol.* **2002**, *18*, 169–184.
83. SEMARNAT. *Experiencias de Agroforestería en México*, 1st ed.; Moreno-Calles, A.I., Ed.; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT): Ciudad de México, Mexico, 2019; ISBN 9786076260562.
84. Moreno-Calles, A.I.; Casas, A. Agroforestry Systems: Restoration of Semiarid Zones in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Ecol. Restor.* **2010**, *28*, 361–368. [[CrossRef](#)]

85. García-Licona, J.B.; Maldonado-Torres, R.; Moreno-Calles, A.I.; Álvarez-Sánchez, M.E.; García-Chávez, J.; Casas, A. Ethnoagroforestry management and soil fertility in the semiarid Tehuacán Valley, México. *Ethnobiol. Conserv.* **2017**, *6*, 1–8. [[CrossRef](#)]
86. Berkes, F.; Folke, C.; Gadgil, M. Traditional Ecological Knowledge, Biodiversity, Resilience and Sustainability. *Biodivers. Conserv.* **1994**, *4*, 269–287.
87. Berkes, F.; Folke, C. *Linking Social and Ecological Systems. Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1998; ISBN 9780521591409.
88. Pretty, J.; Adams, B.; Berkes, F.; Ferreira, S.; Athayde, D.; Dudley, N. The Intersections of Biological Diversity and Cultural Diversity: Towards Integration. *Conserv. Soc.* **2009**, *7*, 100–112.
89. Leakey, R.R.B. Converting ‘trade-offs’ to ‘trade-ons’ for greatly enhanced food security in Africa: Multiple environmental, economic and social benefits from ‘socially modified crops’. *Food Secur.* **2018**, *10*, 505–524. [[CrossRef](#)]
90. Leakey, R.R.B. From ethnobotany to mainstream agriculture: Socially modified Cinderella species capturing ‘trade-ons’ for ‘land maxing’. *Planta* **2019**, *250*, 949–970. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
91. Toledo, V.M.; Barrera-Bassols, N. *La Memoria Biocultural. La Importancia Ecológica de Las Sabidurías Tradicionales*; Icaria Editorial: Barcelona, Spain, 2008; ISBN 9788498880014.
92. Berkes, F.; Colding, J.; Folke, C. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecol. Appl.* **2000**, *10*, 1251–1262. [[CrossRef](#)]
93. Waggoner, P.E. How much land can ten billion people spare for nature? *Daedalus* **1996**, *125*, 73–93.
94. Borlaug, N. Feeding a Hungry world. *Science* **2007**, *318*, 359. [[CrossRef](#)]
95. Phalan, B.; Onial, M.; Balmford, A.; Green, R.E. Reconciling Food Production and Biodiversity Conservation: Land Sharing and Land Sparing Compared. *Science* **2011**, *333*, 1289–1291. [[CrossRef](#)]
96. Perfecto, I.; Vandermeer, J. Separación o integración para la conservación de biodiversidad: La ideología detrás del debate “land-sharing” frente a “land-sparing”. *Ecosistemas* **2012**, *21*, 180–191.
97. Vandermeer, J.; Perfecto, I. The Future of Farming and Conservation. *Science* **2005**, *308*, 1257b–1258b. [[CrossRef](#)]
98. Ortega-Álvarez, R.; Casas, A.; Figueroa, F.; Sánchez-González, L.A. Producir y conservar: Nuevos horizontes en torno a los modelos de integración y separación territorial. *Soc. Y Ambiente* **2018**, *18*, 11–44. [[CrossRef](#)]
99. Moreno-Calles, A.I.; Toledo, V.M.; Casas, A. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Bot. Sci.* **2013**, *91*, 375–398. [[CrossRef](#)]
100. Durand, L. Pensar positivo no basta. Actitudes en torno a la conservación en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, México. *Interciencia* **2010**, *35*, 430–436.
101. Díaz, S.; Fargione, J.; Iii, F.S.C.; Tilman, D. Biodiversity Loss Threatens Human Well-Being. *PLoS Biol.* **2006**, *4*, 1300–1305.
102. Srivastava, D.S.; Vellend, M. Biodiversity-ecosystem function research: Is it relevant to conservation? *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **2005**, *36*, 267–294. [[CrossRef](#)]



## CAPÍTULO IV. MOTIVACIONES CAMPESINAS PARA MANTENER LA VEGETACIÓN DEL BOSQUE TROPICAL SECO EN SISTEMAS AGROFORESTALES TRADICIONALES



---

Rendón-Sandoval, F.J., Casas, A., Sinco-Ramos, P.G., García-Frapolli, E. & Moreno-Calles, A.I. (2021). **Peasants' motivations to maintain vegetation of tropical dry forests in traditional agroforestry systems from Cuicatlán, Oaxaca, Mexico.** *Frontiers in Environmental Science* 9: 682207. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.682207>

---

### Resumen

Las formas en que las comunidades rurales tradicionales llevan a cabo sus actividades para satisfacer sus medios de vida suelen favorecer la conservación de biodiversidad y el mantenimiento de funciones ecosistémicas. Los sistemas agroforestales tradicionales (SAFT) son expresiones de manejo que conservan deliberadamente la vegetación silvestre en coexistencia con los cultivos para obtener múltiples contribuciones socioecológicas. Sin embargo, los procesos que potencian la intensificación productiva ponen en riesgo su permanencia. Este estudio tuvo como objetivo: i) identificar las motivaciones de los campesinos para mantener la vegetación del bosque tropical seco dentro de sus parcelas agrícolas, ii) analizar la capacidad de los SAFT para brindar contribuciones al bienestar de las

personas, e iii) identificar los factores y procesos que limitan las capacidades de conservación y algunas alternativas posibles. El estudio se realizó en tres comunidades del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca, México. Realizamos un análisis cualitativo con información proveniente de dos talleres con habitantes locales, 10 entrevistas semiestructuradas con campesinos que manejan SAFT, observación participante, pláticas informales complementarias y notas de campo. Para el análisis de los datos: i) generamos una lista de temas centrales a partir de los datos recogidos, ii) establecimos categorías preliminares de dichos temas, iii) codificamos toda la información mediante el programa Atlas.ti, iv) ajustamos la clasificación de categorías y códigos a los datos, y v) agrupamos los códigos y analizamos sus relaciones. Encontramos que las motivaciones de los campesinos para mantener la vegetación silvestre están vinculadas a la provisión de múltiples contribuciones benéficas: i) materiales (sobre todo frutos comestibles, plantas medicinales, forraje, leña), ii) reguladoras (sombra, fertilidad del suelo, mantenimiento de humedad, atracción de lluvia) e iii) inmateriales (sabores regionales, plantas ornamentales y rituales), que satisfacen algunas de sus necesidades fundamentales (principalmente de subsistencia, identidad y protección). El motivo principal para mantener la vegetación silvestre fue la obtención de múltiples contribuciones materiales (62%). Asimismo, observamos que los SAFT que salvaguardan una mayor cobertura forestal y diversidad de especies proporcionan una gama más amplia de contribuciones y tienen un potencial mayor para satisfacer necesidades humanas. La agricultura campesina puede permitir el mantenimiento de la biodiversidad y la satisfacción de algunas necesidades humanas fundamentales. Sin embargo, es necesario revitalizarla, hacerla más eficiente, redituable y dignificante. El manejo agroecológico implementado por las y los campesinos en los SAFT es crucial para asegurar la continuidad de funciones ambientales esenciales para la vida y el bienestar de la humanidad.

**Palabras clave:** agricultura campesina, conocimiento ecológico tradicional y local, conservación de biodiversidad, contribuciones de la naturaleza a las personas, diversidad biocultural, manejo agroecológico, necesidades humanas fundamentales.





# Peasants' Motivations to Maintain Vegetation of Tropical Dry Forests in Traditional Agroforestry Systems from Cuicatlán, Oaxaca, Mexico

Francisco J. Rendón-Sandoval<sup>1</sup>, Alejandro Casas<sup>1\*</sup>, Perla G. Sinco-Ramos<sup>1</sup>, Eduardo García-Frapolli<sup>1</sup> and Ana I. Moreno-Calles<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Mexico,

<sup>2</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Mexico

## OPEN ACCESS

### Edited by:

Washington Soares Ferreira Júnior,  
Universidade de Pernambuco, Brazil

### Reviewed by:

Ana Haydeé Ladio,  
National University of Comahue,  
Argentina

Miguel Alfonso Ortega-Huerta,  
National Autonomous University of  
Mexico, Mexico

### \*Correspondence:

Alejandro Casas  
acasas@cieco.unam.mx

### Specialty section:

This article was submitted to  
Conservation and Restoration  
Ecology,  
a section of the journal  
Frontiers in Environmental Science

**Received:** 18 March 2021

**Accepted:** 26 July 2021

**Published:** 06 August 2021

### Citation:

Rendón-Sandoval FJ, Casas A,  
Sinco-Ramos PG, García-Frapolli E  
and Moreno-Calles AI (2021)  
Peasants' Motivations to Maintain  
Vegetation of Tropical Dry Forests in  
Traditional Agroforestry Systems from  
Cuicatlán, Oaxaca, Mexico.  
*Front. Environ. Sci.* 9:682207.  
doi: 10.3389/fenvs.2021.682207

The ways traditional rural communities conduct activities to meet their livelihoods commonly contribute to conservation of biodiversity and ecosystem functions. Traditional agroforestry systems (TAFS) are expressions of management that deliberately retain wild vegetation coexisting with crops to obtain multiple socio-ecological contributions. However, processes enhancing productive intensification endanger their permanence. This study aimed to 1) identify the peasants' motivations to maintain the vegetation of tropical dry forest within their agricultural fields, 2) analyze the capacity of TAFS to provide contributions to people's well-being, and 3) identify factors and processes limiting conservation capacities and possible alternatives. The study was conducted in three communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Oaxaca, Mexico. We performed a qualitative analysis with information from two workshops with local people, 10 semi-structured interviews with managers of TAFS, participant observation, complementary informal talks, and fieldwork notes. For analyzing the data, we: 1) generated a list of central themes based on the data collected, 2) established preliminary categories of such themes, 3) coded all information through the Atlas.ti software, 4) adjusted the classification of categories and codes to the data, 5) grouped codes and analyzed their relationships. We found that the peasants' motivations to maintain the wild vegetation are the provision of multiple beneficial contributions: material (edible fruit, medicinal plants, fodder, firewood), regulating (shade, soil fertility, humidity keeping, rain attraction), and nonmaterial (regional flavors, ornamental, ritual), among others, which meet some of their fundamental needs (primarily subsistence, identity, and protection). The main reasons for keeping the wild vegetation were material contributions (62%). Also, we observed that TAFS safeguarding a higher forest cover and species diversity provide a broader range of socio-ecological contributions and potential to satisfy human needs than those with lower cover. Peasant agriculture may allow maintaining biodiversity while satisfying fundamental human needs. However, it needs to be revitalized, made more efficient, profitable, and dignified. The agroecological management implemented by peasants in

TAFS is crucial for ensuring the continuity of essential environmental functions and people's well-being.

**Keywords:** agroecological management, biocultural diversity, biodiversity conservation, fundamental human needs, nature's contributions to people, peasant agriculture, traditional ecological knowledge

## INTRODUCTION

Practically all ecosystems of the planet have had human impact (Noble and Dirzo, 1997; Díaz et al., 2019). Some of them are subject to progressive higher transformation intensity, mainly due to the accelerated industrialization, which is the leading cause of the severe impact on ecosystems at a global scale (MEA, 2005; IPCC, 2013). For this reason, the study of the relationships between human societies and the natural environment urgently requires research approaches and actions towards sustainability, one possible way to guarantee the continuity of the socio-ecological systems (Berkes and Folke, 1998). To ensure the future viability of these systems, it is indispensable stopping the productive intensification that characterizes the current hegemonic trends of the global economy (Casas et al., 2014), which involves the drastic and profound transformation of nature (Rendón-Sandoval, 2020). Besides, it is necessary to design alternative production systems to provide goods while maintaining their capacity to conserve biodiversity and environmental functions.

Important examples to face the global environmental crisis can be found in some of the ways traditional rural communities live. These societies commonly meet their livelihood needs, while contributing to biodiversity conservation and maintaining key ecosystem functions (Perfecto and Vandermeer, 2008; Altieri and Toledo, 2011; Casas et al., 2014). Understanding the rationality of the cultural and ecological features of these traditional communities, their techniques, social organization, and governance, may provide important teachings for redesigning strategies of interrelationships between society and nature. One of the most notable expressions of the biocultural legacy of rural communities are the *traditional agroforestry systems* (TAFS), which are agroecosystems that integrate the deliberate retention of forest cover and wild species managed through different ways (Casas et al., 1997), which coexist with crops and domestic animals to obtain social and ecological benefits (Moreno-Calles et al., 2014; SEMARNAT, 2019).

TAFS are important reservoirs of culture, local knowledge, technical experience, and biological diversity, with a high capacity to conserve the ecosystems surrounding agricultural areas, while providing benefits to societies (Casas et al., 2014; Vallejo et al., 2016). These systems might be reminiscences of early stages of agricultural practices that were integrated into the management of forests and landscapes (Casas et al., 1997; Blancas et al., 2010). Thus, several scholars have suggested that early horticultural practices associated to forest management could be the earliest forms of food production in Mesoamerica (MacNeish, 1967; Smith, 1967; Clement et al., 2021). Current TAFS result from a long history of interactions between societies and ecosystems, that represent millenary biocultural legacies (Boege, 2008; Toledo

and Barrera-Bassols, 2008). TAFS are important settings where people experiment with different management forms of their components and processes, including the domestication of plant species, which influences the adjustment of landscapes to human needs (Casas et al., 1997, Casas et al., 2007; Moreno-Calles et al., 2014). Likewise, TAFS are living laboratories of biodiversity and ecosystem management that generate agrobiodiversity.

One of the most relevant ecosystems for the study of TAFS is the tropical dry forest (TDF), a plant community formed by tropical elements dominated by species that lose their leaves during a marked and long dry season (Rzedowski, 1978). The TDF is notable for harboring high species diversity and endemism, and it is the source of origin of wild relatives of outstanding Mesoamerican crops like maize, beans and squashes (Challenger, 1998; Banda et al., 2016). Nevertheless, this ecosystem is highly threatened, and its conservation is one priority worldwide (Janzen, 1988; Olson and Dinerstein, 2002). In Mexico, it is relevant its high level of endemism (Rendón-Sandoval et al., 2020), the highest of the TDF in the Neotropical region, with 60–73% of species restricted to the Mexican territory (Rzedowski, 1991; Banda et al., 2016).

It has been documented that TAFS provide multiple benefits or contributions to societies (Moreno-Calles et al., 2010; Altieri and Toledo, 2011; Vallejo et al., 2016; Rendón-Sandoval et al., 2020). *Nature's contributions to people* are all socio-ecological contributions that humans obtain from nature, including goods and functions from ecosystems (Díaz et al., 2018). However, the concept may also include aspects of nature that may be harmful to people (e.g. pests, pathogens, predation that damage people or their assets) (IPBES, 2019). Recently, Díaz et al. (2018) categorized such contributions in three main groups: 1) *material contributions* (substances, objects, or other tangible elements from nature that directly sustain people's life); 2) *nonmaterial contributions* (nature's effects on subjective or psychological aspects underpinning people's well-being; giving the opportunity of recreation, inspiration, spiritual experiences, and social cohesion); and 3) *regulating contributions* (functional and structural aspects of organisms and ecosystems that influence environmental conditions experienced by people and/or regulate the generation of material and nonmaterial contributions).

TAFS may maintain high proportions of forest cover, and thus provide multiple beneficial contributions, like habitat maintenance, pollination, dispersal of seeds and other propagules, air quality, climate regulation, water purification, soil formation and protection, regulation of hazards and extreme events, regulation of harmful organisms and biological processes, provision of food, fodder, medicinal, learning and inspiration, physical and psychological experiences, supporting identities, and maintenance of options (Díaz et al., 2018).

Such contributions provide the satisfaction of fundamental human needs as those pointed out by Max-Neef et al. (1998), like subsistence, protection, identity, affection, understanding, creation, participation, and leisure. These authors distinguish between *fundamental human needs* (essential human requirements and potentialities, common to all cultures in all historical periods) and *satisfiers* of such needs (different ways or means, selected by each culture to satisfy needs). For instance, food and shelter should not be considered needs, but satisfiers of subsistence need.

The attributes referred to above suggest that TAFS are outstanding alternatives to recover and implement forms of management favorable for the conservation of biodiversity, and compatible with people's well-being. Peasant women and men are crucial actors since they interact closely and continually with these systems; therefore, understanding their motivations for managing them allows documenting their knowledge on biodiversity, their strategies for conservation, and conditions for the permanence of biocultural diversity (Boege, 2008; Toledo and Barrera-Bassols, 2008). The proposals from academic, governmental, civil organizations, and other social sectors, to be viable require to be compatible with the culture, values, and wishes of those that directly manage the local ecosystems.

According to Wolf (1955), peasants have in common the following features: 1) agricultural production as their main occupation, 2) effective control of land and autonomous making decisions on their crops, and 3) their activities are more oriented towards the direct satisfaction of their subsistence rather than to reinvestment. In addition, Ploeg (2010) defines the *peasant condition* considering a base of resources controlled and administered by them, from which emerges *coproduction* (or interaction and mutual transformation between humans and nature), in turn interacting with markets maintaining their autonomy and independence. Around the world, there is a marked correspondence among areas with high biodiversity (*hotspots*) and territories of peasant and indigenous communities. Such information shows that biological and cultural diversity are reciprocally dependent and geographically coexisting (Boege, 2008; Toledo and Boege, 2010).

In this context, we consider the need to implement strategies for strengthening the peasant practices to maintain the diversity of TDF compatible with people's well-being. In such task, TAFS may have substantial contributions. The purposes of this study were to 1) identify the peasants' motivations to maintain the wild vegetation in their agricultural fields, 2) analyze the capacity of TAFS to provide contributions to people's well-being, and 3) identify factors and processes limiting conservation capacities. Previous studies have documented that both maintenance and removal of forest elements from agricultural fields are regulated by needs, values, or potential damage perceived and mediated through different management practices (Moreno-Calles et al., 2010; Moreno-Calles et al., 2012; Blancas et al., 2013; Vallejo et al., 2014; Vallejo et al., 2015; Vallejo et al., 2016; Rangel-Landa et al., 2017). In particular, our team previously documented that TAFS associated with TDF can harbor –on average– 44% of forest cover,

68% of species (30% of them endemic to Mexico), and 53% of the individuals of plants from the neighboring wild vegetation; where 96 species of useful plants (73% of the total) were recorded (Rendón-Sandoval et al., 2020). Therefore, this study seeks to deepen the understanding of the most determinant motivations for maintaining vegetation in the peasants' parcels, and the contribution of their TAFS to human well-being. For such purpose, we conducted qualitative approaches, which do not aspire to represent the state of agriculture and agricultural practices in the study area, but to understand processes and interrelationships influencing the management practices for conservation of forest cover in agricultural plots. In other words, understanding the multiple phenomena operating in a complex system of processes and factors motivating management decisions that influence the ecological expression of the agroforestry systems studied.

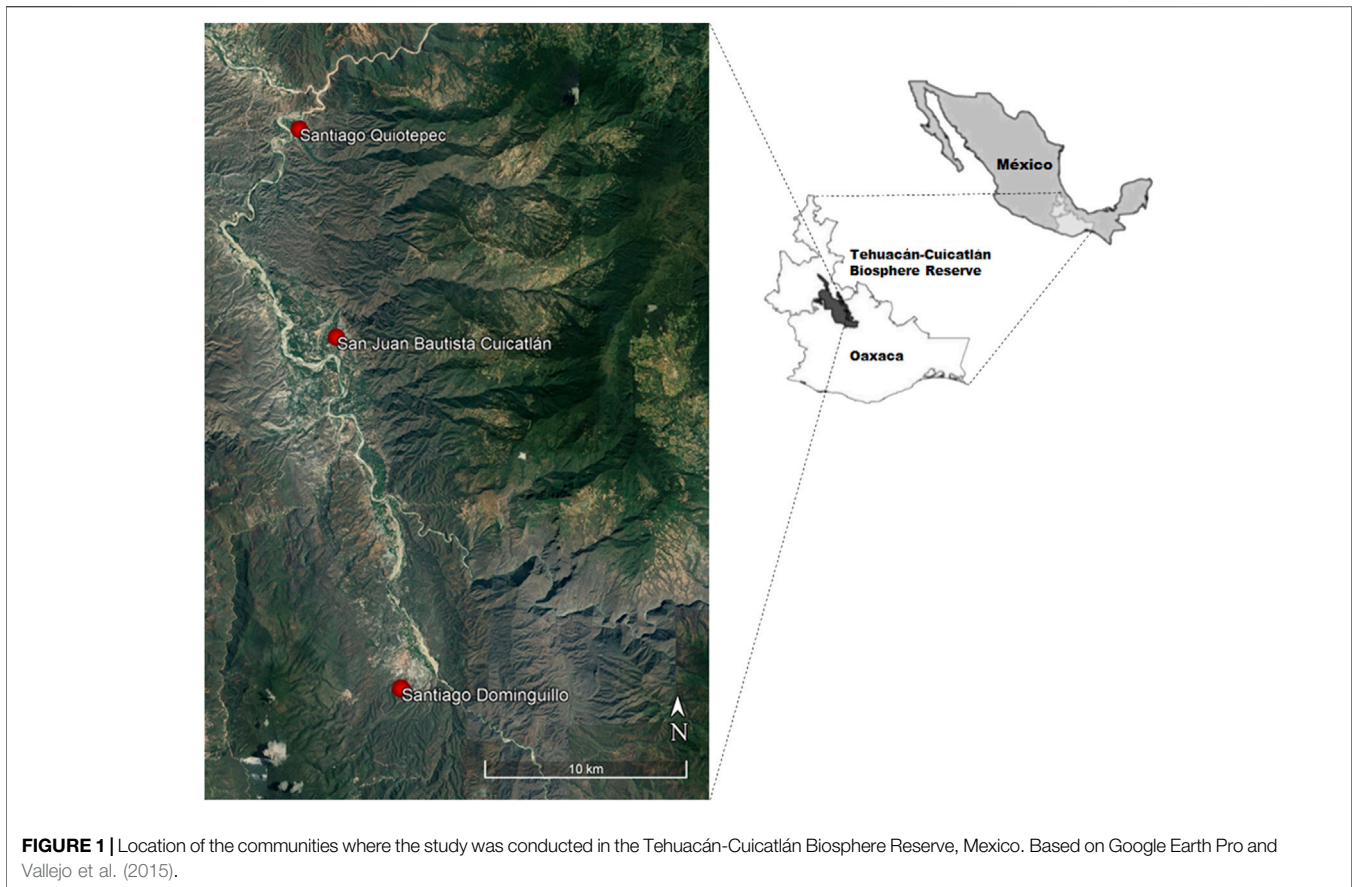
## MATERIALS AND METHODS

### Study Area

The Tehuacán-Cuicatlán Valley is one of the main reservoirs of biocultural diversity of Mexico, with a cultural history of more than 10,000 years. Important archaeological studies in the region revealed early signs of domestication and forest management practiced in the area during the prehistory, which has been recognized among the earliest signs of food production in Mesoamerica (MacNeish, 1967; Smith, 1967). It is a semi-arid zone, the most biodiverse of North America, with 37 types of plant associations (Valiente-Banuet et al., 2000) and more than 3,000 plant species registered up to now (Casas et al., 2001; Lira et al., 2009). In addition, in the Tehuacán-Cuicatlán Valley live eight indigenous groups: the Chocho (called themselves *Ngiba*), the Popoloca (*Ngíwa*), Nahua (*Macehuale*), Cuicatec (*Y'an yivacu*), Mazatec (*Enna*), Chinantec (*Tsa ju jmi*), Mixtec (*Nuu savi*), and Ixcatec (*Xwja*) people (Casas et al., 2001; Boege, 2008).

To conserve such biological and cultural richness, the region was decreed as a Biosphere Reserve in 1998, and then inscribed in the List of World Heritage (cultural and natural) of the UNESCO in 2018, due to the extraordinary values of the natural environments and cultural Mesoamerican traditions. In addition, the Tehuacán-Cuicatlán Valley has been cataloged as one of the 23 Priority Biocultural Regions for Conservation of Mexico (Boege, 2008).

Our research was conducted in three mestizo communities with Cuicatec and Mazatec origin in the “Cañada” region, belonging to the municipality of San Juan Bautista Cuicatlán, Oaxaca (Figure 1). This territory, located at elevations averaging 700 m, has a semi-arid dry climate with annual rainfall averaging 485 mm, with eight dry months, and 25°C of annual mean temperature (García, 2004). It is the confluence zone of several rivers that allow the presence of riparian vegetation, coexisting with different types of columnar cacti forests and TDF. Our study was conducted in the peasant communities of Santiago Quiotepec, Cuicatlán, and Santiago Domingullo, where the land tenure is communal and ejidal (two forms of collective tenure regimes). These communities have primary activities like



**FIGURE 1** | Location of the communities where the study was conducted in the Tehuacán-Cuicatlan Biosphere Reserve, Mexico. Based on Google Earth Pro and Vallejo et al. (2015).

traditional “milpa” agriculture (a multi-crop system with maize, beans and squash), cultivation of fruit trees (lemon, mango, sapodilla, spondias plum, annona, black sapote) in irrigated areas, raising of goats, and gathering of timber and non-timber forest products (Brunel, 2008; Rendón-Sandoval et al., 2020).

## Methodological Design

We carried out a qualitative analysis including as methodological referent the Grounded Theory proposed by Glaser and Strauss (1967). The Grounded Theory is a qualitative research method whose purpose is to generate theoretical explanations based on the data obtained from the specific context studied; therefore, it does not start from *a priori* selected theories. The Grounded Theory uses an inductive approach to generate theoretical concepts and identify their relationships from the analysis of the information obtained, in such a way that the explanations emerge from the data itself and is closer to reality, as it does not impose the verification of a pre-established theory (Taylor and Bogdan, 1987; Strauss and Corbin, 2002).

Qualitative analysis is supported by continual feedback from data to interpretations, a process in which: 1) the information is analyzed systematically to generate *codes* (or identifiers of particular themes), 2) these codes and their interpretations are debugged and/or nuanced through a continual contrasting with

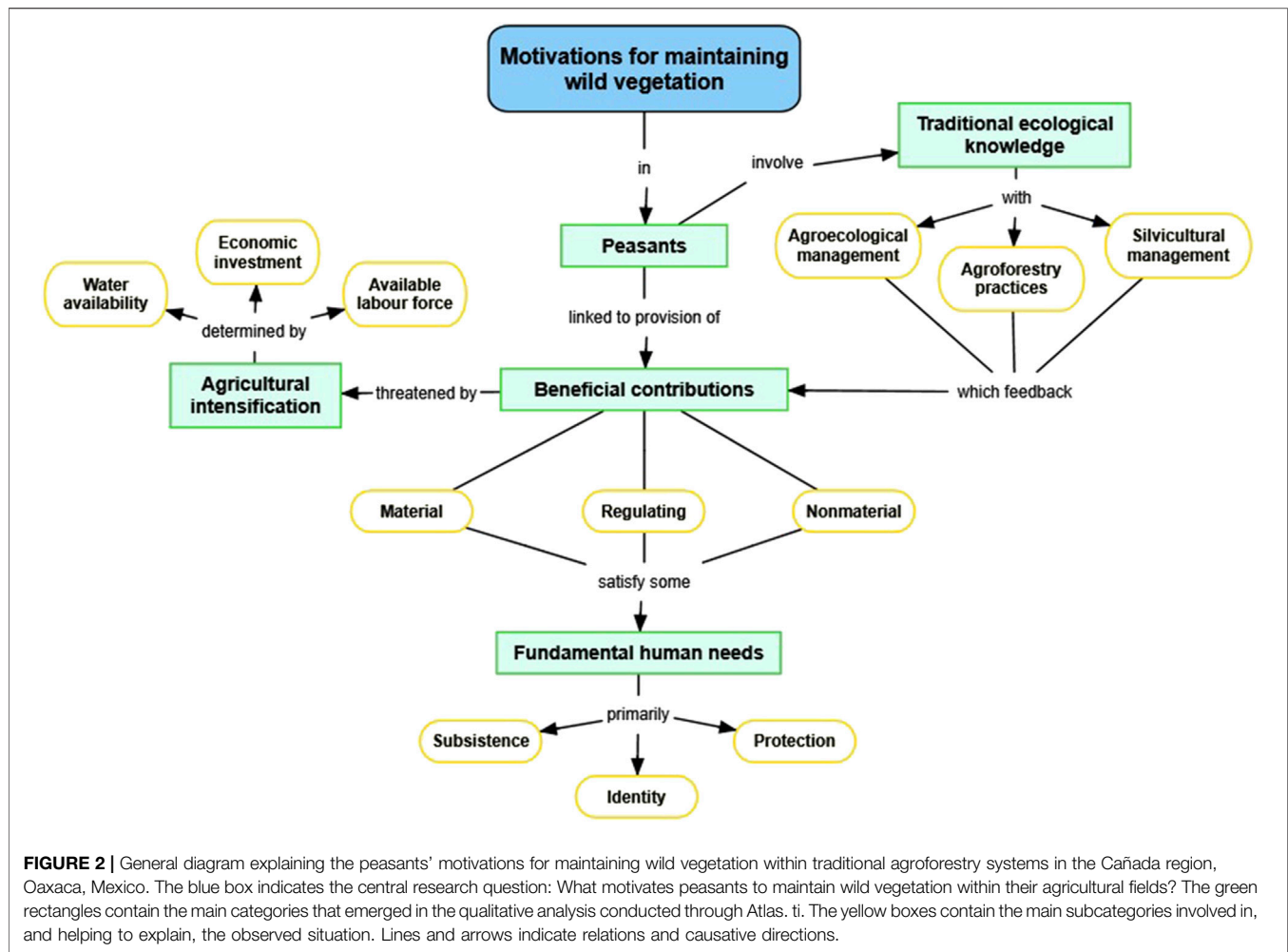
the data obtained, 3) their properties are identified, 4) codes are classified and grouped into categories, 5) their interrelationships are explored, and finally 6) these are integrated into a coherent explanation (Taylor and Bogdan, 1987).

