

## ¿Es la reforestación una estrategia para la rehabilitación de bosques de pino? Una experiencia en el centro de México

Is the reforestation a rehabilitation strategy for pine forest? An experience in central Mexico

Araceli Ventura-Ríos <sup>a</sup>, Francisca Ofelia Plascencia-Escalante <sup>\*\*</sup>,  
Patricia Hernández de la Rosa <sup>a</sup>, Gregorio Ángeles-Pérez <sup>a</sup>, Arnulfo Aldrete <sup>a</sup>

\*Autor de correspondencia: <sup>a</sup> Colegio de Postgraduados, Postgrado en Ciencias Forestales, km 36,5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México, México, C.P. 56230, tel.: 52 595 9520200, fplascen@colpos.mx

### SUMMARY

Ecological restoration is considered an important tool to reverse the degradation conditions that diverse ecosystems present worldwide, where its purpose is to recover the ecosystem structure and processes. Reforestation is a widely used strategy for restoration, which generally considers only the survival and growth as part of its monitoring. Therefore, the objective of this study was evaluating the effect of *Pinus greggii* introduction in the structure, biomass and the understory species diversity. Three reforested sites were selected -of 5, 12 and 14 years old-, a reference site (dominated by *Pinus cembroides*) and a degraded site (dominated by grasses). We established eight circular 400 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup> and 1 m<sup>2</sup> plots (nested) to measure diameter, height of tree canopy, shrubs and herbaceous richness and diversity in the understory. Allometric equations were used to calculate aerial biomass. Alpha and beta diversity of the understory was determined. The highest biomass accumulation was found in the reference site (25.27 Mg ha<sup>-1</sup>), followed by the older reforestation (R14) with 14.16 Mg ha<sup>-1</sup>. These had higher species richness and diversity likewise. The Jaccard index showed larger similarity between the degraded site and the five year-old reforestation (61 %). It was found that R14 achieved accumulation of biomass, species richness and diversity similar to those from the reference site.

*Key words:* restoration, understory, biomass, *Pinus greggii*, *Pinus cembroides*.

### RESUMEN

La restauración ecológica es considerada una herramienta importante para revertir las condiciones de degradación que presentan diversos ecosistemas a nivel mundial, ya que su propósito es recuperar las funciones y estructura del ecosistema. Las reforestaciones son una estrategia de restauración ampliamente utilizada, donde generalmente solo se considera la supervivencia y crecimiento como parte de su monitoreo. Por lo cual, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la introducción de *Pinus greggii* en la estructura, biomasa aérea y diversidad de especies en el sotobosque. Se seleccionaron tres áreas reforestadas de 5, 12 y 14 años, un sitio de referencia (dominado por *Pinus cembroides*) y un sitio degradado (dominado por gramíneas). Estableciendo ocho parcelas circulares de 400 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup> y 1 m<sup>2</sup> (anidados) para medir diámetro y altura del componente arbóreo, riqueza y composición de arbustos y herbáceas en el sotobosque. Para calcular la biomasa se utilizaron ecuaciones alométricas. Se determinó la diversidad alfa y beta del sotobosque. La mayor acumulación de biomasa aérea se encontró en el sitio de referencia (25,27 Mg ha<sup>-1</sup>), seguido de la reforestación de mayor edad con 14,16 Mg ha<sup>-1</sup>. De igual manera dichas condiciones presentaron mayor riqueza y diversidad de especies. El índice de Jaccard mostró mayor similitud entre el sitio degradado y la reforestación de cinco años (61 %). Los resultados mostraron que la R14, fue la condición que presentó valores de acumulación de biomasa aérea, riqueza y diversidad de especies, similares al sitio de referencia.

*Palabras clave:* restauración, sotobosque, biomasa, *Pinus greggii*, *Pinus cembroides*.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la pérdida de los recursos naturales y la degradación de los ecosistemas no es una problemática única de un país. A nivel mundial los ecosistemas presentan cierto grado de degradación, siendo la causa principal las actividades humanas (Rey-Benayas y Bullock 2012). En México, se reporta que en los últimos cinco años la tasa de deforestación se ha reducido, sin embargo, una gran

mayoría de sus bosques presentan altos niveles de perturbación debido a causas antrópicas y naturales (incendios, pastoreo y tala ilegal) (Sarukhán *et al.* 2015).

Muchas instituciones gubernamentales y educativas, además de la sociedad en general se han dado a la tarea de frenar el deterioro de los recursos, y por otra parte, revertir los daños causados (Chazdon 2008). Actualmente, existen varias estrategias, que tienen como objetivo principal revertir en lo posible dicho deterioro, por ejemplo Bradshaw

(1987) menciona tres alternativas: la restauración, rehabilitación y el reemplazo. Otros autores mencionan más de tres alternativas con un enfoque de paisaje, tales como la rehabilitación, las plantaciones comerciales o agroforestales, reforestaciones con especies nativas, regeneración natural asistida y, por último, la regeneración natural o restauración pasiva (Chazdon 2008). Cualquiera de estas estrategias, tienen como propósito la recuperación en diferente medida de la estructura y/o las funciones del ecosistema degradado, así como la integridad ecológica del paisaje (Bradshaw 1987, Ruiz-Jaén y Aide 2005), donde la meta final es obtener un ecosistema, autosuficiente y resiliente ante nuevas perturbaciones, manteniéndose estructural y funcionalmente, e interactuando con ecosistemas aledaños en términos de flujos bióticos y abióticos (SER 2004). En cuanto a la estrategia de la rehabilitación, esta se refiere al proceso de recuperación que se da en sitios altamente degradados con el fin de recuperar parcialmente la estructura y/o función del ecosistema, sin necesariamente llegar al ecosistema de referencia. Por razones ecológicas, sociales o económicas particulares a cada sitio, la rehabilitación se realiza utilizando no necesariamente todas las especies que estaban presentes originalmente en el lugar (Lamb y Gilmour 2003, Chazdon 2008).

La historia de la degradación ambiental en El Porvenir, Hidalgo (Centro de México) es similar a la que ocurre en otras regiones del mundo. La agricultura de autoconsumo, la presencia de ganado, uso de madera con fines energéticos y la utilización de madera para construcción y comercialización (esta última en baja escala) fueron las principales actividades de la zona que provocaron la pérdida de la cubierta vegetal y como consecuencia provocaron erosión, pérdida de la fertilidad del suelo y la biodiversidad. Ante dicha problemática los pobladores del lugar decidieron establecer reforestaciones como una estrategia de rehabilitación de la zona. Inicialmente, (en el año de 1998) se establecieron reforestaciones con diferentes especies, tales como *Pinus cembroides* Zucc., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. greggii* Engelm., *Cupressus* sp., *Casuarina* sp. y *Eucalyptus* sp. Sin embargo, dadas las condiciones de degradación del lugar la especie que mejor se adaptó fue *P. greggii* (Navarro-Muñoz *et al.* 2000, Hernández-Martínez *et al.* 2007), donde actualmente existen aproximadamente 300 ha reforestadas con dicha especie. *P. greggii*, es una especie nativa de México y se distribuye de manera natural en poblaciones aisladas a lo largo de la Sierra Madre Oriental, en zonas semiáridas y a veces semitropicales (Ramírez-Herrera *et al.* 2005, Hernández-Martínez *et al.* 2007). Esta especie posee un gran potencial para adaptarse a condiciones limitantes de humedad y nutrimentos, lo que la hace una especie ampliamente utilizada en programas de reforestación para la recuperación de suelos degradados en diferentes partes de México (Ramírez-Herrera *et al.* 2005).

