

# ESTABLECIMIENTO INICIAL DE TRES ESPECIES DEL BOSQUE TROPICAL SECO EN UN PASTIZAL DEGRADADO: EFECTOS DEL USO DE ACOLCHADO Y COMPOST

## INITIAL ESTABLISHMENT OF THREE SPECIES OF TROPICAL DRY FOREST IN A DEGRADED PASTURE: EFFECTS OF ADDING MULCH AND COMPOST

Adriana Núñez-Cruz<sup>1</sup>, Consuelo Bonfil<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. 04510. Delegación Coyoacán. México D. F. (cbonfil@ciencias.unam.mx).

### RESUMEN

La disponibilidad de agua, las condiciones del suelo y la presencia de disturbios recurrentes son las principales limitantes para el establecimiento de plantas en sitios perturbados de bosques tropicales secos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de aplicar compost y usar acolchado plástico en la supervivencia y el crecimiento inicial de plantas de especies leñosas *Dodonaea viscosa*, *Leucaena leucocephala* y *Lysiloma divaricatum*, en un pastizal degradado en el noroeste de Morelos. En el 2009 se plantaron 121-124 plantas por especie, se aplicaron 500 mL de compost elaborada con estiércol de bovino, pasto y restos de plantas de tomate y después un acolchado plástico (cuadro de 40 × 40 cm) a plantas de cada especie seleccionadas al azar, y se obtuvieron los siguientes tratamientos: 1) compost, 2) acolchado, 3) compost y acolchado, y 4) testigo (sin compost ni acolchado). La supervivencia y el crecimiento se registraron bimestralmente durante un año; la primera se analizó mediante un modelo lineal generalizado y se usaron análisis de varianza para las variables de crecimiento. La supervivencia mayor correspondió a *L. divaricatum* (61 %) y la menor a *D. viscosa* (8 %). El acolchado plástico aumentó la supervivencia entre 17 % y 31 % dependiendo de la especie; el compost tuvo efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) sólo en el diámetro de *L. leucocephala*. El uso del acolchado aumentó el éxito de la restauración y puede usarse en otros sitios cuyas características del suelo y el estrés hídrico limiten el establecimiento de plantas de especies leñosas.

**Palabras clave:** *Dodonaea viscosa*, estrés hídrico, *Leucaena leucocephala*, *Lysiloma divaricatum*, pastizal, restauración.

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2013. Aprobado: junio, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 609-620. 2013.

### ABSTRACT

Availability of water, soil conditions and recurring disturbances are the main factors that limit plant establishment in disturbed sites in tropical dry forests. The objective of this study was to assess the effect of applying compost and of plastic mulch on survival and initial plant growth of the woody species *Dodonaea viscosa*, *Leucaena leucocephala* and *Lysiloma divaricatum*, in a degraded pasture in northwestern Morelos. In 2009, 121-124 plants of each species were planted; 500 mL of compost, made from cattle manure, grass and tomato plant residues, and later, a plastic mulch (40 × 40 cm square) were applied to plants of each species selected at random. The following treatments were obtained: 1) compost, 2) plastic mulch, 3) compost and mulch, and 4) control (without compost or mulch). Survival and growth were recorded bi-monthly for one year. Survival was analyzed with a generalized linear model, and analyses of variance were performed for growth variables. The species with the highest survival rate was *L. divaricatum* (61 %) and that with the lowest was *D. viscosa* (8 %). Plastic mulch increased survival by 17 % to 31 %, depending on the species. Addition of compost had a significant effect ( $p \leq 0.05$ ) only on growth in diameter of *L. leucocephala*. Use of plastic mulch increased restoration success and can be used in other sites where soil characteristics and water stress limit establishment of woody species.

**Key words:** *Dodonaea viscosa*, water stress, *Leucaena leucocephala*, *Lysiloma divaricatum*, degraded pasture, restoration.

### INTRODUCTION

Tropical dry forests (TDF) undergo a high rate of land cover change to agricultural fields and pastures for cattle raising (Murphy and

## INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales secos (BTS) tienen una tasa de cambio de uso del suelo muy alta debido al establecimiento de campos agrícolas o de pastoreo (Murphy y Lugo, 1995; Challenger, 1998; Sánchez-Azofeifa y Portillo-Quintero, 2010). Con frecuencia las tierras usadas intensivamente, como los pastizales, después de un tiempo presentan signos de deterioro asociados a la remoción de la vegetación, a disturbios frecuentes como incendios, y a la falta de regulación de la carga de ganado y actividades extractivas, entre otras.

El pastoreo causa compactación del suelo. Al perderse la cubierta vegetal original y el mantillo, el suelo está expuesto a la acción de la lluvia, el viento y la radiación, que provocan erosión, alteran su estructura, disminuyen la infiltración de agua y aumentan la escorrentía y pérdida de nutrientes (Giovannini *et al.*, 1990; Cotler *et al.*, 2007). La disminución del contenido de materia orgánica, aunada a la pérdida de las propiedades físicas y químicas del suelo, dificultan el restablecimiento de la vegetación por medios naturales cuando los campos son abandonados (López y Albadalejo, 1990; Campo *et al.*, 1998).

Además del deterioro del suelo, la estacionalidad marcada de la precipitación limita la regeneración natural y la sucesión ecológica en sitios degradados de BTS (Ceccon *et al.*, 2003). Por tanto, se debe favorecer la sucesión secundaria mediante la reintroducción de plantas de especies nativas (Luken, 1990). Pero la tasa de supervivencia es variable y baja, debido a la influencia de las condiciones de deterioro del sitio y al estrés hídrico que enfrentan las plantas durante la temporada seca (Bonfil y Trejo, 2010; Álvarez y Williams-Linera, 2012). Por esta razón se explora el uso de técnicas que puedan favorecer el crecimiento y la supervivencia de las plantas, entre las que destaca acolchados (cubiertas plásticas, de papel o de materia orgánica) para proteger la superficie del suelo y reducir la evaporación, manteniendo la disponibilidad del agua (Cole *et al.*, 2004; Blanco y Lindig, 2005; Barajas *et al.*, 2006).