The fieldwork started with exploratory visits to study communities, observing TAFS in their territories, and asking permission from local communitarian authorities to carry out the research. We also visited the authorities of the Tehuacán-Cuicatlan Biosphere Reserve to inform us about our research project, ask for their permit and advice.

## Data Collection

For obtaining the information we carried out: 1) 10 semi-structured interviews with peasants whose agricultural fields were sampled for previous ecological studies (see Rendón-Sandoval et al., 2020). These interviews yielded results that reached the principle of information saturation, which refers to the stage in qualitative data collection when collecting more data produces little important new information or understanding relevant to the research questions (Newing et al., 2011). Semi-structured interviews allow integrating closed-ended questions (questionnaire type) as well as open-ended questions in the same tool, which makes it possible to capture specific data while delving deeper into certain topics that require more exhaustive exploration, thus providing in-





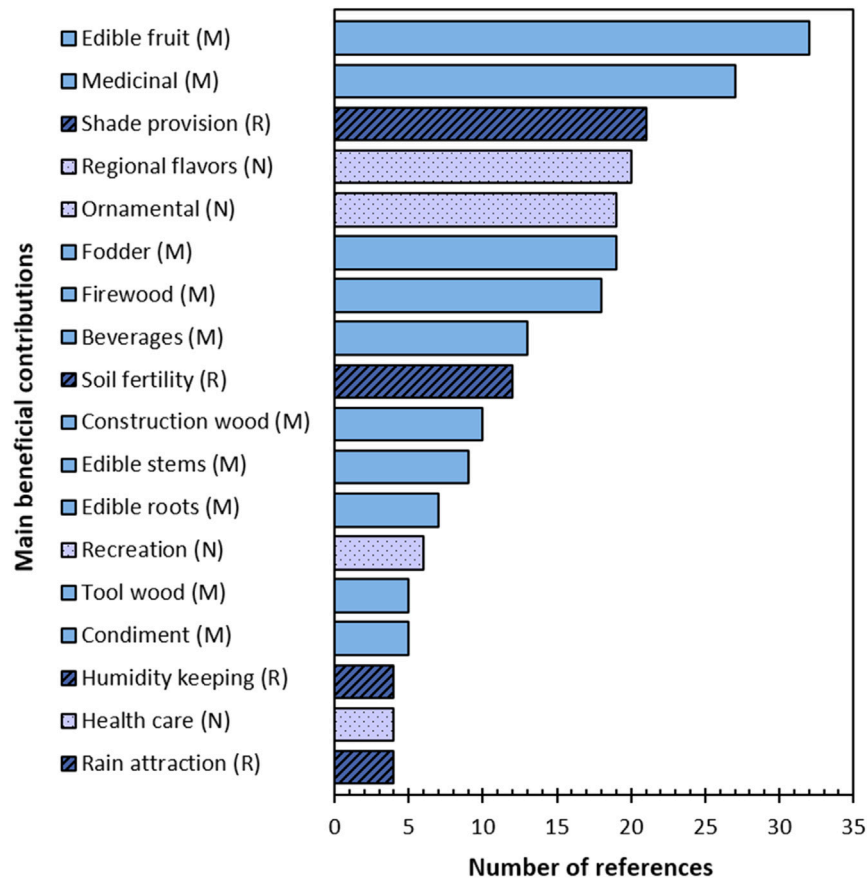
depth information. Our interview script (see **Supplementary Material**) was constructed with these characteristics (Drury et al., 2011). For the design of the interview guide we based the proposal on previous studies conducted in the region (e.g. Moreno-Calles et al., 2010, Moreno-Calles et al., 2012), incorporating relevant themes from other related studies (e.g. Pelcastre et al., 2020) to answer the research questions posed. People interviewed included two women and eight men 29–81 years old (average 60 years), from February 2018 to August 2019; 2) two workshops with local people from the community of Quiotepec (with the participation of 13 young and adult people) about “benefits of wild plants”, the elaboration of free lists about nature’s contributions, and the agricultural calendar followed by the community. The workshops were conducted as an additional technique to the interviews that served to complement and triangulate the information obtained through interviews. The workshops were based on guiding questions about the contributions that vegetation makes –and that motivate its conservation within the TAFS–, as well as about the seasonality of agricultural activities carried out throughout the year (e.g. planting, harvesting, seed selection and storage, fallow).

People’s responses were recorded on flip charts for subsequent systematization and analysis. Interviews and workshops provided more than 25 h of audio recording which were transcribed to be analyzed; 3) participant observation in communitarian activities (e.g. maize harvesting, preparation of pasture bags, goats grazing, religious ceremonies, and funerary rites); 4) informal talks with peasants during forest walks, sharing of food or resting in their homes; and 5) registering notes in a fieldwork diary.

The interviews comprised 85 questions on: 1) characteristics and history of parcels, 2) level of agricultural intensification, 3) management of vegetation, 4) contributions to human well-being, and 5) motivations for maintaining or removal of wild plant species in agricultural fields. Previously, we conducted samplings to analyze the cover and composition of forest patches in parcels of TAFS managed by people interviewed. Vegetation sampled in TAFS parcels was compared with that of native forests (see Rendón-Sandoval et al., 2020).

## Data Analysis

To analyze the information, we: 1) examined the interviews to identify the most relevant elements and generate a list of central



**FIGURE 3** | Main beneficial contributions –motivating the maintenance of native vegetation from the tropical dry forest– referred by peasants in the Cañada region, Oaxaca, Mexico. Material contributions (M), Regulating contributions (R), Nonmaterial contributions (N).

themes, which was then complemented with information from workshops, participant observation, informal talks, and fieldwork notes; 2) classified into preliminary categories those similar themes, and identified *a priori* codes that served as the basis for an in-depth analysis of the information in a qualitative analysis software; 3) analyzed profoundly the interviews through the Atlas.ti software (version 7), which facilitated the creation of more robust codes that were grouped into more precise categories and subcategories of analysis –related to the peasant condition, traditional ecological knowledge, socio-ecological contributions, agricultural intensification, and fundamental human needs– (Figure 2); and 4) we analyzed the relations between codes, and between the codes and the local context, carrying out a continue observation of the coherency between data and the interpretations given, to assure the veracity of the results and explanations. The number of contributions for each TAFS was obtained from a list that condensed all the contributions registered in the three communities studied. Each contribution was contrasted with the data from the specific interviews for each TAFS, assigning values of presence-absence (0–1, respectively) for each one of them. In addition, this information was related to some ecological attributes (forest cover, and species diversity) obtained

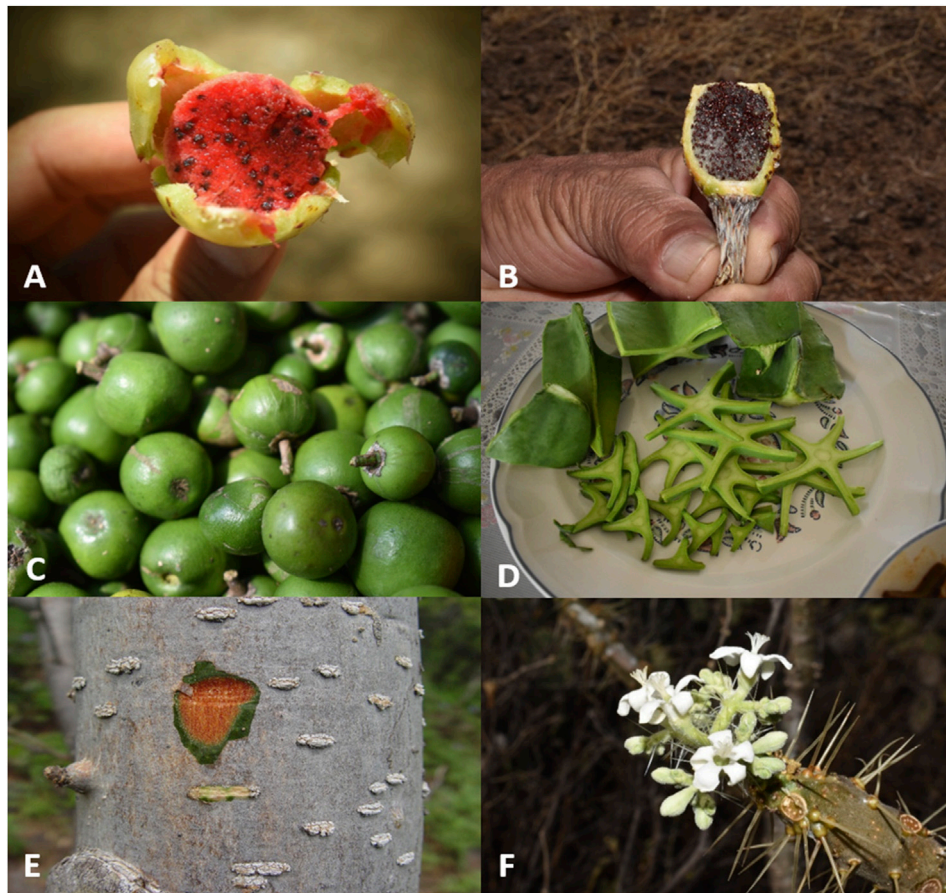
specifically for each TAFS analyzed in a previous study (see Rendón-Sandoval et al., 2020).

## RESULTS

### Peasants' Motivations to Maintain Vegetation

*“What for sowing a «cucharito» (the legume tree *Acacia cochliacantha*) if it does not provide benefit? You have to sow a lemon tree to obtain a product ... a mango, a chicozapote which give something”; “Herb that does not serve, why do I leave them?”; “I prefer trees that provide something –and although they do provide nothing, either way– I left them standing so that they continue living”.*

The peasants' foremost motivations to maintain wild vegetation within their agricultural fields are the provision of several beneficial contributions that meet some of their fundamental needs (Figure 2; Supplementary Material). These beneficial contributions represent the most recorded contributions (83%, Figure 3), while 17% were detrimental



**FIGURE 4** | Some outstanding material contributions that motivate the maintenance of native plants from tropical dry forests in the Cañada region, Oaxaca, Mexico. Provision of edible fruit and stems: “tunillo” *Stenocereus stellatus*\* (A), “biznaga” *Feroactus recurvus*\* (B), “tempesquistle” *Sideroxylon palmeri*\* (C), “nopal de cruz” *Acanthocereus subinermis*\* (D). Medicinal plants: “cuachalalá” *Amphipterygium adstringens* (E), “mala mujer” *Cnidoscolus tubulosus* (F). \*Species endemic from Mexico.

contributions. We identified that obtaining material contributions represents the peasants’ main reasons to maintain plant components of TDF (62%). These were followed by regulating contributions (20%), and nonmaterial contributions (18%).

The most outstanding material contributions –which represent also the focal reasons to maintain biodiversity– include species providing edible fruit, greatly appreciated in the region (especially those of the Cactaceae family), medicinal plants, species used for live fences (with the capacity to regrowth of cuttings), fodder species, firewood for cooking, plants used for preparing beverages, those providing construction wood, edible stems and roots, condiments, materials for fabricating tools, domestic utensils and handcrafts, and edible flowers (Figure 4; Table 1).

The most relevant regulating contributions include plant species that provide shade, soil fertility, humidity keeping, rain attraction, pest control, pollinators habitat and other beneficial species, and protect soil against erosion. The nonmaterial contributions include species appreciated for special flavors conferred to regional stoves and beverages (which have high identity value), ornamental plants that are ceremonial, source of

recreation, health, inspiration, as well as aromatic, ritual, and ludic plants (Table 1).

All these contributions of vegetation to the well-being of local people help to meet fundamental needs of subsistence, protection, and identity, but also others like affection, understanding, creation, participation, and leisure. We can visualize a direct relation between the number of contributions and the capacity to meet fundamental human needs (Table 1).

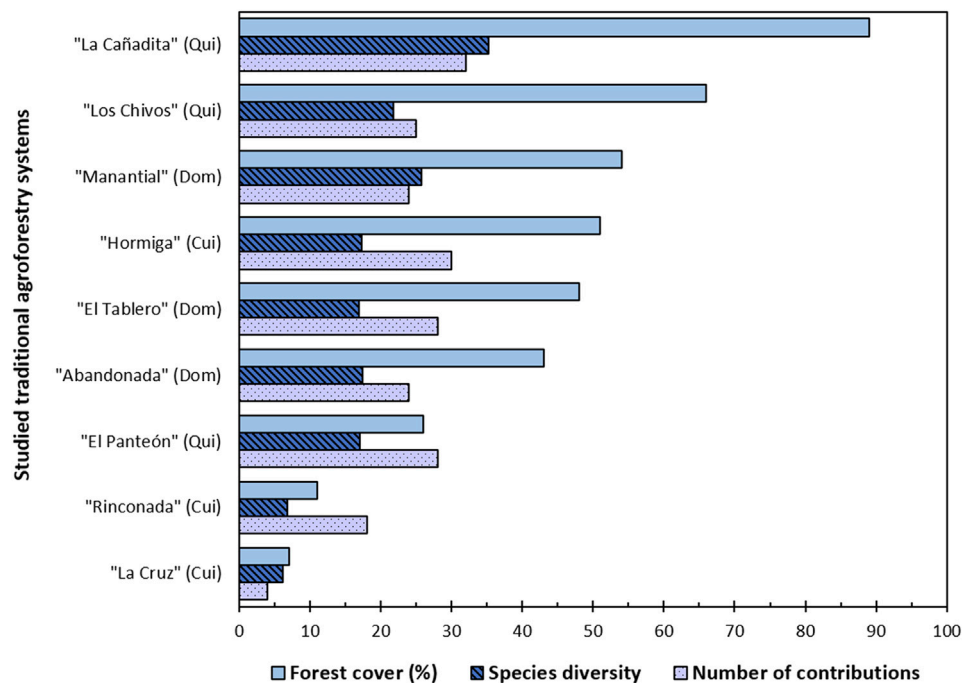
A few detrimental contributions of vegetation (17%), with a noteworthy importance, were referred to by peasants: 1) competence with crops for space, luminosity, humidity, and/or nutrients (primarily species with high reproductive success like “guaje” *Leucaena leucocephala*, “mantecoso” *Parkinsonia praecox*, “mezquite” *Prosopis laevigata*, “guamúchil” *Pithecellobium dulce*, and other legume trees); 2) the forest cover represents habitat of undesirable animal species since their damage to crops (e.g. birds like “chiquitón” *Melanerpes hypopilius* recognized as a seed consumer, ants *Atta mexicana* which cut flowers of some crops, or the coati *Nasua narica* which consume maize); 3) potential risk of injured due to breaking of branches and stems of giant plants (like the columnar cacti

**TABLE 1** | Contributions of vegetation to local people's well-being through the satisfaction of some fundamental human needs in the Cañada region, Oaxaca, Mexico.

Contributions	Fundamental needs	Preferred plants
<b>Material</b>		
Edible fruit	Subsistence, identity	Cactaceae spp. ("jiotilla" or "xonostle" <i>Escontria chiotilla</i> *, "garambullo" <i>Myrtillocactus geometrizans</i> *, "nanabuela" or "barba de viejo" <i>Pilosocereus chrysacanthus</i> *, "pitaya" <i>Stenocereus pruinosus</i> *, "tunillo" <i>Stenocereus stellatus</i> *), "guaje" <i>Leucaena leucocephala</i> , "tempesquistle" <i>Sideroxylon palmeri</i> *
Medicinal	Protection	"Cuachalalá" <i>Amphipterygium adstringens</i> (healing), "oreganillo" <i>Lippia graveolens</i> (digestive), "mala mujer" <i>Cnidioscolus tubulosus</i> (antirheumatic)
Live fences	Protection	Cactaceae, Burseraceae, and Fabaceae spp.
Fodder	Subsistence, protection	Fabaceae spp. (immature fruits), "mantecoso" <i>Parkinsonia praecox</i> and "cardón" <i>Pachycereus weberi</i> * (flowers), "caulote" <i>Guazuma ulmifolia</i>
Firewood for cooking	Subsistence	"Cucharito" <i>Acacia cochliacantha</i> *, "mezquite" <i>Prosopis laevigata</i> , "oaxaqueño" <i>Senna atomaria</i>
Preparation of beverages	Identity	"chupandía" <i>Cyrtocarpa procera</i> , Cactaceae spp.
Construction wood	Protection	"Mezquite" <i>Prosopis laevigata</i> , "quebracho" <i>Acacia pringlei</i> *, "cedro" <i>Cedrela odorata</i> , "caoba" <i>Swietenia humilis</i> , "cucharito" <i>Acacia cochliacantha</i> *, "guajillo" <i>Lysiloma divaricatum</i>
Edible stems and leaves	Subsistence, identity	"Quelites" ("chepil" <i>Crotalaria pumila</i> , "chepiche" <i>Porophyllum ruderale</i> , "quintonil" <i>Amaranthus hybridus</i> ), "nopal de cruz" <i>Acanthocereus subinermis</i> *
Edible roots	Subsistence	"Jícama de pochote" <i>Ceiba parvifolia</i> *
Condiments	Identity, subsistence	"Oreganillo" <i>Lippia graveolens</i> and "aguacate" <i>Persea americana</i> (leaves)
Wood for fabricating tools and domestic utensils	Creation	"Agalán" <i>Karwinskia humboldtiana</i> , "palo prieto" <i>Colubrina elliptica</i> , "matagallina" <i>Quadrella incana</i> , "rompezallo" <i>Celtis pallida</i>
Edible flowers	Subsistence, identity	"Cacayas" of "rabo de león" <i>Agave quiopepecensis</i> * and "mano de león" <i>Agave seemanniana</i> *, "flor de pitayaveja" <i>Pilosocereus chrysacanthus</i> *
Aphrodisiac	Affection	"Mezquite" <i>Prosopis laevigata</i>
Quench thirst	Subsistence	"Biznaga" <i>Ferocactus recurvus</i> * (fruit)
Appetite stimulant	Protection, subsistence	"Chepiche" <i>Porophyllum ruderale</i> (leaves and stems)
Ferments	Identity	"Pulque rojo" of "cardón" <i>Pachycereus weberi</i> *
Toys	Leisure	"Canoitas" <i>Amphilophium crucigerum</i> (fruit)
Materials for handicrafts	Creation	"Copalillo" <i>Bursera submoniliformis</i> (for fabricating sculptures of fantastic animals or "alebrijes")
Resins	Identity	"Linaloe" <i>Bursera linanoe</i> *, <i>Bursera</i> spp.
Saponifiers (soap)	Protection	"Cholulo" <i>Ziziphus amole</i> * (fruit)
Poisons	Protection	"Brea" <i>Bursera aptera</i> * (resin)
<b>Regulating</b>		
Shade provision	Protection	"Mezquite" <i>Prosopis laevigata</i> , "guamúchil" <i>Pithecellobium dulce</i> , "guapinole" <i>Acacia coulteri</i> *, "guaje" <i>Leucaena leucocephala</i>
Soil fertility	Protection	"Chimalacate" <i>Viguiera dentata</i> , Fabaceae spp.
Rain attraction	Protection, subsistence	"All wild trees call rain"
Humidity keeping	Protection, subsistence	"Mezquite" <i>Prosopis laevigata</i> , "higo" <i>Ficus cotinifolia</i> , "palo de agua" <i>Astianthus viminalis</i>
Pest control	Protection	"Venenillo" <i>Cascabela thevetia</i> (latex against the ant "chicatana" <i>Atta mexicana</i> )
Habitat for other species	Protection	"Mantecoso" <i>Parkinsonia praecox</i> (host of the edible mushroom "nanacate" <i>Schizophyllum commune</i> )
Prevention against soil erosion	Protection	<i>Agave</i> spp., <i>Hechtia</i> spp., <i>Opuntia</i> spp.
<b>Nonmaterial</b>		
Regional flavors	Identity, affection	Native (or "creole") maize <i>Zea mays</i> , "pulque rojo" of "cardón" <i>Pachycereus weberi</i> *, "tesmole cuaresmeño" with "nopal de cruz" <i>Acanthocereus subinermis</i> * and "tempesquistle" <i>Sideroxylon palmeri</i> *, "chilhuacle" <i>Capsicum annum</i>
Ornamental	Affection, understanding	"Roseta" <i>Echeveria laui</i> *, "biznaguita" <i>Mammillaria huitzilopochtli</i> *, "chilitos" or "piñitas" <i>Coryphantha calipensis</i> *, "huesito" <i>Plocosperma buxifolium</i> , "solterito" <i>Petrea volubilis</i> , "cacaloxóchitl" <i>Plumeria rubra</i> , "cazahuate" <i>Ipomoea pauciflora</i> , "garañona" <i>Hintonia latiflora</i>
Source of inspiration, recreation, and health	Affection, leisure	"Plants make feel good"
Ceremonial or ritual	Participation, identity	"Copales" and "cuajotes" of the genus <i>Bursera</i> , "huesito" <i>Plocosperma buxifolium</i> , "solterito" <i>Petrea volubilis</i>
Aromatic	Affection	Resins of <i>Bursera</i> spp.
Ludic	Leisure	"Canoitas" <i>Amphilophium crucigerum</i> (fruit)
"They have right to live"	Understanding	"All wild plants"

\*Species endemics of Mexico.





**FIGURE 5 |** Relation between the percentage of forest cover, species diversity, and number of contributions of vegetation to peasants managing traditional agroforestry systems –in three communities from the Cañada region, Oaxaca, Mexico–. The words in quotation marks correspond to the local names of the studied traditional agroforestry systems. Communities of Santiago Quiotepec (Qui), Santiago Domingullo (Dom), Cuicatlán (Cui).

“cardón” *Pachycereus weberi* and “tetecho” *Neobuxbaumia tetetzo*); and 4) the presence of thorny plants hurting and making arduous agricultural labors (especially the “chile de perro” *Opuntia pubescens*, “cocoche loco” *Opuntia decumbens*, “uñas de gato” *Mimosa lactiflua*, *M. luisana* and *M. polyantha*, and the “mala mujer” *Cnidioscolus tubulosus*).

When considering some ecological parameters estimated previously by Rendón-Sandoval et al. (2020), like species diversity (average  $19.38 \pm 7.9$  effective species per 500 m<sup>2</sup> sampling unit; min. 6.12, max. 35.23), and the proportion of forest cover maintained in TAFS (average  $43.89\% \pm 26.12$  min. 7%, max. 89%), we can observe that as long as these ecological attributes decline, number of contributions also decreases (average  $23.67 \pm 8.43$  min. 4, max. 32; **Figure 5**).

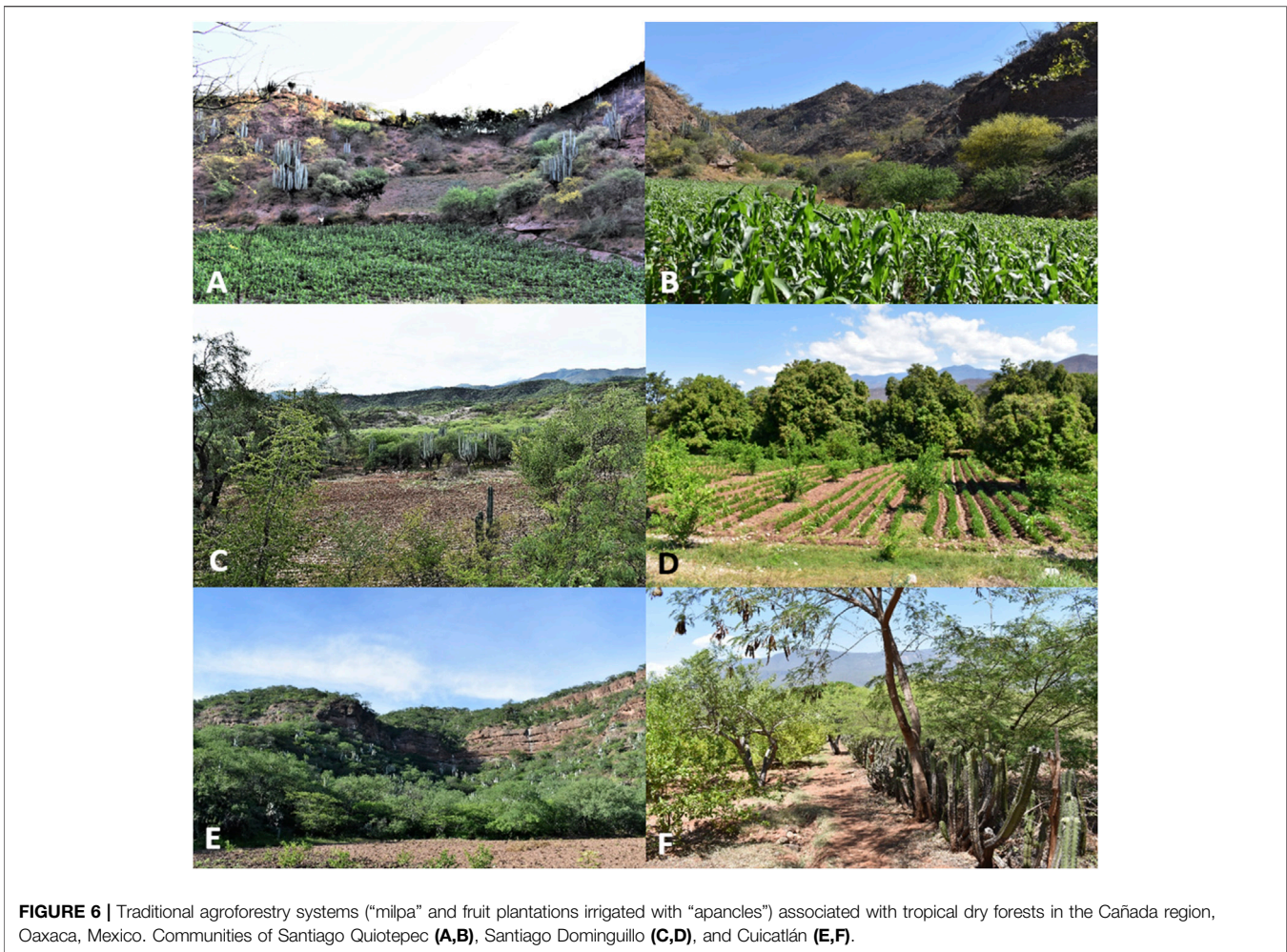
## Distinctive Features of the Peasant Condition

*“The doctor does not eat his medicines, a teacher does not eat his letters, all food comes from the field, from the peasants’ work who sow maize and beans...”; “Having maize and beans we are saved”; “I never added chemical, but only organic fertilizer”; “The «creole» (native) maize does not have chemicals, it is clean, pretty, tender, soft... and has good flavor”.*

The continuity of the peasant condition documented in the Cañada region represents a form of small-scale agriculture

–associated with TDF– practiced in parcels smaller than 3 ha (average  $1.66 \pm 0.55$  ha; min. 0.69, max. 2.38) of communal or ejidal land tenure. There, peasants: 1) inherit land to successive generations, and may buy other parcels; 2) use traditional and modern tools and practices simultaneously; 3) use their own and family workforce, which represents a demanding and exhausting activity; 4) leave parcels in fallow, usually when they have more than one parcel; 5) have a communitarian organization that confers to them belonging; it is characterized by agreements in assemblies and collaboration among people of the community in non-profitable activities like “tequio” (a form of community work that is unpaid and morally obligatory only if there are no rules and sanctions for compliance) to maintain infrastructure of common use (e.g. repairing roads or irrigation systems); 6) practice a strategy of multiple use of natural components –to obtain a variety of products– (Boege, 2008; Toledo and Barrera-Bassols, 2008) which also includes the diversification of options to guarantee subsistence (e.g. a multiplicity of crops, which are spatially and temporally complementary, as well as livestock and free raising of goats in forest areas, backyard poultry, gathering of forest products, commerce, local services, and seasonal employment).

