

## Tasa relativa de crecimiento de herbáceas con potencial de restauración en suelos degradados del bosque La Primavera, Jalisco, México

### Relative rate growth of herbaceous with restoration potential of degraded forest soils in the Primavera forest, Jalisco, Mexico

**Recibido:** 15 de mayo del 2017  
**Aceptado:** 1° de febrero del 2018  
**Publicado:** 7 de junio del 2018

Milca Mayo-Mendoza\*, Rosa de Lourdes Romo-Campos\*\*<sup>o</sup>, Pablo Medina-Fernández\*.

#### Cómo citar:

Mayo-Mendoza, M., Romo-Campos, R. L., & Medina-Fernández, P. (2018). Tasa relativa de crecimiento de herbáceas con potencial de restauración en suelos degradados del bosque La Primavera, Jalisco, México. *Acta Universitaria*, 28(2), 58-66. doi: 10.15174/au.2018.1930

\* Licenciatura en Biología, Universidad de Guadalajara.

\*\* Departamento de Ciencias Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez 2100, CP 44600, Nextipac, Zapopan, Jal., México. Teléfono: 52 + 0133 37771150, ext. 33152. Correo electrónico: rlr.cucba@gmail.com.

<sup>o</sup> Autor de correspondencia.

#### Palabras Clave:

Herbáceas, tasa de crecimiento relativo, restauración de suelos.

#### Keywords:

Herbaceous; relative growth rate; soil restoration.

## RESUMEN

39 especies herbáceas fueron sembradas en suelos degradados del bosque La Primavera, con dos tratamientos, 1: siembra con todas las especies y 2: siembra con las fabáceas y 15 días después se agregó el resto de las especies, en parcelas de 1 m<sup>-2</sup>. Con Análisis de Varianza (Anova) analizamos cobertura, densidad y tasa de crecimiento (cociente del área foliar y tasa de asimilación neta). La *Dalea leporina* registró la cobertura más alta y la *Cosmos bipinnatus* la mayor densidad. Las asteráceas registraron el crecimiento más alto. *Desmodium sericophyllum* y *D. aparines* mostraron el cociente del área foliar más alto y *Cosmos bipinnatus* la tasa de asimilación mayor. La presencia de otras especies no afectó la densidad ni el crecimiento de las fabáceas; además, mostraron ajustes morfológicos y fisiológicos con ventajas competitivas para establecerse en suelos degradados, por lo que son la mejor opción para iniciar procesos de sucesión vegetal para restaurar suelos en La Primavera.

## ABSTRACT

39 herbaceous species were planted on degraded soils of the *La Primavera* forest, with two treatments, 1. planting with all species and 2. planting with the *fabaceae*, and 15 days later the rest of the species were added in plots of 1 m<sup>-2</sup>. The coverage, density and growth rate (leaf area quotient and net assimilation rate) were analyzed with *Análisis de Varianza* (Anova). *Dalea leporina* recorded the highest coverage, and *Cosmos bipinnatus* recorded the highest density. Asteraceae recorded the highest growth. *Desmodium sericophyllum* and *D. aparines* showed the highest leaf area ratio, and *Cosmos bipinnatus* showed the highest rate of assimilation. The presence of other species did not affect the density or growth of the *fabaceae* and showed morphological and physiological adjustments with competitive advantages to establish themselves in degraded soils, this is why they are the best option to initiate processes of plant succession to restore soils in *La Primavera* forest.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos degradados son poco favorables para el establecimiento de la vegetación y representan el filtro abiótico fundamental que condiciona en gran medida la colonización natural (Rondón & Vidal, 2005). Uno de los retos de la restauración ecológica consiste en encontrar especies nativas que puedan establecerse en estos suelos y que generen condiciones adecuadas para el desarrollo de la sucesión secundaria (Lamb, Erskine & Parrota, 2005). Sin embargo, en los suelos degradados existen limitantes físicas, químicas y biológicas para el establecimiento de las plantas por lo que existe la necesidad de elegir especies con capacidad de iniciar y acelerar los procesos de desarrollo de la comunidad vegetal (Pywell *et al.*, 2003).

Uno de los principales objetivos de la restauración de suelos consiste en seleccionar especies de plantas con alta supervivencia, crecimiento rápido y larga persistencia (Rondón & Vidal, 2005). La Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), definida como la ganancia de biomasa en el tiempo, es una de las principales variables para el análisis del crecimiento en plantas (Alameda & Villar, 2009). El desempeño de las plantas se incrementa a través de adaptaciones morfológicas y fisiológicas cuando están en diferentes ambientes (Villar *et al.*, 2004). La TRC se divide en tres componentes: morfológico denominado el Coeficiente del Área Foliar (CAF), fisiológico llamado la Tasa de Asimilación Neta (TAN) y la genética inherente de la especie (Poorter, 2001). Dentro del componente morfológico está la proporción de fotosintatos que las plantas suministran a la raíz o al tallo para su crecimiento (Huante, Rincon & Acosta, 1995). Además de la luz, las plantas presentan grandes variaciones sobre los patrones de asignación de biomasa para el crecimiento de las partes aéreas y subterráneas debido a cambios en la disponibilidad de agua y nutrientes (Poorter & Nagel, 2000). En suelos con baja fertilidad, las plantas disminuyen las tasas de absorción de nutrientes y fotosíntesis, presentando bajas tasas de crecimiento y un aumento en la susceptibilidad a otros factores de estrés (Chapin, 1980). Frente a estas condiciones, y con el fin de maximizar la adquisición de nutrientes, las plantas invierten más biomasa al sistema radical, a costa de una menor biomasa en la parte aérea (mayor Cociente Raíz/Vástago: CR/V) (Canham *et al.*, 1996; Chapin, 1980; Huante *et al.*, 1995).