La condición del suelo se puede mejorar aumentando el contenido de materia orgánica mediante la adición de compost, lo que favorece la agrupación de las partículas del suelo y contribuye a mejorar su estructura y contenido de nutrientes (Wang y Lin, 2002; Cole, 2007). Por tanto, el objetivo del presente

Lugo, 1995; Challenger, 1998; Sánchez-Azofeifa and Portillo-Quintero, 2010). Frequently, after some time of intensive land use, pastures show signs of deterioration due to vegetation removal, frequent fires, lack of regulation of stocking rate and extractive activities, among others.

Grazing causes soil compaction. When the original plant cover and litter are lost, the soil is exposed to the action of rain, wind and solar radiation, which cause erosion, alter its structure and decrease water infiltration, increasing runoff and nutrient loss (Giovannini *et al.*, 1990; Cotler *et al.*, 2007). The decrease in organic matter content, together with the loss of physical and chemical properties of the soil, make it difficult for vegetation to reestablish by natural means when fields are abandoned (López and Albadalejo, 1990; Campo *et al.*, 1998).

Besides soil degradation, the seasonality of rainfall limits natural regeneration and ecological succession in degraded sites of TDF (Ceccon *et al.*, 2003). Therefore, secondary succession should be promoted by reintroducing native plant species (Luken, 1990). Survival rate, however, is variable and low due to the poor site conditions and the water stress plants undergo during the dry season (Bonfil and Trejo, 2010; Álvarez and Williams-Linera, 2012). For this reason, the use of techniques that favor plant survival and growth are explored. Outstanding among these, mulches (plastic, paper or organic matter covering) to protect the soil surface and reduce evaporation, thus maintaining water availability (Cole *et al.*, 2004; Blanco and Lindig, 2005; Barajas *et al.*, 2006).

Soil condition can improve by increasing organic matter content with compost, which favors aggregation of soil particles and improves structure and nutrient content (Wang and Lin, 2002; Cole, 2007). Thus, the objective of this study was to analyze the effect of plastic mulch and compost on initial establishment of three TDF native tree species in a degraded pasture in northwestern Morelos, México.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

The study was conducted in the Ecological Restoration Station Barrancas del Río Tembembe (ERT), on land belonging to the community of Cuentepec, Morelos (18° 53' 56" - 18° 55' 07" N and 99° 20' 17" - 99° 20' 39" O), with an altitudinal

estudio fue analizar el efecto de usar un acolchado plástico y añadir compost al suelo en el establecimiento inicial de tres especies arbóreas nativas del BTS, en un pastizal degradado, en el noroeste del estado de Morelos, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona de estudio

El estudio se realizó en la Estación de Restauración Ecológica Barrancas del Río Tembembe (ERT), en terrenos de la comunidad de Cuentepec, Morelos (18° 53' 56" - 18° 55' 07" N y 99° 20' 17" - 99° 20' 39" O), en un intervalo altitudinal entre 1700 m (al N) y 1600 m (al S). La ERT comprende aproximadamente 95 ha de laderas distribuidas a ambos lados de la barranca en cuyo fondo corre el río Tembembe.

En la ERT predominan los suelos de tipo Feozem háplico, aunque también hay Leptosoles con textura arcillosa o franco-arcillosa de los horizontes superficiales (CETENAL, 1976). El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura promedio anual de 20 °C y una precipitación promedio anual de 980 mm. La vegetación corresponde a la transición entre encinar (*Quercus glaucooides*) y bosque tropical seco (CETENAL, 1976), aunque la mayor parte del área de ERT está cubierta por pastizales para la cría de ganado bovino y equino; persisten algunos parches de bosques remanentes en las zonas más inaccesibles (Bonfil *et al.*, 2004).

### Diseño experimental

La plantación se estableció con tres especies del BTS: *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit subsp. *glabrata* (Rose) S. Zárate, *Lysiloma divaricatum* (Jacq.) McBride, y *Dodonaea viscosa* L. Jacq (Sapindaceae). Las dos primeras toleran condiciones ambientales adversas y suelos poco profundos y degradados; la tercera es una especie sucesionalmente temprana tolerante a sequías, incendios, viento y heladas, y suelos erosionados con fuertes pendientes (Vázquez-Yanes *et al.*, 1990).

En agosto del 2009 (al iniciar la temporada de lluvias) se establecieron 121-124 plantas por especie. Las plantas fueron donadas por la Conafor de Morelos y todas fueron producidas de semillas en bolsas de plástico negro (aproximadamente 8 cm × 20 cm) con sustrato de tierra de monte; tenían alrededor de ocho meses de edad al trasplante. El tamaño inicial de las plantas (altura y diámetro; promedio ± EE) fue: *D. viscosa* 43±1.1 cm y 3.8±0.06 mm; *L. divaricatum* 50±1.2 cm y 4.4±0.09 mm; y *L. leucocephala* 46±1.2 cm y 4.7±1.1 mm. Las plantas se colocaron en un arreglo regular, con una distancia aproximada de 1.5 m entre plantas y alternando las especies, para que quedaran

range between 1700 m (to the north) and 1600 m (to the south). The ERT comprises approximately 95 ha of hillsides distributed on both sides of the canyon formed by the Tembembe River.

In the ERT Haplic feozem soils predominate, but there are also Leptosols with clay or clay loam texture in the upper horizons (CETENAL, 1976). Climate is warm subhumid with summer rains; average annual temperature is 20 °C and average annual precipitation is 980 mm. Vegetation shows a transition from oak forest (*Quercus glaucooides*) to tropical dry forest (CETENAL, 1976), although most of the area is covered by grasses for cattle and horse raising. Some patches of original forest persist in the most inaccessible areas (Bonfil *et al.*, 2004).