En los proyectos de reforestación en México generalmente la actividad que se realiza como parte de su evaluación es básicamente la supervivencia, sin embargo, desde

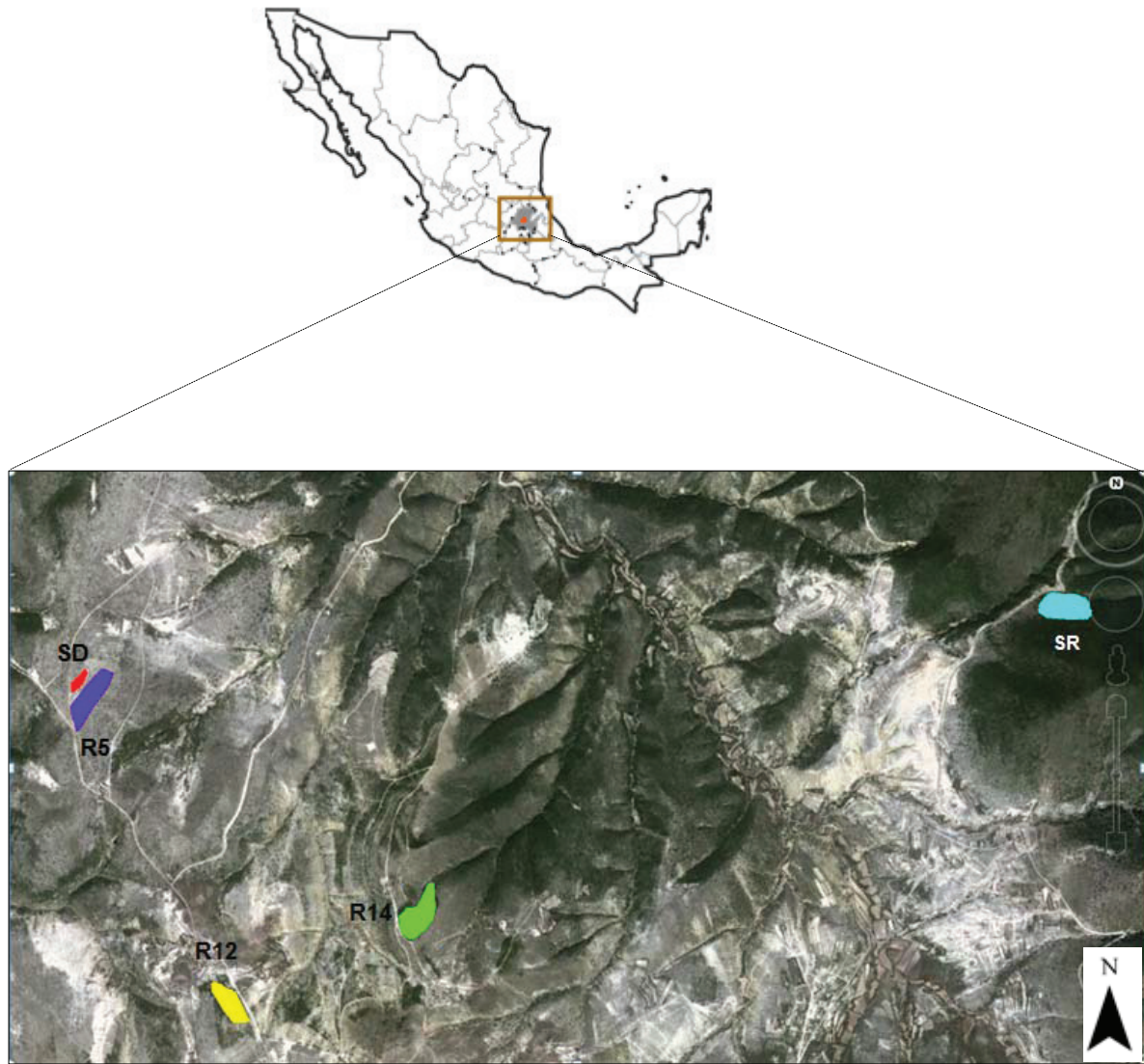
el punto de vista de la rehabilitación es necesario evaluar otros atributos que indiquen el trayecto de la recuperación de la estructura y funciones de la zona rehabilitada. Ruiz-Jaén y Aide (2005) señalan tres ejes principales mediante los cuales se puede determinar esta trayectoria de cualquier trabajo de restauración, rehabilitación o recuperación, los cuales contemplan la estructura de la vegetación, la diversidad de especies y las funciones del ecosistema.

Por lo tanto, los objetivos de este trabajo son: a) determinar la estructura arbórea, b) estimar la acumulación de biomasa aérea y c) evaluar la diversidad vegetal en el sotobosque, en tres reforestaciones con *P. greggii* de diferentes edades (5, 12 y 14 años), un sitio degradado (SD, dominado por gramíneas) y un sitio de referencia (dominado por *P. cembroides*). Las hipótesis propuestas son: a) La estructura arbórea en las reforestaciones no es diferente al sitio de referencia, b) la acumulación de biomasa de las reforestaciones no es diferente a la biomasa acumulada en el sitio de referencia, c) la diversidad del sotobosque en las reforestaciones no es diferente de los sitios de referencia y degradado, y d) no existen similitudes florísticas entre el sitio de referencia, sitio degradado y las reforestaciones.

## MÉTODOS

*Área de estudio.* El estudio se realizó en el estado de Hidalgo (Centro de México), en la comunidad de El Porvenir, municipio de Santiago de Anaya (figura 1). Sus coordenadas geográficas son 20°25'39" de latitud Norte y 98°57'07" de longitud Oeste con una variación altitudinal de 1.800 a 2.200 m. El clima que predomina en la zona es templado semiseco con lluvias en verano, con un promedio anual de 550 mm y un porcentaje de precipitación invernal menor al 5 %. La presencia de heladas en esta región es durante los meses de noviembre a febrero con intervalos de 40 a 60 días; mientras que en el mes de mayo se pueden presentar granizadas, ya que se asocian a las primeras precipitaciones. Los principales tipos de vegetación que se encuentran en la zona de la comunidad de El Porvenir, son matorral xerófilo y bosque de pino, principalmente existen rodales de *Pinus cembroides* Zucc., asociado con *Juniperus flaccida* Schltldl (Rzedowski 1991, SAGARPA 2001).

*Sitios de muestreo.* Se seleccionaron tres reforestaciones con un promedio de 5, 12 y 14 años de edad (R5, R12 y R14, respectivamente), un sitio de referencia (remanentes del bosque original) (SR), y finalmente un sitio degradado (SD) (cuadro 1, figura 2). En cada edad de reforestación y sitio de referencia se establecieron de manera sistemática ocho sitios de muestreo de 400 m<sup>2</sup> de forma circular (radio de 11,28 m) con una distancia de 50 m entre ellos. La densidad de plantación (1.100 árboles ha<sup>-1</sup>) y el tamaño inicial de las plántulas (15-25 cm de altura) fue la sugerida por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR 2010). Además se realizaron obras de conservación de suelo y agua (presas de gaviones, piedra acomodada y terrazas).