La competencia interespecífica es un determinante importante para la estructura y dinámica en las comunidades de plantas (Aerts, 1999). La competencia entre plantas por espacio, luz y nutrientes reduce su densidad y crecimiento de las especies menos competitivas (Tilman, 1987). Por ejemplo, Hooper *et al.* (2005) encontraron que el establecimiento de herbáceas que son altamente competitivas puede retrasar el crecimiento y la acumulación de biomasa en otras especies. Sin embargo, algunos autores

mencionan que postergar la fecha de siembra de especies competitivas puede favorecer el crecimiento en otras especies (Castillo-Caamal & Caamal-Maldonado, 2011; López *et al.*, 1993).

México a pesar de ser un país megadiverso tiene una tasa alta de deforestación que se estima entre 75 000 hectáreas y 2 millones de hectáreas de pérdida de recurso forestal por año (Céspedes-Flores & Moreno-Sánchez, 2010). El Área de Protección de la Flora y Fauna La Primavera (APFFLP), es la principal área forestal cercana a la zona metropolitana de Guadalajara, provee de bienes y servicios ambientales a la zona conurbada de Guadalajara. Esta zona funciona como un hábitat crítico para 961 especies de plantas vasculares, de las cuales 59 son orquídeas; 29 especies de mamíferos y 135 especies de aves (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2000). Sin embargo, en la última década el APFFLP ha sufrido severos impactos tales como pérdida de la cobertura vegetal por incendios y sobrepastoreo, entre otros; por lo que existe la necesidad de implementar actividades para la restauración de suelos. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fecha de siembra en la tasa de crecimiento y sus componentes (el cociente del área foliar y la tasa de asimilación neta) en 39 especies herbáceas nativas con potencial para la restauración de suelos degradados del bosque La Primavera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

El área de trabajo está ubicada en la parcela "De la mujer" con una superficie de 50 ha y que pertenece al Ejido Emiliano Zapata, con coordenadas 20°42'00" N y 103°35'35.37" O, en el municipio de Zapopan, Jalisco, México. Este ejido se encuentra en el APFFLP que se ubica en el Eje Neovolcánico Transversal, su altitud varía entre 1400 msnm y 2200 msnm y cerca del 50% de la superficie tiene pendientes mayores a 44%. La Sierra de La Primavera está compuesta principalmente de rocas ígneas extrusivas ácidas. El 92% de su superficie son suelos regosoles caracterizados por ser poco profundos y pobres en materia orgánica (menor al 2%) (Semarnat, 2000), lo que implica baja disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas. Los climas predominantes son templado subhúmedo S(w<sub>1</sub>)(w) y semicálido subhúmedo (A)C(w<sub>1</sub>)(w), ambos con lluvias en verano e invierno con precipitaciones anuales que fluctúan entre 800 mm y 1000 mm y el 77% de las lluvias son erosivas (García, 1973), la temperatura media anual de 20.6 °C. El tipo de vegetación en el área de estudio según la clasificación de Rzedowski (1978) es bosque de encino-pino, encino, pino, vegetación riparia y bosque tropical caducifolio.

## Colecta de semilla y siembra en campo

En los meses de agosto a octubre de 2014 se realizaron recorridos en áreas disturbadas de los diferentes tipos de vegetación del APFFLP para colectar ejemplares botánicos y frutos de por lo menos 10 individuos maduros por especie (tabla 1). Los frutos se secaron y se extrajeron las semillas que fueron almacenadas por un periodo de nueve meses a temperatura ambiente en bolsas de papel estraza. Antes de la siembra, las semillas fueron contadas y pesadas para distribuir las uniformemente en cada parcela. En julio de 2015 las semillas de las 39 especies fueron sembradas en suelos degradados del APFFBLP en parcelas de 1 m<sup>2</sup>. Previamente a la siembra las semillas de la familia Fabaceae fueron escarificadas (Romo, Contreras, Huerta & Muñoz, 2009). En todas las parcelas, además se agregó una mezcla para simular una hidrosiembra (Bradshaw, 1983), la cual estuvo compuesta por un adherente (melaza: 250 ml), un aglutinante (bentonita: 100 g), 2 kg de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Savigny) (tabla 2) y 5 l de agua. Esta mezcla se añadió de forma manual y homogénea en todas las parcelas.

El diseño experimental fue completamente al azar con dos tratamientos: tratamiento 1 (T1) siembra de las 39 especies y tratamiento 2 (T2) siembra con 11 especies fabáceas y 15 días después se sembraron las especies restantes (tabla 1), en cada parcela se agregó la misma cantidad de semillas por especie (tabla 1) y cada tratamiento fue replicado cinco veces. Las parcelas recibieron dos riegos con 10 l de agua aplicados manualmente, en las dos primeras semanas después de la siembra, debido a la irregularidad del temporal de lluvias. Cinco días antes de la siembra y cinco días después de la segunda cosecha, se extrajeron con una pala muestras de 1 kg de suelo de 0 cm a 30 cm de profundidad para analizar las características físico-químicas (tabla 3). El trabajo se evaluó durante la fase de crecimiento de las especies (julio a septiembre), la evaluación de la tasa de crecimiento y sus componentes se registró con dos cosechas durante aproximadamente tres meses.

## VARIABLES DE RESPUESTA

El primer mes después de la siembra se registró la cobertura y la densidad de nueve especies debido a que fueron las que lograron germinar. La cobertura se midió con la longitud de sus dos ejes perpendiculares para estimar la proyección horizontal de su dosel. El área de la cobertura se determinó de acuerdo a la fórmula de la elipse. La densidad absoluta se evaluó contando el número de individuos por especie en cada parcela.