### Experimental design

The plantation was established with three tropical dry forest species: *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit subsp. *glabrata* (Rose) S. Zárate, *Lysiloma divaricatum* (Jacq.) McBride, and *Dodonaea viscosa* L. Jacq (Sapindaceae). The first two are tolerant to adverse environmental conditions and can grow in shallow degraded soils; the third is a successional early species tolerant to droughts, fires, wind and frosts, and can grow in eroded soils on steep slopes (Vázquez-Yanes *et al.*, 1990).

In August 2009 (at the beginning of the rainy season), 121-124 plants per species were established. The plants were donated by Conafor of Morelos and all were produced from seed and grown in black plastic bags (approximately 8 cm × 20 cm) with forest soil as substrate. They were about eight months old at transplant. The initial plant sizes (height and diameter; average ± EE) were *D. viscosa* 43±1.1 cm and 3.8±0.06 mm; *L. divaricatum* 50±1.2 cm and 4.4±0.09 mm; *L. leucocephala* 46±1.2 cm and 4.7±1.1 mm.

The plants were placed in a regular arrangement with approximately 1.5 m between plants, alternating species so as to distribute them throughout the terrain, a hillside with a slope of 19-20.5° with W exposure (270-280°) and homogeneous soil characteristics. Half of the plants of each species were selected at random and compost was added to their soil. The rest of the plants were used as controls (without compost). The compost was prepared on site with residues of tomato plants, grass and cattle manure in almost equal proportions and covered with black plastic to decompose for three months, and turned periodically. The planting holes were approximately 20 × 25 cm. At transplant, 500 mL of compost was added to each hole and mixed in equal parts (vol. 1:1) with the soil from the planting hole. In the control, the planting hole was refilled with the extracted soil.

In February 2010, during the dry season, half of the live plants of each species and compost treatment were selected at random for placement of plastic mulch. The remaining plants were used

distribuidas en todo el terreno, una ladera con una pendiente de 19-20.5° y exposición O (270-280°) y con características homogéneas de suelo. Al azar se seleccionó la mitad de las plantas de cada especie, a las cuales se añadió compost; las demás plantas se usaron como testigo (sin compost). El compost se elaboró en el sitio con restos de plantas de tomate, pasto y estiércol de bovino en proporciones casi iguales, se cubrieron con plástico negro y se degradaron durante tres meses, con remociones periódicas. El tamaño de las cepas fue 20 × 25 cm aproximadamente. Al trasplantar se añadió a cada cepa 500 mL de compost, mezclándolo con el suelo extraído de la misma en partes iguales (vol. 1:1); en el testigo la cepa se rellenó con el suelo extraído de la misma.

En febrero del 2010, ya iniciada la temporada seca, se eligió al azar la mitad de las plantas vivas de cada especie y tratamiento con compost para colocar un acolchado plástico; y el resto se usó como testigo (sin acolchado). La supervivencia entonces fue mayor a 90 % en *L. leucocephala* y *L. divaricatum*, y menor en *D. viscosa* (67 %). Alrededor del tallo de cada planta se colocó un cuadro de plástico, 40 × 40 cm color plata arriba y negro abajo. El pasto alrededor de cada planta en un radio de 20 cm se eliminó (con machete) para colocar el acolchado; el pasto en la vecindad de las plantas del grupo testigo se eliminó de la misma manera. Los tratamientos fueron: 1) compost, 2) acolchado, 3) compost y acolchado, y 4) testigo (sin compost ni acolchado), y el diseño experimental fue completamente al azar. Las variables de respuesta fueron supervivencia y crecimiento de las plantas. La supervivencia se registró bimestralmente de agosto 2009 a septiembre 2010, aunque para el análisis del efecto del acolchado se consideró el número de plantas vivas en febrero del 2010 (cuando fue aplicado) como el valor inicial (100 %).

Debido a que las plantas entran en reposo durante la temporada seca, las variables de crecimiento se registraron en todas las plantas vivas sólo durante las dos temporadas de lluvias en el periodo de estudio. Para el análisis se usó el aumento absoluto [diferencia entre los valores finales (septiembre del 2010) e inicial (agosto del 2009)] en diámetro basal del tallo y altura al ápice de cada planta. Cuando se encontró un efecto significativo del compost en el crecimiento, se cosecharon cinco plantas con y cinco sin composta un año después del trasplante, para analizar la asignación de biomasa a sus órganos. Durante la cosecha el suelo se humedeció y se excavó con una palita en aproximadamente 25 cm alrededor de cada planta; la raíz se extrajo y lavó cuidadosamente en una cubeta con agua y las plantas se transportaron al laboratorio, donde se limpiaron, se separaron en raíz, tallo y hojas, y se secaron 48 h en un horno a 80 °C y se pesaron.

Además se registró la temperatura del suelo cada hora, usando cuatro sensores de temperatura (Hobo Pendant UA-001-XX) enterrados a 7 cm de profundidad, dos bajo acolchado y dos en suelo sin acolchado, entre mayo y septiembre del 2010. El contenido de agua del suelo se midió tomando al azar cinco

as controls without plastic mulch. At that time, survival of *L. leucocephala* and *L. divaricatum* was higher than 90 %, while in *D. viscosa* it was 67 %. A plastic square, 40 × 40 cm, was placed around the stem of each plant; the plastic was silver on top and black underneath. Grass was eliminated (with a machete) in a 20 cm radius around the plant, to put the plastic mulch in place; grass around the control plants was also eliminated in the same way. The treatments were: 1) compost, 2) mulch, 3) compost and mulch, and 4) control (without compost or mulch). The experimental design was completely random. The response variables were plant survival and growth. Survival was recorded bi-monthly from August 2009 to September 2010. For the analysis of the effect of mulch, the number of live plants in February 2010 (when it was applied) was considered to be the initial value (100 %).