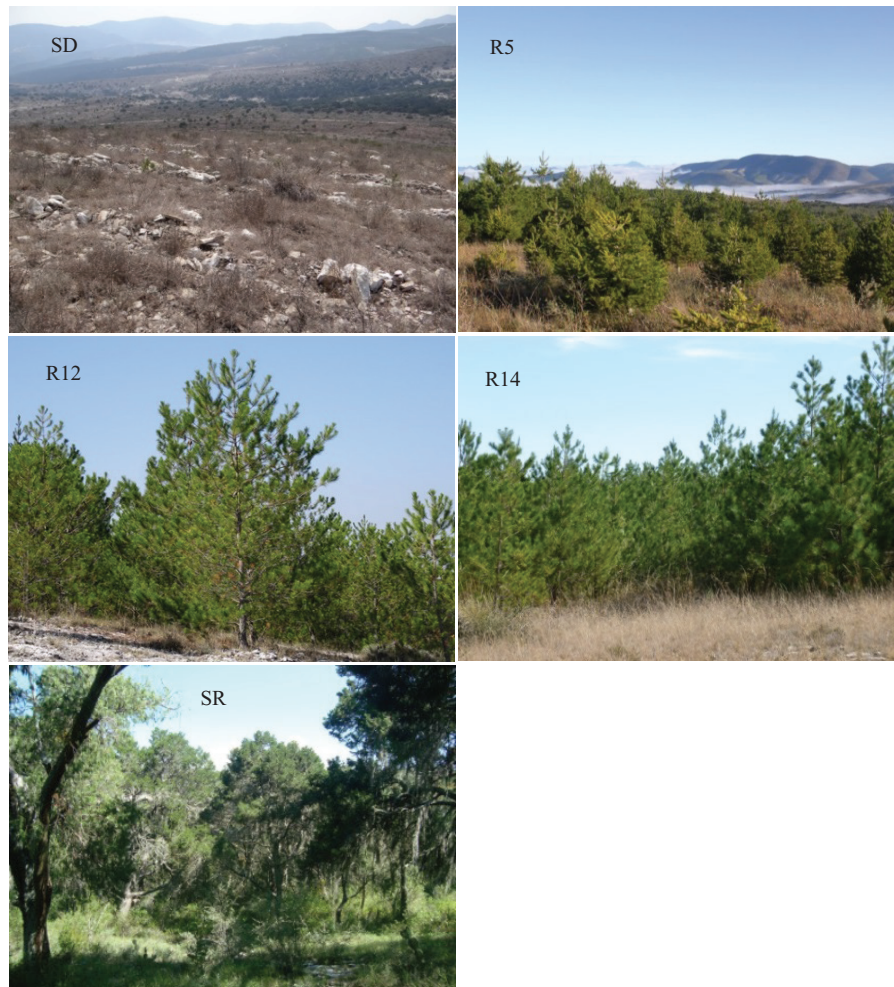


**Figura 1.** Localización geográfica del área de estudio y sitios de muestreo (México).  
 Study site location and sampling sites (Mexico).

**Cuadro 1.** Características de los sitios de muestreo en El Porvenir Hidalgo, México.  
 Characteristics of the sampling sites at El Porvenir Hidalgo, Mexico.

Localidad	Especie arbórea dominante	Condición	Coordenadas geográficas	Altitud (m s.n.m)	Pendiente (%)
El Porvenir	-	Sitio degradado (SD)	20° 27' 45,5" N; 98° 57' 54,6" O	2.245	25
El Porvenir	<i>Pinus greggii</i>	Reforestación de 5 años (R5)	20° 27' 37,1" N; 98° 57' 53,3" O	2.210	25
El Porvenir	<i>Pinus greggii</i>	Reforestación de 12 años (R12)	20° 26' 36,8" O; 98° 57' 19,0" N	2.295	30
El Porvenir	<i>Pinus greggii</i>	Reforestación de 14 años (R14)	20° 26' 37,6" N; 98° 56' 40,6" O	2.298	20
Fontezuelas	<i>Pinus cembroides</i>	Sitio de referencia (SR)	20° 27' 59,17" N; 98° 54' 11,4" O	2.287	30





**Figura 2.** Sitios seleccionados: Reforestaciones de *Pinus greggii* de diferentes edades (R5 = 5 años, R12 = 12 años y R14 = 14 años de edad), sitio de referencia dominado por *Pinus cembroides* (SR) y sitio degradado (SD) dominado por gramíneas.

Selected sites: Reforestations of *Pinus greggii* of different ages (R5 = 5 years old, R12 = 12 years old and R14 = 14 years old), reference site dominated by *Pinus cembroides* (SR) and a degraded site (SD) dominated by grasses.

*Estructura y biomasa aérea.* A todos los individuos dentro de los sitios de 400 m<sup>2</sup> se les midió la altura total (m) con ayuda de una vara telescópica y el diámetro normal con una cinta diamétrica (cm). En el sitio de referencia, se consideraron solamente los árboles de la especie dominante (*P. cembroides*).

El área basal se determinó usando la siguiente ecuación para ambas especies [1] (Torres-Rojo y Magaña-Torres 2001):

$$AB = \frac{\pi(DN)^2}{4} \quad [1]$$

Donde,  
 AB = Área basal (m<sup>2</sup>)  
 $\pi$  = Valor de Pi (3,1416)  
 DN = Diámetro normal (cm)

La estimación de la biomasa total aérea (B) se obtuvo usando modelos alométricos previamente generados, y donde los parámetros necesarios para utilizar estos modelos son el diámetro normal (DN en cm) y altura total (H en m). Para calcular la biomasa aérea total para *P. greggii* se usó el modelo generado para *Pinus patula* [2] (Soriano-Luna *et al.* 2015), en tanto para el sitio de referencia donde domina *P. cembroides* se usó el modelo propuesto por Whittaker y Niering (1975) [3].

$$B = e^{-4,554805} - (DN^2H)^{1,047218} \quad [2]$$

$$B = 10^{2,7593} - DN^{1,6563} \quad [3]$$

Para establecer las diferencias significativas entre las condiciones estudiadas y las variables cuantitativas, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía.

Asimismo, se realizó la separación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95 %.

**Medición del sotobosque.** En cada condición del estudio (R5, R12, R14, sitio de referencia y sitio degradado) y dentro de cada sitio de 400 m<sup>2</sup> se estableció un sitio de 100 m<sup>2</sup> para medir la riqueza y abundancia del estrato arbustivo. Para evaluar la riqueza y abundancia de especies del estrato herbáceo se establecieron cuatro sitios de 1 m<sup>2</sup>, de forma anidada en los sitios de 100 m<sup>2</sup>, colocados en cuatro direcciones (noreste, noroeste, sureste y suroeste) a una distancia de 5,64 m del centro del sitio. Se colectaron ejemplares botánicos en campo con la presencia de flores y frutos para su posterior identificación. Se determinó la composición florística para cada estrato a nivel de familia, género y especie de los sitios muestreados. La colecta se realizó en zonas aledañas a los sitios muestreados, con el fin de no perturbar las condiciones de los mismos. La colecta y las mediciones se realizaron en la época de secas (de diciembre a marzo del 2013), por lo que las especies típicas del sotobosque de la época de lluvias no fueron incluidas en el muestreo.

**Análisis de datos.** La diversidad alfa se obtuvo a través de los índices de Simpson y Berger-Parker considerados como sencillos de obtener y entre los más robustos para analizar la diversidad. Para calcular cada índice se utilizó el paquete de libre acceso Species Diversity & Richness 4<sup>®</sup> versión 2006 (Seaby y Henderson 2006). Además, las especies encontradas en el sotobosque se clasificaron en tres formas de vida: arbustos, herbáceas dicotiledóneas y gramíneas.

Con el fin de conocer las diferencias significativas sobre los parámetros de riqueza y diversidad de especies en las diferentes formas de vida y entre las diferentes condiciones bajo estudio, se realizó un análisis no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis de una vía y la

prueba de suma de rangos de Wilcoxon con un nivel de confianza del 95 %. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico InfoStat<sup>®</sup>. Además, para confirmar las diferencias en la dominancia de los sitios bajo comparación se elaboró una gráfica de rangos de especies, la cual también proporciona información sobre la riqueza de especies.