A fundamental aspect in the continuity of the peasant condition is the permanence and regeneration of the traditional ecological knowledge, which involves the set of beliefs and knowledge on relations of living beings and their environment, transmitted and recreated from generation to generation (Berkes et al., 1994). The peasant knowledge that we documented is characterized by long term planning –based on



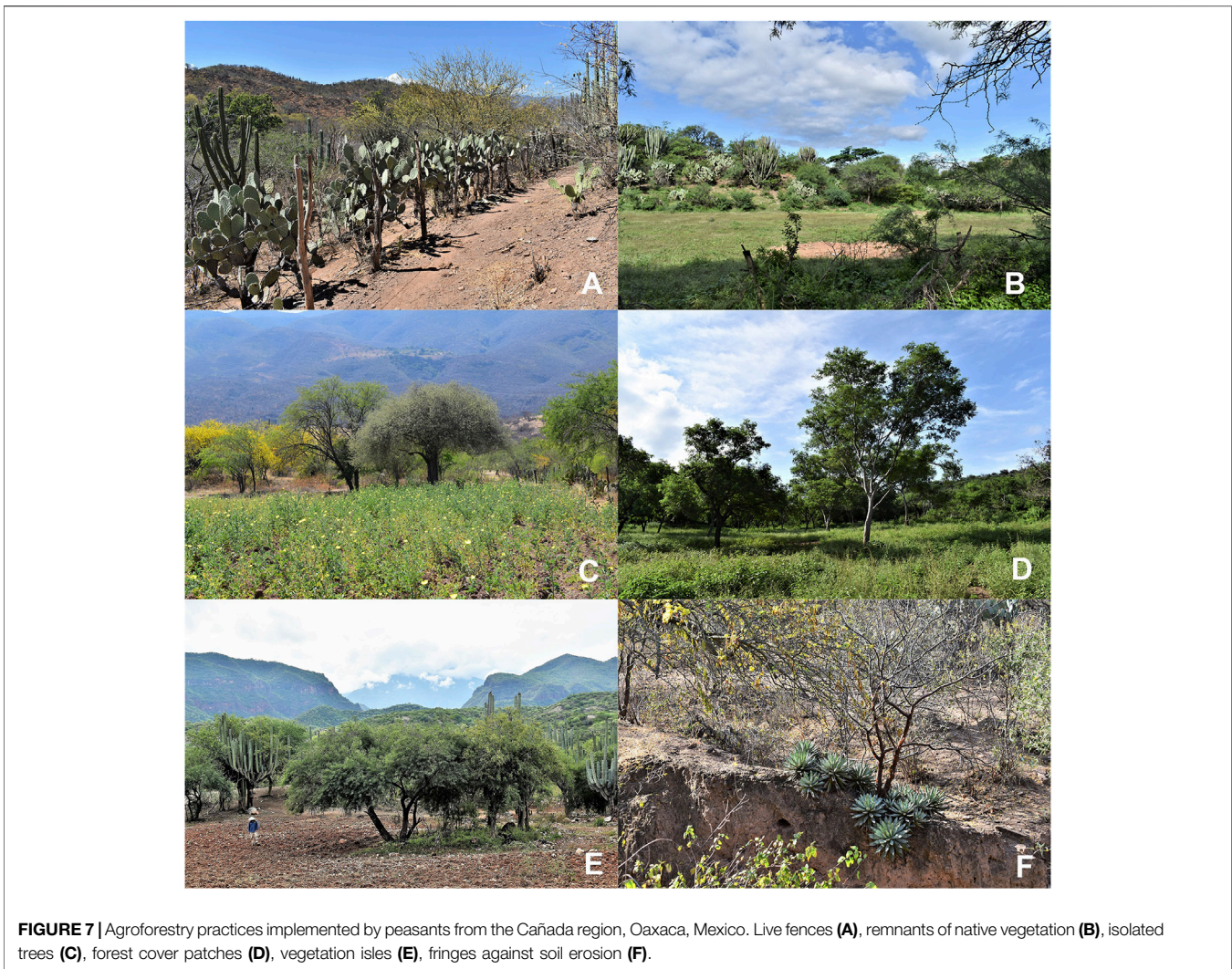
careful observation and continuous interaction with the natural environment— comprising aspects mainly related to climate forecasting, ecological interactions, phenology, edaphology, taxonomy, animal behavior, germination, environmental requirements of plants, hydraulics, luminosity, morphology, territoriality, forest recovering stages, life forms, seasonality, sexual and asexual reproduction, pest control, physiology, pollination and seed dispersal syndromes. In addition, based on a complex interaction of factors and indicators they have a local precise agricultural calendar.

In the region, agriculture is characterized by the presence of TAFS which are fields irrigated through “apancales” (or irrigation channels) with water from rivers, streams, and springs that allow two cultivation cycles per year (Figure 6). They practice the traditional system of multi-crop “milpa” with native (or “creole”) varieties of maize (white, yellow or golden, black or “negrito” or “prieto”, and “pinto”), beans (“delgadito”, and “mosquito”), and squashes (“támala”) mainly destined to direct consumption and, sometimes, for barter, presents, or commercialization at local scale. They also cultivate fruit trees (especially lemon, sapodilla, mango, and spondias plum) destined partly for regional commercialization, and direct consumption.

People interviewed said to allow their crops coexisting with plants belonging to TDF through different forms of silvicultural management, or *in situ* management according to Casas et al. (1997): 1) *tolerance* (leave standing, selectively, some species of useful plants); 2) *promotion or enhancing* (increasing the abundance of plants valued for different purposes); 3) *protection* (eliminating competitors or herbivores, pruning, fertilizing, providing shade or light by clearing canopy of neighboring plants); and 4) *propagation* of wild plants locally appreciated through seed sowing, planting vegetative structures or transplanting entire individual plants.

All these forms of management are carried out in the following agroforestry practices: 1) *live fences*, commonly constructed with plants relocated from inside the parcels to the borders, or transplanting plants –or their parts– from forests; these fences delimit and protect the parcels; 2) *remnants of native vegetation*, which are portions of TDF with different degrees of conservation, generally associated to zones of the parcel inaccessible or difficult to use for agriculture; 3) *isolated trees*, frequently large-sized trees which are valued for providing multiple beneficial contributions; 4) *forest cover patches*, which are areas with plant species whose abundance is promoted because of their usefulness and high





commercial value in the region; 5) *vegetation isles*, which are small patches of useful plants inside parcels; and 6) *fringes against soil erosion*, which are lines of plants arranged and maintained with the purpose of stabilizing the terrain, protecting soil against erosion, and/or maintaining humidity (Figure 7).

One of the attributes of the peasant condition favoring the maintenance of biocultural diversity is the agroecological management implemented, which comprise: 1) the intergenerational maintenance of agrobiodiversity through selecting and storing native seeds (a practice mainly carried out by women); 2) use of organic manures (goats and bats dung, and ash); 3) care of soil fertility by using leaf litter; 4) use of organic conservatives and repellents against pests (e.g. garlic against weevil, latex against ants); 5) the systematic experimentation of interventions on vegetation (e.g. to test less toxic pesticides on a few individuals, and to record how they respond); and 6) practice of agriculture without external inputs.

Peasants indicated some advantages of native (also called “creole”) seeds over commercial varieties. According to them,

native seeds have higher resistance and adaptability to the local environments, lower incidence of pests, lower cost (since after harvest these are stored for the following agricultural cycle), and lower dependence on agrochemical inputs. People consider native seeds better than the commercial ones in appearance, texture, nutritional value, performance, and, primarily, flavor (an outstanding aspect of identity and pride). It is also relevant that, according to peasants, until the mid-20th century, annual crops, and trees like avocado and papaya had good performance without using agrochemicals.

Finally, the peasant condition involves values expressed in: 1) local myths, referring to “enchanted” hills, offerings to obtain good harvests permit for using plants; 2) hope (especially to have constant rainy season); 3) gratitude (recognizing the benefits provided by nature, and the privilege to have several rivers in a semi-arid region); and 4) admiration (towards ornamental plants, natural landscapes, archaeological sites ancient, and rock paintings). It is also interesting that, in general, women frequently expressed affection and tenderness to the natural

environment, while men expressed admiration and enthusiasm. Unfortunately, we also recorded cases of alcoholism, violence, abuse of authority, corruption associated with illegal traffic of species, and disputes for territories generating severe conflicts within and between communities.

## Agricultural Intensification

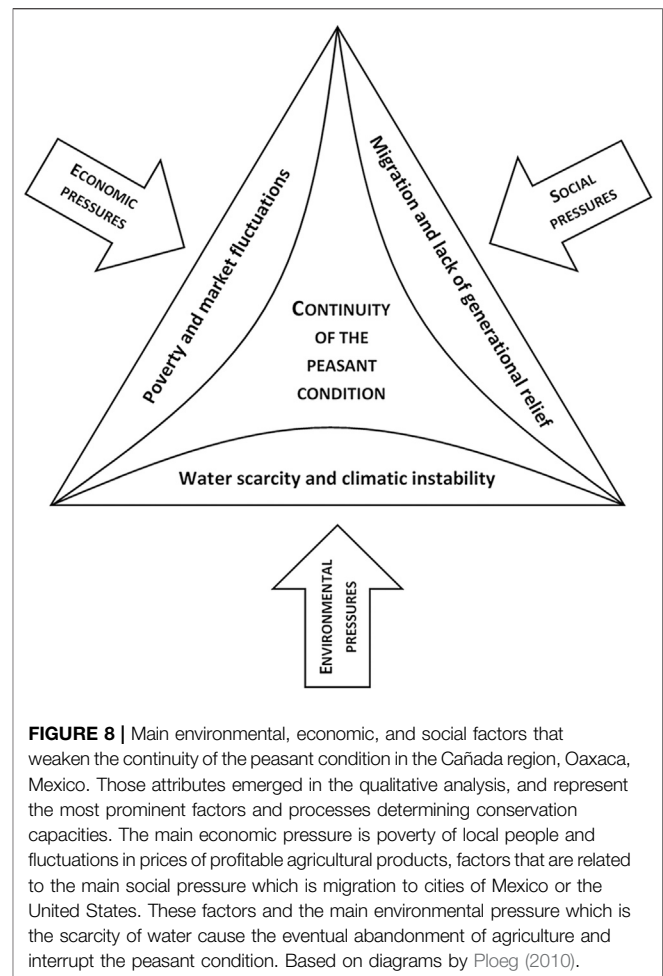
*“Time ago, people sowed and it was well, (I did not live that) my parents and grandparents talked to me . . . that they sowed, and they did not need neither chemical nor even plow. Plants grew big without fertilizers since the Earth was virgin, new, it had natural nutrients”; “We are finishing our lands”.*

We recorded in the Cañada region some indicators of a process of agricultural intensification, which is directed to increase the total volume of agricultural production based on greater input productivity (such as labor, land, time investment, fertilizers, seeds, or cash) (FAO, 2004). In particular, we recorded the progressive replacement of native seeds –of maize and beans– by commercial varieties which causes loss of local agrobiodiversity and food autonomy. Likewise, plantations of lemon (*Citrus aurantifolia*) have increased, this represents a profitable crop that allows obtaining continuous (or at least with low uncertainty) monetary incomes throughout the year, compared with traditional “milpa”. Also, local people started to practice plantations of the mezcal agave “espadín” (*Agave angustifolia*), since this profitable crop is resistant against drought. Despite these trends, we documented an active pattern of peasant diversification, with commercial crops (lemon, mango, saponilla, spondias plum, and guaje) integrated to TAFS, coexisting with native species of TDF and traditional “milpa”.

A notorious trend recorded is that in TAFS people are decreasing the forest cover inside their parcels, moving plants to the edges, in some cases even expressing disparagement for wild vegetation because they strongly competed with crops for light, water, or nutrients, which can severely limit agricultural activity. Removal of TDF occurs in the absence of communitarian agreements to protect it, since this responsibility is delegated to the Biosphere Reserve authorities.

Most people interviewed (80%) have one or two parcels relatively small (average 1.66 ha), which makes it difficult to leave resting the land. In such context, we recorded a gradient of agricultural intensification characterized by: 1) minimizing manual work and prioritizing monetary income; 2) a devaluation of the crops destined for self-consumption, where commercialization is privileged; 3) using fire to land “clearing”; 4) using tractor for soil tilling; 5) use of chemical fertilizers (nitrogenates like urea and ammonium sulfate), insecticides (malathion), herbicides (glyphosate), and fungicides (sulfured); which are expensive and unhealthy, cause a progressive resistance of pests (mainly “gusano cogollero” *Spodoptera frugiperda*, “araña roja” *Tetranychus urticae*, and “cenicilla” caused by fungi of the family Erysiphaceae), and which cause a gradual loss of peasant knowledge and agroecological management.

In contrast, there are expressions of peasant agriculture through which people: 1) give priority to native crops for direct consumption; 2) invest a high amount of familiar labor



**FIGURE 8 |** Main environmental, economic, and social factors that weaken the continuity of the peasant condition in the Cañada region, Oaxaca, Mexico. Those attributes emerged in the qualitative analysis, and represent the most prominent factors and processes determining conservation capacities. The main economic pressure is poverty of local people and fluctuations in prices of profitable agricultural products, factors that are related to the main social pressure which is migration to cities of Mexico or the United States. These factors and the main environmental pressure which is the scarcity of water cause the eventual abandonment of agriculture and interrupt the peasant condition. Based on diagrams by Ploeg (2010).

force; 3) use plow to prepare the land (since it allows precise management, where it is possible to sow “milpa” intercropped with lemons or other fruit trees); 4) employ traditional tools (mainly the “stake” for sowing, the hoe or “talacho” for weeding, and the “chicol” for collecting fruit); 5) minimizing the use of agrochemical; 6) reduce pest incidence; and 7) valuing and maintaining in TAFS some components of wild vegetation.

Agricultural intensification is enhanced also by external factors like the promotion of agrochemical inputs and commercial seeds by the government and technical assistants oriented to productive intensification. Likewise, we identified other factors determining environmental, economic, and social pressures undermining the continuity of the peasant condition (Figure 8).

In the Cañada region, one of the most significant environmental pressures for the continuity of the peasant condition –involving the maintenance of vegetation and its provision contributions– is water scarcity, since TAFS depend directly on water from streams and springs. This condition is intimately linked to the climatic instability associated with variations in the rainy season, which is recognized by local people to have worsened since approximately 1 decade ago. Water availability represents a determinant factor favoring agricultural intensification. It was recorded that in sites irrigated



throughout the year, people use to cultivate commercial varieties of “elotero” maize to be consumed as corn on the cob, which has high water requirements and agrochemical inputs. This crop is destined for commercialization in the region.

The most remarkable economic pressures are represented by the marked economic limitations of the peasants and the scarce opportunities to find salaried jobs in the communities, fluctuations in market prices, their dependence on intermediaries (or “coyotes”) who hoard a considerable proportion of profits, as well as the investment in inputs and/or services like commercial seeds, agrochemicals, renting of the machinery and labor hand complementary to activities like sowing and land preparation.

The most critical social pressures are the abandonment of agriculture linked with migration to find jobs in other regions, and the weak generational relief since young people consider agriculture a demanding and tiring activity involving high uncertainty.

## Other Factors Influencing Forest Conservation

*“I hardly take them off: the «mantecoso», «mezquite», «cuachalalá», «copalillo», «tuna», «pitayas», «xocostles», «cardón», «tetechos»... (several species of wild plants) all of them are in my land. I do not take them off since they have the right to live”; “Now, people of «La Biosfera» (authorities of the Biosphere Reserve) are who forbid to cut down trees”; “We have projects of the Biosphere Reserve to reforestation”.*

During our analysis, other important elements emerged to consider the TDF conservation. These factors include: 1) the critical thinking of local people on the use of agrochemicals and health care, 2) the admiration for biodiversity and natural landscapes, the regional food, and multiple components of wild vegetation that are valued, 3) the practices directed to the restoration of biodiversity (e.g. the scattering of seeds of native trees in wild areas), 4) the respect and care of nature with ethic values and feelings of compassion towards others forms of life, 5) the restrictions from authorities of the Biosphere Reserve to use some species at risk, 6) the implementation of projects of the Biosphere Reserve like the rescue of wild plant species illegally extracted, reforestation, and environmental education, 7) the pride in biodiversity and agrobiodiversity, and 8) the inaccessibility of some areas of the territory (Trejo and Dirzo, 2000).

## DISCUSSION

### Peasants' Motivations to Maintain Vegetation

The peasants interviewed obtain a wide variety of socio-ecological contributions from the vegetation sheltered in the TAFS they manage. This fact shows that peasant agriculture can maintain

biodiversity and provide multiple beneficial contributions that satisfy some fundamental human needs. Most of these socio-ecological contributions correspond to beneficial contributions (83%), while only 17% of the contributions we record are detrimental, which suggests that wild vegetation represents a primary source of well-being for people. This idea is supported by evidence showing that exposure to nature has a positive effect on physical and mental human health (Pretty, 2004).

The most determining motivations of peasants –to maintain components of wild vegetation within their agricultural fields– are obtaining material contributions, which help to meet subsistence, protection, and identity needs primarily. These are followed by regulating contributions which mostly provide protection, and some nonmaterial contributions that offer opportunities to meet needs for affection (through satisfiers such as admiration, care, and respect), understanding (through experimentation, rationality, and interpretation), and leisure (through tranquility, imagination, and nonchalance).

In this classification of nature's contributions to people the categories may partially overlap (Díaz et al., 2018). For instance, consuming fruits of wild cactus species helps to fulfill the need for subsistence, and simultaneously contributes to the identity of being “country people” and being able to enjoy regional flavors (that are highly valued for their ability to confer pleasure and pride). In this way, some material contributions can also have nonmaterial effects. Moreover, many contributions may be perceived as benefits or detriments depending on the cultural, socioeconomic, temporal, or spatial context (Díaz et al., 2018).

If we consider a gradient starting from material contributions (which are clearly useful, tangible, and conspicuous), through regulating contributions (which are involved in generating other contributions), these contributions could represent the *means* to realize some fundamental needs. Meanwhile, on the other side of the gradient, nonmaterial contributions (which might mistakenly be considered useless, and which are intangible, and inconspicuous) could constitute some of the ultimate *ends* of human existence, such as pleasure, inspiration, and recreation.

Remarkably, these socio-ecological contributions take shape only when there are previous valuations of natural goods in people's perceptions. Therefore, only when some values present in the natural components are known, experienced, and understood, do the contributions they make become manifest. The latter is related to the term of *resource diversity* proposed by Gerritsen (2002) to refer to the components of nature that peasants consciously identify and value, which is also recognized as a social promoter of agrobiodiversity. Thus, whereas monetary values have been broadly examined in the literature, description or measurement of symbolic, cultural, identity, and other non-economic values remain largely unexplored (Chan et al., 2012, Chan et al., 2016; Gómez-Baggethun and Barton, 2013).

### The Satisfaction of Fundamental Human Needs

We distinguish the subsistence need, as a particular type of fundamental human need that is really *vital*, so it is often

prioritized over other needs. However, without the satisfaction of the rest of fundamental needs, even if the human person can survive, it will be incomplete and will generate both individual and collective pathologies (Max-Neef et al., 1998).

We observed that TAFS that safeguard a greater proportion of forest cover and species diversity might provide a broader range of contributions (Figure 5), and thus have a greater potential to meet fundamental human needs. It is important to recognize the benefits of peasant agriculture in terms of its high capacity to provide beneficial contributions to all of humanity, compared to industrial agriculture that devastates ecosystems and eliminates ecological processes, and then seeks to replace them with commercial inputs. This acknowledgement should help overcome existing power asymmetries between western science and traditional ecological knowledge (Díaz et al., 2018).

Peasant agriculture stands out because it represents: 1) reservoirs of agrobiodiversity with thousands of edible plants strengthening food autonomy; 2) small-scale diversified systems representing a more varied diet with beneficial health implications; 3) reservoirs of local crop varieties; 4) regenerative systems that protect the soil by incorporating organic matter; 5) scenarios where local innovations, horizontal exchanges, cooperative relationships, knowledge and holistic experimentation of nature occur; and 6) a complex matrix of biological corridors at the landscape level that provide habitat for a wide variety of associated species (Perfecto and Vandermeer, 2008; Rosset and Altieri, 2019).

In addition, peasant agriculture involves some aspects that make possible the maintenance of native vegetation, with principles of respect and reciprocity towards the natural components that emanate from the traditional ecological knowledge of the peasants. However, these peasant interventions in favor of biodiversity conservation and human well-being are threatened by a prevailing model of agricultural intensification.

Finally, it would be desirable to recover, promote, and put into practice those expressions of peasant agriculture, especially the agroecological management, as well as the implementation of agroforestry practices and forms of silvicultural management, which can contribute to satisfy fundamental human needs without drastically, profoundly, and irreversibly deteriorating the natural environment.

## Some Circumstances Behind the Agricultural Intensification

We identified that the principal threat affecting biodiversity conservation in TAFS is agricultural intensification. Such intensification is linked to clear environmental pressures such as water scarcity and climate instability, where increased availability of water for irrigation increases agricultural intensification.

In addition, there are economic pressures such as the poverty conditions in which many peasants live (in the face of dependence on expensive agroindustrial inputs), and fluctuations in market prices when selling their crops, which are exacerbated by the intervention of intermediaries who capture a significant share of the profits that should go to the peasants. Interestingly, some

peasants expressed their willingness to increase agricultural intensification if they had the financial resources to do so, which would undoubtedly reduce the presence of native vegetation on their parcels. Serious social pressures also operate on the continuity of the peasant condition, such as migration, which causes the abandonment of agriculture and makes it difficult for the generational relief.

Furthermore, there are other structural conditions such as the historical marginalization and systematic disarticulation of the peasantry. As well as their struggle for autonomy, which takes place in a context characterized by relationships of dependence and deprivation, as Ploeg (2010) points out in his definition of the peasant condition.

The decrease in forest cover and species diversity –that commonly occur in the TAFS– also declines the number of contributions (Figure 5) and their potential to meet human needs. Therefore, the removal of wild vegetation from agricultural fields may represent a disadvantageous practice, but in fact, this is a trade-off since wild vegetation limits yield in agricultural production by competing with crops. This means losses for peasants, which leads most of them to use practices with varying degrees of intensification to obtain a higher yield in the shortest possible time. This is a necessity more than an option of agricultural management –if we take into account the precarious conditions peasants live–. Thus, a single detrimental contribution of wild vegetation (such as competition with crops) may outweigh the multiple beneficial contributions, and thus become a motivation to remove it.

Motivations for maintaining or removing vegetation are explained more by local contextual circumstances in multiple aspects (political, economic, environmental, cultural, historical, among others) influencing the well-being, and not only by the valuation of beneficial contributions (material, regulating, and nonmaterial). This consideration is fundamental for designing and implementing optimal strategies for both biodiversity conservation and human well-being. The underlying reasons and conditions of peasants –whose livelihoods are intrinsically linked to nature–, but whose opportunities for planned long-term agroforestry management are extremely limited for the majority must be made visible, which has to do, we reiterate, with the structural conditions of inequity and historical inequality in social sectors of the country such as the peasantry.

## The Importance of Nature's Contributions for Peasants

It is essential to contemplate the importance of nature's contributions for peasants, beyond putting our valuations oriented towards biodiversity conservation (e.g. the paradox of prioritizing biodiversity conservation when the fundamental need for subsistence is not met) because it is a fact that the exhausting peasants' work does not allow conservation to be considered as a priority.

Any hope for conserving biological diversity is predicated on a concomitant effort to appreciate and protect cultural diversity (Pretty et al., 2009). In this context, we delegate a great responsibility to peasants. When, at best, their essential labor is valued and recognized, we run the risk of idealizing their way of

life, pretending that peasants renounce the comforts they could access through the capitalist commodification of their production.

We expect peasants to carry out a diversified agroecological production, nature-friendly, agrochemical-free, with community organizations linked to markets to supply the cities, etc. although they are the ones who generate and safeguard agrobiodiversity, currently produce the majority of food for human consumption (70%) –compared to industrial agriculture– (Graeub et al., 2016; Shiva, 2016; ETC Group, 2017), and have conserved biocultural diversity for thousands of years, and continue to do so today. All this in contexts of disadvantage, as mentioned above.

Finally, some relevant factors that could explain the continuity of the peasant condition, which has historically prevailed in resistance against the tide, are: 1) the cooperation (with a relative balance between individual and collective interests); 2) the relations of reciprocity and mutual aid; and 3) the dynamics where exchange-values are reinserted into peasant agriculture and converted into use-values, to produce and reproduce their base of resources (Ploeg, 2010).

## Concluding Remarks

With this study we recognize the need to continue research to address the importance of the beneficial contributions of vegetation to the economy and direct subsistence of local communities. We have carried out several studies on use, extraction rates and spatial availability of plant components in forests, agricultural, and agroforestry systems of the region (e.g. Pérez-Negrón and Casas, 2007; Moreno-Calles et al., 2012). In those studies, we compared the value of forest products with that of products from agricultural systems of maize, the main crop in the area. We found that maize production in the area is, in general, insufficient to satisfy the annual local demand of households (on average, local production covers nearly 60% of the local needs). Local people, therefore, have to import most of their food and complement their economy by commercialization of fruit produced in homegardens and plantations. But importantly, they complement their diet by gathering forest products from the wild vegetation. We have estimated that, on average, the annual diet in rural communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley is nearly 12% formed by wild and weedy food products (Casas et al., 2008; Casas et al., 2014; Casas et al., 2016; Casas et al., 2017). In addition, Moreno-Calles et al. (2012) found that TAFS with intermediate forest cover have higher economic value than monocultures and forests.

Nevertheless, in several studies, but in this one in particular, we document that several beneficial contributions of vegetation are not marketable (e.g. shade provision, humidity keeping, or habitat for pollinators), and these are often undervalued even though they are really essential.

Small-scale peasant agriculture has some undeniable advantages over industrial agriculture. Especially when considering the social, environmental, and economic costs (or *externalities*) involved in agroindustrial production that conventional economic accounting fails to capture (Sathirathai and Barbier, 2001; Gómez-Baggethun and Martín-López, 2010; Holt-Giménez, 2017). For instance, severe environmental and

social damages such as massive removal of wild vegetation and habitat destruction, biodiversity loss, demand for huge amounts of water and polluting chemical inputs, transgressing the peasant way of life, and causing disabling dependency to the detriment of local autonomies can be mentioned (Ploeg, 2010; Giraldo, 2018).

Considering the trend of productive intensification documented in this study, it would be interesting to try to predict possible scenarios of change of the TAFS in the future. Moreno-Calles et al. (2010); Moreno-Calles et al. (2012), for instance, pointed out that TAFS in the Tehuacán-Cuicatlán Valley are losing their capability to maintain forest cover, mainly because of 1) decreasing amount of land managed by households, determined by a progressive fragmentation of the land area given to new families, 2) adoption of technologies to intensify agriculture, and 3) governmental programs penalizing the presence of vegetation patches within agricultural parcels since they are considered “useless” areas.

However, a more recent study by our team (Vallejo et al., 2019) found that, despite local people and researchers perceive a progressive decline in both natural ecosystems and TAFS, agricultural areas are being abandoned, thus favoring the regeneration of wild vegetation, as well as a 9% increase of TAFS over conventional agricultural systems. Nevertheless, it should be carefully analyzed whether this “recovery” –of wild vegetation and TAFS– is being driven primarily by the abandonment of agriculture in a context of migration and/or restrictions imposed by authorities of the Biosphere Reserve and other factors determining environmental, economic, and social pressures undermining the continuity of the peasant condition (Figure 8).

For future research, we recommend using approaches that help to understand the complexity of TAFS. A good example could be the *Ethnoagroforestry* approach, as this perspective provides a theoretical framework that integrates socio-ecological aspects from different disciplines with traditional ecological knowledge. Ethnoagroforestry seeks to establish the basis for integrating cultural, agricultural and forest diversity –as well as the abiotic components of the system– recognizing that peasants and indigenous communities are the main drivers and planners of the use of landscape diversity. This approach also notes out that expressions of traditional agroforestry management may be able to provide the basis for food sovereignty and sustainable management of socio-ecological systems (Moreno-Calles et al., 2016).