**Tabla 1**
**Lista de especies colectadas en el Área de Protección de Flora y Fauna Bosque La Primavera y cantidad de semillas (g) sembradas por especie por repetición en cada tratamiento**

Especie	Familia	Cantidad de semillas (g)
<i>Aegopogon cenchrroides</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Poaceae	36.0
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Amaranthaceae	0.16
<i>Aristida appressa</i> Vasey.	Poaceae	0.192
<i>Aristida divaricata</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Poaceae	0.18
<i>Aristida purpurea</i> Nutt.	Poaceae	0.17
<i>Aristida temipes</i> Cav.	Poaceae	0.35
<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	0.50
<i>Bidens odorata</i> Cav.	Asteraceae	0.50
<i>Bouteloua radicata</i> E. Fourn	Poaceae	0.75
<i>Bromus anomalus</i> Rupr. ex E. Fourn.	Poaceae	1.0
<i>Chamaecrista rotundifolia</i> (Pers.) Greene	Fabaceae	2.16
<i>Chloris virgata</i> Sw.	Poaceae	0.22
<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	Asteraceae	2.8
<i>Cosmos sulphureus</i> Cav.	Asteraceae	2.8
<i>Crotalaria sagittalis</i> L.	Fabaceae	17
<i>Crotalaria pumila</i> Ortega	Fabaceae	2.4
<i>Cyperus manimae</i> Kunth.	Cyperaceae	0.23
<i>Dalea leporina</i> (Aiton) Bullock	Fabaceae	2.5
<i>Desmodium sericophyllum</i> Schltld.	Fabaceae	1.4
<i>Desmodium aparines</i> (Link) DC.	Fabaceae	0.95
<i>Desmodium distortum</i> (Aubl.) J.F. Macbr.	Fabaceae	0.98
<i>Desmodium macrostachyum</i> Hemsl.	Fabaceae	0.88
<i>Eragrostis plúmbea</i> Scribn. ex Beal	Poaceae	0.25
<i>Macroptilium gibbosifolium</i> (Ortega) A. Delgado	Fabaceae	1.3
<i>Muhlenbergia minutissima</i> (Steud.) Swallen	Poaceae	0.1
<i>Paspalum cobexum</i> Humb. & Bonpl. ex Flügge	Poaceae	1.8
<i>Paspalum notatum</i> Alain ex Flügge	Poaceae	2.8
<i>Paspalum plicatum</i> Michx.	Poaceae	0.9
<i>Pereilema ciliatum</i> E. Fourn.	Poaceae	0.1
<i>Salvia laevis</i> Benth.	Lamiaceae	0.63
<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult.	Poaceae	0.9
<i>Sida collina</i> Schltld.	Malvaceae	0.35
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae	0.82
<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R. Br.	Poaceae	0.12
<i>Tagetes filifolia</i> Lag.	Asteraceae	0.30
<i>Tagetes lunulata</i> Ortega.	Asteraceae	0.32
<i>Tagetes micrantha</i> Cav.	Asteraceae	0.33
<i>Zinnia angustifolia</i> Kunth.	Fabaceae	0.12
<i>Zornia thymifolia</i> Kunth.	Fabaceae	0.28

Fuente: Elaboración propia con los datos de la colecta de campo.

**Tabla 2** Composición química del humus de lombriz *Eisenia foetida*

Características	Concentración (%)
Materia seca	53.0
Humedad	47.0
Nitrógeno (N)	2.1
Potasio (K)	0.6
Óxido de potasio (k <sub>2</sub> O)	0.72
Calcio (Ca)	6.87
Magnesio (Mg)	0.87
Fósforo (P)	1.71
Anhidrido fosfórico (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	3.92
Relación C/N	11.2

Fuente: Laboratorio Docente Biológico de la Universidad de la Habana, Cuba, 1998.

**Tabla 3** Resultado de análisis fisicoquímico de muestras suelos en los tratamientos 1 y 2

Determinaciones	Tratamiento 1		Tratamiento 2	
	Antes de la siembra	Después de la siembra	Antes de la siembra	Después de la siembra
Materia orgánica %	0.88	1.81	0.66	1.36
Nutrientes				
Nitrógeno inorgánico (ppm)	98	114	108	121
Fósforo ppm	2	74	2	227
Calcio ppm	18.4	52.6	14.6	81.6
pH	5.19	6.71	5.2	6.79

Fuente: Elaboración propia con los datos del análisis de las muestras de suelo obtenidas en campo y analizadas en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara.

La Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) se estimó mediante dos cosechas (Lambers & Poorter, 1992), la primera a 55 días de iniciado el experimento y la segunda a 95 días. Esta variable se evaluó para cinco de las 39 especies sembradas debido a que fueron las que persistieron hasta la segunda cosecha. Se cosecharon cinco plantas por especie en cada tratamiento; en cada una se separaron las partes aéreas (hojas y tallos) y la parte subterránea (raíces) y se secaron en una estufa a 70 °C por 48 h o hasta obtener masa constante. El área foliar se obtuvo digitalizando imágenes de las hojas y las raíces en fresco con un escáner marca HP G3010. Las imágenes se analizaron con el software Sigma Scan/image (Jandel Scientific, 1993).