La diversidad beta se analizó a través del índice de Jaccard y un dendrograma, el cual muestra la similitud entre los sitios bajo estudio; este se obtuvo con el programa PC-ORD versión 4.0 (McCune y Medford 1999). Dicho programa también se utilizó para realizar una ordenación a través del análisis de correspondencia rectificado (DCA) que reduce un conjunto de datos con múltiples variables por medio del arreglo de las observaciones a lo largo de un número menor de variables no correlacionales y ortogonales. Los atributos de la vegetación utilizados para dicho análisis fueron la composición y abundancia de especies presentes en el sotobosque (arbustos, herbáceas dicotiledóneas y gramíneas), para lo cual se incluyeron todas las especies encontradas en las cinco condiciones bajo estudio.

## RESULTADOS

**Estructura y biomasa aérea.** Las variables evaluadas presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre las condiciones estudiadas, a excepción de la densidad. Se observó que la condición R5 presentó los valores menores en todas las características, lo cual es de esperarse debido a la edad de dicha reforestación. Por otro lado, las comparaciones entre R12, R14 y el sitio de referencia solo mostraron diferencias significativas en altura y biomasa aérea (cuadro 2). Con respecto a la reforestación de cinco años (R5) no se presentan datos sobre biomasa aérea ya que las ecuaciones existentes para la especie sobreestiman los valores de biomasa a temprana edad.

**Cuadro 2.** Valores de las diferentes características evaluadas en las condiciones estudiadas: Reforestaciones con especies de pinos (*Pinus* spp.) de diferentes edades (R5, R12 y R14) y sitio de referencia (SR). Los datos que se presentan son de individuos medidos a 1,30 m de altura (DAP).

Values of the different characteristic evaluated in the study conditions: Reforestations with pine species (*Pinus* spp.) of different ages (R5, R12 and R14) and reference site (SR). The data represented are from individuals measured at 1.30 m height (DBH).

Característica	Condición			
	R5	R12	R14	SR
Especie dominante	<i>P. greggii</i>	<i>P. greggii</i>	<i>P. greggii</i>	<i>P. cembroides</i>
Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	700 a	600 a	650 a	625 a
DAP (cm)	1,7 b	13,5 a	12,4 a	12,0 a
Altura (m)	2,0 c	8,1 a	8,2 a	5,1 b
Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	0,22 b	7,29 a	8,65 a	9,23 a
Biomasa aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )	-	12,17 b	14,16 ab	25,27 a

Medias con una letra común entre columnas, no son significativamente diferentes.

*Riqueza y diversidad de especies en el sotobosque.* Un total de 44 especies, distribuidas en 40 géneros y en 26 familias fueron encontradas en las diferentes condiciones estudiadas, siendo el 90 % especies nativas. Las familias con mayor riqueza fueron: Verbenaceae, Cactaceae, Poaceae y Asteraceae. Dentro de la familia Cactaceae, *Echinocactus platycanthus* Link et Otto., es endémica y se encuentra sujeta a protección especial en la Norma Oficial Mexicana-059-2010 (SEMARNAT 2010) (Apéndice A).

La mayor riqueza total de especies vegetales considerando las diferentes formas de vida (arbustos, herbáceas dicotiledóneas y gramíneas) se encontró en R14 (29), mientras que en el sitio de referencia es de 24 (cuadro 3). Las distintas formas de vida, presentan una distribución más equitativa en abundancia y riqueza de especies en el sitio de referencia, tendiendo a la uniformidad (figura 3) en comparación con el resto de las condiciones (sitio degradado, R5, R12 y R14). Esto sugiere que el enriquecimiento de especies en este sitio da como resultado un menor grado de dominancia y una redistribución del espacio y los recursos entre especies.

De acuerdo con los índices de Simpson la mayor diversidad se encontró en R14 y en el sitio de referencia. La mayor dominancia de especies se presentó en la condición del sitio de referencia, donde dominan especies de la familia Poaceae, Asteraceae y Cactaceae (índice de Beger-Parker). Mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis se identificaron dos grupos; el primero con el sitio degradado y R12; y el segundo por R5, R14 y el sitio de referencia. De manera general se observó que las prácticas de reforestación, facilitan un incremento en la riqueza y abundancia de especies en los diferentes estratos del sotobosque, sobre todo en la presencia de arbustos, ya que en el sitio degradado se encontraron solo seis especies, mientras que en el sitio de referencia la riqueza de dicho estrato se duplica (cuadro 3).

En cuanto a la similitud entre las diferentes condiciones estudiadas (diversidad beta) se distinguen dos grupos (figura 4). El primero con una mayor similitud (61 %) del sitio degradado y R5; y el segundo con menor similitud (45-50 %) entre el sitio de referencia, R12 y R14.

*Ordenación (DCA).* De acuerdo al análisis de correspondencia rectificado (DCA, figura 5), se observa una clara separación de la abundancia y composición de especies. En el sitio de referencia se forma un grupo con especies únicas y es abundante la presencia de especies con forma de vida arbustiva, y muchas de ellas no se encontraron en los sitios rehabilitados tales como: *Comarostaphylis glaucescens* Kunth Zucc y *Vauquelinia corymbosa* Correa., agrupadas en el eje 2 (eigenvalor = 29 %), dichas especies mantienen características asociadas a sitios con mayor humedad. Sin embargo, la composición de especies en las reforestaciones (R5, R12 y R14) se agrupan en el eje 1 (eigenvalor = 51 %) y se observa mayor dispersión entre ellas, la forma de vida que domina son las herbáceas tales como: *Loese-*

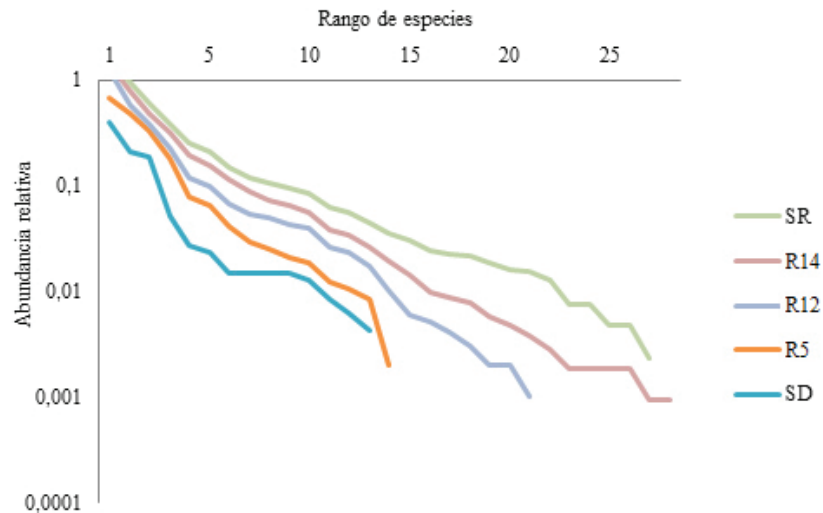
*lia coerulea* (Cav.) G. Don., *Polygonum punctatum* Ell., *Melampodium* sp., *Galium aschenbornii* Schaver, *Calylophus hartwegii* (Benth). Raven, *Castilleja lithospermoides* Kunth. y *Salvia helianthemifolia* Benth. Una característica en particular de dichas especies es que se establecen en lugares con perturbación, en el borde de caminos, y en vegetación del matorral xerófilo (CONABIO 2015). En cambio, el sitio degradado se separa del resto por su composición particular dominada por gramíneas como *Aristida adscensionis* y *Stipa* sp.