There is an unquestionable need for complementary researches between different disciplines and worldviews, since biodiversity conservation issues cannot be addressed only by biological sciences, but must consider all the dimensions that link human societies with natural components (Alves and Albuquerque, 2012). Qualitative studies like the one we report here allow identifying processes and relationships among factors influencing management decisions and their consequence on vegetation cover, composition and potential to recover ecosystems. Pertinent questions for extensive surveys and sampling methods for rapid diagnoses of agroforestry systems at regional level may be designed based on the researches conducted until now, and that is our purpose for further studies.

The conservation and the sustainable use of nature's components is determinant for guarantee the well-being of societies. All the social-ecological systems depend on ecosystems and their components to sustain long-term conditions for life (Odum, 1989). Peasant agriculture can maintain biodiversity at the same time satisfying some fundamental human needs. However, it needs to be revitalized, made more efficient, profitable, and dignified. The agroecological management implemented by peasants –in traditional agroforestry systems– is very important for ensuring the maintenance of essential environmental functions for humanity's quality of life on the planet.

Moreover, beyond commitment and responsibility (with moral-ethical foundations), we need *affective relationships* of respect and reverence for all expressions of life and nature (including some life-sustaining components, such as water, wind, rocks), since humans and nonhuman entities are interwoven in deep relationships of kinship and reciprocal obligations (Berkes, 2017). We need an active understanding back to the relationships of reciprocity between society and nature.

## DATA AVAILABILITY STATEMENT

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

## ETHICS STATEMENT

Ethical review and approval was not required for the study on human participants in accordance with the local legislation and institutional requirements. Written informed consent for participation was not required for this study in accordance with the national legislation and the institutional requirements.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

FR-S designed the study, performed fieldwork, analyzed the information, and wrote the manuscript. AC designed and

advised the study, and wrote the manuscript. PS-R contributed to the methodological design, performed fieldwork, and wrote the manuscript. EG-F and AM-C designed and advised the study, and proofread the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

## FUNDING

The authors thank the Postgraduate program Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM, and CONACYT, Mexico for academic and financial support to complete a PhD program of the first author. Also, we thank CONACYT (Research Project A1-S-14306); CONABIO (Research project RG023), and DGAPA, UNAM (Project IN206520) for financial support of the fieldwork.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the peasants of the Cañada region, Oaxaca, especially Robertina Carrera-Osorio, Filogonio Galeote-Guzmán, Pedro Ojeda-Romero, Silvino Arroyo-Medina (from Quiotepec), Pablo Romero-Ferrer, Félix Ferrer, Severiano Villarreal (from Cuicatlán), Catalina López, Víctor León, Victoriano Aguilar, Jaime Coronado-Martínez (from Dominguillo), and Isidro López (from San José del Chilar). We also thank the authorities of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: Fernando Reyes and Leticia Soriano and to the members of our laboratory Ignacio Torres-García, Gonzalo Álvarez-Ríos and Selene Rangel-Landa for their help in the fieldwork. We would like to thank Washington Soares Ferreira Júnior and two reviewers for their comments which substantially enriched our report.

## SUPPLEMENTARY MATERIAL

The Supplementary Material for this article can be found online at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.682207/full#supplementary-material>

## REFERENCES

- Altieri, M. A., and Toledo, V. M. (2011). The Agroecological Revolution in Latin America: Rescuing Nature, Ensuring Food Sovereignty and Empowering Peasants. *J. Peasant Stud.* 38, 587–612. doi:10.1080/03066150.2011.582947
- Alves, R., and Albuquerque, U. (2012). Ethnobiology and Conservation: Why Do We Need a New Journal? *Ethnobiol. Conserv.* 1, 2–4. doi:10.15451/ec2012-8-1.1-1-03
- Banda, R. K., Delgado-Salinas, A., Dexter, K. G., Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A., Prado, D., et al. (2016). Plant Diversity Patterns in Neotropical Dry Forests and Their Conservation Implications. *Science* 353, 1383–1387. doi:10.1126/science.aaf5080
- Berkes, F., Folke, C., and Gadgil, M. (1994). Traditional Ecological Knowledge, Biodiversity, Resilience and Sustainability. *Biodivers. Conserv.* 4, 269–287. doi:10.1007/978-94-011-0277-3\_1510.1007/978-94-011-1006-8\_15
- Berkes, F., and Folke, C. (1998). *Linking Social and Ecological Systems. Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Berkes, F. (2017). *Sacred Ecology.* 4th ed. New York: Routledge. doi:10.4324/9781315114644
- Blancas, J., Casas, A., Pérez-Salicrup, D., Caballero, J., and Vega, E. (2013). Ecological and Socio-Cultural Factors Influencing Plant Management in Náhuatl Communities of the Tehuacán Valley, Mexico. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 9, 39–22. doi:10.1186/1746-4269-9-39
- Blancas, J., Casas, A., Rangel-Landa, S., Moreno-Calles, A., Torres, I., Pérez-Negrón, E., et al. (2010). Plant Management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Econ. Bot.* 64, 287–302. doi:10.1007/s12231-010-9133-0
- Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas.* 1st ed. Ciudad de México: INAH, CDI.
- Brunel, M. C. (2008). Poner la conservación al servicio de la producción campesina, reto para la construcción de un nuevo paradigma de desarrollo. *Argumentos* 57, 115–137.
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C., and Zárate, S. (1997). Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Bot. Sci.* 61, 31–47. doi:10.17129/botsci.1537



- Casas, A., Camou, A., Otero Arnaiz, A., Rangel Landa, S., Cruse-Sanders, J., Solís, L., et al. (2014). Manejo tradicional de biodiversidad y ecosistemas en Mesoamérica: el Valle de Tehuacán. *Investig. Ambient.* 6, 23–44.
- Casas, A., Lira, R., Torres-García, I., Delgado-Lemus, A., Moreno-Calles, A. I., Rangel-Landa, S., et al. (2016). "Ethnobotany for Sustainable Ecosystem Management: A Regional Perspective in the Tehuacán Valley," in *Ethnobotany of Mexico. Interactions of People and Plants in Mesoamerica*. Editors R. Lira, A. Casas, and J. Blancas (Utrecht: Springer), 179–206. doi:10.1007/978-1-4614-6669-7\_1
- Casas, A., Otero-Arnaiz, A., Pérez-Negrón, E., and Valiente-Banuet, A. (2007). *In Situ* Management and Domestication of Plants in Mesoamerica. *Ann. Bot.* 100, 1101–1115. doi:10.1093/aob/mcm126
- Casas, A., Parra-Rondinel, F. A., Aguirre-Dugua, X., Rangel-Landa, S., Blancas, J., Vallejo, M., et al. (2017). "Manejo y domesticación de plantas en Mesoamérica. Una estrategia de investigación y estado del conocimiento sobre los recursos genéticos," in *Domesticación en el continente americano. Volumen 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo*. Editors A. Casas, J. Torres-Guevara, and F. A. Parra-Rondinel (Morelia: Editorial Morevalladolid), 69–102.
- Casas, A., Rangel-Landa, S., Torres-García, I., Pérez-Negrón, E., Solís, L., Parra-Rondinel, F. A., et al. (2008). "In Situ Management and Conservation of Plant Resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: An Ethnobotanical and Ecological Approach," in *Current Topics in Ethnobotany*. Editors U. P. Albuquerque and M. Alves (Kerala: Research Signpost), 1–25.
- Casas, A., Valiente-Banuet, A., Viveros, J. L., Caballero, J., Cortés, L., Dávila, P., et al. (2001). Plant Resources of the Tehuacán-Cuicatlán valley, Mexico. *Econ. Bot.* 55, 129–166. doi:10.1007/BF02864551
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre, S.C.
- Chan, K. M. A., Balvanera, P., Benessaiah, K., Chapman, M., Díaz, S., Gómez-Baggethun, E., et al. (2016). Why Protect Nature? Rethinking Values and the Environment. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113, 1462–1465. doi:10.1073/pnas.1525002113
- Chan, K. M. A., Satterfield, T., and Goldstein, J. (2012). Rethinking Ecosystem Services to Better Address and Navigate Cultural Values. *Ecol. Econ.* 74, 8–18. doi:10.1016/j.ecolecon.2011.11.011
- Clement, C. R., Casas, A., Parra-Rondinel, F. A., Levis, C., Peroni, N., Hanazaki, N., et al. (2021). Disentangling Domestication from Food Production Systems in the Neotropics. *Quaternary* 4, 4. doi:10.3390/quat4010004
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., et al. (2018). Assessing Nature's Contributions to People. *Science* 359, 270–272. doi:10.1126/science.aap8826
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneth, A., et al. (2019). Pervasive Human-Driven Decline of Life on Earth Points to the Need for Transformative Change. *Science* 366, eaax3100. doi:10.1126/science.aax3100
- Drury, R., Homewood, K., and Randall, S. (2011). Less Is More: the Potential of Qualitative Approaches in Conservation Research. *Anim. Conserv.* 14, 18–24. doi:10.1111/j.1469-1795.2010.00375.x
- ETC Group (2017). *Quién nos alimentará? La red campesina alimentaria o la cadena agroindustrial?* 3rd ed. Montreal: ETC Group.
- FAO (2004). *La ética de la intensificación sostenible de la agricultura*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. 5th ed. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gerritsen, P. (2002). *Diversity at Stake. A Farmer's Perspective on Biodiversity and Conservation in Western Mexico*. Wageningen: Wageningen Universiteit.
- Giraldo, O. F. (2018). *Ecología política de la agricultura. Agroecología y posdesarrollo*. 1st ed. San Cristóbal de Las Casas: El Colegio de la Frontera Sur.
- Glaser, B., and Strauss, A. (1967). *The Discovery of Grounded Theory*. Chicago: Aldine Press.
- Gómez-Baggethun, E., and Barton, D. N. (2013). Classifying and Valuing Ecosystem Services for Urban Planning. *Ecol. Econ.* 86, 235–245. doi:10.1016/j.ecolecon.2012.08.019
- Gómez-Baggethun, E., and Martín-López, B. (2010). "Los costes socioeconómicos asociados a la pérdida de biodiversidad," in *Lychnos. Consideraciones socioeconómicas asociadas a la conservación* (Madrid: Fundación General CSIC), 68–74.
- Graeb, B. E., Chappell, M. J., Wittman, H., Ledermann, S., Kerr, R. B., and Gemmill-Herren, B. (2016). The State of Family Farms in the World. *World Develop.* 87, 1–15. doi:10.1016/j.worlddev.2015.05.012
- Holt-Giménez, E. (2017). *El capitalismo también entra por la boca: comprendamos la economía política de nuestra comida*. New York: Monthly Review Press, Food First Books.
- Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) (2013). *Climate Change. The Physical Science Basis*. New York: Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC).
- IPBES (2019). *Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn: IPBES secretariat.
- Janzen, D. H. (1988). "Tropical Dry Forests: The Most Endangered Major Tropical Ecosystem," in *Biodiversity*. Editors E. O. Wilson and F. M. Peters (Washington, D.C.: National Academy Press), 130–137.
- Lira, R., Casas, A., Rosas-López, R., Paredes-Flores, M., Pérez-Negrón, E., Rangel-Landa, S., et al. (2009). Traditional Knowledge and Useful Plant Richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Econ. Bot.* 63, 271–287. doi:10.1007/s12231-009-9075-6
- MacNeish, R. S. (1967). "A Summary of the Subsistence," in *The Prehistory of the Tehuacán Valley. Volume 1. Environment and Subsistence*. Editor D. S. Byers (Austin: University of Texas Press), 290–309.
- Max-Neef, M., Elizalde, A., and Hopenhayn, M. (1998). *Desarrollo a Escala Humana. Conceptos, Aplicaciones Y Algunas Reflexiones*. 2nd ed. Barcelona: Icaria Editorial.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). *Ecosystems and Human Well-being Biodiversity Synthesis*. Washington, D.C: Island Press.
- Moreno-Calles, A., Casas, A., Blancas, J., Torres, I., Masera, O., Caballero, J., et al. (2010). Agroforestry Systems and Biodiversity Conservation in Arid Zones: the Case of the Tehuacán Valley, Central México. *Agroforest Syst.* 80, 315–331. doi:10.1007/s10457-010-9349-0
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., García-Frapolli, E., and 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. *Agroforest Syst.* 84, 207–226. doi:10.1007/s10457-011-9460-x
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Rivero-Romero, A. D., Romero-Bautista, Y. A., Rangel-Landa, S., Fisher-Ortiz, R. A., et al. (2016). Ethnoagroforestry: Integration of Biocultural Diversity for Food Sovereignty in Mexico. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 12. doi:10.1186/s13002-016-0127-6
- Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M., and Casas, A. (2014). "La importancia biocultural de los sistemas agroforestales tradicionales de México," in *Hacia un modelo intercultural de sociedad del conocimiento en México*. Editors L. Olive and L. Lazos-Ramírez (Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México), 35–56.
- Newing, H., Eagle, C. M., Puri, R. K., and Watson, C. W. (2011). *Conducting Research in Conservation. A Social Science Perspective*. New York: Routledge.
- Noble, I. R., and Dirzo, R. (1997). Forests as Human-Dominated Ecosystems. *Science* 277, 522–525. doi:10.1126/science.277.5325.522
- Odum, E. P. (1989). *Ecology and Our Endangered Life-Support Systems*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Olson, D. M., and Dinerstein, E. (2002). The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation. *Ann. Mo. Bot. Garden* 89, 199–224. doi:10.2307/3298564
- Pelcastre, V., García-Frapolli, E., Ayala-Orozco, B., and Lazos-Chavero, E. (2020). Perspectives on Native maize Conservation in Mexico: a Public Programme Analysis. *Envir. Conserv.* 48, 33–40. doi:10.1017/S0376892920000417
- Pérez-Negrón, E., and Casas, A. (2007). Use, Extraction Rates and Spatial Availability of Plant Resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: The Case of Santiago Quiotepec, Oaxaca. *J. Arid Environ.* 70, 356–379. doi:10.1016/j.jaridenv.2006.12.016
- Perfecto, I., and Vandermeer, J. (2008). Biodiversity Conservation in Tropical Agroecosystems. *Ann. Acad. Sci.* 1134, 173–200. doi:10.1196/annals.1439.011
- Ploeg, J. D. (2010). *Nuevos campesinos. Campesinos e imperios alimentarios*. Barcelona: Icaria.
- Pretty, J., Adams, B., Berkes, F., Ferreira, S., Athayde, D., and Dudley, N. (2009). The Intersections of Biological Diversity and Cultural Diversity: Towards Integration. *Conserv. Soc.* 7, 100–112. doi:10.4103/0972-4923.58642

- Pretty, J. (2004). How Nature Contributes to Mental and Physical Health. *Spirituality Health* 5, 68–78. doi:10.1002/shi.220
- Rangel-Landa, S., Casas, A., García-Frapolli, E., and Lira, R. (2017). Sociocultural and Ecological Factors Influencing Management of Edible and Non-edible Plants: the Case of Ixcatlán, Mexico. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 13, 1–43. doi:10.1186/s13002-017-0185-4
- Rendón-Sandoval, F. J., Casas, A., Moreno-Calles, A. I., Torres-García, I., and García-Frapolli, E. (2020). Traditional Agroforestry Systems and Conservation of Native Plant Diversity of Seasonally Dry Tropical Forests. *Sustainability* 12, 4600–4627. doi:10.3390/su12114600
- Rendón-Sandoval, F. J. (2020). “El potencial de los sistemas agroforestales en la conservación y restauración de la vegetación nativa de la Caatinga,” in *Ecología da Caatinga: curso de campo 2018*. Editors P. Sena, B. Pinho, D. Gomes Sousa, F. Pimentel Lopes de Melo, M. Tabarelli, and I. R. Leal (Recife: UFPE), 108–119.
- Rosset, P., and Altieri, M. (2019). “Evidencias de la efectividad de la Agroecología,” in *Agroecología: Ciencia Y Política*. Editors P. Rosset and M. Altieri (Zacatecas: Universidad Autónoma de Zacatecas), 87–119.
- Rzedowski, J. (1991). El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Bot. Mex.* 15, 47–64. doi:10.21829/abm15.1991.620
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Ciudad de México: Limusa.
- Sathirathai, S., and Barbier, E. (2001). Valuing Mangrove Conservation in Southern Thailand. *Contemp. Econ. Pol.* 19, 109–122. doi:10.1111/j.1465-7287.2001.tb00054.x
- SEMARNAT (2019). *Experiencias de Agroforestería en México*. Editor A. I. Moreno-Calles. 1st ed. (Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Shiva, V. (2016). *Who Really Reeds the World? the Failures of Agribusiness and the Promise of Agroecology*. Berkeley: North Atlantic Books.
- Smith, C. E. (1967). “Plant Remains,” in *The Prehistory of the Tehuacán Valley. Volume 1. Environment and Subsistence*. Editor D. S. Byers (Austin: University of Texas Press), 220–255.
- Strauss, A., and Corbin, J. (2002). *Basics of Qualitative Research. Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. London: Sage Publications, Inc.
- Taylor, S. J., and Bogdan, R. (1987). “Análisis de los datos en la investigación cualitativa,” in *Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados* (Barcelona: Paidós), 152–176.
- Toledo, V. M., and Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona: Icaria Editorial.
- Toledo, V. M., and Boege, E. (2010). “La biodiversidad, las culturas y los pueblos indígenas,” in *La biodiversidad de México*. Editor V. M. Toledo (Ciudad de México: FCE-CONACULTA), 160–192.
- Trejo, I., and Dirzo, R. (2000). Deforestation of Seasonally Dry Tropical forest. *Biol. Conser.* 94, 133–142. doi:10.1016/S0006-3207(99)00188-3
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., Arizmendi, M. d. C., et al. (2000). La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Bot. Sci.* 67, 25–74. doi:10.17129/botsci.1625
- Vallejo, M., Casas, A., Blancas, J., Moreno-Calles, A. I., Solís, L., Rangel-Landa, S., et al. (2014). Agroforestry Systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: Indigenous Cultures and Biodiversity Conservation. *Agroforest Syst.* 88, 125–140. doi:10.1007/s10457-013-9660-7
- Vallejo, M., Casas, A., Pérez-Negrón, E., Moreno-Calles, A. I., Hernández-Ordoñez, O., Tellez, O., et al. (2015). Agroforestry Systems of the lowland Alluvial Valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: an Evaluation of Their Biocultural Capacity. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 11, 8. doi:10.1186/1746-4269-11-8
- Vallejo, M., Moreno-Calles, A. I., and Casas, A. (2016). TEK and Biodiversity Management in Agroforestry Systems of Different Sociocological Contexts of the Tehuacán Valley. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 12, 31. doi:10.1186/s13002-016-0102-2
- Vallejo, M., Ramírez, M. I., Reyes-González, A., López-Sánchez, J., and Casas, A. (2019). Agroforestry Systems of the Tehuacán-Cuicatlán Valley: Land Use for Biocultural Diversity Conservation. *Land* 8, 24. doi:10.3390/LAND8020024
- Wolf, E. R. (1955). Types of Latin American Peasantry: A Preliminary Discussion. *Am. Anthropol.* 57, 452–471. doi:10.1525/aa.1955.57.3.02a00050

**Conflict of Interest:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

The reviewer MOH declared a shared affiliation, with no collaboration, with the authors to the handling editor at the time of review.

**Publisher's Note:** All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Copyright © 2021 Rendón-Sandoval, Casas, Sinco-Ramos, García-Frapolli and Moreno-Calles. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN GENERAL

### *Agriculturas campesinas que resguardan la biodiversidad*

En la región de La Cañada Oaxaqueña, encontramos que algunas expresiones de agricultura campesina –a pequeña escala– son capaces de mantener 44% de la cobertura forestal, 68% de las especies (30% de ellas endémicas de México), y 53% de los individuos de plantas perennes (incluyendo árboles, arbustos, lianas, cactáceas columnares y globosas, y rosetófilas de los géneros *Agave* y *Hechtia*) nativas de la selva seca; donde registramos 96 especies de plantas útiles (73% del total registrado). Lo cual confirma la notable capacidad de los SAFT para resguardar la biodiversidad. No obstante, esta capacidad de conservación puede variar marcadamente, pues encontramos sitios excepcionalmente conservados que resguardan hasta 89% de cobertura forestal (como “La Cañadita” en Quiotepec), mientras que otros sitios más intensificados solo mantienen un 7% (p. ej. “La Cruz” en Cuicatlán). Esta capacidad para mantener la cobertura forestal depende principalmente del nivel de intensificación agrícola al que está sometido cada SAFT.

La cobertura forestal promedio que registramos en los SAFT (44%) está conformada principalmente por remanentes de vegetación nativa (77%), cercos vivos (10%) y manchones de cobertura forestal (9%), mientras que en menor medida encontramos árboles aislados (2%), franjas contra la erosión (1%) e islas de vegetación (1%). Donde es importante interpretar con detenimiento la proporción de cobertura forestal mantenida por los campesinos dentro de los SAFT, pues un valor porcentual brinda información que puede implicar una gran variedad de configuraciones respecto a la estructura (disposición espacial, abundancia de individuos) y composición de especies contenida en estos espacios.

En el contexto de estos resultados, vale la pena preguntarnos si manifestaciones un tanto pasivas como los remanentes de vegetación nativa ¿en realidad representan prácticas agroforestales? (sobre todo cuando la vegetación es mantenida porque los campesinos no disponen de maquinaria, fuerza de trabajo y/o tiempo suficiente para remover la vegetación y ampliar la superficie agrícola en sus parcelas). Por lo que consideramos que deberían catalogarse como prácticas agroforestales solo en aquellos casos donde los campesinos mantienen estas áreas deliberadamente por razones explícitas –que se pueden validar al momento de entrevistarlos–.

En contraste, otras prácticas agroforestales mucho más activas –donde es evidente la intervención campesina– (como los cercos vivos o las franjas contra la erosión) contribuyen a mantener varios elementos forestales porque no interfieren con las labores agrícolas y son

áreas que se enriquecen continuamente a medida que nuevos componentes sustituyen a otros (Blancas *et al.*, 2010; SEMARNAT, 2019; Vallejo *et al.*, 2016).

Al respecto, en la revisión de Arroyo-Rodríguez *et al.* (2020) se señala que los corredores de vegetación (conformados por franjas de vegetación riparia, cercos vivos y árboles dispersos), pueden ser de gran importancia para la conservación de biodiversidad, pues resultan desproporcionadamente valiosos para aumentar la conectividad del paisaje; sobre todo si consideramos la pequeña proporción de cobertura que representan. Los corredores de vegetación también pueden ofrecer refugios con disponibilidad de microclimas frescos, agua, alimento y/o áreas de anidación para la vida silvestre. Incluso, debido a que estos componentes son limitados en la matriz<sup>7</sup>, el valor de los árboles dispersos para la vida silvestre puede ser mayor que el de los árboles presentes en el bosque continuo (Fischer *et al.*, 2010). Asimismo, los corredores de vegetación pueden favorecer la resiliencia, polinización, dispersión de semillas y regeneración de la vegetación en paisajes modificados por el humano (Cadavid-Florez *et al.*, 2019).

### **Más allá de la conservación de biodiversidad**

Al comparar ambos escenarios (la cobertura forestal mantenida en los SAFT –mediante la implementación de prácticas agroforestales– y la vegetación silvestre –de selva seca– circundante), encontramos que el número total de especies registradas en los sitios analizados de selva seca y SAFT fue similar (98 y 101 especies, respectivamente), así como los números equivalentes de especies o comunidades estimados para la diversidad alfa (19.92 y 16.08 especies), beta (2.96 y 3.10 comunidades) y gamma (56.03 y 49.89 especies, respectivamente). Sin embargo, encontramos diferencias significativas en la abundancia de individuos ( $t = 3.414$ ;  $p = 0.001$ ); pues registramos, en promedio, casi el doble de individuos presentes en la selva seca (191) en comparación con los SAFT (101).

En este punto debemos interpretar cuidadosamente el hecho de que las estimaciones de diversidad “verdadera” que realizamos muestren que estadísticamente no existen diferencias entre la vegetación silvestre y los SAFT –con respecto a la diversidad de especies–. Pues este no es el único atributo que revela las condiciones ecológicas al interior de las comunidades bióticas; en donde podría ser delicado asumir que los SAFT son capaces de mantener la mayor

---

<sup>7</sup> La composición y configuración de la cobertura modificada por el humano (o no forestal) presente en el paisaje (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2020).

parte de la diversidad, y con ello todas las funciones ecológicas propias de la vegetación silvestre.

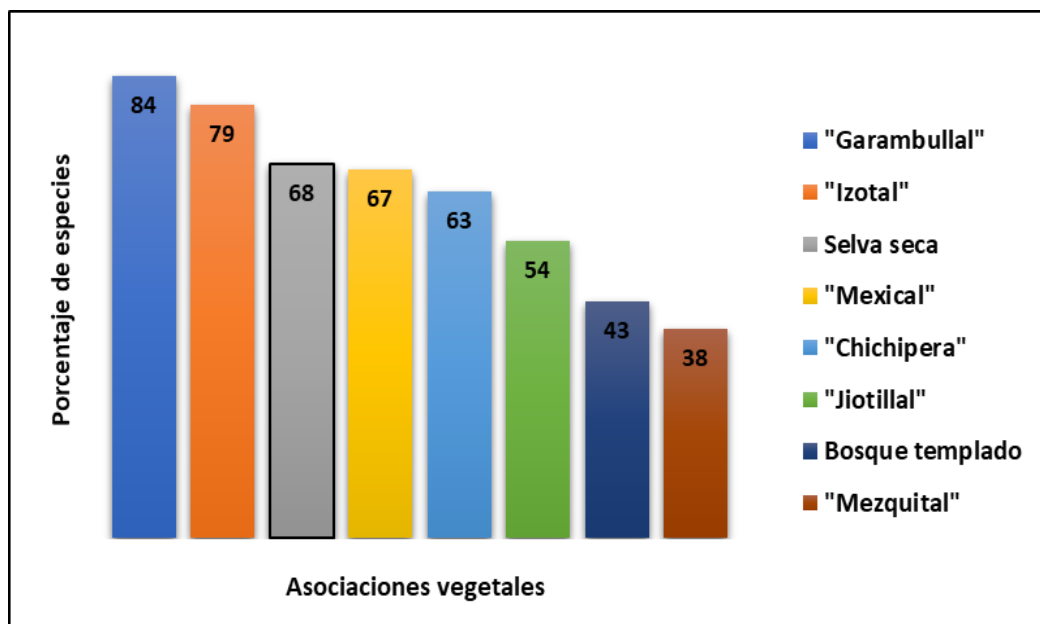
Por lo tanto, para el desarrollo futuro de estudios similares a este, consideramos conveniente incorporar el análisis de la abundancia de individuos, así como su *equitatividad* (la abundancia relativa de las especies), ya que estos atributos nos permiten apreciar la estructura de las comunidades de manera más específica. Del mismo modo, es deseable graficar los perfiles de diversidad provenientes de la estimación de la diversidad “verdadera” de orden 0, 1 y 2, con el fin de observar la configuración de las especies raras, típicas y dominantes en cada escenario analizado, pues estas medidas de diversidad –de distinto orden– son capaces de incorporar a las especies de acuerdo con su abundancia relativa en la comunidad (Moreno *et al.*, 2011), por lo que podemos obtener resultados mucho más informativos sobre el arreglo de las especies en un ensamblaje.

También es importante analizar con detenimiento la composición de especies que conforma cada escenario, pues se ha señalado que los SAFT suelen contener una abundancia de individuos aumentada de aquellas plantas más valoradas localmente (Moreno-Calles *et al.*, 2010, 2012). A pesar de la capacidad notable de los SAFT para mantener la biodiversidad, se ha documentado que aunque estas manifestaciones de la agricultura campesina pueden ser semejantes a la vegetación silvestre –en términos del número de especies–, la composición florística no es consistente y suele representar un exceso de especies pioneras que se extienden y establecen en zonas perturbadas (McNeely, 2004). Aunque también es importante considerar que las especies pioneras pueden tener un papel significativo en la sucesión ecológica de sitios altamente degradados.

### **Diferentes capacidades de conservación en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán**

Al hacer una comparación con estudios semejantes realizados en otros ecosistemas de la región, como: i) bosques de cactáceas columnares (“chichipera”, “garambullal” y “jiotillal”) (Moreno-Calles *et al.*, 2010, 2012), ii) bosques templados (Vallejo *et al.*, 2014), iii) bosques espinosos (“mezquiales”) (Vallejo *et al.*, 2015) y iv) bosques rosetófilos (“izotal” y “mexical”) (Campos-Salas *et al.*, 2016), se manifiesta la alta capacidad de conservación de los SAFT asociados a la selva seca, pues estos se encuentran entre las primeras posiciones (**Figura 9**). Además, el porcentaje de plantas silvestres mantenidas en los SAFT que registramos en la selva seca (68%) coincide con lo estimado por Bhagwat *et al.* (2008) a nivel pantropical (64%), y también se encuentra dentro del rango documentado por Noble y Dirzo (1997) para Indonesia (50-80%).

