

Experiencias de restauración ambiental en la Montaña de Guerrero: un caso de estudio en paraje Teteltzin

Alan Chaparro Santiago,¹ Georgina Alvarado Arconada y Virginia Cervantes Gutiérrez

Resumen. En 1996 inició la rehabilitación del paraje Teteltzin, Gro. México, utilizando especies nativas del bosque tropical caducifolio, esta área estuvo desprovista de vegetación durante al menos 40 años. Para evaluar el impacto de la intervención, en 2014 realizamos una entrevista con el propietario y muestreos de suelo y vegetación. Actualmente la presencia de dos estratos y la riqueza de especies determinan una estructura vegetal antes inexistente que promueve hábitats y aporta una cubierta vegetal al suelo. Las características físicas y químicas del suelo y la presencia de agregados destacan la recuperación de su calidad, contribuyendo a generar condiciones adecuadas para el desarrollo de la vegetación. Debido a los servicios ambientales recuperados en el paraje la plantación se ha mantenido y es manejada por el propietario, quien reconoce la recuperación de la fertilidad y el control de la erosión del suelo, así como el aporte de productos: flores, leña, renuevos y semillas, que son consumidos y comercializados en el mercado local.

Palabras clave: Agregados del suelo, Bosque tropical caducifolio, Rehabilitación, Riqueza de especies, Servicios ambientales.

Abstract. In 1996 began the rehabilitation of the "Teteltzin", Gro. Mexico, using native species of the deciduous tropical forest, this area was devoid of vegetation for at least 40 years. To evaluate the impact of the intervention, in 2014 we conducted an interview with the owner and soil and vegetation sampling. Currently, the presence of two strata and the richness of species determine a previously non-existent plant structure that promotes habitats and counteracts soil erosion. The physical and chemical characteristics of the soil and the presence of aggregates highlight the recovery of its quality, contributing to generate adequate conditions for the development of vegetation. Due to the environmental services recovered in the area, the plantation has been maintained and

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Departamento el Hombre y su Ambiente, CDMX, e-mail: chaparroalan@hotmail.com.

is managed by the owner, who recognizes the recovery of fertility and soil erosion control, as well as a variety of supply services that they are sold in the local market.

Key words: *Environmental services, Rehabilitation, Species richness, Soil aggregates, Tropical deciduous forest.*

INTRODUCCIÓN

En México el bosque tropical caducifolio (BTC) tienen una amplia distribución, del total de las comunidades vegetales tropicales que existen en el país, cerca de 60% corresponden a este tipo de vegetación (Trejo y Dirzo, 2000). Se caracteriza por su alta diversidad florística y número de endemismos (Gentry, 1995; Rzedowski y Calderón, 2013), también por albergar numerosas poblaciones humanas que dependen de sus bienes y servicios ambientales (Dorado *et al.*, 2002). Sin embargo, la deforestación y fragmentación causada por la expansión de la frontera agropecuaria (Bezaury, 2010), el incremento de la densidad poblacional y los asentamientos urbanos (Newton y Tejedor 2011), amenazan la continuidad del BTC y el bienestar de las poblaciones humanas que sustenta.

Una forma de contrarrestar la degradación del BTC en sistemas socio-ecológicos es implementando actividades de restauración. La restauración ambiental engloba varias estrategias de intervención que buscan reducir las condiciones de degradación, daño o destrucción de los ecosistemas, con la finalidad de dirigirlos a un estado que se considera presenta mejores condiciones ambientales (Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 2008). La rehabilitación es una de las estrategias que forma parte del marco de la restauración ambiental, y tiene como objetivo reparar las funciones de un ecosistema para recuperar la productividad y los servicios ambientales que benefician a la humanidad. Aun cuando utiliza el ecosistema preexistente como modelo de referencia, no tiene la intención de recuperar la integridad biótica (Wali, 1992; Aronson *et al.*, 1993; SER, 2004).

Independientemente de la estrategia que se practique, la restauración implica un proceso que debe ser planeado. El procedimiento general de la planeación ambiental comprende una serie de fases que se ejecutan sistemáticamente (Lein, 2003), éstas son similares a lo que Hobbs y Norton (1996) han denominado procesos clave de la restauración. El monitoreo y la evaluación son la última fase de este proceso y son esenciales para conocer el éxito de la restauración, corregir las estrategias o las técnicas, desarrollar y mejorar la ciencia y la práctica, así como justificar su inclusión en las políticas ambientales (Holl y Cairns, 2008; Wortley *et al.*, 2013). Incluso con los beneficios que se

derivan de esta etapa, pocos proyectos de restauración la han implementado (Hobbs y Norton, 1996; Suding, 2011), y cuando lo hacen, es desde un enfoque ecológico con poca o ninguna atención a las variables socioeconómicas del sistema restaurado (Aronson *et al.*, 2010; Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015).

En este artículo presentamos algunos hallazgos derivados del proyecto de Restauración Ambiental: Evaluación de estrategias de rehabilitación en cinco comunidades indígenas del trópico seco en la región de La Montaña del estado de Guerrero. Esta región se caracteriza por su complejidad geomorfológica, edáfica y ecológica, así como una topografía sumamente accidentada que le confiere una alta heterogeneidad ambiental (Carabias *et al.*, 1994). Cuenta con una población de 300,726 habitantes, predominando tres grupos indígenas: nahuas, mixtecos y tlapanecos (Inegi, 2010). Aun con su gran riqueza biológica y cultural, la región está clasificada como un área de alta marginación social (Coneval, 2012), además, tiene una larga historia de degradación de sus recursos naturales (Landa *et al.*, 1997; Carabias *et al.*, 1994; Pérez-Reyna *et al.*, 1998; Toledo-Guzmán, 2014), por lo que es necesario implementar acciones que permitan rehabilitar su ambiente natural y productivo, a fin de favorecer la recuperación de los bienes y servicios ambientales que contribuyen al bienestar de las poblaciones que habitan en dicha región.

Particularmente, presentamos la experiencia de paraje Teteltzin, área ubicada en el municipio de Tlapa de Comonfort. El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto de las actividades de rehabilitación a través de una caracterización del estado actual de la vegetación y el suelo en una sección del área rehabilitada, así como conocer la opinión del propietario sobre los bienes y servicios ambientales que se han recuperado a raíz de las actividades de rehabilitación.

MÉTODOS

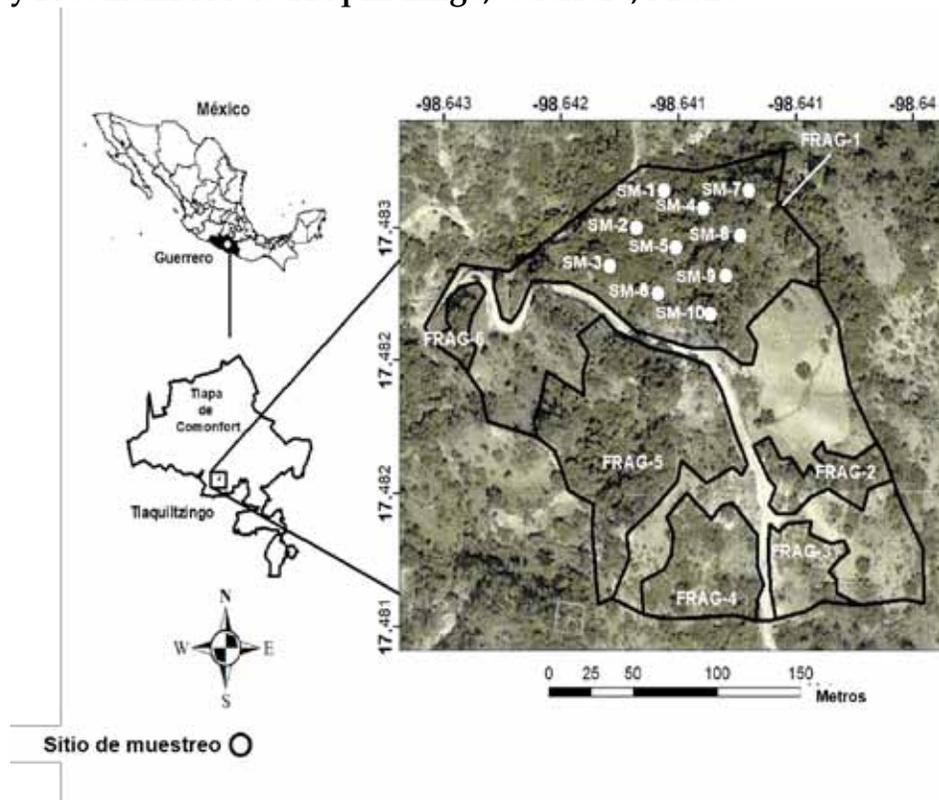
Área de estudio

Tlapa de Comonfort es uno de los 19 municipios de la región de La Montaña, en este territorio están asentadas 90 localidades. En general, el municipio presenta altas tasas de deforestación, degradación del suelo y escasa regeneración de la vegetación (Pérez-Reyna *et al.*, 1998). Predomina el clima ACw₀, semicalido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad; la temperatura media anual y la precipitación son de 24°C y 796 mm, respectivamente; la vegetación dominante es el bosque tropical caducifolio (Inegi, 2010).