La TRC (mg·g<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>) se calculó de acuerdo a Cardillo & Bernal (2006), que mide los cambios en la biomasa de las

plántulas a través del tiempo y puede ser dividida en dos componentes: la Tasa de Asimilación Neta (TAN, en mg/día/cm<sup>2</sup>), que calcula la asignación de biomasa resultado de la diferencia entre la tasa fotosintética neta diaria y la respiración, y el Cociente del Área Foliar (CAF, en cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), que mide el total del área foliar por unidad de biomasa total.

$$TRC = ((BT_2 - BT_1)/(T_2 - T_1)) \times ((2)/(BT_1 + BT_2))$$

$$TAN = ((BT_2 - BT_1)/(T_2 - T_1)) \times ((2)/(AFT_1 + AFT_2))$$

Donde: BT<sub>1</sub> y BT<sub>2</sub> son la biomasa promedio de las plantas en las cosechas 1 y 2; T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> son el tiempo inicial y final de las dos cosechas; AFT<sub>1</sub> y AFT<sub>2</sub>, son el total del área foliar en la primera y segunda cosecha. La TRC también se puede obtener mediante el producto de CAF × TAN.

El CR/V se obtuvo de la razón de la biomasa de las raíces entre la biomasa de los vástagos (formada por hojas y tallo), y no tiene unidades. Los valores cercanos a la unidad indican que las plántulas asignan una cantidad similar de biomasa tanto a la raíz como a las partes aéreas. Por otro lado, si los valores son mayores a la unidad indican que las plántulas asignan más biomasa a la raíz que a la parte aérea (Miquelajauregui & Valverde, 2010).

### Análisis estadístico

Las variables cobertura y densidad fueron analizadas con ANOVA de una vía por especie y por tratamiento con el procedimiento Modelo General Lineal (GLM) debido a que no mostraron distribución normal aún aplicando una transformación. La tasa relativa de crecimiento (TRC, por sus siglas en inglés) y sus componentes se analizaron con Análisis de Varianza (Anova) (GLM) de dos vías con especie y tratamiento como factores. Cuando se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico *Statistica versión 7* (SAS, 2002).

## RESULTADOS

El análisis de los suelos reveló que al final del experimento en promedio la materia orgánica de las parcelas aumentó 51.42%; el fósforo 98.2%, en ambos tratamientos (T1 y T2). Mientras que el nitrógeno inorgánico fue el 14.03% y 10.74% en el T1 y T2, respectivamente. También el calcio en el T1 aumentó 65% y en el T2 82.1% (tabla 3).

### Cobertura (cm<sup>2</sup>), densidad (individuos por m<sup>2</sup>)

La prueba de Anova para la variable cobertura reveló diferencias entre especies ( $F = 44.85, p < 0.001$ ), en promedio *Dalea leporina* presentó mayor cobertura que el resto de las especies (tabla 4), mientras que *Pectis uniaristata* registró la cobertura más baja. No se encontraron diferencias estadísticas por efecto de los tratamientos. Sin embargo, la interacción especie  $\times$  tratamiento reveló diferencias estadísticas ( $F = 5.8, p < 0.001$ ), en ambos tratamientos *D. leporina* registró la mayor cobertura; mientras que la menor cobertura la mostró *Pectis uniaristata* (tabla 4).

La densidad registró diferencias significativas entre especies ( $F = 16.59, p < 0.001$ ), *Cosmos bipinnatus* tuvo la densidad más alta y *Desmodium aparines* la más baja. Entre tratamientos también hubo diferencias ( $F = 21.49, p < 0.001$ ), en el T1 la densidad fue 51% mayor que en el T2. La interacción especie  $\times$  tratamiento también reveló diferencias ( $F = 6.7, p < 0.001$ ), en ambos tratamientos *C. bipinnatus* presentó la mayor densidad, mientras que la menor densidad en el T1 fue *D. aparines* y en el T2 fue *Pectis uniaristata* (tabla 4).

### Tasa relativa de crecimiento (TRC, mg<sup>-1</sup>g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) y sus componentes: Cociente del área foliar (CAF, cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> y Tasa de asimilación Neta (TAN, mg/día/cm<sup>2</sup>), Cociente Raíz/Vástago

La tasa relativa de crecimiento no presentó diferencias estadísticas entre especies, ni entre tratamientos. Sin embargo, en la interacción especie  $\times$  tratamiento se encontró diferencias ( $F = 4.5, p < 0.01$ ). En el T2, *Cosmos bipinnatus* y *C. sulphureus* obtuvieron las tasas de crecimiento más altas; sin embargo, en el T2 *C. sulphureus* presentó el crecimiento más bajo (tabla 5). El Anova para el coeficiente del área foliar reveló diferencias entre especies ( $F = 49.37, p < 0.001$ ), *Desmodium sericophyllum* y *D. aparines* presentaron en promedio 58.5% más CAF que *Cosmos sulphureus*, *Dalea leporina* y *C. bipinnatus*. Entre tratamientos no hubo respuesta. Sin embargo, la interacción especie y tratamiento reveló diferencias ( $F = 6.92, p < 0.001$ ) (tabla 5), en el T1 *Desmodium sericophyllum* y *D. aparines* obtuvieron el CAF más alto, comparado con *C. bipinnatus* que fue el más bajo. La TAN varió entre especies ( $F = 12.13, p < 0.001$ ). *C. bipinnatus* presentó una TAN 56.8 % más alta que el resto de las especies (*Cosmos bipinnatus*:  $0.0006 \pm 0.00004$ ; *Cosmos sulphureus*:  $0.0003 \pm 0.00006$ ; *Dalea leporina*:  $0.0003 \pm 0.00006$ ; *Desmodium aparines*:  $0.0002 \pm 0.00003$ ; *Desmodium sericophyllum*:  $0.00015 \pm 0.00003$ ). Entre tratamientos ni su interacción con especies hubo diferencias.