## DISCUSIÓN

*Estructura y biomasa aérea.* Después de 14 años de haberse realizado las reforestaciones en la zona del Porvenir, nuestro estudio identificó que la altura del arbolado, y la biomasa aérea fueron significativamente diferentes entre las condiciones evaluadas. Se observó una altura superior en las reforestaciones de *P. greggii* (8,2 m en R14), en cambio, *P. cembroides* presentó un arbolado con alturas promedio de 5,1 m lo cual es característica propia de la especie, ya que se ha reportado que el rango en alturas de esta especie oscila entre 5-15 m y generalmente se desarrolla sobre varios tipos de suelos como Litosoles, Rendzinas y Regosoles (Perry 2000), lo cual coincide con los tipos de suelos presentes en la zona de estudio donde no rebasan los 30 cm de profundidad.

Es importante destacar el hecho de que las dos especies que se encuentran en el estrato arbóreo no son las mismas, ya que el sitio de referencia está dominado por *P. cembroides* donde la forma de crecimiento y desarrollo de esta especie es muy distinta a la de *P. greggii*, por lo que la estructura no es exactamente la misma con el resto de las condiciones estudiadas. Por otro lado, *Pinus greggii* es una especie nativa de México, ampliamente utilizada en Programas Nacionales de Reforestación de zonas degradadas, las cuales con el paso del tiempo cumplen una función importante al acumular biomasa, proporcionar sombra al suelo, modificar el microclima del sotobosque (Harrington 1999), y proteger el suelo contra la erosión (Parrotta y Knowles 1999).

Desde el enfoque de la restauración ecológica lo ideal para la recuperación de la estructura y funciones del ecosistema es establecer especies nativas (Lugo y Helmer 2004, SER 2004) que se encuentren en remanentes de vegetación de la región (sitios de referencia). Inicialmente en El Porvenir, se realizaron reforestaciones con diferentes especies leñosas (nativas e introducidas), muchas de las cuales no sobrevivieron. Entre estas especies se utilizó *P. cembroides* (*circasitum*), estableciéndose en pequeñas superficies, debido a su lento crecimiento y desarrollo, los pobladores decidieron seguir reforestando con *P. greggii*, por su rápido crecimiento y capacidad de adaptación a las condiciones del lugar. Por ello, en este estudio se evaluaron este tipo de estrategias (reforestaciones) para determinar en qué medida estas especies recuperan o rehabilitan



**Figura 3.** Abundancia relativa y rango de especies para las condiciones de estudio: Reforestaciones de *Pinus greggii* (R5 = 5 años, R12 = 12 años y R14 = 14 años de edad), sitio de referencia (SR) y sitio degradado (SD).

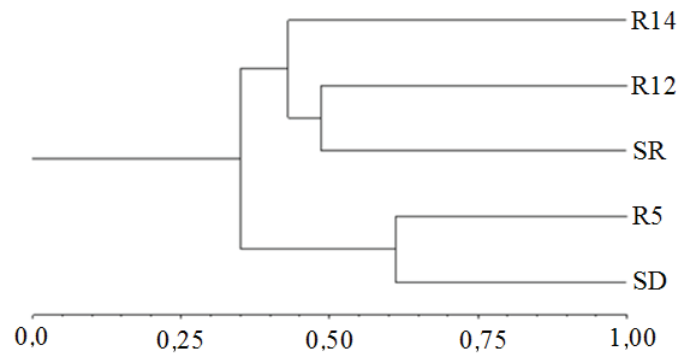
Relative abundance and species range for the study condition: Reforestations of *Pinus greggii* (R5 = 5 years old, R12 = 12 years old and R14 = 14 years old), reference site (SR) and degraded site (SD).

**Cuadro 3.** Riqueza de especies del sotobosque por forma de vida, riqueza total e índices de Simpson y Berger-Parker en las cinco diferentes condiciones muestreadas en El Porvenir, Hidalgo, México.

Understorey species richness by life form, total richness, and Indices of Simpson and Berger-Parker in the five sampled conditions at El Porvenir, Hidalgo, Mexico.

Condición	Arbustos	Herbáceas	Gramíneas	Riqueza total	Índice de Simpson	Índice de Berger-Parker
SD	6 a	5 a	3 a	14 a	4,05 a	2,5 a
R5	8 a	5 a	3 a	16 a	6,25 ab	3,6 ab
R12	10 b	9 b	3 a	22 ab	3,16 a	1,9 a
R14	10 b	15 b	4 b	29 b	7,62 b	4,2 b
SR	12 b	8 a	4 b	24 ab	9,93 b	5,9 b

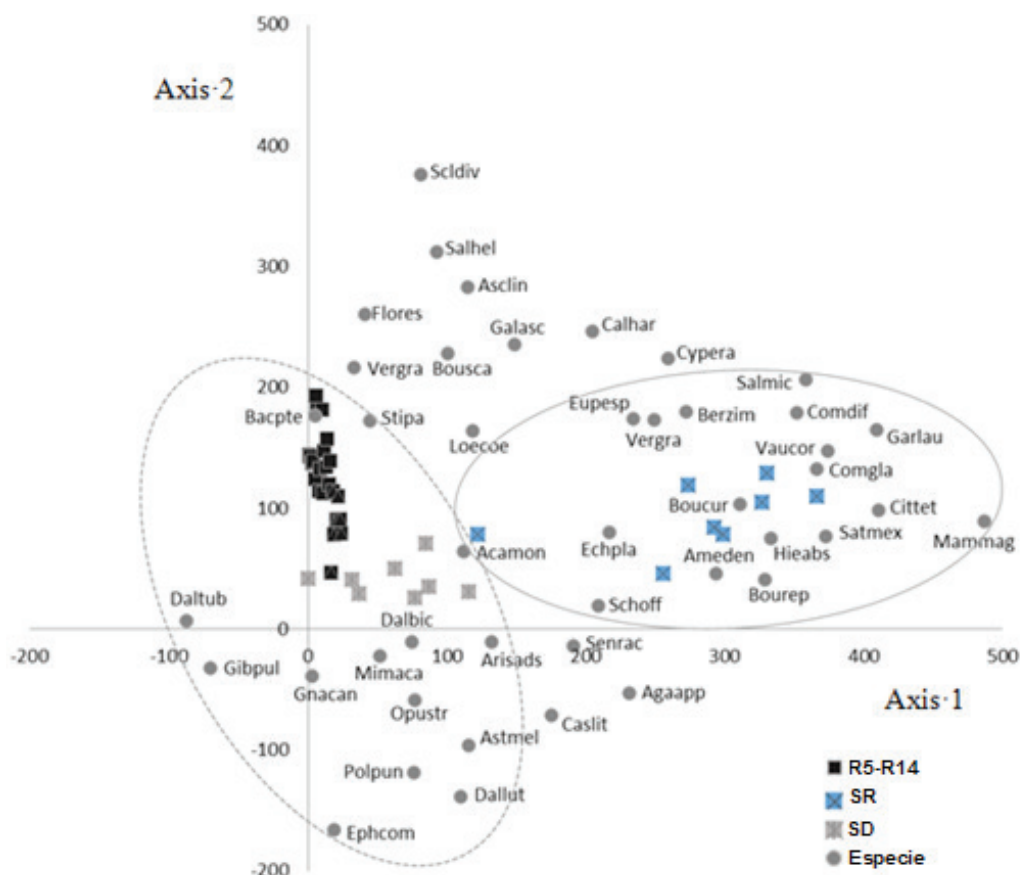
Reforestaciones de diferentes edades (R5 = 5 años, R12 = 12 años y R14 = 14 años de edad), sitio de referencia (SR) y sitio degradado (SD). Medias con una letra común entre condiciones, no son significativamente diferentes.