Las acciones de rehabilitación se realizaron en el paraje Teteltzin (en adelante, Teteltzin), una propiedad privada ubicada en la localidad de Tlaquiltzingo, municipio de

Tlapa de Comonfort (Figura 1). En este sitio, entre 1996 y 1999, se realizaron plantaciones con nueve especies nativas del BTC de la región: *Acacia cochliacantha*, *Acacia bilimekii*, *Acacia farnesiana*, *Acacia pennatula*, *Agave cupreata*, *Gliricidia sepium*, *Havardia acatensis*, *Leucaena esculenta* y *Mimosa polyantha*. El diseño de la plantación y su composición se realizó con base en la información de la distribución de las especies y las preferencias del propietario. Las plantas introducidas se propagaron en un vivero comunitario ubicado en la comunidad de San Nicolás Zoyatlan (localidad donde dio inicio el Proyecto de Restauración Ambiental), utilizando semillas colectadas en zonas aledañas al área de estudio (Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 2014; Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 2001). Antes de implementar la rehabilitación en Teteltzin no había árboles y sólo existían algunos parches de vegetación herbácea compuesta por: *Aldama dentata*, *Bidens aurea*, *Sanvitalia procumbens* y *Melinis repens* (Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 2001).

Figura 1. Localización del municipio de Tlapa de Comonfort y la comunidad de Tlaquiltzingo, Guerrero, México



Paraje Teteltzin se muestra en la imagen de satélite, el polígono que limita el área rehabilitada actualmente está constituido por diferentes fragmentos de vegetación (FRAG). Los números al interior del FRAG-1 representan los sitios donde se realizaron los muestreos de vegetación (SM).

Muestreo de vegetación y suelo

El trabajo de campo inició con un recorrido para georreferenciar los vértices del área rehabilitada; esta información se incorporó en una imagen satelital obtenida de Google Earth (2010). Al interior de los vértices se identificaron seis fragmentos, tomando como criterio la densidad de la cobertura vegetal; esta condición se verificó a partir de un recorrido de campo. El muestreo de suelo y de la vegetación se realizó durante octubre de 2014 en el fragmento número 1 (FRAG-1), cuya superficie es de 1.14 ha (Figura 1). Se decidió iniciar la evaluación con este fragmento porque en éste se presentó el mejor desarrollo de la vegetación, en lo que se refiere a su estratificación vertical y cobertura. Posterior a esa fecha, anualmente se ha realizando la valoración de los fragmentos restantes del área en rehabilitación.

Vegetación

De acuerdo con la fisionomía de la vegetación se distinguió un estrato alto que incluyó árboles y arbustos con alturas ≥ 60 cm, así como especies con crecimiento en roseta, y un estrato bajo compuesto por herbáceas y plántulas de árboles y arbustos. Los datos del estrato alto fueron registrados en 10 sitios de muestreo (SM) de 6 x 6 m (360 m² en total), distribuidos sistemáticamente, con 15 m de separación entre cada uno de ellos. Para registrar el estrato bajo, en la parte inferior izquierda de cada SM se trazó un cuadrante de 1 x 2 m (2 m² en total). Estas dimensiones y su distribución se determinaron con base en el nivel de fragmentación y el tamaño individual de los fragmentos. Cabe mencionar que este método de muestreo se ha utilizado con éxito en otros estudios realizados por el Proyecto de Restauración Ambiental en la región (Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 2017).

A los individuos del estrato alto se les midió la altura, la cobertura y el diámetro a la base del tallo (DAB). Además, se cuantificó el diámetro a la altura del pecho (el DAP se midió a 1.50 m del suelo debido a la presencia de árboles policaulescentes y con formas irregulares) de todos los árboles con DAP ≥ 2 cm, cuando los individuos se bifurcaban a 1.50 m se midió y sumó el DAP de todas las ramas. En el caso de especies con crecimiento en roseta solamente se registró su altura y cobertura. En el estrato bajo se registró el número total de especies, el porcentaje de cobertura aportado por cada una y la altura promedio del estrato. Además, en cada SM se registró la exposición, la pendiente, la profundidad del suelo y el porcentaje de suelo desnudo.

Todas las especies de nuevo ingreso a los SM fueron colectadas y procesadas en el laboratorio. Su identificación se realizó cotejando los ejemplares con la colección de referencia de la región de estudio, en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco. Las especies que fueron introducidas durante la plantación se identificaron directamente en los SM.

Se calculó por estrato el índice de valor de importancia de cada especie (IVI = frecuencia relativa + cobertura relativa) y su representación porcentual (IVI de cada especie/IVI total del estrato*100) (Muller-Dombois y Ellenberg, 1974). Además, por SM y para cada estrato se determinó la riqueza de especies, el índice de dominancia de Simpson ($D = \frac{\sum_{i=1}^s n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$) el índice de diversidad de Shannon-Wiener ($H' = \sum_{i=1}^s IVI_i \log_2 IVI_i$), la cobertura, la altura promedio, y únicamente para el estrato alto el promedio de la densidad, DAB y DAP.

Para determinar la relación entre las variables ambientales y de la vegetación se realizaron análisis de regresión lineal simple y múltiple, utilizando como variables independientes: la exposición, altitud, pendiente y profundidad del suelo de cada SM, y como variables dependientes: el índice de diversidad de Shannon, la cobertura, la altura promedio y la riqueza de especies por estrato y SM, así como, la riqueza total y la densidad de individuos del estrato alto por SM (Zar, 1984).

Suelo

Las muestras de suelo se obtuvieron de la parte central de cinco sitios de muestreo: SM-1, SM-4, SM-6, SM-8 y SM-10 (Figura 1), la profundidad del suelo a la que se obtuvieron varió según las características del relieve. Las muestras fueron secadas y procesadas para su análisis en el laboratorio; los análisis químicos y físicos fueron: (1) pH [H₂O 2:1 y NaFl 2:1]; (2) capacidad de intercambio catiónico (CIC) [1M NH₄OAc a pH 7]; (3) cationes intercambiables Ca²⁺, Mg²⁺, Na²⁺ y K¹⁺, todos determinados de acuerdo con SCS-USDA (1984); (4) materia orgánica del suelo (MO); (5) nitrógeno total (Nt), ambos determinados de acuerdo con Blakemore *et al.* (1981); (6) carbono orgánico del suelo (CO), calculado a partir del contenido de MO; (7) textura; (8) densidad real (DR) y aparente (DA), ambas determinadas de acuerdo con SCS-USDA (1984); (9) porosidad [% de porosidad = 1 - DA/DR (100)]; (10) tamaño y estabilidad de los agregados del suelo (Kemper y Rosenau, 1986).

Percepción y beneficios ambientales

Para conocer los beneficios ambientales que el propietario del área rehabilitada reconoce y se apropia, se elaboró y aplicó una entrevista semi-estructurada (Karremans, 1994). La entrevista se formuló a partir de 14 preguntas organizadas en los siguientes subtemas: (1) motivos por los cuales decidió participar en las acciones de rehabilitación, (2) cómo obtuvo los terrenos y en qué estado los recibió, (3) actividades que el productor ha realizado sobre el área rehabilitada y (4) beneficios que ha obtenido de esta área.