Las especies revelaron diferencia en el coeficiente raíz/vástago ( $F = 26.97, p < 0.001$ ), *D. aparines* y *D. sericophyllum* registraron el mayor CR/V en comparación con *C. bipinnatus* que fue el menor (*Cosmos bipinnatus*:  $0.3 \pm 0.04$ ; *Cosmos sulphureus*:  $0.04 \pm 0.03$ ; *Dalea leporina*:  $0.05 \pm 0.03$ ; *Desmodium aparines*:  $0.08 \pm 0.05$ ; *Desmodium sericophyllum*:  $0.07 \pm 0.05$ ). Por efecto de los tratamientos se encontró diferencias significativas ( $F = 21.46, p < 0.001$ ), T2 registró un CR/V 32% mayor que el T1 (T1:  $0.41 \pm 0.03$ ; T2:  $0.6 \pm 0.04$ ). La interacción especie  $\times$  tratamiento no reveló diferencias).

**Tabla 4**

Promedio ( $\pm$  EE) de la cobertura (cm<sup>2</sup>) y promedio ( $\pm$  EE) de la densidad (individuos/m<sup>2</sup>) de nueve especies herbáceas. Letras diferentes denotan diferencias entre especies y tratamientos según la Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Especies	Cobertura		Densidad	
	Tratamiento		Tratamiento	
	T1	T2	T1	T2
<i>Bidens odorata</i>	61 $\pm$ 11 <sup>cd</sup>	38 $\pm$ 1 <sup>d</sup>	41.2 $\pm$ 9 <sup>bc</sup>	20.4 $\pm$ 7 <sup>bc</sup>
<i>Cosmos bipinnatus</i>	56 $\pm$ 4 <sup>cd</sup>	45 $\pm$ 4 <sup>cd</sup>	559 $\pm$ 123 <sup>a</sup>	172 $\pm$ 30 <sup>bc</sup>
<i>Cosmos sulphureus</i>	44 $\pm$ 6 <sup>cd</sup>	32 $\pm$ 5 <sup>bc</sup>	192 $\pm$ 33.7 <sup>b</sup>	56 $\pm$ 8 <sup>bc</sup>
<i>Crotalaria pumila</i>	136 $\pm$ 6 <sup>bc</sup>	96.5 $\pm$ 6 <sup>bcd</sup>	107 $\pm$ 37 <sup>bc</sup>	98.8 $\pm$ 4 <sup>bc</sup>
<i>Dalea leporina</i>	314 $\pm$ 30 <sup>a</sup>	270 $\pm$ 14 <sup>a</sup>	62 $\pm$ 7.2 <sup>bc</sup>	44.6 $\pm$ 4.6 <sup>bc</sup>
<i>Desmodium aparines</i>	105 $\pm$ 7 <sup>bcd</sup>	110 $\pm$ 22 <sup>bcd</sup>	4.0 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>	7.6 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>
<i>Desmodium sericophyllum</i>	167 $\pm$ 13 <sup>b</sup>	167 $\pm$ 13 <sup>b</sup>	164.4 $\pm$ 15 <sup>bc</sup>	162.8 $\pm$ 29.5 <sup>bc</sup>
<i>Eragrostis plumbea</i>	95 $\pm$ 12 <sup>a</sup>	267 $\pm$ 59 <sup>a</sup>	6.2 $\pm$ 3 <sup>c</sup>	11.8 $\pm$ 3 <sup>bc</sup>
<i>Pectis uniaristata</i>	17 $\pm$ 2 <sup>d</sup>	31 $\pm$ 7 <sup>d</sup>	17.8 $\pm$ 4 <sup>bc</sup>	4.8 $\pm$ 1.1 <sup>c</sup>

Fuente: Elaboración propia con los datos de cobertura y densidad obtenidos en campo.

**Tabla 5**

Promedios ( $\pm$  EE) de la tasa relativa de crecimiento (TRC, mg<sup>-1</sup>g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Promedios ( $\pm$  EE) del cociente del área foliar (CAF, cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>).

Especie	Tratamiento	TRC	CAF
<i>Cosmos bipinnatus</i>	1	0.021 $\pm$ 0.003 <sup>ns</sup>	38 $\pm$ 2.8 <sup>d</sup>
	2	0.035 $\pm$ 0.002 <sup>a</sup>	59 $\pm$ 5.5 <sup>cd</sup>
<i>Cosmos sulphureus</i>	1	0.011 $\pm$ 0.006 <sup>b</sup>	54 $\pm$ 7.7 <sup>cd</sup>
	2	0.034 $\pm$ 0.003 <sup>a</sup>	98 $\pm$ 9 <sup>bc</sup>
<i>Dalea leporina</i>	1	0.020 $\pm$ 0.004 <sup>ns</sup>	80 $\pm$ 1 <sup>cd</sup>
	2	0.017 $\pm$ 0.004 <sup>ns</sup>	45 $\pm$ 7 <sup>d</sup>
<i>Desmodium aparines</i>	1	0.027 $\pm$ 0.004 <sup>ns</sup>	152 $\pm$ 10 <sup>a</sup>
	2	0.027 $\pm$ 0.003 <sup>ns</sup>	133 $\pm$ 15 <sup>ab</sup>
<i>Desmodium sericophyllum</i>	1	0.028 $\pm$ 0.002 <sup>ns</sup>	179 $\pm$ 13 <sup>a</sup>
	2	0.019 $\pm$ 0.007 <sup>ms</sup>	138 $\pm$ 12 <sup>ab</sup>

Letras en negritas denotan promedios con diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la interacción especie  $\times$  tratamiento.