**Figura 4.** Índice de similaridad de Jaccard, para las condiciones de estudio y su agrupación. Reforestaciones de *P. greggii* (R5 = 5 años, R12 = 12 años y R14 = 14 años de edad), sitio de referencia (SR) y sitio degradado (SD).

Jaccard Similarity Index for the study conditions and its grouping. Reforestations of *Pinus greggii* (R5 = 5 years old, R12 = 12 years old and R14 = 14 years old), reference site (SR) and degraded site (SD).





**Figura 5.** Análisis de correspondencia rectificad (DCA) de la vegetación y abundancia de especies en las cinco condiciones estudiadas: Reforestaciones de *Pinus greggii* (R5 = 5 años, R12 = 12 años y R14 = 14 años de edad), sitio de referencia (SR) y sitio degradado (SD). Abreviaturas: Acamon *Acalypha monostachya* Cav.; Agaapp *Agave applanata*; Ameden *Amelanchier denticulata*; Arisads *Aristida adscensionis*; Asclin *Asclepias linaria*; Astmel *Melampodium* sp.; Bacpte *Baccharis pteronioides*; Berzim *Berberis zimapana*; Boucur *Boutelova curtipendula*; Bourep *Boutelova repens*; Bousca *Bouvardia scabrada*; Calhar *Calylophus hartwegii*; Chymex *Chysactinia mexicana* A.Gray.; Cittet *Citharexylum tetramerum*; Comgla *Comarostaphylis glaucescens*; Comdif *Commelina diffusa*; Cypera *Cyperaceae*; Caslit *Castilleja lithospermoides* Kunth; Dalbic *Dalea bicolor*; Dallut *Dalea lutea*; Daltub *Dalea tuberculata*; Dodvis *Dodonaea viscosa*; Echpla *Echinocactus platycanthus*; Ephcom *Ephedra compacta* Rose; Eupesp *Eupatorium espinosarum*; Garlau *Garrya laurifolia*; Galasc *Galium aschenbornii*; Gnacan *Gnaphalium canescens*; Gibpul *Gibasis pulchella*; Hieabs *Hieracium abscissum*; Loecoe *Loeselia coerulea*; Mammag *Mammillaria magnimamma*; Mimaca *Mimosa acaleaticarpa*; Opustr *Opuntia streptacantha*; Polpun *Polygonum punctatum*; Salhel *Salvia helianthemifolia*; Salmic *Salvia microphylla*; Satmex *Satureja mexicana*; Senrac *Senna racemosa*; Schoff *Schoenocaulon officinale*; Scldiv *Sclerocarpus divaricatus*; Stipa *Stipa* sp; Vaucor *Vauquelinia corymbosa*; Vergra *Verbena gracilis*.

Detrended correspondence analysis (DCA) of the vegetation and species abundance of the five study conditions: Reforestations of *Pinus greggii* (R5 = 5 years old, R12 = 12 years old and R14 = 14 years old), reference site (SR) and degraded site (SD). Abbreviations: Acamon *Acalypha monostachya* Cav.; Agaapp *Agave applanata*; Ameden *Amelanchier denticulata*; Arisads *Aristida adscensionis*; Asclin *Asclepias linaria*; Astmel *Melampodium* sp.; Bacpte *Baccharis pteronioides*; Berzim *Berberis zimapana*; Boucur *Boutelova curtipendula*; Bourep *Boutelova repens*; Bousca *Bouvardia scabrada*; Calhar *Calylophus hartwegii*; Chymex *Chysactinia mexicana* A.Gray.; Cittet *Citharexylum tetramerum*; Comgla *Comarostaphylis glaucescens*; Comdif *Commelina diffusa*; Cypera *Cyperaceae*; Caslit *Castilleja lithospermoides* Kunth; Dalbic *Dalea bicolor*; Dallut *Dalea lutea*; Daltub *Dalea tuberculata*; Dodvis *Dodonaea viscosa*; Echpla *Echinocactus platycanthus*; Ephcom *Ephedra compacta* Rose; Eupesp *Eupatorium espinosarum*; Garlau *Garrya laurifolia*; Galasc *Galium aschenbornii*; Gnacan *Gnaphalium canescens*; Gibpul *Gibasis pulchella*; Hieabs *Hieracium abscissum*; Loecoe *Loeselia coerulea*; Mammag *Mammillaria magnimamma*; Mimaca *Mimosa acaleaticarpa*; Opustr *Opuntia streptacantha*; Polpun *Polygonum punctatum*; Salhel *Salvia helianthemifolia*; Salmic *Salvia microphylla*; Satmex *Satureja mexicana*; Senrac *Senna racemosa*; Schoff *Schoenocaulon officinale*; Scldiv *Sclerocarpus divaricatus*; Stipa *Stipa* sp; Vaucor *Vauquelinia corymbosa*; Vergra *Verbena gracilis*.



algunos componentes estructurales y algunas funciones que ocurren de manera natural en los remanentes de vegetación (sitio de referencia) presentes en la zona.

La biomasa aérea presentó diferencias estadísticas significativas, siendo el sitio de referencia ( $25,27 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) la condición con mayor aporte, seguida de la reforestación de mayor edad con  $14,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ . En otros estudios (Pacheco-Escalona *et al.* 2007) la biomasa aérea reportada a los seis años en plantaciones de *P. greggii* superan en más del doble ( $35,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) a lo encontrado en R14, la reforestación donde se obtuvo mayor biomasa. De acuerdo a diversas fuentes, este atributo es influenciado por el tipo de especie, edad, y patrón de crecimiento de las mismas (West 2014). Además de factores abióticos como la exposición, nutrimentos y humedad del suelo (Van Breugel *et al.* 2011, West 2014).

Aún con estos valores encontrados de biomasa aérea, las reforestaciones con *P. greggii* en la zona de El Porvenir, poseen un potencial para acumular biomasa, y representar una opción para almacenar carbono a largo plazo (Douterlungne *et al.* 2013), y ser una alternativa para generar ingresos a las comunidades locales a través de pago por servicios ecosistémicos (Pattanayak *et al.* 2010). Además, la información generada en este estudio nos dará una guía importante para la toma de decisiones en el futuro, en relación al establecimiento de nuevas prácticas de reforestación con fines de rehabilitación de zonas aledañas a El Porvenir y con características similares de degradación.

*Riqueza y diversidad de especies.* Se observa que la presencia del dosel de *P. greggii* produce un efecto positivo en el aumento de la riqueza de especies en el sotobosque, a diferencia del sitio degradado (cuadro 3), donde el estrato arbóreo está ausente. Además, la edad de la reforestación es un factor importante en el aumento de la riqueza total del sotobosque, ya que en edades de 5-12 años, la riqueza de especies osciló entre 16 y 22. En tanto, en reforestaciones de 14 años, la riqueza se incrementó a 29 especies; lo que indica que las reforestaciones se encuentran en una trayectoria de recuperación de especies para alcanzar una riqueza similar a la de un bosque de referencia.

De acuerdo a los índices de diversidad de Simpson y Berger-Parker la tendencia es variable entre condiciones, donde R14 y el sitio de referencia presentaron mayor diversidad, y la mayor dominancia se presenta en el sitio de referencia. Por otra parte, el recambio de especies del sitio degradado para R5 fue de 69 %, y de esta condición al R12 fue de 50 %, y finalmente de R12 a R14 fue de 59 %. Lo que concuerda con el índice de Jaccard el cual muestra mayor similitud entre las condiciones R5 y sitio degradado, dado lo joven de la plantación y, probablemente, por estar expuestos a condiciones de alta luminosidad. El cierre de copas a la edad de cinco años aún no se da en su totalidad, y los cambios en la disponibilidad de luz pueden ser el principal impulsor de cambio de la composición de especies. Este factor puede ser importante en la presencia

de arbustos y herbáceas en el sotobosque que necesita ser evaluado en futuros estudios (Eviner y Hawkes 2008).