Por ahora no podemos contrastar la diversidad de especies mantenida en los SAFT a nivel regional, pues la mayoría de los estudios previos utilizó el índice de entropía de Shannon para estimarla –y desafortunadamente sus valores no son comparables– (Moreno *et al.*, 2011). Por lo tanto, habría que rehacer un análisis (con el mismo número de muestreos comparativos de cada SAFT y comunidad vegetal asociada) bajo el enfoque de la diversidad “verdadera” descrito anteriormente. De este modo podríamos obtener los números equivalentes de especies (que sí son comparables), generar los perfiles de diversidad –que nos muestran la configuración de las especies según su abundancia relativa en la comunidad– y estimar la equitatividad de cada escenario. Sin embargo, por ahora solo nos es posible tener una idea del porcentaje de especies silvestres mantenidas dentro de los SAFT asociados a distintas comunidades vegetales de la región (**Figura 9**).



**Figura 9.** Comparación entre el porcentaje de especies silvestres mantenidas en los sistemas agroforestales tradicionales asociados a la selva seca (barra gris) y diferentes asociaciones vegetales del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

El desarrollo de esta propuesta es fundamental para llevarlo a cabo en el futuro inmediato. Pues consideramos que constituiría una aportación de gran importancia para evidenciar la notable capacidad de los SAFT para conservar la diversidad biológica y cultural, la provisión de contribuciones al bienestar humano y el mantenimiento de la condición campesina. Asimismo, esta propuesta aspiraría a revalorar e integrar a los SAFT –junto con sus prácticas agroforestales, manejo agroecológico y formas de manejo silvícola– en las políticas de conservación de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

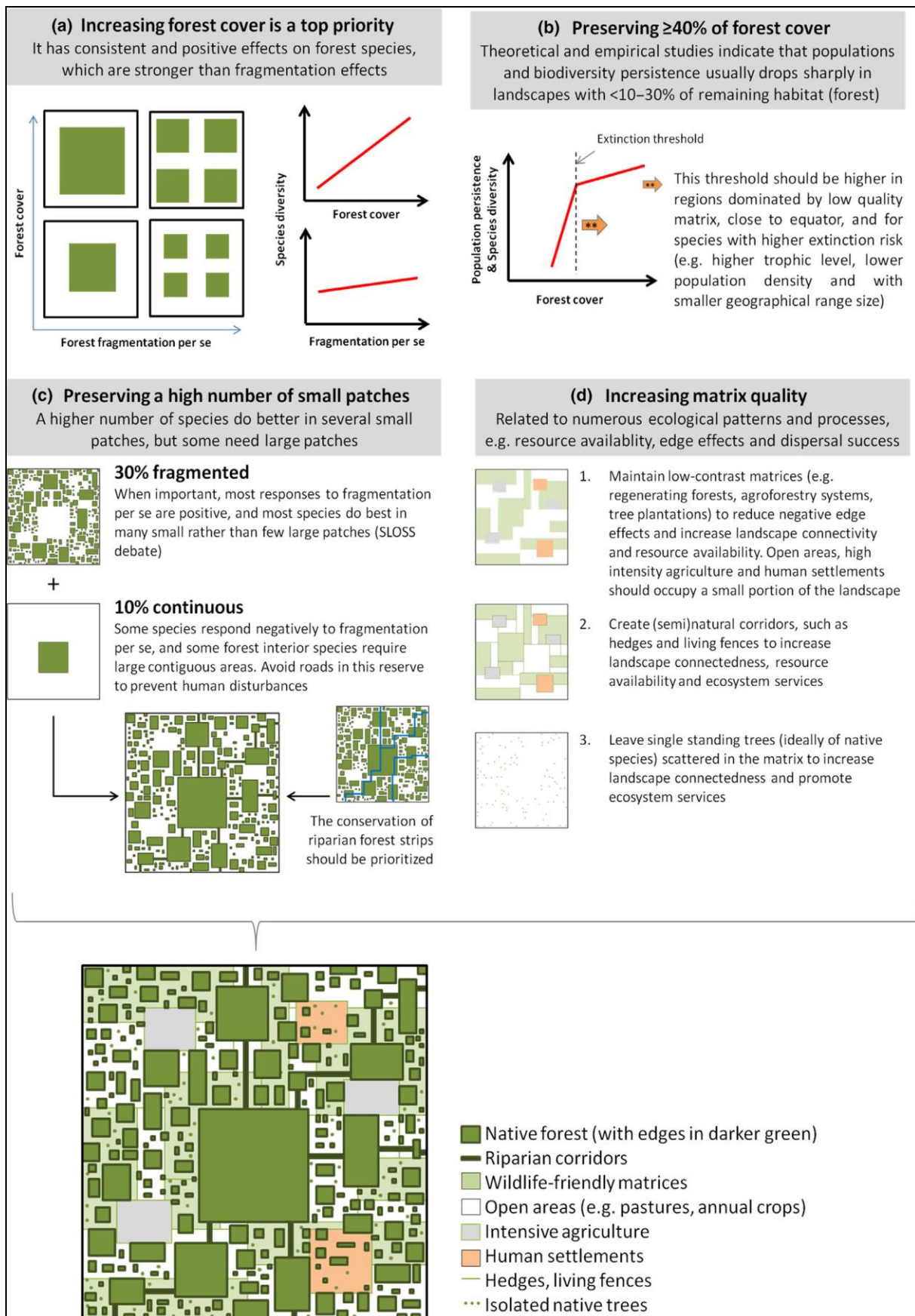


## **Implicaciones ecológicas para el diseño de estrategias de conservación**

El elevado recambio de especies (diversidad beta) que registramos tanto en la selva seca (72%) como en los SAFT (74%) tiene implicaciones muy relevantes para la conservación, sugiriendo que es necesario mantener varios sitios para conservar la diversidad regional de la vegetación silvestre (Rendón-Sandoval *et al.*, 2020). Lo que supone un reto enorme para el diseño de estrategias de conservación acordes a estos requerimientos tan particulares. Sin embargo, resulta que la agricultura campesina en la actualidad resguarda y ha mantenido durante miles de años la biodiversidad dentro de lo que ahora denominamos SAFT. Por lo cual, consideramos que la justa valoración y el rescate del manejo campesino agroecológico podría formar parte primordial de las directrices de conservación.

Esto último coincide con una propuesta reciente, que combina algunos conceptos de la teoría ecológica con el respaldo empírico de varios estudios, para diseñar paisajes óptimos – modificados por el humano– para la conservación de biodiversidad (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2020). En el trabajo antes mencionado los autores sugieren que los paisajes deberían contener  $\geq 40\%$  de cobertura forestal (**Figura 10**). Esta proporción ideal de cobertura forestal debería configurarse con alrededor del 10% en un parche forestal de gran tamaño, mientras que el 30% restante estaría repartido en muchos parches pequeños dispersos. Los escenarios propuestos representan un balance óptimo entre la provisión de contribuciones de la naturaleza al bienestar humano (Díaz *et al.*, 2018) y el mantenimiento de la mayor parte de la biodiversidad, por ello podrían ser capaces de orientar las estrategias de conservación y restauración de los bosques (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2020).

Este planteamiento de paisaje óptimo –modificado por el humano– para la conservación de biodiversidad se asemeja a los SAFT que analizamos en la región de La Cañada. No obstante, esto es posible en un contexto donde el plan de manejo de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán limita la eliminación de la vegetación silvestre para aumentar la superficie agrícola. Mientras que en escenarios sin restricciones ambientales, como es la mayor parte del territorio mexicano, difícilmente podría alcanzarse este ideal.



**Figura 10.** Esquema de los paisajes óptimos –modificados por el humano– para la conservación de biodiversidad. Fuente: Arroyo-Rodríguez *et al.* (2020).

En la **Figura 10**, Arroyo-Rodríguez *et al.* (2020) señalan que el aumento de la cobertura forestal es una prioridad esencial para la conservación, pues esta tiene efectos consistentes y positivos sobre las especies silvestres –que son más fuertes que los efectos de la fragmentación *per se*– (**Figura 10a**).

Con base en estudios teóricos y empíricos que indican que las poblaciones y la persistencia de la biodiversidad suelen colapsar en paisajes con < 10-30% de remanentes de vegetación silvestre (p. ej. Andrén, 1994; Cadavid-Florez *et al.*, 2019; Hannah *et al.*, 2020; Swift & Hannon, 2010), Arroyo-Rodríguez *et al.* (2020) plantean que un paisaje óptimo debería contener  $\geq 40\%$  de cobertura forestal. Sin embargo, puntualizan que es probable que se necesiten porcentajes más altos en paisajes dominados por una matriz de baja calidad, zonas tropicales, así como para especies con un mayor riesgo de extinción (p. ej. aquellas con mayor nivel trófico, menor densidad poblacional o distribución geográfica restringida) (**Figura 10b**).

Este porcentaje de cobertura forestal ( $\geq 40\%$ ) debería configurarse de tal manera que ~ 10% se encuentre en un solo parche forestal de gran tamaño, y el 30% restante en un gran número de parches forestales pequeños y dispersos –idealmente de manera uniforme– (lo cual coincide con nuestros hallazgos respecto a la elevada diversidad beta que registramos –tanto en la selva seca como en los SAFT–, donde las y los campesinos mantienen la biodiversidad en los SAFT). Es notable que los corredores de vegetación tienen un valor muy alto para la conservación, especialmente las franjas de vegetación riparia, ya que pueden aumentar la conectividad en matrices deforestadas drásticamente (**Figura 10c**).

Es importante que las parcelas agrícolas estén integradas dentro de una matriz de alta calidad con la presencia de árboles dispersos, que estén delimitadas por cercos vivos de plantas nativas y que tengan otras prácticas agroforestales como franjas contra la erosión e islas de vegetación. Asimismo, –en un escenario ideal– el paisaje debería ser lo suficientemente grande (p. ej. de varios miles de km<sup>2</sup>) como para que el 10% de su superficie cumpla con los requerimientos mínimos de las especies animales que prefieren parches de vegetación grandes y contiguos (**Figura 10d**).

Aunque hay evidencia de que la mayor parte los remanentes de vegetación silvestre deberían conservarse en un gran número de parches pequeños (Taubert *et al.*, 2018), en la **Figura 10** se incluyeron diferentes tamaños de parches para simular la distribución del tamaño de los parches en algunos escenarios del “mundo real”. Es importante procurar que algunas áreas abiertas (como pastizales, cultivos anuales y asentamientos humanos) tengan parches forestales y árboles dispersos para que sean más amigables con la biodiversidad. Sin embargo,

en la **Figura 10** también se incluyeron algunas áreas abiertas más intensificadas para indicar los sistemas agrícolas intensivos o de agricultura industrial, que deberían ocupar una extensión reducida debido a los daños significativos que causan a la biodiversidad (Hendershot *et al.*, 2020). Finalmente, se insiste en que las parcelas agrícolas deberían estar delimitadas por cercos vivos, y todas las matrices favorables a la vida silvestre (como los SAFT) deberían tener árboles dispersos de especies nativas de la región (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2020).

### *Motivaciones campesinas para mantener la vegetación*

Encontramos que la obtención de múltiples contribuciones benéficas –que ayudan a satisfacer algunas necesidades fundamentales– representa el motivo principal de las y los campesinos para mantener componentes de la vegetación nativa (de selva seca) dentro de sus parcelas agrícolas. Estas contribuciones benéficas de la vegetación representan la mayor parte de las contribuciones registradas (83%), mientras que tan solo un 17% corresponden a contribuciones perjudiciales. Sin embargo, estas últimas suelen tener una importancia determinante para los campesinos, ya que pueden comprometer la producción agrícola (Rendon-Sandoval *et al.*, 2021).

Además, identificamos que las contribuciones materiales son las más comunes (62%), en particular: frutos comestibles, plantas medicinales, formación de cercos vivos, forraje, leña para cocinar, preparación de bebidas, madera para construcción, tallos y raíces comestibles, condimentos, madera para herramientas y utensilios domésticos, flores comestibles, afrodisíaco, que alivian la sed, estimulantes del apetito, fermentos, juguetes, materiales para elaborar artesanías, resinas, plantas saponíferas y venenos. Le siguen las contribuciones reguladoras (20%) como provisión de sombra, aporte de fertilidad al suelo, atracción de lluvia, mantenimiento de humedad, control de plagas, hábitat de otras especies útiles y prevención de la erosión; y las contribuciones inmateriales (18%) como fuente de sabores regionales e identitarios, plantas ornamentales, fuente de inspiración, recreación y salud, ceremoniales y rituales, aromáticas y lúdicas (ver **Tabla 1** del capítulo IV; Rendon-Sandoval *et al.*, 2021).

Todas estas contribuciones de la vegetación al bienestar de los campesinos ayudan primordialmente a satisfacer necesidades fundamentales de subsistencia, protección e identidad, aunque también cubren en menor medida necesidades de afecto, entendimiento, creación, participación y ocio. Con lo cual podemos asumir que existe una relación directa

entre el número de contribuciones y la posibilidad de satisfacer necesidades humanas fundamentales (ver **Tabla 1** del capítulo IV; Rendon-Sandoval *et al.*, 2021).

Por su parte, la disminución de cobertura forestal y diversidad de especies –que con frecuencia ocurre en los SAFT– también reduce el número de contribuciones socioecológicas y su potencial para satisfacer algunas necesidades humanas fundamentales. Por lo tanto, se podría pensar que la eliminación de la vegetación silvestre de las parcelas agrícolas –por parte de los campesinos– representa una práctica ilógica y perjudicial. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la vegetación limita el rendimiento de la producción agrícola al competir con los cultivos (por espacio, luz, agua y/o nutrientes). Esto supone pérdidas para los campesinos, lo que lleva a la mayoría de ellos a utilizar prácticas –con distintos grados de intensificación– para obtener un mayor rendimiento de sus cosechas en el menor tiempo posible (Sinco-Ramos, com. pers., 2021).

Lo anterior representa más una especie de “necesidad” o decisión forzada que una opción libre de manejo agrícola, sobre todo si tenemos en cuenta que muchos campesinos viven en condiciones precarias. Donde Ploeg (2010) reconoce que un aspecto central de la condición campesina es la lucha por la autonomía, la cual ocurre en un contexto caracterizado por relaciones de marginación, privación y dependencia. Así, una sola contribución perjudicial de la vegetación silvestre (como la competencia con los cultivos) puede superar las múltiples contribuciones benéficas y convertirse así en una motivación determinante para eliminarla (Sinco-Ramos, com. pers., 2021).

Por ello, consideramos que para diseñar e implementar estrategias adecuadas tanto para la conservación de biodiversidad como para el bienestar humano, es esencial comprender que las motivaciones para mantener o eliminar la vegetación se explican más por las circunstancias del contexto local (ambientales, culturales, económicas, históricas, políticas, etc.) –que interfieren en múltiples aspectos del bienestar– (Sinco-Ramos com. pers., 2021), y no solo por las valoraciones de las contribuciones benéficas (materiales, inmateriales y reguladoras) de la vegetación. Por lo tanto, consideramos que es esencial contemplar las motivaciones, razones y condiciones subyacentes de los campesinos –cuyos medios de vida están intrínsecamente ligados a la naturaleza–, pero cuyas oportunidades de manejo agroforestal y/o agroecológico planificado a largo plazo son sumamente limitadas para la mayoría, lo cual tiene que ver, reiteramos, con las condiciones estructurales de inequidad y marginación histórica del país en sectores sociales como el campesinado (Sinco-Ramos, com. pers., 2020).

### **Algunas particularidades de las necesidades humanas fundamentales**

Distinguiamos que la necesidad de subsistencia representa un tipo particular de necesidad humana fundamental que es realmente vital, por lo que suele priorizarse sobre otras necesidades. Así, en la propuesta de Maslow (1943) –donde se plantea una jerarquía de las necesidades humanas–, la necesidad de subsistencia correspondería a las necesidades fisiológicas básicas para mantener la supervivencia (p. ej. respirar, hidratarse, alimentarse, descansar, eliminar los desechos corporales, evitar el dolor y mantener la temperatura corporal; que desde nuestro enfoque en realidad corresponderían a satisfactores). Por ello, debemos considerar el carácter imprescindible que adquiere la necesidad fundamental y vital de subsistencia en contextos de incertidumbre y precariedad. No obstante, sin la satisfacción del resto de necesidades fundamentales, aunque la persona humana pueda sobrevivir, estará incompleta y generará patologías tanto individuales como colectivas (Max-Neef *et al.*, 1998).

Estos últimos autores proponen la reinterpretación del concepto de “pobreza”, al señalar que el término convencional es limitado y restringido, puesto que se refiere exclusivamente a la situación de aquellas personas que pueden clasificarse por debajo de un determinado umbral de ingresos monetarios; donde es evidente una noción estrictamente economicista. Max-Neef *et al.* (1998) sugieren no hablar de “pobreza”, sino de pobrezas, pues cualquier necesidad humana fundamental que no es satisfecha adecuadamente revela una pobreza humana. Por ejemplo, la pobreza de subsistencia (debido a la alimentación y abrigo insuficientes); de protección (debido a sistemas de salud ineficientes, a la violencia); de afecto (debido al autoritarismo, a la opresión); de participación (debido a la marginación y discriminación); de identidad (debido a la imposición de valores ajenos a las culturas locales, a la migración forzada) y así sucesivamente.

Además, cada pobreza genera patologías cuando rebasa límites críticos de intensidad y duración. Por consiguiente, nos enfrentamos al desafío de reconocer y evaluar las patologías colectivas que los diversos sistemas sociopolíticos son capaces de provocar como resultado del bloqueo sistemático de necesidades humanas fundamentales (Max-Neef *et al.*, 1998).

Como punto de partida para afrontar este reto, nos convendría adoptar un posicionamiento crítico frente a las supuestas “necesidades” creadas e ilimitadas, los satisfactores excesivos y los bienes económicos superfluos que nos mantienen cautivos del sistema económico capitalista como consumidores alienados. Asimismo, sería buena idea tener presente lo que expone Giraldo (2018: 55-56) con relación a este tema:



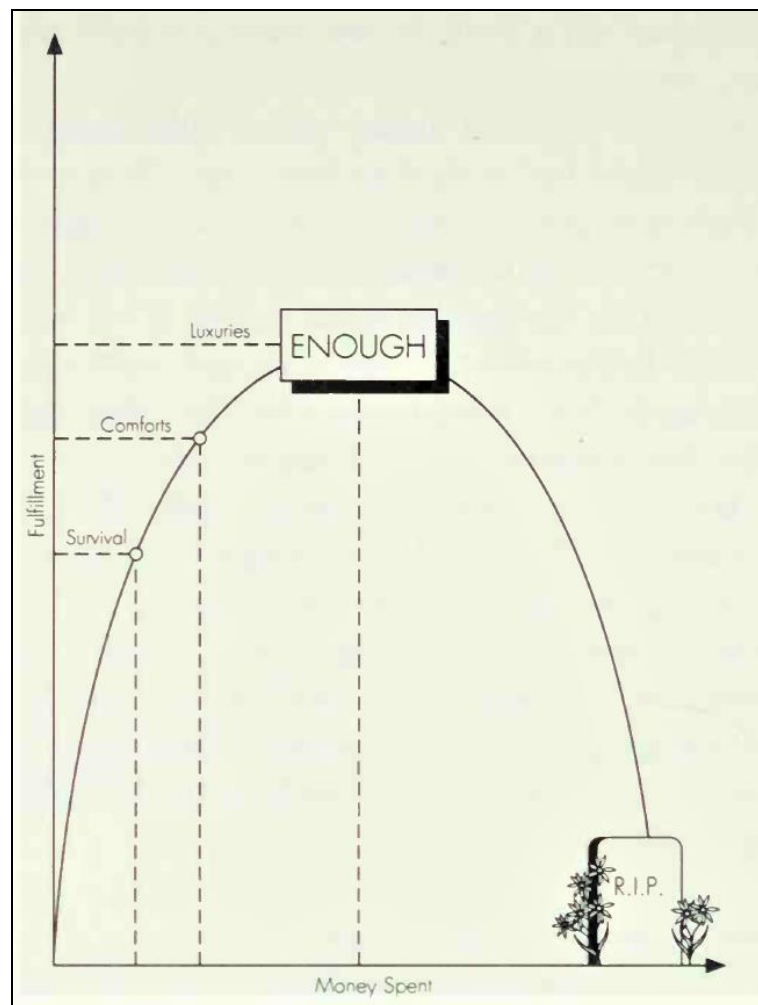
*“En el fondo del asunto lo que escondía la empresa desarrollista era la intención de crear consumidores en Asia, África y América Latina para solucionar la escasez general de demanda efectiva que no había logrado solucionar el capital con el fin de compensar el aumento de producción de la primera mitad del siglo XX. Tomando como bandera la ‘guerra contra la pobreza’ el objetivo era cambiar la maquinaria bélica colonial por un enorme proyecto ‘pacífico’ de ayuda al mundo ‘subdesarrollado’, para transformarlo en un mercado masivo para los bienes y servicios del Norte Global (Illich, 2006), al tiempo que lograba contener el avance del comunismo. Mediante programas, como la Alianza para el Progreso, se buscó modernizar los patrones de consumo de la clase media emergente bajo el dogma de que el incremento del consumo conduce a la felicidad de las personas; que lo nuevo es siempre mejor; y que el propósito de la vida consiste en acumular cada vez más (Fromm, 1978).*

*De esa manera se fue estimulando el objeto del deseo, y la población fue construyendo la expectativa de poder alcanzar el estilo de vida de la clase media norteamericana. El desarrollo se vendió como una promesa; una oferta cuyo contenido era ‘desarrollarse’, y que vertiginosamente fue aceptada por los pueblos del Sur como un anhelo legítimo. Se trató de una máquina de producción del deseo que fue regulando la vida del lado de la adquisición, derivando las necesidades como ausencia de consumo y moldeando un miedo profundo al carecer (Deleuze & Guattari, 2004). Así, se construyó un sofisticado sistema que estimula primero las expectativas de las poblaciones para ofrecerles después suplir sus deseos mediante un andamiaje de intervenciones institucionales denominadas bajo el abstracto nombre del ‘desarrollo’ (Illich, 1996).*

*El régimen de representación de la pobreza fue prerequisite para crear la imagen de pueblos insuficientemente capitalizados, carentes de artículos y servicios esenciales, incapaces de dirigirse por su propia cuenta y necesitados de la ayuda de quienes lideraban la carrera del ‘progreso’. Y si lo que se requería era deshacerse de la sobreproducción de mercancías, era menester que los pueblos pudieran alcanzar ciertos objetivos de consumo. Sobra agregar que el ‘desarrollo’ fue una promesa incumplida, que los deseos para la mayoría no fueron satisfechos, y que, cuando mucho, lo que se logró fue una modernización de la pobreza, pues hizo imposible que la gente pudiera vivir por fuera de los mandatos de la economía de mercado (Esteve, 2009)”.*

Asimismo, vale la pena recordar la curva de la satisfacción (*The Fulfillment Curve*) planteada por Domínguez & Robin (1992), que –aunque se restringe a la dimensión económica– intenta mostrar la relación entre el consumo y la experiencia de satisfacción (**Figura 11**). En esencia, esta curva indica distintos umbrales que se van alcanzando conforme aumenta el consumo

(como la supervivencia y algunas comodidades). De esta manera, se llega a una cúspide cuando se tiene lo suficiente para garantizar nuestra supervivencia, algunas comodidades –e incluso unos cuantos lujos razonables–. Domínguez & Robin (1992: 25) consideran que en este punto “tenemos todo lo que necesitamos”. Al romper este balance comenzamos a entrar en el terreno de los lujos excesivos, las suntuosidades y el derroche. Es ahí cuando la relación directa planteada por estos autores –bastante simplificada, por cierto– entre consumo y satisfacción se fractura, y en donde a pesar de consumir más, experimentamos menor satisfacción.



**Figura 11.** La curva de la satisfacción muestra que a medida que aumenta el consumo (*Money Spent*) se experimenta mayor satisfacción (*Fulfillment*) –hasta alcanzar la supervivencia (*Survival*) y algunas comodidades (*Comforts*)–. Se plantea que existe un balance cuando se tiene lo suficiente (*ENOUGH*). Sin embargo, al entrar al terreno de los lujos excesivos y el derroche (*Luxuries*), la relación directa entre consumo y satisfacción se invierte; donde al seguir aumentando el consumo se disminuye la satisfacción. Fuente: Domínguez & Robin (1992).

Este tema cobra relevancia si tomamos en cuenta que el aumento de la producción mundial de bienes económicos está directamente relacionado con la disminución de la mayoría de las contribuciones de la naturaleza a la calidad de vida de las personas (Díaz *et al.*, 2019). Paradójicamente, el sistema económico capitalista se las arregla para acelerar cada vez más el flujo de contribuciones materiales de la naturaleza para seguir el ritmo de la demanda creciente e incentivando la intensificación productiva en distintos ámbitos (tales como la industria, la agricultura e incluso la academia). Como ejemplo, desde 1970 a la fecha la población mundial se ha duplicado, el consumo *per cápita* ha aumentado en un 45%, el valor de la actividad económica mundial –medido con el producto interno bruto (PIB)– ha aumentado en más de un 300%, el comercio en un 900% y la extracción de componentes vivos de la naturaleza en más del 200% (Díaz *et al.*, 2019; [data.worldbank.org/indicator](https://data.worldbank.org/indicator); [www.materialflows.net/](http://www.materialflows.net/)).

### **¿Servicios ecosistémicos, beneficios, contribuciones o valores de la naturaleza?**

Es preciso aclarar que el término de contribuciones de la naturaleza a las personas buscó trascender el enfoque anterior de “servicios” ecosistémicos que había sido difundido ampliamente. Al respecto, Díaz *et al.* (2018) explican que a primera vista, la noción de contribuciones no parece diferir mucho de la definición original de “servicios” ecosistémicos de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), que era amplia y contemplaba vínculos con muchas facetas del bienestar. Sin embargo, la conceptualización detallada y el trabajo práctico sobre los “servicios” de los ecosistemas que siguió a dicha evaluación estuvieron dominados por los conocimientos de las ciencias naturales y la economía. Las ciencias naturales –y la ecología en particular– se utilizaron para definir “funciones de producción ecológica” para determinar la “oferta de servicios”, conceptualizados como flujos procedentes de los ecosistemas (o reservas de “capital natural”) (Polasky & Segerson, 2009). Fue entonces que la economía se utilizó para estimar el valor monetario de esos flujos de “servicios” ecosistémicos con el fin de identificar las compensaciones entre ellos y sus impactos en el bienestar humano. Gracias a que la ecología y la economía disponen de herramientas relativamente accesibles, el enfoque de los “servicios” ecosistémicos se convirtió en un campo de investigación muy activo que incluso ha llegado a influir en el discurso político.

No obstante, este enfoque –de la relación entre las sociedades y la naturaleza– no ha logrado involucrar varias perspectivas relevantes de las ciencias sociales (Norgaard, 2010), ni tampoco ha integrado la racionalidad de los campesinos y comunidades indígenas implicadas

directamente el en manejo de los ecosistemas. Esto reforzó un proceso de alienación mutua en la que tanto las investigaciones como las políticas públicas se volvieron cada vez más estrechas, lo que a su vez condujo a la exclusión de las disciplinas, partes interesadas y visiones alternativas (Díaz *et al.*, 2018).

Como consecuencia, la investigación de los “servicios” ecosistémicos se desarrolló en gran medida sin las ideas y herramientas de las ciencias sociales y las humanidades. Por ejemplo, la valoración de algunos “servicios” culturales de los ecosistemas que no son cuantificables fácilmente de forma biofísica o monetaria han quedado relegados, así como su incorporación en las políticas públicas (Chan *et al.*, 2012; Gómez-Baggethun & Barton, 2013). Además, como diversos actores se mantuvieron al margen, el escepticismo inicial hacia el marco de los “servicios” ecosistémicos se convirtió en una oposición activa, a menudo basada en los riesgos percibidos ante la inminente mercantilización de la naturaleza (Lele *et al.*, 2013) y las preocupaciones respecto a la potencial inequidad social resultante (Pascual *et al.*, 2014).

También conviene reflexionar en torno a algunas críticas que han surgido a la conceptualización propuesta por Díaz *et al.* (2018) sobre las contribuciones de la naturaleza a las personas. Por ejemplo, Kenter (2018) señala que este término sigue caracterizando la relación entre las sociedades y la naturaleza como un flujo unidireccional –desde la naturaleza hacia las sociedades–, y el valor de la naturaleza como instrumental (al fungir como una simple proveedora de beneficios), encubriendo así, tanto la coproducción entre los ecosistemas y las personas, como las valoraciones más amplias (p. ej. los valores relacionales) y, consecuentemente, desvirtuando la amplitud de su marco de valoración en términos de pluralismo.