RESULTADOS

Características de la vegetación

La composición florística del fragmento 1 (FRAG-1) incluye 62 morfoespecies, de las cuales 55 se determinaron a nivel de especie y cuatro al de familia, tres quedaron como desconocidas. Del total, 54 especies fueron de nuevo ingreso (SPNI), siete introducidas con la plantación (SPI) y solamente una habitaba el sitio antes de implementar la plantación. Todas las especies presentaron una dominancia baja (1.79 - 22.27%), aunque en el estrato alto *Acacia cochliacantha* presentó el valor de importancia (IVI) más alto, éste sólo representó 22.27%; asimismo, en el estrato bajo el IVI para todas las especies fue menor a 15% (Tabla 1).

Tabla 1. Lista florística del fragmento 1 en paraje Teteltzin, Gro., México

FAMILIA / ESPECIE	IVI (%)	FAMILIA / ESPECIE	IVI (%)
ACANTHACEAE		LAMIACEAE	
<i>Dicliptera thaspioides</i> Nees‡	6.95 (3.47)	<i>Salvia sessei</i> Benthθ	1.66 (0.83)
<i>Tetramerium glutinosum</i> Lindau‡	4.37 (2.18)	FABACEAE	
<i>Tetramerium nervosum</i> Ness‡	1.65 (0.82)	<i>Acacia cochliacantha</i> H. & B. ex Wildθ ¥	44.55 (22.27)
AGAVACEAE		<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd θ¥	10.06 (5.03)
<i>Agave cupreata</i> Trel. & A. Bergerθ¥	7.74 (3.87)	<i>Acacia bilimekii</i> J.F. Macbr. θ¥	8.21 (4.10)
APOCYNACEAE		<i>Acacia pennatula</i> (S. & C.) Benth. θ¥	7.11 (3.55)
<i>Cascabela thevetoides</i> (Kunth) Lippoldθ	3.26 (1.63)	<i>Calliandra houstoniana</i> (Mill) Standlθ	10.87 (5.43)
ASTERACEAE		<i>Dalea foliolosa</i> (Aiton) Barneby‡	2 (1)

<i>Adenophyllum glandulosum</i> Strother‡	8.24 (4.12)	<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DCθ	1.74 (0.87)
<i>Bidens pilosa</i> L.‡	1.53 (0.76)	<i>Eysenhardtia orthocarpa</i> (A.G.) S. Watson θ	4.97 (2.48)
<i>Carminatia alvarezii</i> Rzed. Y Calderón‡	1.76 (0.88)	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth. ex Walp. θ ¥	1.79 (0.89)
<i>Chromolaena odorata</i> R.M.King H. Rob.θ	2.79 (1.39)	<i>Indigofera jamaicensis</i> Spreng‡	4.36 (2.18)
<i>Lasianthaea crocea</i> K.M. Beckerθ	4.39 (2.19)	<i>Leucaena esculenta</i> θ ¥	3.62 (1.81)
<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich.) DC.‡	14.01 (7)	<i>Senna racemosa</i> Mill. H.S.Irwin & Barneby θ	1.59 (0.79)
<i>Melampodium gracile</i> Less‡	4.36 (2.18)	<i>Senna wislizeni</i> (A.G.) HS Irwin & Barneby θ	1.59 (0.79)
<i>Montanoa frutescens</i> Mairet ex DC.θ	3.02 (1.51)	MALVACEAE	
<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.‡§	1.65 (0.82)	<i>Heliocarpus tomentosus</i> Turcz ‡θ	2.2, 18 (1.2, 9)
<i>Simsia lagascaeformis</i> DC.θ	3.22 (1.61)	<i>Sida alamosa</i> S. Watson‡	6.12 (3.06)
<i>Simsia sanguinea</i> A. Gray‡	8.14 (4.07)	<i>Waltheria americana</i> L.‡	1.65 (0.82)
<i>sp. 01‡</i>	1.53 (0.76)	OLEACEAE	
<i>sp. 02 θ</i>	1.98 (0.99)	<i>Fraxinus purpusii</i> Brandegee θ	4.43 (2.21)
BURSERACEAE		POACEAE	
<i>Bursera excelsa</i> (Kunth) Englθ	1.6 (0.80)	<i>Bouteloua uniflora</i> Vasey‡	15.09 (7.54)
<i>Bursera bipinnata</i> (DC) Englθ	1.69 (0.84)	<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv‡	22.43 (11.21)
<i>Bursera copallifera</i> (DC) Bullockθ	4.88 (2.44)	<i>sp. 03‡</i>	3.18 (1.59)
CACTACEAE		<i>sp. 04‡</i>	1.53 (0.76)
<i>Opuntia atropes</i> Roseθ	1.52 (0.76)	POLEMONIACEAE	
COMMELINACEAE		<i>Loeselia glandulosa</i> (Cav.) G. Don‡	2 (1)
<i>Callisia repens</i> (Jacq.) L.‡	9.33 (4.66)	RUBIACEAE	
CONVOLVULACEAE		<i>Crusea setosa</i> Standl. & Steyer‡	1.53 (0.76)
<i>Ipomoea wolcottiana</i> Roseθ	13.48 (6.7)	<i>Spermacoce confusa</i> Rendle‡	1.53 (0.76)
EUPHORBIACEAE		VERBENACEAE	
<i>Croton ciliatoglandulifer</i> Ort.θ	4.74 (2.37)	<i>Lantana camara</i> L. θ‡	7, 17.3 (3.5, 8.6)
<i>Croton fragilis</i> Kunthθ	3.27 (1.63)	<i>Lantana macropoda</i> (Torr.) Kuntze θ	9.87(4.93)
<i>Euphorbia graminea</i> Jacq‡	7.53 (3.76)	<i>Lippia oaxacana</i> B.L. Rob. & Greenm θ	1.62 (0.81)
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.‡	6.34 (3.17)	DESCONOCIDAS	
LAMIACEAE		<i>sp. 05‡</i>	2.36 (1.18)
<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.) Briq.θ	1.61 (0.80)	<i>sp. 06‡</i>	7.33 (3.66)
<i>Salvia filifolia</i> Ramamoorthy‡	3.18 (1.59)	<i>sp. 07 θ</i>	2.08 (1.04)
<i>Salvia riparia</i> Kunth‡	28.8 (14.4)		

Especie: introducida ¥; presente antes de la plantación §; estrato bajo ‡; estrato alto θ. IVI = índice de valor de importancia.

Considerando el número de especies y la abundancia de individuos, las familias mejor representadas fueron Fabaceae y Asteraceae; juntas incluyeron 41.1% del total de individuos registrados (Tabla 2). Solamente dos especies, *Heliocarpus tomentosus* (Malvaceae) y *Lantana macropoda* (Verbenaceae), estuvieron presentes en ambos estratos y ninguna apareció en todos los sitios de muestreo (SM). Así, 50% de las especies registradas aparecieron solamente en un SM y cuatro en seis: *Acacia cochliacantha* (Fabaceae), *Lantana macropoda* (Verbenaceae), *Melampodium divaricatum* (Asteraceae) y *Salvia riparia* (Labiataeae) (Tabla 2).

Tabla 2. Número de especies y de individuos por familia, así como su presencia en los sitios de muestreo (SM) del fragmento 1 en paraje Teteltzin, Gro., México

Familia	Nº de especies	Nº de individuos (%)
Acanthaceae	3	5 (2.3)
Agavaceae	1	12 (5.5)
Apocynaceae	1	2 (0.9)
Asteraceae	11 + 2	35 (16)
Burseraceae	3	6 (2.7)
Cactaceae	1	1 (0.5)
Commelinaceae	1	2 (0.9)
Convolvaceae	1	7 (3.2)
Euphorbiaceae	4	17 (7.8)
Lamiaceae	4	10 (4.6)
Fabaceae	13	55 (25.1)
Malvaceae	3	13 (5.9)
Oleaceae	1	2 (0.9)
Poaceae	2 + 2	13 (5.9)
Polemoniaceae	1	1 (0.5)
Rubiaceae	2	2 (0.9)
Verbenaceae	3	32 (14.6)
No identificada	3	4 (1.8)
Presencia de especies en los sitios de muestreo		
Nº SM	Nº de especies	Proporción (%)
1	32	50
2 a 5	28	43.8
6 a 10	4	6.3

+X = ejemplares que no se determinaron a nivel de especie.