Because the plants become dormant during the dry season, growth variables were recorded for all live plants only during the two rainy seasons of the study period. For the analysis, however, the absolute increment (difference between final values in September 2010 and the initial values in August 2009) in stem base diameter and height to the apex of each plant were used. When a significant effect of composting on growth was found, five plants with and without compost were harvested one year after transplant to analyze biomass allocation to roots, stem and leaves. To harvest the plants, the soil (approximately 25 cm around each plant) was moistened and extracted with a small shovel. The root was extracted and washed carefully in a bucket with water. The plants were then taken to the laboratory where they were cleaned and separated into root, stem and leaves. These were dried 48 h in an oven at 80 °C and weighed.

Also, from May to September 2010, soil temperature was recorded every hour with four temperature sensors (Hobo Pendant UA-001-XX) buried 7 cm deep, two under mulch and two in soil without mulch. Soil moisture content was measured in five random soil samples (15 mL) under mulch and five without mulch at the end of the dry season and the beginning of the rainy season (May and late June 2010). The samples were weighed and dried for 72 h in an oven at 80 °C. Gravimetric soil moisture content was determined as the quotient between sample water weight and dry soil weight (Jury and Horton, 2004).

### Statistical analysis

The effect of the experimental factors on survival was analyzed with a generalized linear model that evaluated the effect of species, mulch and compost on the final proportion of live plants, using a binomial error, a logit linkage function, and R statistical software. Based on these results, differences in survival of each species, as a result of mulch from February to September 2010, were analyzed in detail with the logarithmic rank test,

muestras de suelo (de 15 mL), bajo acolchado y cinco sin él al final de la temporada seca y al inicio las de lluvias (mayo y finales de junio del 2010). Las muestras se pesaron y secaron 72 h en un horno a 80 °C. El contenido gravimétrico de agua del suelo se determinó a partir del cociente entre el peso del agua de la muestra y el peso del suelo seco (Jury y Horton, 2004).

### Análisis estadístico

El efecto de los factores experimentales en la supervivencia se analizó con un modelo lineal generalizado que evaluó el efecto de la especie, acolchado y compost en la proporción final de plantas vivas, usando un error binomial, una función de ligamiento logit, y el programa estadístico R. Con base en los resultados se analizaron detalladamente las diferencias en la supervivencia de cada especie debidas al acolchado de febrero a septiembre del 2010 con la prueba de rangos logarítmicos, que compara el tiempo que permanecen vivos los individuos en dos o más tratamientos. El crecimiento se analizó mediante análisis de varianza de dos vías para cada especie, considerando como factores al compost y al acolchado, ambos con dos niveles (presencia-ausencia), y como variables de respuesta a los incrementos (la diferencia entre los valores finales e iniciales) en el diámetro basal y la altura de cada planta; sólo se usaron los datos de las plantas vivas al final del experimento (septiembre del 2010). Previamente se verificó que se cumplieran los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los datos. Al tener un efecto de los factores, las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Para analizar la asignación de biomasa de las plantas con y sin compost se compararon los valores de cada variable (raíz, tallo y hojas) entre ambos tratamientos mediante pruebas de *t*. La temperatura diaria (promedio, máxima y mínima) se graficó durante mayo y junio de 2010, con los datos obtenidos cada hora con los dispositivos de almacenamiento de datos (Hobos) enterrados bajo y sin acolchado. El contenido gravimétrico de agua del suelo con y sin acolchado también se comparó mediante pruebas de *t*. Los análisis se hicieron con Statistica (Statsoft, 2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Supervivencia

El efecto de la especie y del acolchado en la proporción final de plantas vivas fue significativo (devianza 91.72, g.l.=2,  $p \leq 0.0001$  y devianza 23.18, g.l.=1,  $p \leq 0.0001$ ), pero no el del compost (devianza 0.059, g.l.=1  $p=0.80$ ), ni las interacciones entre factores (especie  $\times$  acolchado  $p = 0.06$ , especie  $\times$  compost  $p=0.30$ , acolchado  $\times$  compost  $p=0.06$ ). La supervivencia de las dos especies de leguminosas

which compares the time individuals remain alive in two or more treatments. Growth of each species was analyzed with a two-way analysis of variance, considering compost and mulch as factors with two levels (presence-absence) and increase in basal diameter and in height of each plant as response variables. Only data of plants alive at the end of the experiment (September 2010) were used in the analysis. Previously, the assumptions of data normality and homocedasticity were verified. When there was a significant effect of a factor, means were compared with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ).

To analyze biomass allocation in plants with and without compost, values of each variable (root, stem and leaves) of the two treatments were compared with *t* tests. Daily temperature (average, maximum and minimum) during May and June 2010 was graphed using data obtained every hour with the data storage devices (Hobos) buried in soil under the mulch or without mulch. The gravimetric soil moisture content with and without mulch was also compared with *t* tests. Analyses were done with Statistica (Statsoft, 2007).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Survival

The effect of species and mulch on the final proportion of live plants was significant (deviance 91.72, d.f.=2,  $p \leq 0.0001$  and deviance 23.18, d.f.=1,  $p \leq 0.0001$ ), but not that of compost (deviance 0.059, d.f.=1  $p=0.80$ ) nor of the interactions between factors (species  $\times$  mulch  $p=0.06$ , species  $\times$  compost  $p=0.03$ , mulch  $\times$  compost  $p=0.06$ ). Survival of the two leguminous species was high during the rainy season, but began to fall in March 2010 (the driest time of the year), while *D. viscosa* had almost constant mortality from the beginning of the experiment and increased from March to July 2010. The final survival percentages were 8 % for *D. viscosa*, 46 % for *L. leucocephala* and 61 % for *L. divaricatum*.