Kenter (2018) sugiere que para ser realmente inclusivos, deberíamos construir una terminología totalmente distinta centrada en los valores de las personas respecto a la naturaleza; incluyendo no solo los valores contextuales que las personas expresan individual y colectivamente en relación con la naturaleza, sino también los valores trascendentales que guían nuestra relación cultural y ética con ella. Ya que esto permitiría que las diversas concepciones de la relación sociedad-naturaleza y los valores plurales de la naturaleza estén realmente a la par. Al final, este autor considera que solo es posible integrar los valores en la gobernanza ambiental (no los “servicios” o las contribuciones), pues en última instancia, lo que importa es la valoración social que se atribuye a la naturaleza porque esta puede reflejarse en nuestras decisiones.

### *Perspectivas para la política pública*

A partir de los factores que ponen en riesgo la continuidad de los SAFT identificados por Moreno-Calles *et al.* (2013), hemos delineado algunas propuestas para fortalecerlos: i) promover el aumento de componentes forestales al interior de las parcelas agrícolas, ii) revalorar y rescatar las cosmovisiones, conocimientos y prácticas tradicionales que sostienen la diversidad biocultural, iii) diseñar e impulsar estrategias que favorezcan la existencia de SAFT –desde la academia, instancias gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil y privadas–, iv) propiciar el involucramiento de los jóvenes en el manejo agroforestal sugiriendo opciones de autoempleo (p. ej. comercializando productos locales con algún proceso que genere valor agregado dentro de esquemas de comercio justo), y v) dar a conocer y difundir esquemas de conservación alternativos [p. ej. pago por servicios ambientales (PSA), áreas destinadas voluntariamente a la conservación (ADVC) y unidades de manejo para la conservación de vida silvestre (UMA)]. Algunas alternativas complementarias a los SAFT para fortalecer la continuidad de la condición campesina podrían incluir: la economía solidaria, la responsabilidad social de las empresas y los consumidores, las ferias de intercambio de semillas entre comunidades y los mercados agroecológicos de productor a consumidor (Funes-Aguilar *et al.*, 2001).

Dentro del área de estudio –en La Cañada Oaxaqueña– podría ser viable hacer sugerencias puntuales sobre la integración de los SAFT a los programas de conservación a nivel regional, puesto que hemos establecido contacto con los funcionarios de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán y discutido algunas particularidades que implica la conservación en la zona. Cabe destacar que estos programas han priorizado la conservación de biodiversidad sobre el bienestar integral de los pobladores de la reserva, proporcionando pocas opciones en cuanto a medios de vida alternativos para las personas; en especial planteando cambiar las actividades productivas primarias como la agricultura (en particular de frutales intercalados con milpa tradicional) y la ganadería (sobre todo de ganado caprino) por el ecoturismo (SEMARNAT-CONANP, 2013). Sin embargo, para poder incluir a los SAFT en las políticas públicas a una escala mayor, habría que seguir difundiendo en distintos foros la notable capacidad de estas manifestaciones de la agricultura campesina para conjuntar la conservación de biodiversidad y el bienestar humano, así como establecer vínculos y espacios de comunicación efectiva con los actores implicados en la legislación ambiental.

Por ejemplo, una alternativa concreta –para fortalecer los SAFT– podría ser la implementación de parcelas agroforestales experimentales, así como el monitoreo para cuantificar sus rendimientos de manera comparativa con otros esquemas de agricultura intensiva. Esto último, con la finalidad de evidenciar las ventajas de la agricultura campesina diversificada en cuanto a su capacidad para conservar la biodiversidad, brindar mayor autonomía alimentaria, ingerir una dieta más diversa, producir una variedad mayor de cultivos y experimentar mejoras en la salud (Rosset & Altieri, 2019). Otra opción podría ser incentivar la formación de cercos vivos con algunas especies nativas –con capacidad de rebrotar a partir de estacas– que están presentes en la zona (en especial cactáceas columnares, “copales” y “cuajjotes” del género *Bursera*, frutales nativos como la ciruela, etc.), incluir esta propuesta en el plan de manejo de la reserva y apoyar su divulgación con la elaboración de materiales didácticos.

Finalmente, como se ha señalado en otras áreas naturales protegidas con grandes extensiones de selva seca (como en Sierra de Huautla, Morelos), también es fundamental propiciar la existencia de espacios de participación social donde los habitantes locales puedan exponer y hacer escuchar sus opiniones, tener acceso a la toma de decisiones o recibir compensaciones por los costos de la conservación (Durand, 2010).



## CONCLUSIONES

El ser humano forma parte de la naturaleza e históricamente la ha utilizado como fuente de “recursos” para satisfacer sus necesidades fundamentales. Desde la antigüedad, la humanidad ha establecido interacciones de dependencia con los componentes naturales. Sin embargo, en los últimos años el planeta ha experimentado transformaciones sin precedentes, especialmente en la dimensión ambiental y económica (Bawa & Saberwal, 2003). Estos cambios tienen consecuencias trascendentales, no solo por el destino de los ecosistemas naturales, sino también por el futuro de las sociedades humanas que son responsables de dichos cambios, es decir, en los sistemas socioecológicos (Berkes & Folke, 1998).

Actualmente, el mundo enfrenta una pérdida potencialmente masiva de vida silvestre debido a la intensificación de actividades humanas como la deforestación, la agricultura industrializada, la caza excesiva, la sobrepesca y la urbanización, entre otras. Además, las consecuencias indeseables de esta transformación están repartidas de forma desigual entre la sociedad (Díaz *et al.*, 2019). Entre ellas destaca el calentamiento global, la destrucción de la biodiversidad, la reestructuración geológica, la contaminación del agua, la pérdida de fertilidad de los suelos, la acidificación de los océanos y la modificación de los flujos biogeoquímicos (Rockström *et al.*, 2009). Paradójicamente, el papel del ser humano y su impacto sobre la biodiversidad solo se han reconocido recientemente, lo que demuestra que la conservación de la naturaleza debe tener en cuenta la influencia de la humanidad como un agente de transformación determinante de los espacios naturales; no solo en los aspectos considerados negativos, sino como responsable y capaz de reconstruir relaciones sociedad-naturaleza más sensatas. Por consiguiente, las cuestiones relativas a la conservación de biodiversidad no pueden responderse solo con el abordaje de las ciencias biológicas, sino que deben considerar todas las dimensiones que vinculan a las sociedades humanas con los componentes naturales (Alves & Albuquerque, 2012).

La agricultura campesina agroecológica como una alternativa a la hecatombe originada por el agronegocio industrial, el extractivismo y el imperio del sistema alimentario global (Ploeg, 2010), debe ser –ante todo– una opción que busque cambiar aquel sentido civilizatorio que la racionalidad occidental ha querido imponer sobre la faz de la Tierra, engullendo todas las formas de existencia y propagándose sin consideración por todos los rincones de la geografía planetaria (Giraldo, 2018).

En este contexto, ante las tendencias de intensificación productiva que implican una transformación drástica y profunda de la naturaleza, el entendimiento de los SAFT representa una oportunidad destacada para revalorar y retomar prácticas de manejo tradicional para lograr el mantenimiento de los sistemas socioecológicos a largo plazo. Pues hemos corroborado que estas expresiones –propias de la agricultura campesina– son capaces de conservar la biodiversidad al mismo tiempo de satisfacer algunas necesidades humanas fundamentales. Por ello, la continuidad, rescate, mejoramiento y propagación de los SAFT podría ser una alternativa viable para conciliar el cuidado de la naturaleza con el bienestar de las personas.

A pesar de que la conservación de biodiversidad supone una aparente contraposición con la satisfacción de necesidades humanas, es posible e ineludible reconstruir una situación intermedia donde las actividades productivas puedan ser adecuadas para cubrir las necesidades humanas fundamentales y –al mismo tiempo– mantener la integridad de los socioecosistemas (Durand, 2010). Las comunidades campesinas aún conservan valores y prácticas que sustentan la vida, por lo cual tienen mucho que aportar en la reconstrucción de relaciones alternativas (Brunel, 2008) más conscientes y sensatas hacia la madre naturaleza.

En última instancia, más allá del compromiso y la responsabilidad (con fundamentos ético-morales), necesitamos relaciones afectivas de respeto y reverencia por todas las expresiones de la vida y los componentes naturales (incluidos algunos elementos que sostienen la vida; como el agua, el viento, las rocas), ya que los seres humanos y las entidades no humanas estamos entrelazados en profundas relaciones de parentesco y obligaciones recíprocas (Berkes, 2017b).

Necesitamos –urgentemente– rehabilitar la Tierra con afecto y sabiduría.

## REFERENCIAS

- Alexander, P., Brown, C., Arneith, A., Finnigan, J., Moran, D., & Rounsevell, M. D. A. (2017). Losses, inefficiencies and waste in the global food system. *Agricultural Systems*, *153*, 190–200. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.014>
- Altieri, M., & Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, *38*(3), 587–612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>
- Alves, R. R. N., & Albuquerque, U. P. (2012). Ethnobiology and conservation: Why do we need a new journal? *Ethnobiology and Conservation*, *1*, 2–4. <https://doi.org/10.15451/ec2012-8-1.1-1-03>
- Andrén, H. (1994). Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos*, *71*, 355–366. <https://doi.org/10.2307/3545823>
- Arroyo-Rodríguez, V., Fahrig, L., Tabarelli, M., Watling, J. I., Tischendorf, L., Benchimol, M., Cazetta, E., Faria, D., Leal, I. R., Melo, F. P. L., Morante-Filho, J. C., Santos, B. A., Arasa-Gisbert, R., Arce-Peña, N., Cervantes-López, M. J., Cudney-Valenzuela, S., Galán-Acedo, C., San-José, M., Vieira, I. C. G., ... Tschamtkke, T. (2020). Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters*, *23*(9), 1404–1420. <https://doi.org/10.1111/ele.13535>
- Avilés, M. V. (2012). Conocimiento tradicional y ritualidad en la Montaña de Guerrero. Una aproximación desde las prácticas de policultivo y tejido de la palma. In A. Argueta & L. Olivé (Eds.), *Conocimiento tradicional, innovación y reapropiación social* (pp. 95–120). Siglo XXI Editores.
- Barrera-Bassols, N., & Toledo, V. M. (2005). Ethnoecology of the Yucatec Maya: Symbolism, Knowledge and Management of Natural Resources. *Journal of Latin American Geography*, *4*(1), 9–41. <https://doi.org/10.1353/lag.2005.0021>
- Barrera-Cristóbal, H. (1999). *Tlacolol: sistema agroforestal del trópico seco*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Bastin, J.-F., Berrahmouni, N., Grainger, A., Maniatis, D., & Mollicone, D. (2017). The extent of forest in dryland biomes. *Science*, *356*, 635–638. <https://doi.org/10.1126/science.aam6527>
- Bawa, K. S., & Saberwal, V. (2003). Why do we need a new journal now? *Conservation and Society*, *1*, 6–7. <https://doi.org/10.1111/j.2040-1124.2010.00007.x>
- Becerra, J. X. (2005). Timing the origin and expansion of the Mexican tropical dry forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *102*(31), 10919–10923. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409127102>
- Becerra, J. X., Noge, K., Olivier, S., & Venable, D. L. (2012). The monophyly of Bursera and its impact for divergence times of Burseraceae. *Taxon*, *61*(2), 333–343.
- Berkes, F. (2017a). Environmental governance for the anthropocene? Social-ecological systems, resilience, and collaborative learning. *Sustainability*, *9*(1232). <https://doi.org/10.3390/su9071232>
- Berkes, F. (2017b). *Sacred Ecology* (4th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315114644>
- Berkes, F., & Folke, C. (1998). *Linking Social and Ecological Systems. Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press.
- Berkes, F., Folke, C., & Gadgil, M. (1994). Traditional Ecological Knowledge, Biodiversity, Resilience and Sustainability. *Biodiversity and Conservation*, *4*, 269–287. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-0277-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-94-011-0277-3_15)
- Bhagwat, S. A., Willis, K. J., Birks, H. J. B., & Whittaker, R. J. (2008). Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution*, *23*(5), 261–267.

<https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.01.005>

- 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), 1–22. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-9-39>
- 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(4), 287–302. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9133-0>
- Blanckaert, I., Swennen, R. L., Paredes Flores, M., Rosas López, R., & Lira Saade, 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(2), 179–202. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00100-9](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00100-9)
- Blanckaert, I., Vancraeynest, K., Swennen, R. L., Espinosa-García, F. J., Piñero, D., & Lira-Saade, R. (2007). Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semi-arid production of Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119(1–2), 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.06.015>
- Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas* (1st ed.). INAH, CDI.
- Booth, W. C., Colomb, G. G., & Williams, J. M. (2001). *Cómo convertirse en un hábil investigador*. Gedisa.
- Brunel, M. C. (2008). Poner la conservación al servicio de la producción campesina, reto para la construcción de un nuevo paradigma de desarrollo. *Argumentos*, 57, 115–137.
- Bullock, S. H., Mooney, H. A., & Medina, E. (1995). *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press.
- Burgui, M. (2015). Hans Jonas: conservación de la naturaleza, conservación de la vida. *Cuadernos de Bioética*, 2, 253–266.
- Búrquez, A., & Martínez-Yrizar, A. (2009). Límites geográficos entre selvas secas y matorrales espinosos y xerófilos: ¿qué conservar? In G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury Creel, & R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México* (pp. 53–62). Fondo de Cultura Económica, CONABIO.
- Cadavid-Florez, L., Laborde, J., & Zahawi, R. A. (2019). Using landscape composition and configuration metrics as indicators of woody vegetation attributes in tropical pastures. *Ecological Indicators*, 101(February), 679–691. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.072>
- Campos-Salas, N., Casas, A., Moreno-Calles, A. I., & Vallejo, M. (2016). Plant Management in Agroforestry Systems of Rosetophyllous Forests in the Tehuacán Valley, Mexico. *Economic Botany*, 70(3), 254–269. <https://doi.org/10.1007/s12231-016-9352-0>
- Casas, A., Viveros, J. L., & Caballero, J. (1994). Etnobotánica mixteca: sociedad, cultura y recursos naturales en la Montaña de Guerrero. México. In *Instituto Nacional Indigenista-Consejo Nacional para la Cultura y las Artes*. Instituto Nacional Indigenista.
- Casas, A., Rangel-Landa, S., Torres, I., Pérez-Negrón, E., Solís, L., Parra, F., Delgado, A., Blancas, J., Farfán-Heredia, B., & Moreno-Calles, A. I. (2008). In situ management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México: an ethnobotanical and ecological approach. In U. P. De Albuquerque & M. Alves-Ramos (Eds.), *Current topics in Ethnobotany* (pp. 1–25). Research Signpost, Kerala.
- 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. México*, 61, 31–47. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1537>
- Casas, A., Camou, A., Otero Arnaiz, A., Rangel Landa, S., Cruse-Sanders, J., Solís, L., Torres, I., Delgado, A., Moreno Calles, A. I., Vallejo, M., Guillén, S., Blancas, J., Parra, F., Farfán Heredia, B., Aguirre Dugua, X., Arellanes, Y., & Pérez Negrón, E. (2014). Manejo tradicional de biodiversidad y ecosistemas en Mesoamérica: el Valle de Tehuacán. *Investigación Ambiental*, 6(2), 23–44.
- 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. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm126>
- Casas, A., Torres, I., Delgado-Lemus, A., Rangel-Landa, S., Ilesley, C., Torres-Guevara, J., Cruz, A., Parra, F., Moreno-Calles, A. I., Camou, A., Castillo, A., Ayala-Orozco, B., Blancas, J. J., Vallejo, M., Solís, L., Bullen, A., Ortíz, T., & Farfán, B. (2017). Sustainability science: research, education and participative processes. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 113–128. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.003>
- Casas, A., Valiente-Banuet, A., Viveros, J. L., Caballero, J., Cortés, L., Davila, P., Lira, R., & Rodríguez, I. (2001). Plant Resources of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany*, 55(1), 129–166. <https://doi.org/10.1007/BF02864551>
- Cassidy, E. S., West, P. C., Gerber, J. S., & Foley, J. A. (2013). Redefining agricultural yields: From tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*, 8, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034015>
- Ceccon, E. (2013). *Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. CONABIO, UNAM, Agrupación Sierra Madre, S.C.
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). 3. Los ecosistemas terrestres. In J. Sarukhán (Ed.), *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 87–108). CONABIO. <https://doi.org/ISBN:978-972-36-1339-1>
- Chan, K. M. A., Balvanera, P., Benessaiah, K., Chapman, M., Díaz, S., Gómez-Baggethun, E., Gould, R., Hannahs, N., Jax, K., Klain, S., Luck, G. W., Martín-López, B., Muraca, B., Norton, B., Ott, K., Pascual, U., Satterfield, T., Tadaki, M., Taggart, J., & Turner, N. (2016). Why protect nature? Rethinking values and the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(6), 1462–1465. <https://doi.org/10.1073/pnas.1525002113>
- Chan, K. M. A., Guerry, A. D., Balvanera, P., Klain, S., Satterfield, T., Basurto, X., Bostrom, A., Chuenpagdee, R., Gould, R., Halpern, B. S., Hannahs, N., Levine, J., Norton, B., Ruckelshaus, M., Russell, R., Tam, J., & Woodside, U. (2012). Where are cultural and social in ecosystem services? A framework for constructive engagement. *BioScience*, 62(8), 744–756. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.8.7>
- Chan, K. M. A., Satterfield, T., & Goldstein, J. (2012). Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values. *Ecological Economics*, 74, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.11.011>
- Clement, C. R., Casas, A., Parra-Rondinel, F. A., Levis, C., Peroni, N., Hanazaki, N., Cortés-Zárraga, L., Rangel-Landa, S., Alves, R. P., Ferreira, M. J., Cassino, M. F., Coelho, S. D., Cruz-Soriano, A., Pancorbo-Olivera, M., Blancas, J., Martínez-Ballesté, A., Lemes, G., Lotero-Velásquez, E., Bertin, V. M., & Mazzochini, G. G. (2021). Disentangling Domestication from Food Production Systems in the Neotropics. *Quaternary*, 4(1), 4. <https://doi.org/10.3390/quat4010004>
- Colunga-GarcíaMarín, P. (1984). *Variación morfológica, manejo agrícola y grados de domesticación de Opuntia spp. en el Bajío Guanajuatense*. Colegio de Postgraduados.

- CONANP. (2013). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán; SEMARNAT.
- Conklin, H. C. (1954). An Ethnoecological Approach to Shifting Agriculture. *Transactions*, 2(17), 133–142.
- da Silva, J. G. (2014). *The State of Food and Agriculture: Innovation in family farming*.
- Dávila, P., Arizmendi, M. del C., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J. L., Casas, A., & Lira, R. (2002). Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 11, 421–442. <https://doi.org/10.1023/A:1014888822920>
- Davis, A., & Wagner, J. R. (2003). Who knows? On the importance of identifying “experts” when researching local ecological knowledge. *Human Ecology*, 31(3), 463–489. <https://doi.org/10.1023/A:1025075923297>
- de-Nova, J. A., Medina, R., Montero, J. C., Weeks, A., Rosell, J. A., Olson, M. E., Eguiarte, L. E., & Magallón, S. (2012). Insights into the historical construction of species-rich Mesoamerican seasonally dry tropical forests: The diversification of *Bursera* (Burseraceae, Sapindales). *New Phytologist*, 193(1), 276–287. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03909.x>
- Descola, P., & Pálsson, G. (1996). *Nature and Society. Anthropological perspectives* (P. Descola & G. Pálsson (eds.)). Routledge.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P. W., van Oudenhoven, A. P. E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., ... Shirayama, Y. (2018). Assessing nature’s contributions to people. *Science*, 359(6373), 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K. A., Butchart, S. H. M., Chan, K. M. A., Lucas, A. G., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G. F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., ... Zayas, C. N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366(6471). <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>
- Domínguez, J., & Robin, V. (1992). *Your Money or Your Life. Transforming Your Relationship with Money and Achieving Financial Independence*. Penguin Group USA.
- DRYFLOR, Banda-R, K., Delgado-Salinas, A., Dexter, K. G., Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A., Prado, D., Pullan, M., Quintana, C., Riina, R., Rodríguez-M, G. M., Weintritt, J., Avevedo-Rodríguez, P., Adarve, J., Álvarez, E., Aranguren-B, A., Camilo-Arteaga, J., Aymard, G., Castaño, A., ... Fernández, Á. (2016). Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science*, 353(6306), 1383–1388. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5080>
- Durand, L. (2002). La relación ambiente-cultura en antropología: recuento y perspectivas. *Nueva Antropología*, XVIII(61), 169–184. <https://doi.org/10.1037/a0035280>
- Durand, L. (2010). Pensar positivo no basta. Actitudes en torno a la conservación en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, México. *Interciencia*, 35(6), 430–436.
- ETC Group. (2017). *¿Quién nos alimentará? ¿La red campesina alimentaria o la cadena agroindustrial?* (3rd ed.). ETC Group.
- FAO. (2004). *La ética de la intensificación sostenible de la agricultura*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Fischer, J., Abson, D. J., Butsic, V., Chappell, M. J., Ekroos, J., Hanspach, J., Kuemmerle, T., Smith, H. G., & von Wehrden, H. (2014). Land sparing versus land sharing: Moving forward. *Conservation Letters*, 7(3), 149–157. <https://doi.org/10.1111/conl.12084>
- Fischer, J., Stott, J., & Law, B. S. (2010). The disproportionate value of scattered trees. *Biological Conservation*, 143(6), 1564–1567. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.030>
- Fuentealba, B. D., & González-Esquível, C. (2016). Sistemas silvopastoriles tradicionales en México.



- In A. I. Moreno-Calles, A. Casas, V. M. Toledo, & M. Vallejo (Eds.), *Etnoagroforestería en México* (pp. 238–261). UNAM.
- Funes-Aguilar, F., García, L., Bourque, M., Pérez, N., & Rosset, P. (2001). *Transformando el campo cubano: avances de la agricultura sostenible* (Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ed.)). Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)* (5th ed.). Instituto de Geografía, UNAM.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Editorial Gedisa.
- Gentry, A. H. (1942). Rio Mayo plants. *Carn. Inst. Wash. Publ.*, 527, 1–138.
- Gentry, A. H. (1946). Sierra Tacuichamona – a Sinaloan plant locale. *Bull. Torr. Bot. Club*, 73, 356–362.
- Gentry, A. H. (1982). Patterns of Neotropical plant species diversity. In M. K. Hecht (Ed.), *Evolutionary Biology* (pp. 1–84). Plenum Press.
- Gentry, A. H. (1995). Diversity and floristic composition of tropical dry forests. In S. H. Bulluck, H. A. Mooney, & E. Medina (Eds.), *Seasonally dry tropical forests* (pp. 146–194). Cambridge University Press.
- Gentry, A. H. (1995). Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. In S. H. Bullock, H. A. Mooney, & E. Medina (Eds.), *Seasonally Dry Tropical Forests* (pp. 146–194). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511753398.007>
- Gerritsen, P. (2002). *Diversity at stake. A Farmer's Perspective on Biodiversity and Conservation in Western Mexico*. Wageningen Universiteit.
- Gerritsen, P. (2010). *Perspectivas campesinas sobre el manejo de los recursos naturales*. Mundi-Prensa y Universidad de Guadalajara.
- Gerritsen, P. R. W. (2018). Manejo campesino de paisajes rurales: estudio de caso en el Occidente de México. *Cuadernos Geográficos*, 57(2), 304–325. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.6029>
- Giraldo, O. F. (2018). Ecología política de la agricultura. Agroecología y posdesarrollo. In *NASPA Journal* (1st ed.). El Colegio de la Frontera Sur.
- Glaser, B., & Strauss, A. (1967). *The Discovery of Grounded Theory. Strategies for Qualitative Research*. Aldine Press.
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
- González-Gómez, J. C., Madrigal-Sánchez, X., Ayala-Burgos, A., Juárez-Caratachea, A., & Gutiérrez-Vázquez, E. (2006). Especies arbóreas de uso múltiple para la ganadería en la región de Tierra Caliente del estado de Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development*, 18(8), 19–33.
- Graeub, B., Chappell, M., Wittman, H., Ledermann, S., Kerr, R., & Gemmill-Herre, B. (2016). The State of Family Farms in the World. *World Development*, 87, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.05.012>
- Han, B.-C. (2012). *La sociedad del cansancio*. Herder Editorial.
- Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Marquet, P. A., Enquist, B. J., Midgley, G., Foden, W., Lovett, J. C., Corlett, R. T., Corcoran, D., Butchart, S. H. M., Boyle, B., Feng, X., Maitner, B., Fajardo, J., McGill, B. J., Merow, C., Morueta-Holme, N., Newman, E. A., Park, D. S., ... Svenning, J.-C. (2020). 30% land conservation and climate action reduces tropical extinction risk by more than 50%. *Ecography*, 43, 1–11. <https://doi.org/10.1111/ecog.05166>
- Hendershot, J. N., Smith, J. R., Anderson, C. B., Letten, A. D., Frishkoff, L. O., Zook, J. R., Fukami, T., & Daily, G. C. (2020). Intensive farming drives long-term shifts in avian community composition. *Nature*, 579. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2090-6>

- Hernández-X., E. (1990). El sistema agrícola de la roza-tumba-quema en Yucatán y su capacidad de sostenimiento. In T. Rojas-Rabiela & W. Sanders (Eds.), *Agricultura indígena: presente y pasado* (pp. 343–358). Ediciones de la Casa Chata.
- Herrera-Castro, N. D. (1993). Los huertos familiares mayas en Xuilub, Yucatán, México: aspectos generales y estudio comparativo entre la flora de los huertos familiares y la selva. *Biótica*, 1, 19–36.
- Hollingshead, A. B. (1940). Human Ecology and Human Society. *Ecological Monographs*, 10(3), 354–366.
- Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC). (2013). *Climate change. The physical science basis*.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. www.ipbes.net
- Janzen, D. H. (1988). Tropical dry forests: The most endangered major tropical ecosystem. In E. O. Wilson & F. M. Peters (Eds.), *Biodiversity* (pp. 130–137). National Academy Press.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Jost, L., & González-Oreja, J. A. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana*, 56(1–2), 3–14.
- Kenter, J. O. (2018). IPBES: Don't throw out the baby whilst keeping the bathwater; Put people's values central, not nature's contributions. *Ecosystem Services*, 33(March), 40–43. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.08.002>
- Larios, C., Casas, A., Vallejo, M., Moreno-Calles, A. I., & Blancas, J. (2013). Plant management and biodiversity conservation in Náhuatl homegardens of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1746-4269-9-74>
- Leavenworth, W. C. (1946). A preliminary study of the vegetation of the region between Cerro Tancitaro and the Rio Tepalcatepec, Michoacan, Mexico. *Amer. Midl. Natur.*, 36, 137–206.
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI Editores.
- Lele, S., Springate-baginski, O., Lakerveld, R., Deb, D., & Dash, P. (2013). Ecosystem Services: Origins, Contributions, Pitfalls, and Alternatives. *Conservation and Society*, 11(4), 343–358. <https://doi.org/10.4103/0972-4923.125752>
- Lemos, M. C., & Agrawal, A. (2006). Environmental governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 31(1), 297–325. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.31.042605.135621>
- Leopold, A. S. (1950). Vegetation zones of Mexico. *Ecology*, 31, 507–518.
- Lira, R., Casas, A., Rosas-López, R., Paredes-Flores, M., Pérez-Negrón, E., Rangel-Landa, S., Solís, L., Torres, I., & Dávila, P. (2009). Traditional Knowledge and Useful Plant Richness in the Tehuacán–Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany*, 63(3), 271–287. <https://doi.org/10.1007/s12231-009-9075-6>
- MacNeish, R. S. (1967). A summary of the subsistence. In D. S. Byers (Ed.), *The prehistory of the Tehuacán Valley. Volume 1. Environment and Subsistence* (pp. 290–309). University of Texas Press.
- Marcon, E., & Hérault, B. (2015). entropart: An R Package to Measure and Partition Diversity. *Journal of Statistical Software*, 67(8), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i08>
- Mariaca-Méndez, R. (2003). Prácticas, decisiones y creencias agrícolas mágico-religiosas presentes en el Sureste de México. *Etnobiología*, 3(1), 66–78.
- Martínez-Ballesté, A., & Caballero, J. (2016). Management compromises and the sustainability of