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos de la biomasa.

## DISCUSIÓN

La falta de nutrientes en el establecimiento de plantas en suelos degradados puede ser solventada mediante técnicas de restauración como la aplicación de acolchados, cal, fertilizantes y enmiendas orgánicas (De Ona & Osorio, 2006). Su función consiste en suplir la demanda de nutrientes de la cobertura vegetal y mejorar las condiciones de suelo pobres por su mayor contenido de materia orgánica (Balaguer, 2002). El 80% del suelo en el ANP, presenta valores de MO menores al 2% (Semarnat, 2000). En el presente estudio, los valores de MO en el suelo que se encontraron antes del inicio de los tratamientos fueron menores al 1%, al final de la segunda cosecha la MO en ambos tratamientos se incrementó hasta 50%, estos resultados prueban la efectividad a corto plazo de la adición del vermiabono que contribuyó en el mejoramiento del suelo (Romo et al., 2009). Otros elementos poco disponibles en los suelos degradados son el calcio y el fósforo (Mola, Jiménez, López-Jiménez, Casado & Balaguer, 2011). El fósforo es uno de los elementos más importantes en la limitación en el crecimiento de las plantas (Fernández & Turrión, 2012). En este trabajo el fósforo y el calcio disponibles mostraron aumentos considerables, también debido a que se añadió abono orgánico (vermiabono), lo que representa una mejoría de las condiciones edáficas del sitio y por lo tanto una mayor probabilidad de supervivencia de las plantas.

Los suelos degradados representan un filtro abiótico que condiciona la colonización de las plantas (Mola et al., 2011). En los procesos de restauración de suelos se recomienda ampliamente uso de especies locales por la preservación de la integridad genética, la conservación de la diversidad local y el control eficiente de la erosión (Bradshaw, 1997). Entre las aptitudes más relevantes para seleccionar las especies que con mayor éxito colonizaran áreas degradadas se encuentra la persistencia (Rondón & Vidal, 2005; Hernández & Pastor, 2008), sin embargo, la competencia entre especies puede funcionar como un filtro biótico y disminuir la riqueza (Hernández & Pastor, 2008). De las 39 especies sembradas solo nueve lograron sobrevivir y tener mayor persistencia hasta la segunda cosecha, las especies restantes que no lograron establecerse, lo que podría interpretarse como una menor habilidad de adaptación (Grime, 2002). Así mismo, Bochet, García-Palacios, Begoña, Tormo & García-Fayos (2010) proponen en la revegetación de suelos degradados utilizar las especies con mayor abundancia lo que representaría más éxito en la colonización.

Odhiambo & Bomke (2001), indican que a mediano y largo plazo la fecha de siembra es una variable determinante en la acumulación de materia seca y nitrógeno en los cultivos de cobertera. Sin embargo, dado el potencial para interacciones competitivas entre las leguminosas y

otras especies como gramíneas y asteráceas, la fecha de siembra puede jugar un papel primordial en el crecimiento (Castillo-Caamal & Caamal-Maldonado, 2011). Estudios señalan que las poáceas son altamente competitivas y pueden retrasar el crecimiento en otras especies cuando se siembran en mezclas debido a su capacidad para competir por luz, agua y nutrientes, así como por efectos alelopáticos (Hooper et al., 2005). La cobertura vegetal desempeña un papel clave para disminuir la erosión del suelo y lograr la estabilización del suelo (Bochet et al., 2011). En este trabajo solo *Dalea leporina* mostró una mayor cobertura como resultado de la postergación de la fecha de siembra (T2), lo que le dio ventaja sobre las demás especies, por lo que esta especie puede considerarse como buena opción para restaurar suelos en el APFFBLP.

La estructura de la vegetación comúnmente está determinada por medidas como la densidad y la biomasa; son utilizadas para predecir la dirección que pueden seguir las comunidades de plantas (Tilman, 1987) donde la competencia por recursos que son limitados puede determinar la presencia, ausencia y la abundancia de especies en una comunidad (Pyke & Archer, 1991). En este estudio se encontró que la densidad de las especies varió desde 26 hasta 366 individuos por m<sup>2</sup>. *Cosmos bipinnatus* presentó la densidad más alta, Yan, Zhao & Sun (2013), señalan a ésta como especie colonizadora, pero que, no es capaz de persistir por largo tiempo en suelos pobres.

Chapin (1980) menciona que las especies en las comunidades vegetales tienen historias de vida y adaptaciones diferentes, como resultado sus patrones de crecimiento, también varían temporal y espacialmente, y son limitados por diferentes combinaciones de recursos o factores ambientales. La competencia está considerada como un filtro biótico en el establecimiento de especies colonizadoras y que puede reducir el crecimiento entre especies (Bochet et al., 2011). Se esperaba que las fabáceas en el T2 tuvieran mayor crecimiento por efecto de la siembra anticipada, dos asteráceas *Cosmos bipinnatus* y *C. sulphureus* tuvieron la mayor TCR en el T2, sin embargo, en el T1 disminuyeron su crecimiento en presencia de otras especies. Valladares, Gianoli & Gómez (2007), sugieren que se realicen trabajos experimentales para descartar especies muy competitivas. Estas especies podrían influir en la disminución de la riqueza florística (Grime, 2002) por lo que deberían ser descartadas en las primeras etapas de sucesión. Las fabáceas aunque no mostraron mayor TRC por anticipar su fecha de siembra, tampoco fueron afectadas en su crecimiento por la presencia de otras especies, esta condición podría darles ventajas competitivas para apropiarse de espacios en los suelos degradados (Grime, 2002).