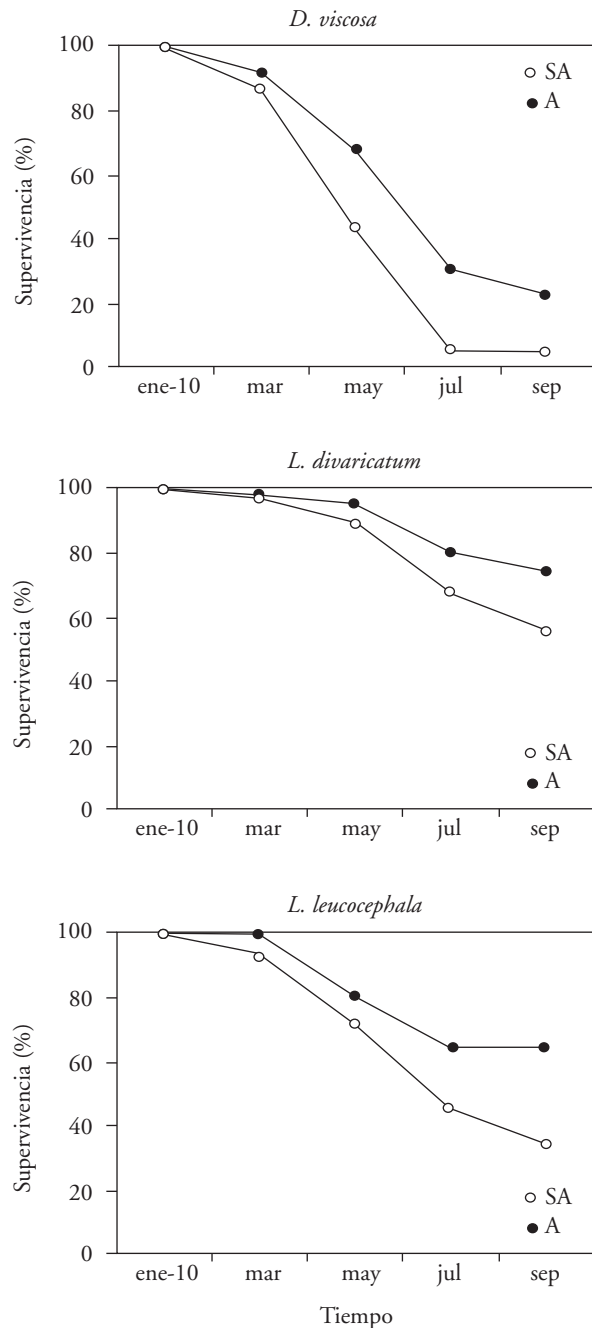
One factor determining survival of plants was water stress during the dry season, a common phenomenon in tropical dry forests (Ceccon *et al.*, 2003, 2004, Álvarez and Williams-Linera, 2012), but during the experiment it lasted almost eight months (November 2009 to June 2010). The drastic fall was recorded at the end of the dry season, between May and June. The higher mortality rate of *D. viscosa* may be due, besides water stress, to its sensitivity to waterlogging which is common during the rainiest months as a result of the high proportion of clay in soils of the study zone. Another factor that may have affected survival is herbivory, which was not

fue alta durante la temporada de lluvias y empezó a decaer desde marzo del 2010 (la época más seca del año), mientras que en *D. viscosa* se presentó mortalidad aproximadamente constante desde el inicio del experimento, y aumentó entre marzo y julio del 2010. Los porcentajes finales de supervivencia fueron 8 % para *D. viscosa*, 46 % para *L. leucocephala* y 61 % para *L. divaricatum*.

Un factor determinante de la supervivencia de las plantas fue el estrés hídrico durante la temporada seca, fenómeno común en los BTS (Ceccon *et al.*, 2003, 2004; Álvarez y Williams-Linera, 2012), pero en este caso duró casi ocho meses (noviembre 2009 - junio 2010). La caída drástica se registró al final de la temporada seca, entre mayo y junio. La mortalidad mayor de *D. viscosa* puede deberse a que es afectada por el estrés hídrico, y susceptible al anegamiento, que es común durante los meses más lluviosos en la zona de estudio debido al contenido alto de arcillas del suelo. Otro factor que pudo incidir en la supervivencia fue la herbivoría, que no se cuantificó, aunque se observó que el follaje de *L. leucocephala* fue consumido por hormigas en la temporada de lluvias, igual que las hojas de *D. viscosa* durante la temporada seca.

El acolchado plástico aumentó significativamente la supervivencia de todas las especies, pero la magnitud del incremento dependió de la especie (Figura 1). Fue mayor en *L. leucocephala* (31 %, estadístico de rangos logarítmicos  $-2.79$ ,  $p=0.005$ ), mientras que en *L. divaricatum* ( $-2.03$ ,  $p=0.42$ ) y en *D. viscosa* fue menor y similar (18 y 17 %; estadístico de rangos logarítmicos  $-3.11$ ,  $p\leq 0.001$ ). En un BTS seco en Chamela, Jalisco, el acolchado plástico aumentó la supervivencia de tres especies arbóreas entre 30 y 65 % (Barajas *et al.*, 2006), cifras similares o mayores a las del presente estudio. Esto puede deberse a que la ERT se encuentra a mayor altitud que Chamela, presenta temperaturas promedio menores y precipitación mayor ( $\sim 980$  mm en el NO de Morelos vs 740 mm en Chamela), por lo que es probable que las plantas enfrenen menos estrés hídrico.

En plantaciones forestales el acolchado plástico aumenta la supervivencia debido al contenido mayor de agua del suelo, que está disponible más tiempo para las plantas (De Byle, 1969). En sitios cubiertos con ceniza volcánica los acolchados orgánicos reducen la temperatura del suelo y la evaporación del agua, aumentando la supervivencia de plantaciones de pinos (Blanco y Lindig, 2005). En este estudio, el contenido gravimétrico del agua fue significativamente



**Figura 1.** Supervivencia de plantas con (A) y sin acolchado (SA) de especies arbóreas introducidas en la Estación de Restauración Ecológica Barranca del Río Tembembe entre enero y septiembre del 2010.