La riqueza total de especies varió de 10 hasta 22 especies entre sitios, siendo SM-2 el que presentó la mayor riqueza (Tabla 3). En el estrato bajo la riqueza y diversidad promedio fueron de 7.2 y 2.6, y para el alto los valores promedio fueron 6.8 y 2.1, respectivamente. En ambos estratos la dominancia fue baja pues el valor promedio del índice de Simpson fue de 0.2 (Tabla 3).

Tabla 3. Características ambientales, de composición y estructura de la vegetación en los sitios de muestreo de paraje Teteltzin, Gro., México

SM	FACTORES AMBIENTALES				ESTRATO BAJO					ESTRATO ALTO								TOTAL		
	AL	OR	PS	PE	AT	CV	S	D	H'	AT	DEN	DAB	DAP	CV		S	D		H'	ST
	(msnm)		(cm)	(%)	(cm)	(%)				(m)	ind/36m ²	(cm)	(cm)	(m ²)	(%)					
1	1372	NE	12	30	35	94	6	0.2	2.5	1.6	58.3	88.9	10.6	29.1	0	0	6	0.2	2.2	12
2	1368	NE	9	25	50	200	14	0.1	3.5	3.1	44.4	107.2	115.4	175.7	78	64.9	8	0.2	2.3	22
3	1381	NE	4	18	25	109	9	0.1	3	3.4	19.4	52.1	71	42.8	9.3	0	5	0.2	1.8	14
4	1388	NE	7	20	60	148	9	0.1	3	2.6	44.4	99.7	75.7	90.4	53	37.2	8	0.2	2.2	17
5	1378	NE	2	25	20	25	9	0.1	3	2.7	41.6	136.8	22.5	50.5	31	0	9	0.1	2.5	18
6	1375	NE	4	36	30	32	6	0.2	2.4	2.9	33.3	77.7	28.3	62.7	0	0	6	0.2	2.1	11
7	1369	NE	12	23	45	102	7	0.1	2.7	2.1	44.4	67.8	65.4	75.4	98	74.9	7	0.4	1.4	13
8	1406	NW	7.5	37	80	88	5	0.2	2.3	2.1	50	65.4	46.2	75.5	14	0	6	0.3	1.7	11
9	1405	NW	3	37	40	52	5	0.2	2.3	1.3	19.4	24.9	0	13	43	0	5	0.2	2.2	10
10	1406	NE	22	25	20	9	2	0.5	0.9	1.4	50	64.3	31.9	63.4	68	51.6	8	0.2	2.6	10
Promedio					40.5	85.9	7.2	0.2	2.6	2.3	40.5	78.5	46.7	67.9			6.8	0.2	2.1	13.8
Desviación estándar					19.1	59.1	3.3	0.1	0.7	0.7	12.9	31.3	35.2	44.4			1.4	0.1	0.4	4.0

SM = Sitio de muestreo, AL = Altitud; OR = Orientación; PS = Profundidad del suelo; PE = Pendiente; AT = Altura; CV = Cobertura vegetal; S = Riqueza de especies; D = índice de dominancia de Simpson; H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener; DAB = diámetro a la base del tallo; DAP = Diámetro al pecho; DEN = densidad; SPI = especies introducidas; Ac = *Acacia cochliacantha*; ST = Riqueza total de especies (estrato alto y bajo).

En cuanto a la estructura de la vegetación, el estrato bajo presentó una altura promedio de 40.5 cm y la cobertura fue de 85.9%, sin embargo, en este último caso se presentaron variaciones importantes entre SM. El estrato alto mostró una altura promedio de 2.3 m, con variaciones superiores a 1.3 m. La cobertura aportada por este estrato fue de 67.9 m², pero la variación entre sitios fue considerable, de 13 a 175 m² (Tabla 3). Con excepción del SM-1 y SM-6, en los sitios restantes las SPI siguen formando parte de la cobertura vegetal aportada por el estrato alto, sin embargo, sólo en SM-2, SM-4, SM-7 y SM-10 su proporción fue mayor que la aportada por las SPNI. Llama la atención que en estos cuatro casos *A. cochliacantha* fue la especie que proporcionó la mayor cobertura vegetal (Tabla 3). Respecto al diámetro a la base del tallo (DAB), el valor promedio fue de 6.3 cm con variaciones medidas entre SM (Tabla 3), sin embargo, para el DAP las diferencias entre ellos fueron muy agudas, de 0 a 23.7 cm.

Los análisis de regresión realizados para conocer la relación entre los factores ambientales y las variables de composición y estructura de la vegetación, en general, arrojaron resultados nulos. La única relación obtenida se presentó entre la riqueza del estrato bajo y la altitud ($F = 6.03$, $p = 0.04$), sin embargo, el ajuste al modelo lineal no fue el mejor dado el valor de r^2 (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del análisis de regresión entre las variables del medio físico y de la vegetación en el fragmento 1 de paraje Teteltzin, Gro. México

	ESTRATO ALTO					ESTRATO BAJO					TOTAL	
	H'	CV	AT	S	D	H'	CV	AT	S	S		
REGRESIÓN LINEAL SIMPLE												
r²	3.46	2.44	31.05	3.06	1.56	1.18	17.89	5.88	42.99	38.16	AL	
F	0.29	0.2	3.6	0.25	0.13	0.1	1.74	0.5	6.03	4.94		
p	0.61	0.67	0.09	0.63	0.73	0.76	0.22	0.5	0.04*	0.06		
r²	3.52	0.3	24.17	20.17	1.36	19.71	0.74	34.84	12	19.66	OR	
F	0.29	0.02	2.55	2.02	0.11	1.96	0.06	4.28	1.09	1.96		
P	0.6	0.88	0.15	0.19	0.75	0.2	0.81	0.07	0.33	0.20		
r²	0	3.22	21.33	19.77	0.02	29.89	14.82	7.3	20.45	28.34	PE	
F	0	0.27	2.17	1.97	0	3.41	1.39	0.63	2.06	3.16		
P	0.99	0.62	0.18	0.2	0.97	0.1	0.27	0.45	0.19	0.11		

r²	4.52	14.19	30.34	12.97	32.2		40.78	1.65	0.61	22.58	8.34	PS
F	0.38	1.32	3.48	1.17	3.8		5.51	0.13	0.05	2.33	0.73	
P	0.56	0.28	0.1	0.31	0.09		0.05	0.72	0.83	0.17	0.42	
REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE												
r²	0.34	0.21	0.52	0.32	0.43		0.72	0.69	0.66	0.75	0.59	
F	0.64	0.33	2.43	0.59	0.96		3.18	2.75	1.34	3.7	1.86	
p	0.07	0.06	0.08	0.06	0.07		0.14	0.12	0.11	0.15	0.09	

H' = Índice de diversidad Shannon-Wiener; CV = Cobertura vegetal; AT = Altura; S = Riqueza de especies; D = Densidad; AL = Altitud; OR = Orientación; PE = Pendiente; PS = Profundidad del suelo.

Características del suelo

En las cinco muestras de suelo obtenidas del FRAG-1 se presentaron valores de pH H₂O tendientes a la neutralidad, mientras que los encontrados para esta variable al NaFl fueron superiores a 9, con excepción de SM-4 (Tabla 5). El contenido de MO en los sitios varió de 1.5 a 2.33%; entre tanto el CO fue de 0.87 a 1.35%, y el Nt fluctuó entre 0.08 a 1.12. Respecto a los cationes intercambiables, el Ca²⁺ fue dominante, en cuatro SM los valores fueron >71 mEq. En todos los casos los valores de CIC fueron superiores a 25 Cmol/kg, lo que indica una buena fertilidad potencial del suelo.

Respecto a las características físicas, se observó que, a pesar de las diferencias en la profundidad de suelo, en todas las muestras los valores de DA fueron cercanos a 1 g/cm³ y los valores de porosidad siempre fueron >50%. Esta condición es consistente con los tipos de textura presentes en el suelo de Teteltzin: franco arcilloso arenoso y franco arenoso; aunque en ambos tipos la arena fue la fracción dominante, en el primero: SM-1, SM-6 y SM-8, la arcilla fue la segunda fracción de suelo mejor representada (Tabla 5).