En ese sentido, los resultados muestran que a partir de 14 años de establecida la reforestación se provee de las condiciones necesarias para recuperar la riqueza y diversidad de especies en el sotobosque tanto de especies arbustivas y herbáceas. Además se ha reportado que la historia de perturbación tiene un efecto significativo en la estructura y composición de especies que se encuentran en una comunidad (Dobson *et al.* 1997, Thompson *et al.* 2002). Debido a que los sitios que han sufrido perturbaciones, se altera el hábitat disponible para la mayoría de las especies y, por lo general, se da una reducción de la diversidad biológica (Dobson *et al.* 1997). Los procesos de sucesión natural pueden ser afectados por la continua degradación (Nepstad *et al.* 1990), y por el dominio de gramíneas (Jones *et al.* 2004), dicha situación se presenta en las zonas de El Porvenir, donde no existen fuentes de regeneración natural, la falta de dispersión de semillas y las condiciones pobres del micrositio para la germinación de las semillas y donde se ha perdido la productividad del suelo, por lo que si se quiere recuperar dicha productividad de manera natural, esta requerirá un periodo largo o pudiera requerir siglos para completar su recuperación (Dobson *et al.* 1997).

Por estas razones, el establecimiento de reforestaciones con *P. greggii* pueden superar algunas de estas barreras al atraer agentes para la dispersión de semillas y mejorar las condiciones microclimáticas locales dentro de la zona, y mitigar o revertir los impactos negativos de la degradación, acelerando así la recuperación de estas tierras (Parrotta y Knowles 1999, Harrington 1999, Lugo y Helmer 2004, Jones *et al.* 2004, Montagnini *et al.* 2008).

## CONCLUSIONES

A la edad de 14 años de establecida la reforestación, las variables estructurales como la altura del arbolado y la biomasa aérea son significativamente diferentes con respecto al sitio de referencia. Aún con las características típicas de una reforestación (consideradas monocultivos y tener estructuras simples), las reforestaciones con *Pinus greggii* en el centro de México pueden lograr cierta recuperación de variables estructurales y funcionales. Con el tiempo, la presencia del arbolado (dosel superior) modifica las características abióticas del suelo forestal y, por tanto, se favorecen las condiciones locales del sitio para que nuevas especies se establezcan en el sotobosque. Esto se ve reflejado en un aumento en la riqueza y diversidad de las especies del sotobosque a medida que incrementa la edad de las reforestaciones. A partir de reforestaciones de 14 años de edad, se presentan índices de riqueza y diversidad de especies similares al sitio de referencia, lo cual concuerda con la hipótesis planteada, para esta reforestación en particular. En relación con la similitud florística (diversidad beta), esta es mayor (61 %) entre las condiciones R5 y SD, siendo solo estas dos condiciones significativamente

diferentes del sitio de referencia. Las reforestaciones son una alternativa de suma importancia cuando no existen recursos económicos suficientes para usar otras estrategias de recuperación de zonas degradadas, como pueden ser una combinación de especies arbóreas con diferentes formas de vida, como se sugiere actualmente en el ámbito de la restauración ecológica.

Este estudio es el primero en la región con fines de evaluar la estructura y algunos procesos que se recuperan mediante el establecimiento de reforestaciones. La información generada servirá como una referencia para futuros estudios (a largo plazo) que evalúen otras variables no contempladas en este estudio, como diversidad de otros organismos (fauna, organismos del suelo), incorporación y descomposición de materia orgánica, reciclado de nutrientes, ciclos biogeoquímicos, disminución de la erosión, captación de agua, recarga de mantos acuíferos, etc. Dicha información será de utilidad para la toma de decisiones en futuros trabajos de restauración ecológica en la zona de estudio y en zonas con características similares.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la oficina de Programas Internacionales del Servicio Forestal, Departamento de Agricultura y el Programa de Paisajes Sustentables de USAID del Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, a través del proyecto "Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoramiento del manejo forestal en México" operado por el Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados.

## REFERENCIAS

- Bradshaw AD. 1987. Restoration: an acid test for ecology. In Jordan WR, ME Gilpin, JD Aber eds. *Restoration Ecology*. Cambridge, UK. Cambridge University Press. p. 23-29.
- Chazdon RL. 2008. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* 320: 1458-1460.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, MX). 2015. Herbario virtual. Consultado 14 mar. 2015. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/otros/cgi-bin/herbario.cgi>.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 2010. Prácticas de reforestación. Manual básico. Zapopan, Jalisco. México. 64 p.
- Dobson AP, AD Bradshaw, AJM Baker. 1997. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science* 277: 515-522.
- Douterlungne D, AM Herrera-Gorocica, BG Ferguson, I Siddique, L Soto-Pinto. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia* 47(4): 385-397.
- Eviner VT, CV Hawkes. 2008. Embracing variability in the application of plant-soil interactions to the restoration of communities and ecosystems. *Restoration Ecology* 16(4): 713-728.
- Harrington CA. 1999. Forests planted for ecosystem restoration or conservation. *New Forests* 17: 175-190.
- Hernández-Martínez J, J López-Upton, JJ Vargas-Hernández, J Jasso-Mata. 2007. Zonas semilleras de *Pinus greggii* var. *Australis* en Hidalgo, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(3): 241-249.
- Jones ER, MH Wishnie, J Deago, A Sautu, A Cerezo. 2004. Facilitating natural regeneration in *Saccharum spontaneum* (L.) grasslands within the Panama Canal watershed: effects of tree species and tree structure on vegetation recruitment patterns. *Forest Ecology and Management* 191: 171-183.
- Lamb D, D Gilmour. 2003. Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests. Switzerland and Cambridge, United Kingdom. IUCN-WWF. 110 p.
- Lugo AE, E Helmer. 2004. Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. *Forest Ecology and Management* 190: 145-61.
- McCune B, MJ Mefford. 1999. PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data, Version 4.0 for Windows. Oregon, USA. Gleneden Beach. 237 p.
- Montagnini F, AS Islas, MRA Santana. 2008. Participatory approaches to ecological restoration in Hidalgo, México. *Bois et Forêts des Tropiques* 295(1): 5-20.
- Navarro-Muñoz SA, LM Torres-Espinoza, A Cano-Pineda, S Valencia-Manzo, EH Cornejo-Oviedo. 2000. Predicción de volúmenes de fuste para *Pinus cembroides* Zucc., en el Sureste de Coahuila. Foresta-AN. Nota Técnica (3). Saltillo, Coahuila. UAAAN. 16 p.
- Nepstad D, C Uhl, EA Serrao, AB Anderson. 1990. Surmounting barriers to forest regeneration in abandoned, highly degraded pastures: a case study from Paragominas, Pará, Brazil. In Anderson A ed. *Alternatives to deforestation: Steps towards sustainable use of Amazon rain forests*. New York, USA. Columbia University Press. p. 215-229.
- Pacheco-Escalona FC, A Aldrete, A Gómez-Guerrero, AM Fierros-González, VM Cetina-Alcalá, H Vaquera-Huerta. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(3): 251-254.
- Parrotta JA, OH Knowles. 1999. Restoration of tropical moist forest on bauxite mined lands in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology* 7: 103-116.
- Pattanayak SK, S Wunder, PJ Ferraro. 2010. Show me the money: do payments supply environmental services in developing countries? *Review of Environmental Economics and Policy* 4: 254-274.
- Perry Jr JP, A Graham, DM Richardson. 2000. The history of pines in Mexico and Central America. *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge, United Kingdom. Cambridge University Press. 137 p.
- Ramírez-Herrera C, JJ Vargas-Hernández, J López-Upton. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana* 72: 1-16.
- Rey-Benayas JM, JM Bullock. 2012. Restoration of biodiversity and ecosystem services on agricultural land. *Ecosystems* 15(6): 883-899.
- Ruiz-Jaén MC, TM Aide. 2005. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. *Forest Ecology and Management* 218(1): 159-173.