- palm populations in Mayan homegardens. *Botanical Sciences*, 94(2), 291–300.
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370–396. <https://doi.org/doi.org/10.1037/h0054346>
- Max-Neef, M., Elizalde, A., & Hopenhayn, M. (1998). Desarrollo a escala humana. Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones. In M. Max-Neef, A. Elizalde, & M. Hopenhayn (Eds.), *Revue Tiers Monde* (2nd ed., Vol. 36, Issue 142). Icaria Editorial.
- McKeon, N. (2015). Food security governance. In *Routledge Critical Security Studies Series*. Routledge. <https://doi.org/doi:10.4324/9781315882529>
- McNeely, J. A. (2004). Nature vs. nurture: managing relationships between forests, agroforestry and wild biodiversity. *Agroforestry Systems*, 61(April), 155–165. <https://doi.org/10.1023/B>
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Cruz, J., Cortés-Flores, J., Rendón-Sandoval, F. J., & Ibarra-Manríquez, G. (2014). Composición, estructura y diversidad de la comunidad arbórea del bosque tropical caducifolio en Tziritzícuaró, Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 1117–1128. <https://doi.org/10.7550/rmb.43457>
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V., & Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491–505. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being. Biodiversity synthesis*. <https://www.millenniumassessment.org>
- Miranda, F. (1952). *La vegetación de Chiapas*. Ediciones del Gobierno del Estado.
- Miranda, F., & Hernández-X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. México*, 28, 29–179.
- Miranda, F., & Hernández-X., E. (2014). *Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Edición conmemorativa 1963-2013*. Fondo de Cultura Económica, Sociedad Botánica de México y CONABIO.
- Monroy-Sais, A. S. (2019). *Estrategias de manejo y valoración de los recursos naturales en la región Costa Sur de Jalisco, México*. UNAM.
- Montes-Londoño, I. (2017). *Tropical Dry Forests in Multi-functional Landscapes: Agroforestry Systems for Conservation and Livelihoods* (F. Montagnini (ed.); pp. 47–78). Springer.
- Moreno-Calles, A., Casas, A. (2008). Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del valle de Tehuacán, México. *Zonas Áridas*, 12, 13–35. <https://doi.org/10.21704/ZA.V12I1.187>
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Blancas, J., Torres, I., Masera, O., Caballero, J., García-Barrios, L. E., Pérez-Negrón, E., & Rangel-Landa, S. (2010). Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán Valley, Central México. *Agroforestry Systems*, 80, 315–331. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9349-0>
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Rivero-Romero, A. D., Romero-Bautista, Y. A., Rangel-Landa, S., Fisher-Ortíz, R. A., Alvarado-Ramos, F., Vallejo-Ramos, M., & Santos-Fita, D. (2016). Ethnoagroforestry: integration of biocultural diversity for food sovereignty in Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12(54). <https://doi.org/10.1186/s13002-016-0127-6>
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Toledo, V. M., & Vallejo, M. (2016a). Etnoagroforestería en México, los proyectos y la idea del libro. In A. I. Moreno-Calles, A. Casas, V. M. Toledo, & M. Vallejo (Eds.), *Etnoagroforestería en México* (pp. 10–24). UNAM.
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Toledo, V. M., & Vallejo, M. (2016b). *Etnoagroforestería en México*. UNAM.
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Toledo, V. M., & Vallejo, M. (2016c). Perspectivas: el camino por delante para la Etnoagroforestería. In *Etnoagroforestería en México* (pp. 288–295). UNAM.
- Moreno-Calles, A. I., Galicia-Luna, V., Casas, A., Toledo, V. M., Vallejo-Ramos, M., Santos-Fita, D.,

- & Amou-Guerrero, A. (2014). La Etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología*, 12(3), 1–16. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2016.57.007>
- Moreno-Calles, A. I., García-Frapolli, E., Casas, A., & 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, 207–226. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9460-x>
- Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M., & Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375–398. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17129/botsci.419>
- Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M., & Casas, A. (2014). La importancia biocultural de los sistemas agroforestales tradicionales de México. In L. Olive & L. Lazos-Ramírez (Eds.), *Hacia un modelo intercultural de sociedad del conocimiento en México* (pp. 35–56). UNAM.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249–1261.
- Murphy, P. G., & Lugo, A. E. (1986). Ecology of Tropical Dry Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17(1), 67–88. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.17.110186.000435>
- Nair, P. K. R. (1985). Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3(2), 97–128. <https://doi.org/10.1007/BF00122638>
- Noble, I. R., & Dirzo, R. (1997). Forests as Human-Dominated Ecosystems. *Science*, 227, 522–525. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.522>
- Norgaard, R. B. (2010). Ecosystem services: From eye-opening metaphor to complexity blinder. *Ecological Economics*, 69(6), 1219–1227. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.009>
- Ochoterena, I. (1923). Las regiones geográfico-botánicas de México. *Rev. Esc. Nac. Prepar. Méx.*, 1, 261–331.
- Odum, E. P. (1989). *Ecology and our endangered life-support systems*. Sinauer Associates, Inc.
- Olson, D. M., & Dinerstein, E. (2002). The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89(2), 199–224. <https://doi.org/10.2307/3298564>
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D’amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P., & Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *BioScience*, 51(11), 933–938. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2)
- Ostrom, E. (2005). *Understanding Institutional Diversity*. Princeton University Press.
- Ostrom, E. (2007). A diagnostic approach for going beyond panaceas. *PNAS*, 104(39), 15181–15187. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702288104>
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325, 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Palerm, J. V. (1997). La persistencia y expansión de sistemas agrícolas tradicionales: el caso del huamil en el Bajío mexicano. *Monograf. Jard. Bot. Córdoba*, 5, 121–133.
- Pálsson, G. (1996). Human-environmental relations: orientalism, paternalism and communalism. In P. Descola & G. Pálsson (Eds.), *Nature and Society. Anthropological perspectives* (pp. 63–81). Routledge.
- Pascual, U., Phelps, J., Garmendia, E., Brown, K., Corbera, E., & Martin, A. (2014). Social Equity Matters in Payments for Ecosystem Services. *BioScience*, 64(11), 1027–1036. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu146>
- Pennington, R. T., Lavin, M., & Oliveira-Filho, A. (2009). Woody Plant Diversity, Evolution, and Ecology in the Tropics: Perspectives from Seasonally Dry Tropical Forests. *Annual Review of*

- Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 437–457.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120327>
- Pennington, T. D., & Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México* (3rd ed.). UNAM, Fondo de Cultura Económica.
- Pérez-Negrón, E., & Casas, A. (2007). Use, extraction rates and spatial availability of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: The case of Santiago Quiotepec, Oaxaca. *Journal of Arid Environments*, 70(2), 356–379. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.12.016>
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2008). Biodiversity Conservation in Tropical Agroecosystems. A New Conservation Paradigm. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134, 173–200. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.011>
- Ploeg, J. D. (1997). On rurality, rural development and rural sociology. In H. Haan & N. Long (Eds.), *Images and realities of rural life. Wageningen perspectives on rural transformations* (pp. 39–73). Van Gorcum Publishers.
- Ploeg, J. D. (2010). *Nuevos campesinos. Campesinos e imperios alimentarios*. Icaria.
- Polasky, S., & Segerson, K. (2009). Integrating Ecology and Economics in the Study of Ecosystem Services: Some Lessons Learned. *Annual Review of Resource Economics*, 1, 409–434. <https://doi.org/10.1146/annurev.resource.050708.144110>
- Pretty, J. (2004). How nature contributes to mental and physical health. *Spirituality and Health International*, 5(2), 68–78. <https://doi.org/10.1002/shi.220>
- Pretty, J., Adams, B., Berkes, F., Ferreira, S., Athayde, D., & Dudley, N. (2009). The Intersections of Biological Diversity and Cultural Diversity: Towards Integration. *Conservation and Society*, 7(2), 100–112. <https://doi.org/10.4103/0972-4923.58642>
- Puig, H. (1974). *Phytogéographie et écologie de la Huasteca (NE du Mexique)*. Université Paul Sabatier.
- Rangel-Landa, S., Casas, A., García-Frapolli, E., & Lira, R. (2017). Sociocultural and ecological factors influencing management of edible and non-edible plants: the case of Ixcatlán, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(59), 1–43. <https://doi.org/10.1186/s13002-017-0185-4>
- Rappaport, R. A. (1971). Naturaleza, cultura y antropología ecológica. In H. C. Shapiro (Ed.), *Hombre, cultura y sociedad*. Fondo de Cultura Económica.
- Rappaport, R. A. (1990). Ecosystems, populations and people. In E. F. Morán (Ed.), *The ecosystem approach in anthropology. From concept to practice* (pp. 41–71). The University of Michigan Press.
- Remmers, G. G. A., & Ukán-Ek, E. (1996). La roza-tumba-quema Maya: un sistema agroecológico tradicional frente al cambio tecnológico. *Etnoecológica*, 4(5), 97–109.
- Rendón-Sandoval, F. J. (2020). El potencial de los sistemas agroforestales en la conservación y restauración de la vegetación nativa de la Caatinga. In P. Sena, B. Pinho, D. Gomes Sousa, F. Pimentel Lopes de Melo, M. Tabarelli, & I. R. Leal (Eds.), *Ecologia da Caatinga: curso de campo 2018* (1st ed., pp. 108–119). UFPE.
- Rendón-Sandoval, F. J., Casas, A., Moreno-Calles, A. I., Torres-García, I., & García-Frapolli, E. (2020). Traditional Agroforestry Systems and Conservation of Native Plant Diversity of Seasonally Dry Tropical Forests. *Sustainability*, 12, 4600. <https://doi.org/10.3390/su12114600>
- Rendón-Sandoval, F. J. (2021). Casas, A., Sinco-Ramos, P. G., García-Frapolli, E. & Moreno-Calles, A. I. Peasants' Motivations to Maintain Vegetation of Tropical Dry Forests in Traditional Agroforestry Systems from Cuicatlán, Oaxaca, Mexico. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 682207. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.682207>
- Ribeiro, E. M. S., Arroyo-Rodríguez, V., Santos, B. A., Tabarelli, M., & Leal, I. R. (2015). Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga

- vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 611–620. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12420>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>
- Rojas-Rabiela, T. (1991). La agricultura en la época prehispánica. In T. Rojas-Rabiela (Ed.), *La agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días* (pp. 15–138). Grijalbo.
- Rosset, P., & Altieri, M. (2019). Evidencias de la efectividad de la Agroecología. In P. Rosset & M. Altieri (Eds.), *Agroecología: ciencia y política* (1a ed., pp. 87–119). Universidad de Zacatecas.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa.
- Rzedowski, J. (1991). El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana*, 15, 47–64. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Rzedowski, J., & Calderón, G. (2013). Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del bosque tropical caducifolio de México. *Acta Botánica Mexicana*, 102, 1–23.
- Rzedowski, J., & McVaugh, R. (1966). La vegetación de Nueva Galicia. *Contr. Univ. Michigan Herb.*, 9(1), 1–123.
- Sánchez-Azofeifa, G. A. (2005). Research priorities for Neotropical dry forests. *Biotropica*, 37, 477–485.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., Quesada, M., Cuevas-Reyes, P., Castillo, A., & Sánchez-Montoya, G. (2009). Land cover and conservation in the area of influence of the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 907–912. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.030>
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental–Especies nativas de México de flora y fauna silvestre– Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio– Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación (DOF) 30-12-2010.
- SEMARNAT. (2019). *Experiencias de Agroforestería en México* (A. I. Moreno-Calles (ed.); SEMARNAT).
- Shiva, V. (2016). *Who Really Reeds the World? The Failures of Agribusiness and the Promise of Agroecology*. North Atlantic Books.
- Smith, C. E. (1967). Plant Remains. In D. S. Byers (Ed.), *The prehistory of the Tehuacán Valley. Volume 1. Environment and Subsistence* (pp. 220–255). University of Texas Press.
- Steward, J. (1955). El concepto y el método de la ecología cultural. *Clásicos Contemporáneos En Antropología*, 1(2)(Alihan 1938), 2–11.
- Swift, T. L., & Hannon, S. J. (2010). Critical thresholds associated with habitat loss: a review of the concepts, evidence, and applications. *Biological Reviews*, 85, 35–53. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2009.00093.x>
- Taubert, F., Fischer, R., Groeneveld, J., Lehmann, S., Müller, M. S., Rödig, E., Wiegand, T., & Huth, A. (2018). Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature*, 554(7693), 519–522. <https://doi.org/10.1038/nature25508>
- Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1987). Análisis de los datos en la investigación cualitativa. In *Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados* (pp. 152–176). Paidós.
- Terán, S., & Rasmussen, C. (1994). *La milpa de los mayas. La agricultura de los mayas prehispánicos y actuales en el noroeste de Yucatán*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>



- Thrupp, L. A., Hecht, S., Browder, J. O., Lynch, O. J., Megateli, N., & O'Brien, W. (1997). *The diversity and dynamics of shifting cultivation: myths, realities, and policy implications*. World Resources Institute.
- Toledo, V. M., Ortiz-Espejel, B., Cortés, L., Moguel, P., & Ordoñez, M. de J. (2003). The multiple use of tropical forests by indigenous peoples in Mexico: A case of adaptive management. *Ecology and Society*, 7(3), 1–18. <https://doi.org/10.5751/ES-00524-070309>
- Toledo, V. M. (1992). What is ethnoecology? Origins, scope, and implications of a rising discipline. *Etnoecológica*, 1, 5–21.
- Toledo, V. M. (2002). Ethnoecology: a conceptual framework for the study of indigenous knowledge of nature. In J. R. Stepp, F. Wyndham, & R. Zarger (Eds.), *Ethnobiology and Biocultural Diversity* (pp. 511–522). International Society of Ethnobiology.
- Toledo, V. M. & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Icaria Editorial.
- Toledo, V. M. & Boege, E. (2010). La biodiversidad, las culturas y los pueblos indígenas. In V. M. Toledo (Ed.), *La biodiversidad de México* (pp. 160–192). Fondo de Cultura Económica, CONACULTA.
- Trejo, I. (1999). El clima de la selva baja caducifolia en México. *Investigaciones Geográficas*, 39, 40–52. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n39/n39a3.pdf>
- Trejo, I. & Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: A national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*, 94(2), 133–142. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00188-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00188-3)
- Trejo, I. & Dirzo, R. (2002). Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation*, 11(11), 2063–2084. <https://doi.org/10.1023/A:1020876316013>
- Turner, B. L. (1960). Phytogeographic reconnaissance: the western segment of the Michoacan coast. In D. D. Brand (Ed.), *Coacomán and Motines de Oro* (pp. 272–282). The Hague.
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., Arizmendi, M. del C., Villaseñor, J. L., & Ortega Ramirez, J. (2000). La vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 67, 24–74. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1625>
- Valiente-Banuet, A., Solís, L., Dávila, P., Arizmendi, M. del C., Silva, C., Ortega-Ramírez, J., Treviño, J., Rangel-Landa, S. & Casas, A. (2009). *Guía de la Vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. UNAM-CONABIO. <https://doi.org/10.13140/2.1.3500.6247>
- Vallejo, M., Casas, A., Blancas, J., Moreno-Calles, A. I., 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(1), 125–140. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9660-7>
- Vallejo, M., Casas, A., Pérez-Negrón, E., Moreno-Calles, A. I., Hernández-Ordoñez, O., Tellez, O., & Dávila, P. (2015). Agroforestry systems of the lowland alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: an evaluation of their biocultural capacity. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11(8). <https://doi.org/10.1186/1746-4269-11-8>
- Vallejo, M., Moreno-Calles, A. I., & Casas, A. (2016). TEK and biodiversity management in agroforestry systems of different sociocological contexts of the Tehuacán Valley. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s13002-016-0102-2>
- Villaseñor, J. L., & Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 1–9. <https://doi.org/10.7550/rmb.31987>
- Wolf, E. R. (1955). Types of Latin American Peasantry: A Preliminary Discussion. *American Anthropologist*, 57(3), 452–471. <https://doi.org/10.1525/aa.1955.57.3.02a00050>
- Zomer, R. J., Trabucco, A., Coe, R., & Place, F. (2009). Trees on Farm: Analysis of Global Extent and Geographical Patterns of Agroforestry. In *ICRAF Working Paper* (Vol. 89).

## ANEXOS

**Anexo 1.** Especies perennes (registradas en 18 unidades muestrales de 500 m<sup>2</sup>) de selva tropical estacionalmente seca y sistemas agroforestales tradicionales (SAFT) en la región de La Cañada, Cuicatlán, Oaxaca, México. Especies endémicas de México (\*), endémicas de los estados de Oaxaca y Puebla (\*\*), endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (\*\*\*), microendémicas de La Cañada Oaxaqueña (\*\*\*\*), especies endémicas resguardadas en SAFT (+), especies consideradas raras en la región por registrarse en un solo sitio (<sup>1</sup>), nuevo registro para Oaxaca (!), especies cultivadas (<sup>C</sup>). Forma de crecimiento (FC): Árbol (A), arbusto (a), trepadora leñosa o liana (li), rosetófila (ro), árbol o arbusto (Aa), arbusto o árbol pequeño (aA). Contribuciones (Cont.): materiales (M), reguladoras (R), inmateriales (I).

FC	Familia	Especie	Nombre local	Cont.
a	ACANTHACEAE	<i>Anisacanthus quadrifidus</i>		
a		<i>Justicia candicans</i>		
a		<i>Ruellia hirsutoglandulosa</i> *+		
a		<i>Tetramerium glandulosum</i> *		
a	ACHATOCARPACEAE	<i>Phaulothamnus spinescens</i> !		M
A	ANACARDIACEAE	<i>Cyrtocarpa procera</i> *	Chupandía	M
A		<i>Mangifera indica</i> <sup>C</sup>	Mango	M
A		<i>Spondias purpurea</i>	Ciruelo	M
A	ANNONACEAE	<i>Annona reticulata</i> <sup>C</sup>	Anona, anono	M
A	APOCYNACEAE	<i>Cascabela thevetia</i>	Venenillo	M, R
li		<i>Marsdenia</i> sp.		
A		<i>Plumeria rubra</i>	Cacaloxóchitl	I
aA		<i>Vallesia glabra</i>	Chinto borrego	M
ro	ASPARAGACEAE	<i>Agave angustifolia</i>	Espadín, maguey	M, R
ro		<i>Agave macroacantha</i> ***	Maguey	M, R
ro		<i>Agave quiotepecensis</i> ****+	Rabo de león	M, R
ro		<i>Agave seemanniana</i>	Mano de león	M, R
a	ASTERACEAE	<i>Parthenium tomentosum</i> *		
a		<i>Viguiera dentata</i>	Chimalacate	R
a	BIGNONIACEAE	<i>Tecoma stans</i>	Tronadora	I
Aa	BORAGINACEAE	<i>Bourreria obovata</i> ** <sup>1</sup> +	Zapotillo	M
a		<i>Heliotropium ternatum</i>	Hierba del alacrán	M
a		<i>Varronia curassavica</i>		
a		<i>Varronia oaxacana</i> *+		
ro	BROMELIACEAE	<i>Hechtia aff. aquamarina</i> ***	Lechuguilla	R
ro		<i>Hechtia aff. fragilis</i> ***	Lechuguilla	R
A	BURSERACEAE	<i>Bursera aptera</i> *+	Brea, cuajote amarillo	M, I
A		<i>Bursera fagaroides</i>	Cuajote verde / blanco	M
A		<i>Bursera graveolens</i>	Aceitillo	M
A		<i>Bursera linanoe</i> *+	Inanoe, linaloe	M, I
A		<i>Bursera morelensis</i> *+	Mulato, cuajote colorado	M
aA		<i>Bursera schlechtendalii</i>	Aceitillo, cuajote colorado	M
A		<i>Bursera submoniliformis</i> *+	Copalillo, copal de alebrije	M, I

FC	Familia	Especie	Nombre local	Cont.
a	CACTACEAE	<i>Acanthocereus subinermis</i> *+	Nopal de cruz	M, R
a		<i>Coryphantha calipensis</i> ***+	Biznaga, chilillos	M, I
Aa		<i>Escontria chiotilla</i> *+	Jiotilla, quietilla, xonostle	M
a		<i>Ferocactus recurvus</i> ***+	Biznaga	M, I
Aa		<i>Lophocereus marginatus</i> *+	Órgano	M
a		<i>Mammillaria carnea</i> **+	Biznaga, chilitos	M
Aa		<i>Myrtillocactus geometrizans</i> *+	Padrenuestro, garambullo	M
A		<i>Neobuxbaumia tetetzo</i> ***+	Tetecho	M
a		<i>Opuntia decumbens</i>	Cocoche loco, nopal	R
a		<i>Opuntia depressa</i> *+	Cocoche, nopal	M
Aa		<i>Opuntia pilifera</i> *+	Cocoche, nopal	M
a		<i>Opuntia pubescens</i>	Chile de perro	R
Aa		<i>Opuntia velutina</i> *	Cocoche	M
a		<i>Opuntia aff. tehuacana</i> ***	Cocoche loco, nopal	R
A		<i>Pachycereus weberi</i> *+	Cardón	M
Aa		<i>Pilosocereus chrysacanthus</i> **	Barba de viejo, nanabuella	M
Aa		<i>Stenocereus pruinosus</i> **+	Pitayo	M
Aa		<i>Stenocereus stellatus</i> *+	Tunillo, tuna	M
a	CANNABACEAE	<i>Celtis pallida</i>	Rompezallo	M
A	CAPPARACEAE	<i>Quadrella incana</i>	Matagallina	M
a	CELASTRACEAE	<i>Schaefferia stenophylla</i> ** <sup>1</sup>		M
li		<i>Semialarium mexicanum</i>		
a	CONVOLVULACEAE	<i>Ipomoea pauciflora</i>		M
li	CUCURBITACEAE	<i>Doyerea emetocathartica</i>	Bejuco	
aA	ERYTHROXYLACEAE	<i>Erythroxylum rotundifolium</i>		M
aA	EUPHORBIACEAE	<i>Adelia oaxacana</i> *+		M
aA		<i>Cnidoscolus tubulosus</i>	Mala mujer	M
a		<i>Croton alamosanus</i> *+		
a		<i>Croton mazapenzis</i>	Nanche	
a		<i>Croton sonarae</i> *+		
Aa		<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	Cuajote colorado / rojo	M
a		<i>Euphorbia tithymaloides</i>	Cordobán, zapatitos	M
aA		<i>Jatropha neopauciflora</i> ***	Sangre de grado	M
Aa		<i>Sebastiania pavoniana</i>	Chilillo	M
A	FABACEAE	<i>Acacia cochliacantha</i> *+	Cucharito	M
A		<i>Acacia coulteri</i> *+	Guapinole	M, R
a		<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	M
A		<i>Acacia pringlei</i> * <sup>1</sup>	Quebracho, quiebracha	M
a		<i>Aeschynomene compacta</i>		
Aa		<i>Coursetia glandulosa</i> *+		M
a		<i>Dalea carthagenensis</i>	Escobillo	M
A		<i>Erythrina americana</i> <sup>C</sup>	Pipe	M
A		<i>Leucaena leucocephala</i>	Guaje, cacique	M
A		<i>Lysiloma divaricatum</i>	Guajillo	M

FC	Familia	Especie	Nombre local	Cont.
a	FABACEAE	<i>Mimosa lactiflua</i> *	Uña de gato	M
aA		<i>Mimosa luisana</i> ***+	Uña de gato	M
a		<i>Mimosa polyantha</i> *	Rabo de iguana	M
A		<i>Parkinsonia praecox</i>	Mantecoso	M, R
A		<i>Pithecellobium dulce</i>	Guamúchil	M, R
A		<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	M, R
A		<i>Senna atomaria</i>	Oaxaqueño, vainillo	M
Aa		<i>Senna wislizeni</i>	Novio, palo hueso, huesillo	M
a		<i>Tephrosia</i> sp.		
A	FOUQUIERIACEAE	<i>Fouquieria formosa</i> *	Tlapacón	M, R
A	HERNANDIACEAE	<i>Gyrocarpus mocinoi</i>	Hediondo, volador	
A	JULIANACEAE	<i>Amphipterygium adstringens</i>	Cuachalalá	M
Aa	MALPIGHIACEAE	<i>Bunchosia montana</i>	Nanche	M
a		<i>Calccicola parvifolia</i> **+		
a-li		<i>Echinopterys eglandulosa</i> *+		
Aa		<i>Malpighia galeottiana</i> **+	Maromero	M
li		<i>Stigmaphyllon selerianum</i> *		
a	MALVACEAE	<i>Allowissadula pringlei</i> *		
a		<i>Ayenia ovata</i> *		
A		<i>Ceiba parvifolia</i> *+	Pochote, pochotle	M
A		<i>Guazuma ulmifolia</i>	Caulote	M, R
a		<i>Melochia tomentosa</i>	Tapacola	M
a		<i>Waltheria indica</i>		
A	MELIACEAE	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	M
A		<i>Swietenia humilis</i>	Caoba	M
A	MYRTACEAE	<i>Psidium guajava</i> <sup>C</sup>	Guayabo	M
A	OPILIACEAE	<i>Agonandra obtusifolia</i> *		
aA	PLOCOSPERMATACEAE	<i>Plocosperma buxifolium</i>	Huesito	N
aA	POLYGONACEAE	<i>Podopterus mexicanus</i>	Negrilo	M
A		<i>Ruprechtia fusca</i> *+	Guayabillo, caulotillo	
aA	RHAMNACEAE	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Agalán	M
A		<i>Colubrina elliptica</i> <sup>1</sup>	Palo prieto	M
Aa		<i>Rhamnus</i> sp.		
Aa		<i>Ziziphus amole</i> *+	Manzanito	M
Aa		<i>Ziziphus pedunculata</i> *+	Cholulo	M
a	RUBIACEAE	<i>Hamelia patens</i>		
A		<i>Hintonia latiflora</i>	Garañona	M
Aa		<i>Randia thurberi</i>	Vara de cruz, zapotito	M
aA	RUTACEAE	<i>Zanthoxylum liebmannianum</i> * <sup>1</sup>	Culantrillo	M
li	SAPINDACEAE	<i>Cardiospermum halicacabum</i>		
li		<i>Serjania racemosa</i>	Bejuco	
A	SAPOTACEAE	<i>Manilkara zapota</i> <sup>C</sup>	Chico, chicozapote	M
A		<i>Sideroxylon palmeri</i> * <sup>C+</sup>	Tempesquistle	M
A		<i>Sideroxylon verruculosum</i>		

<b>FC</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre local</b>	<b>Cont.</b>
A	SIMAROUBACEAE	<i>Castela tortuosa</i>	Cenizo	M
aA	SOLANACEAE	<i>Cestrum dumetorum</i>	Huele de noche	N
A		<i>Datura stramonium</i>	Toloache	
A		<i>Solanum erianthum</i>		
A		<i>Solanum tridynamum</i> *+		
A	VERBENACEAE	<i>Lantana achyranthifolia</i>		
A		<i>Lantana camara</i>		
A		<i>Lippia bracteosa</i>		
A		<i>Lippia graveolens</i>	Oreganillo, orégano cimarrón	M
li		<i>Petrea volubilis</i>	Gorro de nene, solterito	I
li	VITACEAE	<i>Cissus trifoliata</i>		

**Anexo 2.** Guion de la entrevista semiestructurada realizada a los campesinos que manejan los sistemas agroforestales tradicionales (SAFT) estudiados.

Nombre \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_ Fecha \_\_ / \_\_ /20\_\_

Localidad \_\_\_\_\_ Sistema \_\_\_\_\_

❖ **COMPONENTE AGRÍCOLA**

¿Qué cultivos tiene en sus parcelas? Maíz ( ), frijol ( ), limón ( ), otros ( ) \_\_\_\_\_

¿Siembra diferentes variedades (tipos, clases) de un mismo cultivo?

a) De maíz \_\_\_\_\_

b) De frijol \_\_\_\_\_

c) De limón \_\_\_\_\_

d) De otros \_\_\_\_\_

+ ¿Cuál es el cultivo que tiene mayor importancia para usted? \_\_\_\_\_

+ ¿Por qué es importante? \_\_\_\_\_

¿Algún cultivo necesita abono o fertilizante?

a) Maíz ¿De cuál? \_\_\_\_\_

b) Frijol \_\_\_\_\_

c) Limón \_\_\_\_\_

d) Otros \_\_\_\_\_

¿Por qué usa abono? \_\_\_\_\_

¿Qué plagas o enfermedades ha visto en sus cultivos (o plantas silvestres) \_\_\_\_\_

¿Cómo las controla? (producto o manejo) \_\_\_\_\_

¿Deja descansar la tierra? Si ( ), No ( ). ¿Cuánto tiempo? \_\_\_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_

¿Qué maquinaria o herramienta usa para las labores (preparar la tierra, sembrar, labrar o cosechar)?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

+ ¿Quema la vegetación de su parcela? Si ( ), No ( ).

+ ¿Para qué quema la vegetación? \_\_\_\_\_

¿Qué tipo de riego utiliza? \_\_\_\_\_

¿Cuánto gasta en?

a) Semilla \$ \_\_\_\_\_



- b) Abono \$ \_\_\_\_\_
- c) Yunta / tractor \$ \_\_\_\_\_
- d) Venenos (insecticidas) para plagas \$ \_\_\_\_\_
- e) Herbicidas (desyerbar) \$ \_\_\_\_\_
- f) Jornales (sembradores) \$ \_\_\_\_\_

¿Quiénes trabajan en su parcela? (familia, jornaleros, comunidad). ¿En qué período?