El coeficiente del área foliar es una de las principales variables que afectan al crecimiento de las plantas (Bultynck,

Fiorani & Lambers, 1999). Plantas con alto CAF responden a ambientes sombreados para incrementar el área de exposición y adquirir mayor luz (Villar *et al.*, 2004). *Desmodium sericophyllum* y *D. aparines* en promedio presentaron el CAF más alto en ambos tratamientos. Poorter & Remkes (1990) mencionan que las plantas que invierten en aumentar el área de sus hojas obtienen una mayor ganancia de carbono por lo que pueden crecer rápidamente.

Una tasa de asimilación alta es vital para especies que crecen en espacios abiertos con mayor demanda de luz, donde son importantes las adaptaciones fisiológicas que les ayudan a equilibrar la capacidad fotosintética y los gastos en la respiración (Montgomery, 2004). En este estudio, *Cosmos bipinnatus* presentó la mayor TAN que el resto de las especies, lo que significa que se adapta fácilmente a espacios abiertos (Portsmouth & Niinemets, 2007). Otros estudios (Lambers & Poorter, 1992) indican que una TAN baja podría estar relacionada con el cierre de los estomas durante niveles de luz estresantes, en este trabajo las fabáceas registraron las tasas de asimilación netas menores, en los suelos degradados donde la falta de humedad y nutrientes son los principales limitantes para el establecimiento de las plantas podría ser una ventaja para especies con TAN bajas.

Las especies con altos valores de (CR/V) maximizan su superficie de contacto con el suelo para adquirir más recursos (nutrientes y agua) (Villanueva-Couoh, Alcántar-González, Sánchez-García, Soria-Fregoso & Larque-Saavedra, 2009). En este trabajo las fabáceas tuvieron los mayores valores de (CR/V), lo cual indica mayor habilidad competitiva para la búsqueda de agua y nutrientes, ambas condiciones son comunes en los suelos degradados (Bradshaw, 1997), lo que podría aumentar las probabilidades de supervivencia de estas especies.

## CONCLUSIONES

El análisis de la tasa de crecimiento relativo y sus componentes (cociente del área foliar y tasa de asimilación neta) nos permitió conocer el desempeño ecológico de las especies y su estrategia de adaptación como una respuesta especie-específica.

El tratamiento con postergación de la fecha de siembra afectó la densidad y el crecimiento de las especies asiteráceas. La mayoría de las especies fabáceas estudiadas presentaron altos porcentajes de cobertura, su densidad y cobertura no fueron afectados por la presencia de otras especies. Además, mostraron ajustes morfológicos y fisiológicos con ventajas competitivas para establecerse en suelos degradados, como mayor eficiencia en la búsqueda

de humedad al aumentar el área de su raíz, por lo que son la mejor opción para iniciar procesos de sucesión vegetal para restaurar suelos degradados en el Bosque La Primavera. También es recomendable utilizar el resto de las especies, pero en etapas siguientes de la sucesión debido a que es factor de suma importancia mantener la biodiversidad de las zonas a restaurar.

## AGRADECIMIENTOS

A las autoridades del Ejido Emiliano Zapata en el Municipio de Zapopan, Jalisco, por las facilidades para realizar el experimento de campo.

## REFERENCIAS

- Aerts, R. (1999). Interspecific competition in natural plant communities: mechanisms, trade-offs and plant-soil feedbacks. *Journal of Experimental Botany* 50(330), 29-37. doi: 10.1093/jxb/50.330.29
- Alameda, D., & Villar, R. (2009). Moderate soil compaction: Implications on growth and architecture in seedlings of 17 woody plant species. *Soil Tillage Research*, 103(2), 325-331.
- Balaguer, L. (2002). Las limitaciones de la restauración de la cubierta vegetal. *Revista Ecosistemas*, 11(1), 72-82.
- Bochet, E., García-Palacios, P., Begoña, P., Tormo, J., & García-Fayos, P. (2011). Procesos ecológicos y restauración de la cubierta vegetal. En: F. Valladares, L. Balaguer, I. Mola, A. Escudero & V. Alfaya (Eds.). *Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte: bases científicas para soluciones técnicas* (pp. 101-141). Madrid: Fundación Biodiversidad.
- Bradshaw, A. D. (1983). The Reconstruction of Ecosystems: Presidential Address to the British Ecological Society. *Journal of Applied Ecology*, 20(1), 1-17
- Bradshaw A. (1997). Restoration of mined lands-using natural processes. *Ecological Engineering* 8(4), 255-269.
- Bultynck, L., Fiorani, F., & Lambers, H. (1999). Control leaf growth and its role in determining variation in plant growth from an ecological perspective. *Plant Biology*, 1(1), 13-18. doi: 10.1111/j.1438-8677.1999.tb00703.x
- Canham, C. D., Berkowitz, A. R., Kelly, V. R., Lovett, G. M., Ollinger, S. V., & Schnurr, J. (1996). Biomass allocation and multiple resource limitation in tree seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 26, 1521-1530. doi: 10.1139/x26-171.
- Cardillo, E., & Bernal, C. J. (2006). Morphological response and growth of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings at different shade levels. *Forest Ecology and Management*, 222(1-3), 296-301.