Tabla 5. Características físicas y químicas de los suelos del fragmento 1 en paraje Teteltzin, Gro., México

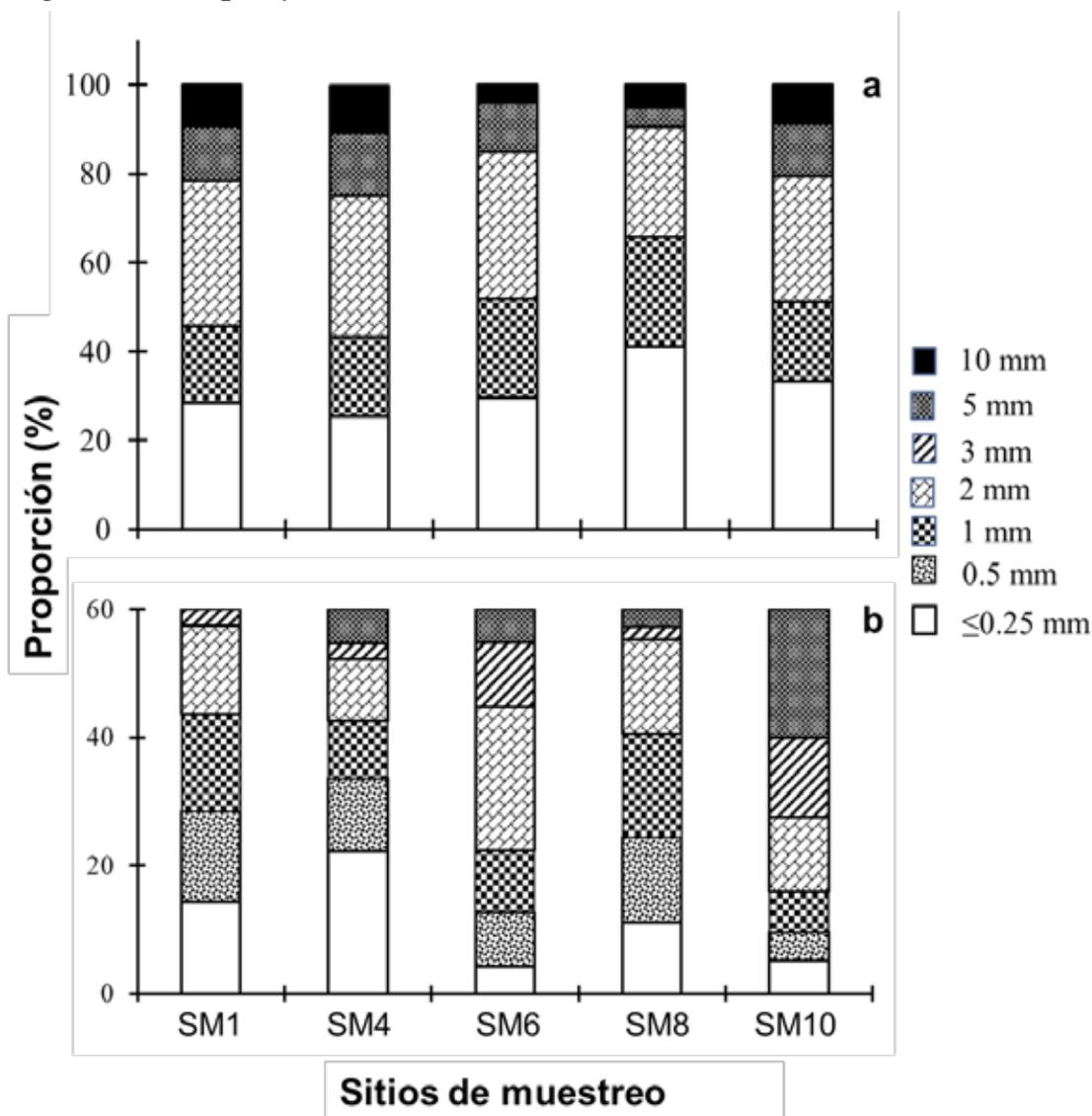
VARIABLE	SM-1	SM-4	SM-6	SM-8	SM-10
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS					
pH H ₂ O	7.21	7.20	7.32	7.17	7.22
pH NaFI	9.22	8.66	9.12	9.90	9.72
MO (%)	1.51	2.16	2.33	1.75	1.95
CO (%)	0.87	1.26	1.35	1.02	1.13
Nt (%)	0.08	0.11	0.12	0.09	0.10
CIC (Cmol/kg)	36.15	28.72	36.49	43.58	37.16
Ca ²⁺ (mEq/100g)	87.10	71.77	91.13	117.74	32.26
Mg ²⁺ (mEq/100g)	8.25	6.30	4.22	22.57	35.96
Na ⁺ (mEq/100g)	5.87	6.08	5.43	8.04	1.73
K ⁺ (mEq/100g)	3.58	3.58	3.06	5.49	0.76
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
Profundidad (cm)	12.00	7.00	5.00	7.50	22.00
DA (g/cm ³)	0.98	0.97	0.94	0.98	0.98
DR (g/cm ³)	2.29	2.17	2.20	2.24	2.18
Porosidad (%)	57.14	55.34	57.10	56.23	55.13
Textura (%)					
Arena	62.36	62.72	62.68	60.36	64.72
Limos	16.00	20.36	6.50	6.00	22.36
Arcillas	21.64	16.92	20.82	23.60	12.92
Tipo	Franco arcillo arenoso	Franco arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arenoso

SM = Sitio de muestreo, MO = Materia orgánica, CO = Carbono orgánico, Nt = Nitrógeno total, CIC = Capacidad de intercambio catiónico, DA = Densidad aparente, DR = Densidad real.

La agregación del suelo en el FGR-1 parece ser un fenómeno común, en casi todas las muestras se presentaron: macroagregados (≥ 5 mm), mesoagregados ($\geq 0.5 \leq 3$ mm) y microagregados (≤ 0.25 mm), tanto en seco como en húmedo (Figura 2); sin embargo, más de 58% de los agregados en seco correspondieron a los tipos meso y macro. Aunque la

proporción de macroagregados disminuyó cuando se midió su estabilidad en húmedo, inclusive los de 10 mm desaparecieron, en casi todas las muestras persistieron aquellos con diámetros de 5 mm, además, los mesoagregados fueron muy estables, permaneciendo en proporciones de 32.62% a 50.59% de la muestra (Figura 2).

Figura 2. Proporción de agregados del suelo en las muestras del fragmento 1 de paraje Teteltzin, Gro., México



(a) Proporción de agregados en condición seca y (b) estabilidad de agregados en húmedo.

Percepción y beneficios ambientales del área rehabilitada

De acuerdo con la entrevista, el Sr. Juan Aranda obtuvo la propiedad del terreno comprándolo a su tío, este proceso ocurrió en una década. El paraje presentaba procesos de degradación, pues Teteltzin y sus alrededores (~20 hectáreas) estaban deforestados y los suelos eran improductivos; seguramente, por su utilización durante mucho tiempo para actividades agropecuarias (Tabla 6). La escasez de servicios de suministro fue lo que motivó el interés del propietario para llevar a cabo “la reforestación (*sic*)”, por ejemplo, la ausencia de vegetación leñosa impedía satisfacer la energía calorífica necesaria para la cocción de alimentos.

Actualmente, el productor y su unidad familiar (UF) reconocen la recuperación de servicios de regulación y suministro, se dan cuenta que la erosión del suelo ha disminuido y están obteniendo diferentes productos de los terrenos rehabilitados. Durante el manejo, la UF evita que las cabras pastoreen, pero comparten los beneficios pues permiten que algunos residentes de Tlaquiltzingo y parientes que viven en otras localidades obtengan leña de sus terrenos. Todo esto ha propiciado el deseo de continuar aplicando acciones de rehabilitación en sus terrenos (Tabla 6).

Tabla 6. Síntesis de la entrevista realizada a Juan Aranda Narváez, propietario de los terrenos de paraje Teteltzin, Gro., México

TEMAS	RESPUESTA
Cómo obtuvo los terrenos y en qué estado los recibió	Fui comprando por pedacitos, el primer terreno lo compré a mi tío en 1976 y el último en 1986. Cuando compré el terreno el suelo estaba muy “jodido”, el maíz no se daba y no había árboles, estaba “pelón”. Tenía que cultivar en otras parcelas y robar la leña del terreno de otro señor que siempre protegía su terreno, por eso tenía muchos árboles.
Motivos por los cuales decidió participar en el proyecto	Porque no tenía leña y ya no quería robarla de otros terrenos. Yo no quería que mis hijos sufrieran igual que yo, por eso mi intención era reforestar y no sólo eso, quiero seguir reforestando.