**Figure 1.** Plant survival with (A) and without mulch (SA) of the three tree species planted in Estación de Restauración Ecológica Barranca del Río Tembembe from January to September 2010.

quantified, but it was observed that ants consumed foliage of *L. leucocephala* during the rainy season, as well as leaves of *D. viscosa* during the dry season.

mayor en las muestras de suelo con acolchado, que sin él ( $t=2.827$  g.l. 8  $p=0.022$ ) al final de la temporada seca (mayo del 2010), pero no difirió cuando iniciaron las lluvias (junio) ( $t=0.074$ , g.l. 8,  $p=0.943$ ; Cuadro 1). La temperatura del suelo también fue afectada, sobre todo en mayo y junio; del análisis del cambio diario de la temperatura (Figura 2) destaca: 1) la temperatura promedio fue menor con acolchado, y las diferencias mayores ocurrieron entre las 12 y 20 h; 2) el intervalo de variación entre la temperatura máxima y mínima también se redujo con el acolchado. Las diferencias ocurrieron en las temperaturas media y máxima (4 a 5 °C). Ya iniciadas las lluvias la temperatura promedio no mostró diferencias entre ambas condiciones. Según Zegada-Lizarazu y Berliner (2001), Cenobio *et al.* (2004) y Barajas *et al.* (2006), los acolchados tienen un efecto amortiguador al reducir la temperatura del suelo, lo que resulta en una menor evaporación de agua.

### Crecimiento

A pesar de que *D. viscosa* fue la especie con la mortalidad mayor, las plantas sobrevivientes presentaron diámetro y altura mayor que las de las otras dos especies. Las dos especies de leguminosas sólo registraron aumentos del diámetro durante la temporada de lluvias, sin cambios en la altura (Figura 3). Este crecimiento pobre se explica por las condiciones de la zona de estudio, con suelos compactos y arcillosos, y una temporada seca prolongada, lo que provoca que las plantas trasplantadas con frecuencia no crezcan e incluso reduzcan su altura por mortalidad de los

**Cuadro 1. Contenido gravimétrico de agua del suelo ( $\theta_g$ ) (promedio  $\pm$  EE) de las muestras tomadas bajo acolchado y sin él durante mayo y junio de 2010 en la Estación de Restauración Ecológica Barranca del Río Tembembe .**

**Table 1. Gravimetric soil moisture content ( $\theta_g$ ) (average  $\pm$  EE) of samples taken under mulch and without mulch during May and June 2010 in Estación de Restauración Ecológica Barranca del Río Tembembe.**

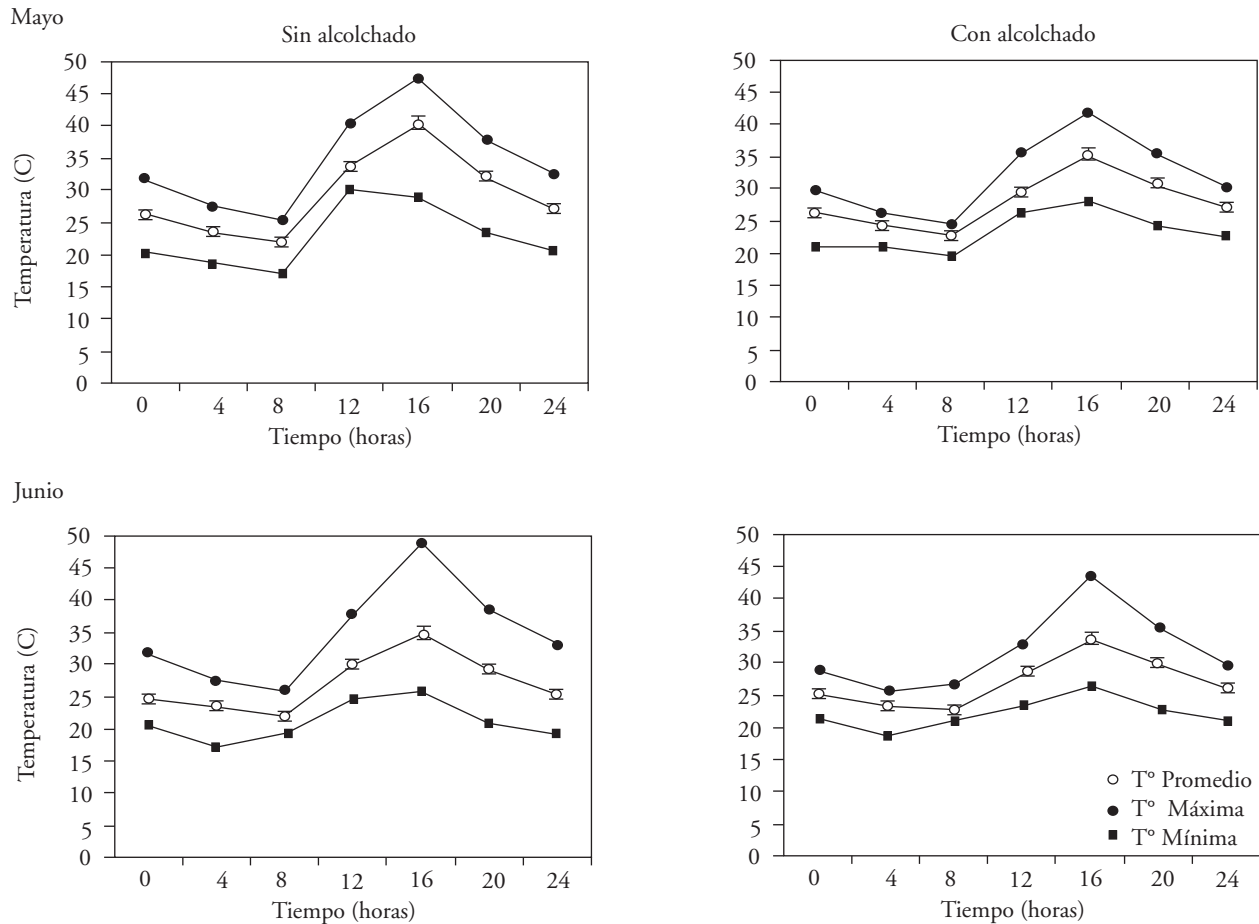
Mes	Tratamiento (Acolchado)	$\theta_g$
Mayo	Sin	0.017 $\pm$ 0.001
	Con	0.022 $\pm$ 0.001
Junio	Sin	0.120 $\pm$ 0.022
	Con	0.118 $\pm$ 0.009