- Castillo-Caamal, J. B., & Caamal-Maldonado, J. A. (2011). Efecto de la fecha de siembra del frijol terciopelo (*Mucuna* sp.) como cultivo de cobertera en el rendimiento del maíz. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 14(1), 101-108.
- Céspedes-Flores, S., & Moreno-Sánchez, E. (2010). Estimación del valor de la pérdida forestal y su relación con la deforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental*, 2(2), 5-13.
- Chapin, III F. S. (1980). The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology Systematic*, 11, 233-260. doi:10.1146/annurev.es.11.110180.001313.
- De Oña, J., & Osorio, F. (2006). Application of sludge from urban wastewater treatment plants in roads' embankments. *Journal of Hazardous Materials*, 131(1), 37-45.
- Fernández, S., & Turrión, M. B. (2012). Fraccionamiento secuencial de fósforo en el suelo. Comparación de dos métodos. *Venesuelos*, 19(1), 14.
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana* (2ª ed.). Distrito Federal: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Grime, J. P. (2002). *Plant strategies and vegetation processes* (2nd. ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Hernández, A. J., & Pastor, J. (2008). La restauración en sistemas con suelos degradados: estudios de casos en agroecosistemas mediterráneos y taludes de carretera. En: R. Millán & C. Lobo (Eds.). *Contaminación de suelos. Tecnologías para la recuperación* (pp. 545-564). Madrid: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- Hooper, D. U., Chapin III, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35. doi:10.1890/04-0922.
- Huante, P., Rincon, E., & Acosta, I. (1995). Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. *Functional Ecology*, 9(6), 849-858. doi:10.2307/2389982.
- Jandel Scientific. (1993). Sigma Scan/Image. *Measurement Software for Windows*. Jandel Scientific, San Rafael, CA, USA. 36 p.
- Lamb, D., Erskine, P. D., & Parrota, J. A. (2005). Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310(5754), 1628-1632. doi:10.1126/science.1111773
- Lambers, H., & Poorter, H. (1992). Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research*, 23, 187-261.
- López, G., Zea, J. L., Fuentes, M., Pérez, J., Gordón, R., Mendoza, C., & Bolaños, J. (1993). Respuesta del maíz a la siembra intercalada con *Canavalia* a distintas épocas y densidades. (1993). En: J. Bolaños (Ed.). *Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992*. (pp. 97-101). Texcoco: Programa regional de maíz para Centro América y el Caribe.
- Miquelajauregui, Y., & Valverde, T. (2010). Survival and early growth of two congeneric cacti that differ in their level of rarity. *Journal of Arid Environments*, 74(12), 1624-1631.
- Mola, I., Jiménez, M. D., López-Jiménez, N., Casado, M. A., & Balaguer, L. (2011). Roadside reclamation outside the revegetation season: Management options under schedule pressure. *Restoration Ecology*, 19(1), 83-92. doi:10.1111/j.1526-100X.2009.00547.x
- Montgomery, R. (2004). Relative importance of photosynthetic physiology and biomass allocation for tree seedling growth across a broad light gradient. *Tree Physiology*, 24(2), 155-167.
- Odhiambo, J. O., & Bomke, A. A. (2001). Grass and legume cover crop effects on dry matter and nitrogen accumulation. *American Society of Agronomy*, 93(2), 299-307. doi:10.2134/agronj2001.932299x. Doi:10.2134/agronj2001.932299x.
- Poorter, L. (2001). Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest tree species. *Functional Ecology*, 15(1), 113-123. doi:10.1046/j.1365-2435.2001.00503.x
- Poorter, H., & Nagel, O. (2000). The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO<sub>2</sub>, nutrients and water: a quantitative review. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27(12), 1191-1191.
- Poorter, H., & Remkes, C. (1990). Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia*, 83(4), 553-559.
- Portsmouth, A., & Niinemets, Ü. (2007). Structural and physiological plasticity in response to light and nutrients in five temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. *Functional Ecology*, 21(1), 61-77. doi:10.1111/j.1365-2435.2006.01208.x
- Pyke, A., & Archer, S. (1991). Plant-plant interactions affecting plant establishment and persistence on revegetated rangeland. *Journal of Range Management*, 44(6), 550-557. doi:10.2307/4003035
- Pywell, R. F., Bullock, J. M., Roy, D. B., Warman, L., Walker, K., & Rothery, P. (2003). Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *Journal of Applied Ecology*, 40(1), 65-77. doi:10.1046/j.1365-2664.2003.00762.x
- Romo, C. R., Contreras, S., Huerta, F. M., & Muñoz, A. (2009). Efecto del vermiabono en el crecimiento y acumulación de biomasa en *Aeschynomene americana* L. en bancos de minería a cielo abierto. *Terra Latinoamericana*, 27(2), 115-121.
- Rondón, J. A., & Vidal, R. (2005). Establecimiento de la cubierta vegetal en áreas degradadas (principios y métodos). *Revista Forestal Latinoamericana*, 20(2), 63-82.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Distrito Federal: Limusa.
- SAS, Institute Inc. (2002). *SAS/STAT software*, version 9. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2000). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera*. Distrito Federal: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

- Tilman, D. G. (1987). The importance of the mechanisms of interspecific competition. *The American Naturalist*, 129(5), 767-774. doi:10.1086/284672
- Valladares, F., Gianoli, E., & Gómez, J. M. (2007). Ecological limits to plant phenotypic plasticity. *New Phytologist*, 176(4), 749-763. doi:10.1111/j.1469-8137.2007.02275.x
- Villanueva-Couoh, E., Alcántar-González, G., Sánchez-García, P., Soria-Fregoso, M., & Larque-Saavedra, A. (2009). Efecto del ácido salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de *Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura en Yucatán. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 15, 25-31.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F., & Marañón, T. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: F. Valladares (Ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 191-227). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Yan, D., Zhao, F., & Sun, O. J. (2013). Assessment of vegetation establishment on tailings dam at an iron ore mining site of suburban Beijing, China, 7 years after reclamation with contrasting site treatment methods. *Environmental Management*, 52(3), 748-757. doi:10.1007/s00267-013-0092-y.