<p>Actividades que ha realizado sobre el área restaurada</p>	<p>Previo al establecimiento de la plantación. Cuando compré el terreno, todo estaba pelón porque mi tío rentaba los terrenos a personas de otras localidades para que cultivaran maíz. Los apuraba a que realizaran la pizca del maíz para que después el ganado pudiera entrar a los terrenos y pastoreara el rastrojo y yerbitas que quedaba en las parcelas. Por eso sólo había barbecho, no había árboles; eso fue así desde que yo recuerdo, hace unos 30 o 40 años.</p> <p>Establecimiento de la plantación. Yo y mis hijos acarreamos las plantas desde la carretera, lugar donde las dejaban las personas del proyecto de restauración, después las subíamos a los terrenos cargándolas a lomo y con la ayuda de un burrito, fue muy pesado y dimos muchas vueltas. Los vecinos me decían: ¿qué estás haciendo Juan?, esas plantas nacen solas, para que quieres maguey. Ahora ellos se dan cuenta que ya hay cacayas (flor de <i>A. cupreata</i>) y leña, a veces los vecinos cortan leña y yo los dejo, pero sólo ramitas secas, árboles verdes no.</p> <p>Actualmente. Ahora nosotros lo cuidamos, pero la parcela necesita estar cercada. Ahí hay plantas, porque cuido que no entren los chivos. Sin embargo, otros lugares donde metí plantas y no hubo cerca se fueron, porque los vecinos metieron sus chivos y sólo quedaron algunas plantas en la barranca, por eso necesito cercar para poder mejorar más el suelo.</p>
<p>Beneficios que ha obtenido del área restaurada</p>	<p>Ahora que tiene maguey veo que retiene más el suelo y todo el pasto podrido ahí se queda, no sé, a lo mejor en 10 o 20 años lo van a querer sembrar mis nietos.</p> <p>Ahorita ya está lleno de árboles, ya hay leña, y en las mañanas se oyen las chachalacas. La cacaya (flor de <i>A. cupreata</i>), el guaje de caballo (semillas de <i>L. macrophylla</i> y <i>esculenta</i>) y el yupaquelite (flor de <i>A. acatlensis</i>) se venden muy bien en el mercado, la piña del maguey (tallo de <i>A. cupreata</i>) a veces la vendo si la pagan bien.</p>

DISCUSIÓN

Vegetación

De acuerdo con Cramer *et al.* (2008), en terrenos agrícolas abandonados, la trayectoria de regeneración que sigue la vegetación estará en función de las características del disturbio agrícola, ya que éstas determinan la magnitud de los impactos negativos en el medio biótico y abiótico. En este sentido, a partir de la entrevista aplicada al Sr. Aranda, es posible inferir que en paraje Teteltzin el uso agropecuario recurrente indujo condiciones bio-físicas que rebasaron el umbral del sistema socio-ecológico durante varias décadas impidiendo la recuperación natural. Sin embargo, como lo muestran los resultados, la de-

cisión de intervenir introduciendo especies vegetales nativas (SPI) permitió contrarrestar estas condiciones, favoreciendo la recuperación del suelo y promoviendo el establecimiento de una nueva estructura y composición vegetal.

Después de 17 años de haber establecido la plantación, siete de las nueve SPI todavía se registraron en el FRAG-1: seis Fabaceae (*A. bilimekii*, *A. cochliacantha*, *A. farnesiana*, *A. pennatula*, *G. sepium* y *L. esculenta*) y un Agavaceae (*A. cupreata*). De acuerdo con los resultados del monitoreo realizado previamente en el paraje por Cervantes-Gutiérrez *et al.* (2001; 2014), nuestros resultados confirman que a pesar de la degradación que prevaleció en el sitio, durante al menos 40 años, las especies se establecieron y desarrollaron con éxito. En la actualidad, las variaciones en altura, cobertura y diámetro de los individuos, variables que indirectamente representan la biomasa en pie aportada por las especies introducidas y de nuevo ingreso, conforman una estratificación vertical y horizontal, además de una composición florística más compleja, que genera nuevos hábitats y que aporta una cobertura vegetal al suelo que podría protegerlo de la erosión eólica e hídrica.

Peguero *et al.* (2012) indican que *A. pennatula* no debería promoverse como una especie facilitadora de la recuperación vegetal, pues tiene efectos alelopáticos que inhiben el establecimiento de otras especies vegetales bajo su follaje. Los mismos autores sugieren que la alelopatía podría ser un fenómeno común en otras especies de la subfamilia Mimisoideae, lo cual explicaría su dominancia y permanencia por largos periodos de tiempo en áreas en proceso de sucesión vegetal.

No obstante lo anterior, los resultados demuestran lo contrario, a pesar de que cuatro de las SPI que aún permanecen en los SM forman parte de la subfamilia Mimisoideae, se registraron 54 especies que ingresaron de forma natural al FRAG-1; además, los valores de dominancia en los ocho SM, donde todavía persisten las SPI, son bajos (Tabla 1). Los resultados obtenidos en Teteltzin más bien concuerdan con lo indicado desde hace tiempo en otros estudios (Rachie, 1979; Guízar-Nolazco y Granados-Sánchez, 1996; Maza-Villalobos *et al.*, 2011), los cuales mencionan que las Fabaceae se caracterizan por ser colonizadoras, por mostrar una gran resistencia al estrés de los ambientes degradados y, que además, son capaces de mejorar las condiciones biofísicas para facilitar el establecimiento de nuevas especies. Efectos parecidos también se han mencionado para el caso de las especies de la familia Agavaceae, como es el caso de *Aagave cupreata* en este estudio, ya que éstas toleran condiciones de estrés y pueden mejorar la humedad y fertilidad del suelo, así como, reducir el riesgo de erosión (Altieri y Trujillo, 1987; Prat y Martínez-Palacios, 2012). Por estas razones y considerando los resultados, se puede decir que el uso de leguminosas nativas y magueyes constituyen un tratamiento eficaz en la restauración ambiental de sistemas degradados, en particular, cuando las condi-

ciones bio-físicas han limitado la recuperación de la vegetación, como fue el caso de paraje Teteltzin.

Es probable que en una zona donde se impulsaron acciones de rehabilitación, la trayectoria que siga la sucesión vegetal estará influenciada por las especies introducidas, y no tanto por las variables del medio físico. Esto podría ser la explicación a la nula relación entre los factores del medio físico y las variables de composición y estructura de la vegetación. Otra explicación puede ser que las diferencias en los factores ambientales de cada SM son mínimas. Sin embargo, esta tendencia también se ha presentado en otros estudios realizados en México, pero en parches de BTC que son resultado de una colonización natural de la vegetación. Esto se ha encontrado a diferentes escalas, tanto a nivel nacional (Trejo y Dirzo, 2002), como local, por ejemplo, en el estado de Morelos (Trejo y Dirzo, 2002), en la región de Chamela, Jal. (Balvanera *et al.* 2002; Durán *et al.*, 2006) y en la comunidad de San Nicolás Zoyatlan, Gro. (Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 2017).

En la composición de especies también se encontraron coincidencias con la tendencia que se ha documentado en áreas de recuperación natural del BTC; por ejemplo, en Teteltzin, las familias Fabaceae y Asteraceae tuvieron el mayor número de especies y abundancia de individuos, lo que coincide con lo reportado por otros estudios realizados en la misma región de estudio (Fernández-Nava *et al.*, 1998; Rzedowski y Calderón, 2013). Otra coincidencia se encontró para la presencia de especies. Aun con la juventud de la vegetación desarrollada en Teteltzin, la variabilidad de especies entre SM (Tabla 2) es una tendencia que también se ha reportado en los estudios de Trejo y Dirzo (2002), Gallardo-Cruz *et al.* (2005) y Cervantes-Gutiérrez *et al.* (2017), quienes apuntan que en el BTC de México el recambio de especies entre SM es muy alto. Ambos aspectos sugieren que las acciones de rehabilitación en Teteltzin están impulsando tendencias parecidas a las que se dan en condiciones naturales, lo que seguramente se debe al uso de especies que son parte del proceso de sucesión natural que ocurre en el BTC en la región de estudio.