Plastic mulch significantly increased survival of all the species, but the magnitude of the increase varied from species to species (Figure 1). It was greater in *L. leucocephala* (31 %, log rank -3.11,  $p \leq 0.001$ ), while for *L. divaricatum* and *D. viscosa* it was similar but less (18 and 17 %; log rank tests -2.79,  $p=0.005$  and -2.03,  $p=0.42$ ). In a tropical dry forest in Chamela, Jalisco, plastic mulch increased survival of three tree species from 30 to 65% (Barajas *et al.*, 2006), figures similar to or higher than those of our study. This could be due to the higher altitude of the ERT, which thus has lower average temperatures and higher precipitation (-980 mm in NW Morelos *vs* 740 mm in Chamela), and therefore it is likely that the plants undergo less water stress.

In forest plantations plastic mulches increases survival because they conserve soil moisture, making it available for a longer time (De Byle, 1969). In sites covered with volcanic ash, organic mulches decrease soil temperature and water evaporation, increasing survival of pine plantations (Blanco and Lindig, 2005). In our study, the gravimetric moisture content was significantly higher in soil samples with mulch than in those without it ( $t=2.827$  d.f. 8  $p=0.022$ ) at the end of the dry season (May 2010), but there were no differences at the beginning of the rainy season (June) ( $t=0.074$ , d.f. 8,  $p=0.943$ ; Table 1). Soil temperature was also affected, particularly in May and June. Analysis of daily temperature variation (Figure 2) revealed that 1) average temperature was lower with mulch and the largest differences occurred between 12:00 and 20:00 h; 2) the variation range between maximum and minimum temperature also decreased with mulch. The differences occurred with mean and maximum temperatures (4 to 5 °C). After the beginning of the rainy season, average temperatures of the two conditions were not different. According to Zegada-Lizarazu and Berliner (2001), Cenobio *et al.* (2004) and Barajas *et al.* (2006), mulches have a buffer effect, reducing soil temperature and evaporation.

### Growth

Although *D. viscosa* was the species with the highest mortality rate, surviving plants of this species had higher diameter and height than the other two species. The two leguminous species had increases in diameter during the rainy season, without changes in



**Figura 2. Temperaturas media ( $\pm$  EE), máxima y mínima del suelo en mayo y junio de 2010.**  
**Figure 2. Mean ( $\pm$  EE), maximum and minimum soil temperatures in May and June, 2010.**

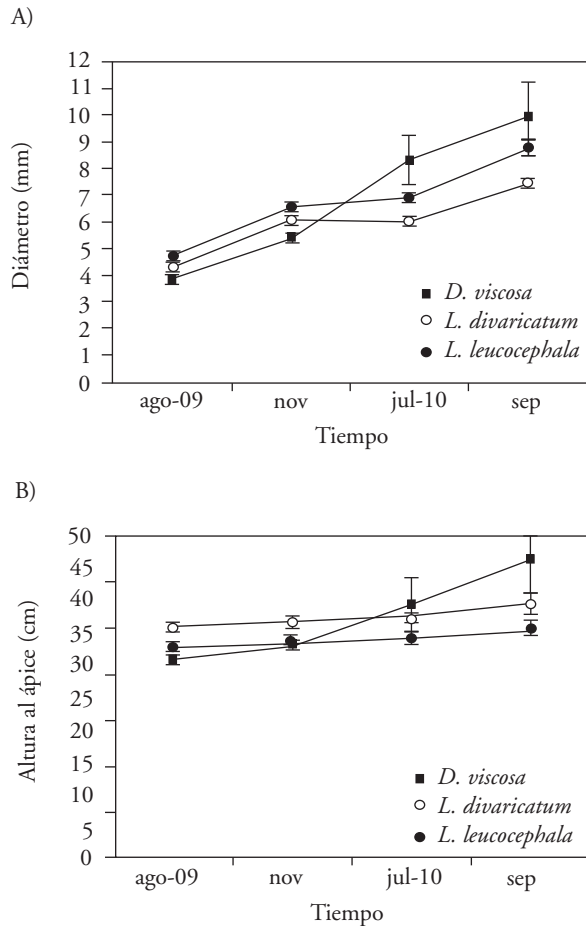
ápices durante el primer año después de la plantación (Ulloa, 2006; Castellanos-Castro y Bonfil, 2010). El acolchado y el compost no cambiaron el crecimiento de *L. leucocephala* ni de *L. divaricatum* (Cuadro 2), excepto el aumento en diámetro de *L. leucocephala*, que fue ligeramente mayor (1.5 mm) en las plantas con compost que en las testigo. Las diferencias entre los tratamientos fueron más evidentes desde julio del 2010, casi un año después de la aplicación de compost. Este análisis no pudo realizarse con *D. viscosa* debido al número bajo de plantas vivas al final del experimento, lo cual evitó tener un tamaño de muestra adecuado.

El efecto escaso del compost en el crecimiento de las plantas se puede deber a la respuesta baja o nula a la adición de nutrientes que es común en otras especies del bosque tropical caducifolio (Huante y Rincón, 1994; Huante *et al.*, 1995). Además, en las

height (Figure 3). This poor growth can be explained by the conditions of the study area, with compacted clay soils and a long dry season, which cause that transplanted plants often do not grow and even decrease in height because the apices die during the first year after plantation (Ulloa, 2006; Castellanos-Castro y Bonfil, 2010). Mulch and compost did not affect growth of *L. leucocephala* or *L. divaricatum* (Table 2), except for diameter of *L. leucocephala*, which was slightly larger (1.5 mm) in plants with compost than in the control. The differences between treatments were more evident as of July 2010, almost one year after application of compost. This analysis could not be performed for *D. viscosa* because of the small number of live plants at the end of the experiment, the sample size was not adequate.