---

+ ¿Escoge (o selecciona) su semilla al final del ciclo agrícola? Si ( ), No ( ).

+ ¿Cómo escoge su semilla? \_\_\_\_\_

+ ¿Cómo guarda su semilla? \_\_\_\_\_

+ ¿Cuál es el destino de su cosecha? Venta \$ ( ), Autoconsumo ( ), Forraje ( ), Otro ( ). ¿En qué la emplea? \_\_\_\_\_

+ ¿De dónde obtuvo su semilla? Comprada ( ), Regalada ( ), Propia ( ).

+ Si es propia, ¿Desde hace cuántos años la tiene? \_\_\_\_ ¿De quién era antes? \_\_\_\_\_

+ Comprada, ¿A quién se la compró? \_\_\_\_\_ ¿De dónde era la persona? \_\_\_\_\_

+ Regalada, ¿Quién se la regaló? \_\_\_\_\_ ¿De dónde era la persona? \_\_\_\_\_

+ ¿Ha vendido semilla? Si ( ), No ( ).

+ ¿A quién? \_\_\_\_\_ ¿De dónde era la persona? \_\_\_\_\_

+ ¿Ha regalado semilla? Si ( ), No ( ).

+ ¿A quién? \_\_\_\_\_ ¿De dónde era la persona? \_\_\_\_\_

+ ¿Cuál fue la razón de la venta/regalo? \_\_\_\_\_

+ ¿A perdido semilla? Si ( ), No ( ). ¿Cuál variedad? \_\_\_\_\_

+ ¿Hace cuántos años que la perdió? \_\_\_\_ ¿Por qué motivo? \_\_\_\_\_

+ ¿Le gustaría recuperarla? Si ( ), No ( ). ¿Por qué? \_\_\_\_\_

#### ❖ CARACTERÍSTICAS E HISTORIA DE LA PARCELA

No. de parcelas \_\_\_\_\_ Tiempo de uso (dueño actual) \_\_\_\_\_ Total \_\_\_\_\_

Tamaño \_\_\_\_\_ (Ha/parcela)

Tenencia (ejidal, comunal, otro) \_\_\_\_\_

¿Tiene alguna otra actividad? agricultor ( ), cría de chivos ( ), comercio ( ), servicios ( ), jornalero ( ), oficio ( ), profesionalista ( ), otra ( ) \_\_\_\_\_

¿Qué se ha sembrado antes? \_\_\_\_\_ ¿De quién era? \_\_\_\_\_

Situaciones particulares \_\_\_\_\_

❖ **MANEJO DE LA VEGETACIÓN**

¿Deja árboles en su parcela cuando la abre al desmonte? Si ( ), No ( ).

¿Por qué? \_\_\_\_\_

¿Realiza aclareos? Si ( ), No ( ).

¿Qué plantas del monte tiene en su parcela?

\_\_\_\_\_

¿Cuáles plantas prefiere mantener en sus parcelas? (grandes, sanas, útiles, escasas, raras)

\_\_\_\_\_

¿Cuáles plantas siempre quita de las parcelas? (chicas, enfermas, estorban, sin utilidad, muy abundantes) \_\_\_\_\_

¿Cuáles son las plantas que le parece mejor dejar en sus parcelas y por qué?

1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_

5 \_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_

7 \_\_\_\_\_ 8 \_\_\_\_\_

9 \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_

❖ **CONTRIBUCIONES DE LA VEGETACIÓN**

En orden de importancia del 1 al 10 ¿Qué grupos de plantas prefiere dejar en la parcela?

*Utilitarias (materiales)*

- a) Las que son comestibles ( ) ¿Cuáles? ¿Por qué? \_\_\_\_\_
- b) Leña ( ) \_\_\_\_\_
- c) Forraje o pastura ( ) \_\_\_\_\_
- d) Frutos ( ) \_\_\_\_\_
- e) Herramientas ( ) \_\_\_\_\_
- f) Medicina ( ) \_\_\_\_\_
- g) Maderables ( ) \_\_\_\_\_
- h) Construcción ( ) \_\_\_\_\_
- i) Preparar bebidas ( ) \_\_\_\_\_
- j) Otras ( ) \_\_\_\_\_

*Beneficios ecosistémicos (reguladoras)*

- a) Las que dan sombra ( ) ¿Cuáles? ¿Por qué? \_\_\_\_\_
- b) Dan abono o fertilidad ( ) \_\_\_\_\_

- c) Retienen el suelo (erosión) ( ) \_\_\_\_\_
- d) Infiltran y controlan el agua ( ) \_\_\_\_\_
- e) Barreras rompevientos ( ) \_\_\_\_\_
- f) Atraen la lluvia ( ) \_\_\_\_\_

*Manejo del cultivo*

- a) Cercos vivos ( ) ¿Cuáles? ¿Por qué? \_\_\_\_\_
- b) Guías ( ) \_\_\_\_\_
- c) Hábitat de otras especies útiles ( ) \_\_\_\_\_
- d) Dan forma al terreno ( ) \_\_\_\_\_
- e) Otras ( ) \_\_\_\_\_

*Motivaciones éticas*

- a) Son parte de la naturaleza ( ) ¿Cuáles? ¿Por qué? \_\_\_\_\_
- b) Adornan (lujo, ornamental) ( ) \_\_\_\_\_
- c) Ceremonial / ritual ( ) \_\_\_\_\_
- d) No afectan / no estorban ( ) \_\_\_\_\_
- e) Reglas de uso ( ) \_\_\_\_\_

¿Cuánto le aporta su parcela de los productos requeridos para el sustento familiar (%)? \_\_\_\_\_

¿Para cuántos meses al año le aportan sus parcelas al sustento familiar?

- a) De maíz \_\_\_\_\_
- b) De frijol \_\_\_\_\_
- c) De limón \_\_\_\_\_
- d) De calabaza \_\_\_\_\_
- e) De otros (para vender) \_\_\_\_\_

¿Dónde prefiere mantener la vegetación en la parcela? (en toda la parcela, orilla, centro, franjas)  
\_\_\_\_\_

¿Transpone (mueve) las plantas del centro a las orillas o a otros lugares? Si ( ), No ( )

¿Cuáles plantas? \_\_\_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_

¿Siembra algunas plantas en particular? Si ( ), No ( )

¿Cuáles? \_\_\_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_

¿Propaga partes de algunas plantas dentro de la parcela? Si ( ), No ( )

¿Cuáles? \_\_\_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_

¿Trae plantas o partes de plantas del cerro (brazos, semillas, tubérculos)? Si ( ), No ( ).

¿Cuáles? \_\_\_\_\_

¿Qué partes? \_\_\_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_

#### ❖ **DECISIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO O LA ELIMINACIÓN DE VEGETACIÓN**

##### *Reglas colectivas*

¿Hay reglas que eviten cortar árboles al abrir las parcelas? Si ( ), No ( ).

- a) Existen para todas las plantas (adultos, juveniles)
- b) Solo para árboles del monte o cactus
- c) Solo para árboles o plantas particulares ¿Cuáles? \_\_\_\_\_

¿Qué sanciones se tienen cuando se corta un árbol?

- a) Llamada de atención (regañó)
- b) Reparación del daño ¿Cómo? \_\_\_\_\_
- c) Multa ¿Cuánto? \_\_\_\_\_
- d) Otra \_\_\_\_\_

##### *Incentivos y programas*

¿Hay algún programa que promueva cortar árboles dentro de las parcelas? (p. ej. PROCAMPO (PROAGRO), programa de la reserva, otro) Si ( ), No ( ). \_\_\_\_\_

¿Hay algún programa que promueva reforestar o mantener árboles en las parcelas? (comunitario, ONG, investigadores, reserva, gobierno, otro) Si ( ), No ( ). \_\_\_\_\_

##### *Tenencia de la tierra, características de la parcela y producción agrícola*

¿Cuándo mantiene más árboles en la parcela? (cuando la parcela es suya, tiene muchas parcelas, está en terreno plano, en terreno grande, recién abierta, muy productiva) \_\_\_\_\_

¿Cuándo quita más árboles en la parcela? (cuando la parcela no es suya, solo tiene una parcela, está en terreno inclinado, pequeña, muy vieja, da muy poca producción) \_\_\_\_\_

¿Hay árboles o plantas que afectan a los cultivos? Si ( ), No ( ). ¿En qué sentido?

- a) Compiten por luz, agua o nutrientes ¿Cuáles? \_\_\_\_\_
- b) Dañan directamente a los cultivos ¿Cómo? \_\_\_\_\_
- c) QUITAN espacio para la siembra \_\_\_\_\_
- d) Otra \_\_\_\_\_

¿Hay árboles o plantas que benefician a los cultivos? Si ( ), No ( ).

- a) Aportan abono, agua, sombra ¿Cuáles? \_\_\_\_\_
- b) Otro \_\_\_\_\_

Para usted ¿Cuál es la mejor manera de trabajar la tierra? \_\_\_\_\_

¿Cuáles son los motivos principales para dejar árboles, matorrales o arbustos en la parcela?

\_\_\_\_\_

¿Usted, cual considera que es mejor, la agricultura tradicional (de autoconsumo) ( ) o la producción agroindustrial (para vender, exportar) ( )? ¿Por qué? \_\_\_\_\_

¿Usted conoce el término SAF? Si ( ), No ( ).

¿Cuáles son las ventajas del SAF? \_\_\_\_\_

¿Cuáles son las desventajas del SAF? \_\_\_\_\_

Comentarios

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Anexo 3.** Algunos testimonios de las y los campesinos vinculados al mantenimiento de la vegetación nativa –de la selva tropical estacionalmente seca– dentro de sus sistemas agroforestales tradicionales (SAFT) en la región de La Cañada, Cuicatlán, Oaxaca, México. Los testimonios están organizados en temas principales.

<b>Testimonios de las y los campesinos</b>	
<b>Condición campesina</b>	<i>“El gobierno mexicano no apuesta por el campo”.</i>
	<i>“No hay dinero y nosotros hacemos el trabajo más duro”.</i>
	<i>“Te doy un kilo de maíz, ¡pero siébralo cabrón! (enfático) ...porque si te lo voy a dar para que se lo des al burro, al puerquito, no sirve de nada.... siébralo, ¡quiero verte sembrar!”.</i>
	<i>“¡Quiero recuperar ese maíz ‘criollo’ (nativo)!”.</i>
	<i>“Esa semilla (de maíz nativo) venía desde cuando mi papá estaba chamaco”.</i>
	<i>“Voy a sembrar ese maíz ‘criollo’ (nativo), y tendrá que volver a prosperar, lo voy a poner donde está el frijol”.</i>
	<i>“Ahora ya no hay nada, todo se acabó, ¡antes era hermoso! ...todo se está perdiendo”.</i>
	<i>“El campo no da. Ya no llueve como antes”.</i>
	<i>“Lo poco que se siembra uno es sólo para el uso de la casa” (autoconsumo).</i>
	<i>“El maíz no tiene precio para nosotros (pero literalmente), porque sacamos lo que invertimos en él y otras veces no”.</i>
	<i>“Ahora muchos no siembran maíz porque los dueños han muerto, sus hijos se han ido a México y ya no les interesa el campo”.</i>
	<i>“Aunque el frijol no tenga precio, el limón siempre está manteniendo”.</i>
	<i>“El ‘criollo’ (maíz nativo) es del que sembraba uno antes acá, de olote delgado, muy delgadito el olote, ¡lo que sí rinde pues! pero ya no se quiere dar”.</i>
	<i>“¡Ay yo quiero sembrar de ese maíz amarillo! (con añoranza), pero ¿dónde conseguimos semilla? Le digo: vamos a mandar a nuestro hijo a ‘La Cañada Chica’ a traer, y se fue a traer semilla y si nos respondió muy bonito esa semilla”.</i>
<i>“Yo vivo para la naturaleza; no corto ningún árbol”.</i>	



Conocimiento ecológico tradicional y local	<i>“¿Cuándo te vas a envenenar? (le pregunta su hermana) ...Ya tomé y si me pasa algo ni modo, pero sé que no sirve como remedio” (responde el campesino).</i>
	<i>“El maíz ‘criollo’ (nativo) no tiene tantos químicos y es limpio, bonito, suave... Además, tiene muy buen sabor” (emocionado).</i>
	<i>“El estiércol de chivo es bueno porque no friega la tierra, le da más fuerza y sirve para dos cosechas”.</i>
	<i>“Sembrar en época de lluvias es mejor porque el aguacero les da fuerza a las plantas”.</i>
	<i>“El abono se le pone a la tierra, no al maíz (planta), para darle fuerza”.</i>
	<i>“Los ‘palos del monte’ (plantas silvestres) crecen rápido, pero si plantas un limón (que es una especie exótica) no crece igual”.</i>
	<i>“No me gusta fumigar mucho porque... no sé (dudando), pero como que pierde el sabor cuando le echas tantos químicos”.</i>
	<i>“Mi esposo saca toda la leña y la seca en pequeños montones. No utiliza fuego. Todas las hojitas quedan allí en el terreno”.</i>
	<i>“Yo escojo las mazorcas más grandes y les quito un poquito para la próxima siembra”.</i>
	<i>“Acá el guano de murciélago para abono lo conseguimos en el monte, en las cuevas”.</i>
	<i>“Nosotros le metemos menos abono porque no queremos quemar la tierra”.</i>
	<i>“Es la piedra la que ayuda a retener la tierra”.</i>
	<i>“El maíz le hace daño al frijol, y el frijol le hace daño al maíz”.</i>
	<i>“Desgrano todo el maíz y lo guardo en botellas de plástico, algunas muy llenas, y no se pica, aguanta hasta para cuando se hace la próxima siembra”.</i>
	<i>“Esta semilla ‘criolla’ (nativa) es nuestra. Antes era de nuestros padres y abuelos. No la perdemos. Y somos muy raros los que todavía tenemos de esta semilla”.</i>
<i>“Son pocos los que tienen este maíz ‘criollo’ (nativo). Este maíz no quiere mucha fumigación, porque el gusano no lo sigue tanto”.</i>	
<i>“Aquí el ‘pochote’ (Ceiba parvifolia) da unas jícamas que cuando es época de lluvias están tiernas y tienen harta agua”.</i>	

<b>Contribuciones de la vegetación</b>	<i>“Todos los árboles son benéficos”.</i>
	<i>“Se ve muy bien cuando los árboles están florecidos, ¡eh!” (emocionado).</i>
	<i>“¡Oh, el maíz ‘criollo’ (nativo) es más sabroso! (quiero decir, el ‘criollo’; el amarillo, el blanco, el negro) ¡Su tortilla es más sabrosa! Es más sabroso lo que se da aquí”.</i>
	<i>“Abajo todas las hojitas se caen y se convierten en abono”.</i>
	<i>“Mi hija cuida sus matitas porque las consumimos”.</i>
	<i>“La misma arboleda atrae la lluvia”.</i>
	<i>“Por eso mantengo la sombra. No corto árboles porque mantienen la sombra”.</i>
	<i>“Aquí tenemos un árbol que se llama ‘mezquite cimarrón’ (Prosopis laevigata), en esta temporada está empezando a florecer, este árbol atrae a muchos insectos. El ‘mezquite’ florece en abril y atrae muchos moscardones, abejitas, libélulas y ¡muchas arañas!” (emocionado).</i>
	<i>“Los tengo todos en mi terreno. Las dejo para la sombra. También están los ‘guanacastles’ (Enterolobium cyclocarpum), las ‘caobas’ (Swietenia humilis)...”.</i>
	<i>“Son plantas que son útiles en la región. Aunque hay gente que no lo aprecia, pero yo sí”.</i>
	<i>“Es preciosa. Es una enredadera con una hoja muy rasposa (se trata de la liana ornamental Petrea volubilis o “solterito”). ¡Ahora está bien florecida hasta la punta del palo! Es de pura humedad, ¡y ya está en flor! Qué flor tan bonita, qué belleza, antes había tanta, ¡qué belleza, tan bonita!” (emocionado).</i>
	<i>“Aquí leña hay de sobra”.</i>
	<i>“Los árboles también tiene derecho a vivir ¿no?, y algo me han de da, ¿no? Sus hojas son abono para una tierra más fértil”.</i>
	<i>“Todos son buenos para mí, me dan sombra, frutos... me dan todo, por eso no los corto, se quedan ahí”.</i>
	<i>“El mentado guamúchil (Pithecellobium dulce), ese es muy bueno para el terreno. Toda la hojita que cae es muy buen abono”.</i>
<i>“Cuando sembramos entre los limones, la milpa está dentro. Ya ahí los limones ayudan bastante también a mantener la humedad”.</i>	

<b>Intensificación agrícola</b>	<i>“Si es tu propiedad puedes hacer lo que quieras ahí”.</i>
	<i>“No puedo subir a ‘limpiar’ el monte, ¿de qué sirve si no hay agua por gravedad?”.</i>
	<i>“Las plantas silvestres se ‘chupan’ el abono, le roban el abono al maíz, al frijol, a los limones, a todo. Por eso no hay que dejarlas que crezcan, ni que nazcan”.</i>
	<i>“La agricultura a gran escala sería mejor, pero necesitamos un buen apoyo, un buen recurso. Pero por eso hay que conservar lo que hemos hecho tradicionalmente, ¿no?”.</i>
	<i>“Aquí no hay plantas que sean buenas para la milpa, de hecho todas le hacen daño”.</i>
	<i>“Antes mi papá aplicaba menos venenos”.</i>
	<i>“Los pesticidas son los que más afectan, son los más peligrosos”.</i>
	<i>“Si tengo suficiente para reponer lo que voy cortando, ‘limpio’ una parte y planto dos limones”.</i>
	<i>“La vegetación la mantengo en los bordes, no en el centro porque ahí es donde trabaja el tractor, no tiene sentido mantenerlos en el centro”.</i>
	<i>“¡Los grandes son los que acaparan todo!”</i>
	<i>“¡Hace 60 años plantábamos de todo allí, y se daba muy bonito y sin abono!”.</i>
	<i>“Porque todo el químico que le echamos; la fruta crece y todo, pero afecta a las plantas y al que lo consume. Aquí hay muy poca gente que siembre sin usar venenos fuertes”.</i>
	<i>“El maíz ‘criollo’ (nativo) era más resistente. Tenía menos plaga. Este es un maíz híbrido (comercial) y es un poco más dulce, por lo que la plaga lo sigue más. Todo lo que se planta ahora es diferente de lo que se plantaba antes”.</i>
	<i>“Meto tractor y luego meto la yunta para aflojar, porque si no se pone muy duro”.</i>
	<i>“Es muy normal que tiene uno que quemar”.</i>
<i>“No quiere darse ya la semilla del ‘criollo’. (maíz nativo). Ya tenemos que meter ‘mejorado’ (semilla comercial)”.</i>	
<i>“Si no hay maíz o frijol, pero hay limones, vendemos los limones y compramos el frijol y el maíz”.</i>	

**Anexo 4.** Nota de divulgación científica en la revista *Buena Mar* de la Universidad de Colima. Forma de citar: Rendón-Sandoval, F.J. (2021). Agriculturas campesinas que resguardan la biodiversidad. *Buena Mar* 9: 17-18. <https://elcomentario.ucol.mx/numero-9/>

## Ajeno al mar

### Agriculturas campesinas que resguardan la biodiversidad

Francisco Javier Rendón Sandoval. Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México. [frendon@cieco.unam.mx](mailto:frendon@cieco.unam.mx)

Cada día es más evidente que estamos ocasionando una transformación drástica y profunda de nuestro entorno natural. El mayor impacto humano sobre el océano es la sobreexplotación pesquera. Mientras que en los ecosistemas terrestres, la deforestación –para la agricultura y la ganadería– es responsable de la mayor devastación. Sin embargo, existen diferencias sustanciales en la forma en que se realizan estas actividades humanas; donde los procesos industriales altamente destructivos han sido señalados como la causa principal del severo impacto sobre los ecosistemas –marinos y terrestres– a nivel mundial.

Por ello, la relación entre las personas y la naturaleza necesita retomar un rumbo que garantice la continuidad de ambos. El panorama futuro será complicado si continúa la intensificación productiva que ocurre en la actualidad. Dado que, lamentablemente, parece importar más la economía, que el bienestar de las personas o la integridad de los ecosistemas que mantienen la vida en el planeta.

Por fortuna, aún existen ejemplos de vida rural que logran satisfacer sus necesidades básicas, al mismo tiempo de proteger la biodiversidad y funciones ambientales esenciales para la vida. Me refiero a la agricultura campesina –a pequeña escala– mediante los llamados sistemas agroforestales tradicionales (SAFT).

En los SAFT, las y los campesinos se las han ingeniado para que sus cultivos se desarrollen a la par de la vegetación natural, sin dañarla, y además obteniendo diferentes beneficios directos como: frutos comestibles, leña para cocinar, medicinas, madera, sombra, fertilidad del suelo, mantenimiento de humedad, hábitat para polinizadores, forraje (para alimentar al ganado), plantas rituales y ornamentales (que adornan), entre muchos otros. Beneficios que posiblemente muchos de los habitantes de las ciudades ni siquiera conocen.

Inspirados en esto, realizamos una investigación para conocer ¿En qué medida los SAFT son capaces de mantener la vegetación silvestre, esa que crece “solita” en el monte, y que brinda beneficios a las personas?

Hicimos el estudio en tres comunidades del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca. Una Reserva de la Biósfera que tiene evidencias de ocupación humana desde hace más de 10,000 años, que pudo haber sido uno de los sitios de origen de la agricultura en Mesoamérica. Aquí los campesinos siguen cultivando la milpa tradicional con variedades nativas de maíz, frijol y calabaza, que fueron domesticadas aquí mismo ¡hace miles de años!, de manera intercalada con árboles frutales y otras plantas del monte.



Sistema agroforestal tradicional en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Autor: Francisco Javier Rendón Sandoval. Oaxaca. Febrero 2018.





Campesino recolectando una planta ornamental para adornar un altar. Autor: Francisco Javier Rendón Sandoval. Febrero 2018.

Mediante muestreos de vegetación, entrevistas y talleres con los campesinos, encontramos que los SAFT de la región son capaces de mantener el 44% de la cobertura forestal original, así como un 68% de las especies presentes en la vegetación silvestre circundante; de las cuales, 30% son endémicas de México, lo que quiere decir que solo se encuentran aquí y en ninguna otra parte del mundo.

Además, la vegetación mantenida por los campesinos en los SAFT –mediante la implementación de cercos vivos, franjas contra la erosión y árboles aislados de especies útiles– les brinda muchos beneficios que ayudan a satisfacer algunas de sus necesidades humanas fundamentales.

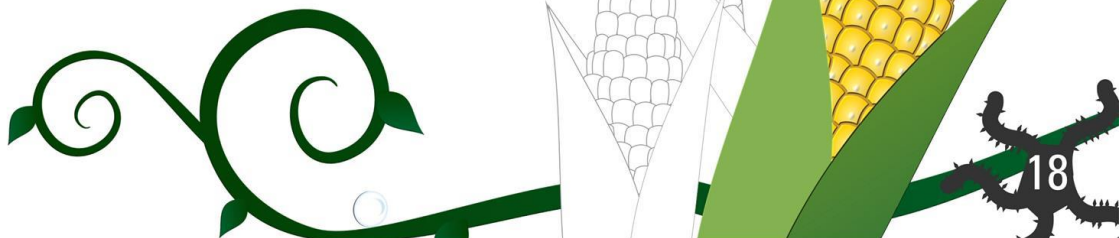
Por lo tanto, consideramos que los SAFT podrían ser una alternativa para conjuntar la producción de alimentos saludables, el cuidado de la naturaleza y el bienestar humano.

Ahora, ¿cómo hacemos para retomar estos ejemplos del manejo campesino en las grandes ciudades?, ¿crees que valdría la pena hacerlo?, o ¿qué acciones similares se te ocurren para que podamos interactuar de mejor manera con la naturaleza?...

Algo prioritario sería cambiar nuestros hábitos cotidianos de consumo, –haciéndolos más conscientes–, ya que éstos tienen una repercusión considerable en el entorno natural. En última instancia, necesitamos rehabilitar la tierra con afecto y sabiduría.



Maíces nativos de La Cañada oaxaqueña. Autor: Francisco Javier Rendón Sandoval. Agosto 2019.





## PLANTAS ENDÉMICAS DE MÉXICO

conservadas en sistemas agroforestales tradicionales de “La Cañada”, Oaxaca

1

Francisco Javier Rendón-Sandoval - Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Fotos del autor © F. J. Rendón-Sandoval [frendon@cieco.unam.mx] Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES). Agradecimientos: a los campesinos de “La Cañada” (\*) Endémica de los estados de Oaxaca y Puebla, (\*\*) Endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y (\*\*\*) Microendémica de la Cañada Oaxaqueña [fieldguides.fieldmuseum.org] [guide's number provided by us] version 1 09/2020



1 *Holographis pueblensis*\*\*  
ACANTHACEAE



2 *Agave quiotepecensis*\*\*\*  
“rabo de león” ASPARAGACEAE



3 *Bourreria obovata*\*  
“zapotillo” BORAGINACEAE



4 *Bursera aptera*  
“brea” BURSERACEAE



5 *Bursera aptera*  
“cuajote amarillo” BURSERACEAE



6 *Bursera linanoe*  
“inanoe” BURSERACEAE



7 *Bursera linanoe*  
“linaloe” BURSERACEAE



8 *Bursera morelensis*  
“cuajote rojo” BURSERACEAE



9 *Bursera morelensis*  
“mulato” BURSERACEAE



10 *Bursera submoniliformis*  
“copalillo” BURSERACEAE



11 *Bursera submoniliformis*  
“copalillo” BURSERACEAE



12 *Acanthocereus subinermis*  
“nopal de cruz” CACTACEAE



13 *Coryphantha calipensis*\*\*  
“biznaguita” CACTACEAE



14 *Coryphantha calipensis*\*\*  
“chilitos, piñita” CACTACEAE



15 *Escontria chiotilla*  
“jioquilla” CACTACEAE



16 *Escontria chiotilla*  
“xonostle” CACTACEAE



17 *Ferocactus recurvus*\*\*  
“biznaga” CACTACEAE



18 *Ferocactus recurvus*\*\*  
“biznaga” CACTACEAE



19 *Lophocereus marginatus*  
“órgano” CACTACEAE



20 *Mammillaria carnea*\*  
“biznaga de burro” CACTACEAE



## PLANTAS ENDÉMICAS DE MÉXICO

conservadas en sistemas agroforestales tradicionales de “La Cañada”, Oaxaca

2

Francisco Javier Rendón-Sandoval - Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

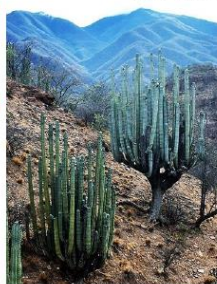
Fotos del autor. © F. J. Rendón-Sandoval [frendon@cicco.unam.mx]. Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES). Agradecimientos: a los campesinos de “La Cañada” (\*) Endémica de los estados de Oaxaca y Puebla, (\*\*) Endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y (\*\*\*) Microendémica de La Cañada Oaxaqueña [fieldguides.fieldmuseum.org] [guide's number provided by us] versión 1 09/2020



21 *Myrtillocactus geometrizans*  
“garambullo” CACTACEAE



22 *Myrtillocactus geometrizans*  
“padrenuestro” CACTACEAE



23 *Pachycereus weberi*  
“cardón” CACTACEAE



24 *Pachycereus weberi*  
“cardón” CACTACEAE



25 *Stenocereus stellatus*  
“tuna, tunillo” CACTACEAE



26 *Schaefferia stenophylla*\*  
CELASTRACEAE



27 *Thompsonella spathulata*  
CRASSULACEAE



28 *Croton sonora*  
EUPHORBIACEAE



29 *Acacia cochliacantha*  
“cucharito” FABACEAE



30 *Acacia cochliacantha*  
“cucharito” FABACEAE



31 *Acacia coulteri*  
“guapinole” FABACEAE



32 *Acacia coulteri*  
“guapinole” FABACEAE



33 *Mimosa luisana*\*\*  
“uña de gato” FABACEAE



34 *Fouquieria formosa*  
“tlapacon” FOUQUIERIACEAE



35 *Fouquieria formosa*  
“tlapacon” FOUQUIERIACEAE



36 *Echinopterys glandulosa*  
MALPIGHIACEAE



37 *Ceiba parvifolia*  
“pochotle” MALVACEAE



38 *Ceiba parvifolia*  
“pochotle” MALVACEAE



39 *Sideroxylon palmeri*  
“tempesquite” SAPOTACEAE



40 *Solanum tridynamum*  
SOLANACEAE