Suelo

Las condiciones actuales del suelo en el FRAG-1 son adecuadas para el establecimiento y desarrollo de las plantas, ya que, con excepción de la profundidad, los valores de pH, DA y porosidad no presentan limitaciones para el desarrollo de las raíces, la circulación del aire y el agua, o la absorción de nutrientes y agua. De acuerdo con las categorías propues-



tas para evaluar la condición de los suelos en México, los contenidos de MO y Nt calificaron principalmente hacia una categoría de valores medios, mientras que el CO tendió a ser bajo. Aunque estos valores pudieron estar influenciados por la escasa profundidad del suelo en Teteltzin (Tabla 3), debe considerarse que se encuentran en el intervalo de valores de CO reportados para México: 0.006% - 16.40%, en los primeros 20 cm de suelo (Segura-Castruita *et al.*, 2005).

Los valores de CIC y de pH NaFl sugieren que los suelos de Teteltzin contienen material amorfo de arcilla del tipo alofano que favorece su fertilidad potencial (Jongmans *et al.*, 1994). Esto se observa en los SM-1, 6, 8 y 10, donde se encontraron los valores más altos para CIC y pH NaFl; inclusive en los tres primeros el contenido de arcilla también resultó ser el más alto (Tabla 3). Estos amorfos, de forma similar a la MO, tienen una gran superficie específica y una gran capacidad de absorción, lo que contribuye considerablemente a la fertilidad natural del suelo y favorece la retención de agua (Gama-Castro *et al.*, 2000). Estos hallazgos no son exclusivos de Teteltzin, también se informa la presencia de alofanos en suelos de la misma región de estudio que tienen una larga historia de manejo y que soportan vegetación de BTC (Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 2005).

La agregación del suelo resulta de la floculación, cementación y reordenamiento de sus partículas (Sex *et al.*, 2000); el proceso está controlado por el CO, la biota, las asociaciones iónicas, el contenido de arcilla y los carbonatos (Duiker *et al.*, 2003), así como por la presencia de amorfos (Hesammi *et al.*, 2014). Con esta base y considerando las características químicas del suelo con respecto a la alta CIC, abundancia de Ca²⁺, presencia de amorfos y arcillas, y contenidos aceptables de CO, se puede decir que, actualmente el FRAG-1 tiene todas las condiciones para que ocurra la agregación.

Los agregados del suelo son muy importantes en las funciones del suelo debido a su relación con la erosión, el movimiento del agua y el crecimiento de las raíces de las plantas, por tanto, es deseable que sean estables (USDA, 1996; Márquez *et al.*, 2004). En los suelos de Teteltzin, los macro agregados >25 mm no sólo fueron abundantes, sino que también una proporción considerable mantuvo su estabilidad (Figura 2). Dado que la formación de agregados es uno de los indicadores más utilizados para estudiar la estructura del suelo (Martínez-Trinidad *et al.*, 2008; Torres-Guerrero *et al.*, 2013; Hesammi *et al.*, 2014), nuestros resultados advierten la recuperación de dicha estructura. Todo esto es la expresión del proceso de recuperación del suelo que ha ocurrido a partir del restablecimiento de la vegetación en Teteltzin. Actualmente, no sólo hay buenas condiciones para el desarrollo de las plantas, también hay otras propiedades, como el tamaño de los agregados que afectan positivamente la recuperación de la calidad del suelo, además de contrarrestar el riesgo de degradación hídrica, eólica, física y química del mismo.

Percepción y beneficios ambientales del área rehabilitada

A pesar de que el Sr. Aranda no recibió ningún incentivo económico o material para mantener la plantación, es encomiable que la haya mantenido durante 17 años y desee continuar con la rehabilitación de otras áreas de su propiedad. Consideramos que los objetivos del Proyecto de Restauración Ambiental (Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 2001), basados en la lógica del descanso de la tierra y los sistemas de producción agrícola, así como la incorporación de los intereses del productor, fueron los factores que potenciaron el éxito de la estrategia. Desafortunadamente, estos elementos se han tomado poco en cuenta por las políticas públicas de reforestación en la región de La Montaña y ha sido una de las principales causas de su fracaso (Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 1996).

Actualmente, el área rehabilitada cubre las necesidades de leña de la unidad familiar (UF) y la de otros habitantes de Teteltzin y comunidades vecinas. Asimismo, la UF se apropia de otros bienes y servicios como flores, leña y magueyes que sirven para el autoconsumo o que se venden en el mercado local (Tabla 6). Aunque estos servicios ambientales son reconocidos por diversas poblaciones humanas que habitan en el BTC en México (Argueta, 1994; Dorado *et al.*, 2002; Castillo *et al.*, 2005), en el contexto de áreas degradadas como Teteltzin, este reconocimiento adquiere mayor relevancia, pues la carencia de bienes y servicios ambientales fundamentó el proceso de valorización de los recursos naturales, lo que se expresó en una inversión de energía y tiempo para establecer y mantener el área restaurada, esto sugiere que se está presentando un proceso de apropiación de la estrategia, sin embargo, es necesario evaluar la dinámica social y económica de la UF para analizar su contribución al proceso de restauración. Lo anterior coincide con lo indicado por Benayas *et al.* (2009), quienes mencionan que la restauración de áreas degradadas no representa un sacrificio económico sino, más bien, una inversión que se traduce en el retorno de bienes y servicios ambientales que mejoran el bienestar de las poblaciones humanas.

CONCLUSIONES

En Teteltzin la estrategia de rehabilitación con especies nativas del BTC de la región permitió recuperar una estructura y composición vegetal que anteriormente se encontraba escasamente desarrollada, esto contribuyó al mejoramiento de las condiciones fisicoquímicas del suelo y favoreció la recuperación de bienes y servicios ambientales que satisfacen las necesidades de la unidad familiar y, a su vez, les permite obtener excedentes que son comercializados en el mercado local.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la familia Aranda por su hospitalidad e invaluable asistencia. Además, agradecemos a Iván Roldán-Aragón por su ayuda en el muestreo de la vegetación y a Gilberto Vela-Correa por facilitar el uso del laboratorio de suelos. Alan Chaparro-Santiago agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), México, por la beca otorgada (No. 371433).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Garavito, M. y E. Ramírez (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Bogotá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Altieri, M. y J. Trujillo (1987). "The agroecology of corn production in Tlaxcala, Mexico", en *Human Ecology*, 15(2): 189-220.
- Argueta, A. (1994). *Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana I, II, III*. México, Instituto Nacional Indigenista.
- Aronson, J. et al. (2010). "Are socioeconomic benefits of restoration adequately quantified? A meta-analysis of recent papers (2000-2008). *Restoration Ecology and 12 other scientific journals*", en *Restoration Ecology*, 18(2): 143-154.
- Aronson, J. et al. (1993). "Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the South", en *Restoration Ecology*, 1(1): 8-17.
- Balvanera, P. et al. (2002). "Patterns of β -diversity in a Mexican tropical dry forest", en *Journal of Vegetation Science*, 13(2): 145-158.
- Benayas, J. et al. (2009). "Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis", en *Science*, 325(5944): 1121-1124.
- Bezaury, J. (2010). "Las selvas secas del Pacífico Mexicano en el contexto mundial", en Ceballos, G. et al. (eds.). *Diversidad, Amenazas y Áreas Prioritarias para la Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México* (21-40). México, Fondo de Cultura Económica, México..
- Blakemore, L. C.; Searle, P. y B. Daly (1981). *Soil bureau laboratory methods. A method for chemical analysis of soils*. New Zealand, Soil Bureau Scientific Report.
- Carabias, J.; Provencio, E. y C. Toledo (1994). *Manejo de recursos naturales y pobreza rural*. México, Fondo de Cultura Económica.