- Rzedowski J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 3-21.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2001. Plan rector de producción y conservación de la microcuenca Hermosillo-El Porvenir. Gerencia Estatal de Hidalgo. Presidencia Municipal de Santiago de Anaya. 62 p.
- Sarukhán J, T Urquiza-Haas, P Koleff, J Carabias, R Dirzo, E Ezcurra y J Soberón. 2015. Strategic actions to value, conserve, and restore the natural capital of megadiversity countries: the case of Mexico. *BioScience* 65(2): 164-173.
- Seaby RMH, PA Henderson. 2006. Species diversity and richness version 4. Lymington, England. Pisces Conservation. 123 p.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, MX). 2010. Norma Oficial Mexicana. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres: Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México, DF. Diario Oficial de la Federación. 78 p.
- SER (Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group, US). 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona, USA. Consultado 14 de ene. 2013. Disponible en [www.ser.org](http://www.ser.org).
- Soriano-Luna MA, G Ángeles-Pérez, T Martínez-Trinidad, FO Plascencia-Escalante, R Razo-Zárate. 2015. Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia* 49: 423-438.
- Thompson J, N Brokaw, JK Zimmerman, RB Waide, EM Everham III, DJ Lodge, CM Taylor, D García-Montiel, M Fluet. 2002. Land use history, environment, and tree composition in a tropical *Forest Ecology Application* 12: 1344-1363.
- Torres-Rojo JM, OS Magaña-Torres. 2001. Evaluación de las plantaciones forestales. México, DF. Limusa. 472 p.
- Van Breugel M, J Ransijn, D Craven, F Bongers, JS Hall. 2011. Estimating carbon stock in secondary forests: decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *Forest Ecology and Management* 262(8): 1648-1657.
- West PW. 2014. Growing plantation forests. Berlin, Germany. Springer-Verlag 304 p.
- Whittaker RH, WA Niering. 1975. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. V. Biomass, production, and diversity along the elevation gradient. *Ecology* 56(4): 771-790.

Recibido: 25.05.16  
Aceptado: 04.11.16

**Apéndice A.** Listado florístico, forma de vida y las condiciones en donde se encontró cada especie. Reforestaciones de diferentes edades (R5, R12 y R14), sitio de referencia (SR) y sitio degradado (SD).

Floristic list, life form and conditions where each plant species was found. Reforestations of different ages (R5, R12 and R14), reference site (SR) and degraded site (SD).

Nombre científico	Familia	Forma de vida	Condiciones en donde se presenta la especie				
			SD	R5	R12	R14	SR
<i>Aristida adscensionis</i> L.	Poaceae	Gramínea	X	X	X	X	X
<i>Boutelova curtipendula</i> Mixx. Torr.	Poaceae	Gramínea		X	X	X	X
<i>Boutelova repens</i> (Kunth) Scribn. et Merr.	Poaceae	Gramínea	X	X	X	X	X
<i>Stipa</i> sp.	Poaceae	Gramínea	X	X		X	X
<i>Cyperaceae</i> sp.	Cyperaceae	Herbácea				X	X
<i>Loeselia coerulea</i> (Cav.) G. Don.	Polemoniaceae	Herbácea	X	X	X	X	X
<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	Commelinaceae	Herbácea				X	X
<i>Verbena gracilis</i> Desf.	Verbenaceae	Herbácea	X		X	X	X
<i>Hieracium abscissum</i> Less.	Compositae	Herbácea					X
<i>Eupatorium espinosarum</i> Gray.	Asteraceae	Herbácea		X	X	X	X
<i>Salvia microphylla</i> Kunth.	Lamiaceae	Herbácea				X	X
<i>Satureja mexicana</i> (Benth.) Briq	Lamiaceae	Herbácea					X
<i>Melampodium</i> sp.	Asteraceae	Herbácea			X	X	
<i>Galium aschenbornii</i> Schaver.	Rubiaceae	Herbácea				X	
<i>Calylophus hartwegii</i> (Benth.) Raven	Onagraceae	Herbácea				X	
<i>Asclepias linaria</i> Cav.	Apocynaceae	Herbácea				X	
<i>Salvia helianthemifolia</i> Benth.	Lamiaceae	Herbácea				X	
<i>Sclerocarpus divaricatus</i> (Benth.) Benth. et Hook.f. ex Hemsl.	Compositae	Herbácea				X	
<i>Chysactinia mexicana</i> A.Gray	Asteraceae	Herbácea		X		X	
<i>Acalypha monostachya</i> Cav.	Euphorbiaceae	Herbácea			X	X	
<i>Gnaphalium canescens</i> DC.	Compositae	Herbácea	X	X	X		
<i>Castilleja lithospermoides</i> Kunth.	Scrophulariaceae	Herbácea			X		
<i>Polygonum punctatum</i> Ell.	Polygonaceae	Herbácea			X		
<i>Dalea tuberculata</i> Lag.	Fabaceae	Herbácea	X	X			
<i>Gibasis pulchella</i> (Kunth.) Raf.	Comelinaceae	Herbácea	X				
<i>Mammillaria magnimamma</i> Haw.	Cactácea	Arbusto					X
<i>Opuntia streptacantha</i> (Lem.)	Cactácea	Arbusto	X	X	X	X	X
<i>Echinocactus platycanthus</i> Link et Otto.	Cactácea	Arbusto			X	X	
<i>Senna racemosa</i> (Mill.) H.S. Irwin et Barneby	Caesalpiniaceae	Arbusto		X	X	X	X
<i>Mimosa acaleaticarpa</i> Ort.	Mimosaceae	Arbusto	X	X	X	X	X
<i>Citharexylum tetramerum</i> Brandegee	Verbenaceae	Arbusto		X			X
<i>Amelanchier denticulata</i> (Kunth) K. Koch	Rosaceae	Arbusto			X	X	X
<i>Berberis zimapana</i> (Fedde) Marroquin	Berberidaceae	Arbusto		X			X
<i>Agave applanata</i> Lem. ex Jacobi	Asparagaceae	Arbusto	X	X	X	X	X
<i>Garrya laurifolia</i> Benth.	Garryaceae	Arbusto					X
<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	Sapindaceae	Arbusto	X	X	X	X	X
<i>Comarostaphylis glaucescens</i> (Kunth) Zucc).	Ericaceae	Arbusto					X
<i>Vauquelinia corymbosa</i> Correa	Rosaceae	Arbusto					X
<i>Bouvardia scabrida</i> Mart. et Gal.	Rubiaceae	Arbusto	X	X		X	
<i>Baccharis pteronioides</i> DC.	Asteraceae	Arbusto	X			X	
<i>Dalea bicolor</i> Willd.	Fabaceae	Arbusto			X	X	
<i>Ephedra compacta</i> Rose.	Ephedraceae	Arbusto			X		
<i>Dalea lutea</i> (Cav.) Willd.	Fabaceae	Arbusto			X		

Reforestaciones de diferentes edades (R5, R12 y R14), sitio de referencia (SR) y sitio degradado (SD).