- Castillo, A. *et al.* (2005). "Understanding the interaction of rural people with ecosystems: a case study in a tropical dry forest of México", en *Ecosystems*, 8(6): 1-13.
- Cervantes-Gutiérrez, V.; Arriaga-Martínez, V. y J. Carabias-Lillo (1996). "La problemática socioambiental e institucional de la reforestación en la región de La Montaña, Guerrero, México" en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 59: 67-80.
- Cervantes-Gutiérrez, V. *et al.* (2001). *Técnicas para Propagar Especies Nativas de Selva Baja Caducifolia y Criterios para Establecer Áreas de Reforestación*. México, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cervantes-Gutiérrez, V. *et al.* (2005). "The land classification system of the San Nicolás Zoyatlán (Mexico) Nahuatl indigenous community: a basis for a suitable parametric soil use proposal", en *Human Ecology Review*, 12(1): 44-59.
- Cervantes-Gutiérrez, V.; Carabias-Lillo, J. y V. Arriaga-Martínez (2008). "Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental", en: *Capital Natural de México, Vol. III: Políticas Públicas y Perspectivas de Sustentabilidad*, Conabio, México. pp. 155-226.
- Cervantes-Gutiérrez, V. *et al.* (2014). "Basis for implementing restoration strategies: San Nicolás Zoyatlan social-ecological system (Guerrero, Mexico)" en *Terra Latinoamericana*, 32(2): 143-159.
- Cervantes-Gutiérrez, V. *et al.* (2017). "Vegetation of a tropical dry forest in a landscape with chronic disturbance: the case of the indigenous community of San Nicolás Zoyatlan (Guerrero, Mexico)", en *Botanical Sciences*, 95(3): 433-459.
- Coneval (2012). Pobreza municipal, disponible en coneval.org.mx/coordinación/entidades/Guerrero/Paginas/pob_municipal.aspx.
- Cramer, V.; Hobbs, R. y R. Standish (2008). "What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly", en *Trends in Ecology and Evolution*, 23(2): 104-112.
- Dorado, O. *et al.* (2002). "Educación ambiental para la biodiversidad en el trópico seco, reserva de la biosfera Sierra de Huautla, Morelos, México", en *Tópicos en Educación Ambiental*, 4(12): 23-33.
- Duiker, S. *et al.* (2003). "Iron (Hydr) Oxide Crystallinity Effects on Soil Aggregation", en *Soil Science Society American Journal*, 67: 606-611.
- Durán, E. *et al.* (2006). "Structure and tree diversity patterns at the landscape level in a Mexican tropical deciduous forest", en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79: 43-60.
- Fernández-Nava, R. *et al.* (1998). "Listado florístico de la cuenca del río Balsas, México", en *Polibotánica*, 9: 1-151.
- Gallardo-Cruz, J.; Meave, J. y E. Pérez-García (2005). "Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México", en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 76: 19-35.

- Gama-Castro, J.; Solleiro-Rebolledo, E. y E. Vallejo-Gómez (2000). "Wheathered pumice influence on selected alluvial soil properties in west Nayarit, Mexico", en *Soil and Tillage Research*, 55(3-4): 143-165.
- Gentry, A. (1995). "Diversity and floristic composition of neotropical dry forest", en Bullock S.; Mooney, H. y E. Medina (eds.). *Seasonally Dry Tropical Forest* (146-194). Cambridge, Cambridge University Press.
- Guízar-Nolazco, E. y D. Granados-Sánchez (1996). "Ecología de la vegetación secundaria del suroeste de Puebla", en *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 2(1): 53-59.
- Hesammi, E. *et al.* (2014). "The role of soil organisms on soil stability; (a Review)", en *International Journal of Current Life Sciences*, 4: 10328-10334.
- Hobbs, R. y D. Norton (1996). "Towards a conceptual framework for restoration ecology", en *Restoration Ecology*, 4(2): 93-110.
- Holl, K. y J. Cairns (2008). "Monitoring and appraisal", en Perrow, M. y A. Davy (eds.). *Handbook of Ecological Restoration. Volume 1. Principles of Restoration* (411-432). Cambridge, Cambridge University Press.
- Inegi (2010). Censo de población y vivienda. Localidades con menos de 5 mil habitantes, disponible en: <http://www.inegi.org.mx>.
- Jongmans, T. *et al.* (1994). "Morphology, chemistry and mineralogy of isotropic aluminosilicate coating in a Guadeloupe Andisol", en *Soil Science Society American Journal*, 58(2): 501-507.
- Karremans, J. (1994). *Sociología Para El Desarrollo: Métodos de Investigación y Técnicas de la Entrevista*. Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Kemper, W. y R. Rosenau (1986). "Aggregate Stability and Size Distribution", en *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9* (425-442). Society of Agronomy/Soil Science of America.
- Landa, R.; Meave, J. y J. Carabias (1997). "Environmental deterioration in rural Mexico: an examination of the concept", en *Ecological Applications*, 7: 316-373.
- Lein, J. (2003). *Integrated Environmental Planning*. Oxford, Blackwell Science.
- Martínez-Trinidad, S. *et al.* (2008). "Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco", en *Terra Latinoamericana*, 26(4): 299-307.
- Márquez, C. *et al.* (2004). "Aggregates-size stability distribution and soil stability", en *Soil Science Society American Journal*, 68: 725-735.
- Maza-Villalobos, S.; Lemus-Herrera, C. y M. Martínez-Ramos (2011). "Successional trends in soil seed Banks of abandoned pastures of a Neotropical dry region", en *Journal of Tropical Ecology*, 27(1): 35-49.

- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York, Wiley.
- Newton, A.C. y N. Tejedor (2011). "Introduction", en *Principles and Practice of Forest Landscape Restoration. Case Studies from the Drylands of Latin America* (1-21). Gland, Switzerland, IUCN.
- Peguero, G. *et al.* (2012). "Allelopathic potential of the neotropical dry-forest tree *Acacia pennatula* Benth.: inhibition of seedling establishment exceeds facilitation under tree canopies", en *Plant Ecology*, 213(12): 1945-1953.
- Pérez-Reyna, K.; Hernández-Franco, Y. y C. Toledo-Manzur (1998). "Análisis espacial de los aspectos demográficos, agrarios y ambientales de tres municipios de La Montaña de Guerrero", en *Investigaciones Geográficas*, (37): 37-58.
- Prat, C. y A. Martínez-Palacios (2012). "Land reclamation by agave forestry with native species", en Schwilch, G.; Hessel, R. y S. Verzandvoort (eds.), *Desire for greener land. Options for sustainable sand management in drylands* (161-164). Bern, Switzerland and Wageningen, The Netherlands, University of Bern-CDE, Alterra-Wageningen UR, ISRIC-World Soil Information and CTA-Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation.
- Rachie, K. (1979). *Tropical Legumes: Resources for the future*. Washington, D.C., The National Academy Press.
- Rzedowski, J. y G. Calderón (2013). "Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del bosque tropical caducifolio de México", en *Acta Botánica Mexicana*, 102: 1-23.
- SCS-USDA (1984). *Procedures for collecting soil samples and methods for analysis for soil survey*, Report No.1 (revised), Washington, D.C. Department of Agriculture-Soil Survey Investigations/Soil Conservation Service.
- Segura-Castruita, M. *et al.* (2005). "Carbono orgánico de los suelos de México", en *Terra Latinoamericana*, 23: 21-28.
- SER (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*.
- Sex, J.; Elliott, E. y K. Paustian (2000). "Soil Structure and Soil Organic Matter: II. A Normalized Stability Index and the Effect of Mineralogy", en *Soil Science Society American Journal*, 64(3): 1042-1049.
- Suding K. (2011). "Toward an era of restoration in ecology: successes, failures, and opportunities ahead", en *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42: 465-487.
- Toledo-Guzmán, A. D. (2014). *Dinámica del paisaje y factores causales de cambio en la zona cálida de la región de la Montaña de Guerrero*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana.

- Torres-Guerrero, C. *et al.* (2013). "Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo", en *Terra Latinoamericana*, 31(1): 71-84.
- Trejo, I. y R. Dirzo (2000). "Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in México", en *Biological Conservation*, 94(2): 133-142.
- Trejo, I. y R. Dirzo (2002). "Floristic diversity of mexican seasonally dry tropical forest", en *Biodiversity and Conservation*, 11(11): 2063-2084.
- USDA (1996). *Soil quality indicator: aggregate stability*. Washington D.C., Department of Agriculture.
- Wali, M. (1992). "Ecology of the rehabilitation process", en Wali, M. (ed.), *Ecosystem Rehabilitation, volume 1: policy issues* (3-26). The Hague, The Netherlands, SBP Academic Publishing bv.
- Wortley, L.; Hero, J. y M. Howes (2013). "Evaluating ecological restoration success: a review of the literature", en *Restoration Ecology*, 21(5): 537-543.
- Zar, J. (1984). *Biostatistical Analysis*. New Jersey, Prentice-Hall.