The slight effect of compost on plant growth may be due to the fact that other tropical deciduous forest





**Figura 3. A) Diámetro y B) altura al ápice de tres especies un año en la Estación de Restauración Ecológica Barranca del Río Tembembe. Las barras indican el error estándar.**

**Figure 3. A) Diameter and, B) apex height of three species during one year in Estación de Restauración Ecológica Barranca del Río Tembembe. Bars indicate standard error.**

leguminosas como *L. leucocephala* con frecuencia se presentan nódulos de bacterias fijadoras de nitrógeno; no se han reportado en *L. divaricatum*, pero sí en otras cinco especies del género (Sprent, 2005). Además de aportar nutrientes, el compost modifica la estructura del suelo y favorece el crecimiento radicular (Dalzell *et al.*, 1991, Giusquiani *et al.*, 1994). Las plantas de *L. leucocephala* con compost presentaron tendencias no significativas de producción mayor de raíces finas (promedio  $\pm$  e. e.  $0.53 \pm 0.11$  g con compost,  $0.33 \pm 0.17$  g sin compost,  $t=2.12$ ,  $p=0.066$ ; Figura 4) y crecimiento del vástago ( $t=2.29$ ,  $p=0.051$ ).

**Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza de dos vías del efecto de el compost (C) y el acolchado (A) en el incremento de las variables de crecimiento de *Leucaena leucocephala* y *Lysiloma divaricatum*.**

**Table 2. Results of the two-way analysis of variance of the effect of compost (C) and mulch (A) on the increment in growth variables of *Leucaena leucocephala* and *Lysiloma divaricatum*.**

		Diámetro		Altura	
		F	p	F	p
<i>L. leucocephala</i>	Compost	5.330	0.025 <sup>†</sup>	0.409	0.525
	Acolchado	0.633	0.430	0.056	0.813
	C × A	1.105	0.300	0.707	0.525
<i>L. divaricatum</i>	Compost	0.302	0.584	0.289	0.592
	Acolchado	0.001	0.981	2.886	0.094
	C × A	0.003	0.953	0.202	0.655

<sup>†</sup>Diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) ♦ Significant difference ( $p \leq 0.05$ ).

species show little or no response to the addition of nutrients (Huante and Rincón, 1994; Huante *et al.*, 1995). Moreover, leguminous plants, such as *L. leucocephala*, often have nodules of nitrogen-fixing bacteria; although they are not reported in *L. divaricatum*, they were found in other five species of the genus (Sprent, 2005). Besides contributing nutrients, compost modifies soil structure and favors root growth (Dalzell *et al.*, 1991, Giusquiani *et al.*, 1994). *Leucaena leucocephala* plants with compost showed only a non-significant tendency to produce more fine roots (average  $\pm$  e. e.  $0.53 \pm 0.11$  g with compost,  $0.33 \pm 0.17$  g without compost,  $t=2.12$ ,  $p=0.066$ ; Figure 4) and more shoot biomass ( $t=2.29$ ,  $p=0.051$ ).

In the literature reviewed there are few reports on the use of compost in forest plantations. To arrive at solid conclusions, medium-term studies are required, especially in sites with degraded soils having deficient structure, low nutrient content, or both. Compost composition, quantity and form of application should also be assessed, since the dosage used in this experiment may have been low in order to obtain clear results. The effects of mulch on growth should also be assessed over a longer period because mulched plants grow taller, and their growth rate increases over time (Blanco and Lindig, 2005; Devine *et al.*, 2007).

En la literatura revisada hay pocos reportes sobre el uso de compost en plantaciones forestales. Para tener conclusiones sólidas se requieren estudios a mediano plazo, sobre todo en sitios con suelos degradados, con estructura deficiente, contenido bajo de nutrientes o ambos. La composición de el compost, cantidad y forma de aplicación, también deben evaluarse, porque la dosis usada en este experimento pudo ser baja para obtener resultados claros. Los efectos del acolchado en el crecimiento también se deben evaluar durante un periodo mayor, porque plantas con acolchado crecen más alto, lo cual aumenta con el tiempo (Blanco y Lindig, 2005; Devine *et al.*, 2007).

### CONCLUSIONES

La supervivencia alta de *Leucaena leucocephala* y *Lysiloma divaricatum* permite usarlas con éxito en la reforestación de zonas con condiciones ambientales y tipo de vegetación similares a las probadas.

El acolchado es una técnica útil y barata que permite aumentar la supervivencia de especies arbóreas en sitios con estacionalidad marcada en la precipitación. Los resultados de la aplicación de compost fueron limitados y difirieron entre especies, por lo que se requieren más estudios por un mínimo de dos años antes de recomendar su uso en plantaciones.

### CONCLUSIONS

Survival of *Leucaena leucocephala* and *Lysiloma divaricatum* indicates that they can be successfully used in reforestation of areas with environmental conditions and vegetation similar to those tested.

Mulching is a useful, cheap technique that increases survival of tree species in sites having markedly seasonal precipitation. The results of compost application were limited and differed among species; thus more studies over a minimum of two years are required before recommending its use in plantations.

—End of the English version—



### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a P. Mendoza-Hernández, A. Mendoza-Segovia, W. Tobón, Y. Gómez-Cirilo, J. Illescas, B. Barrales y F. Ayala por su ayuda en el trabajo de campo. Se agradece a la DGA-PA de la UNAM por el financiamiento del proyecto PAPIIT-IN218612.



Figura 4. Raíces de *Leucaena leucocephala*: plantas con (A) y sin compost (B) un año después del trasplante en Estación de Restauración Ecológica Barranca del Río Tembembe, Morelos, México. Nótese la mayor cantidad de raíces finas en la primera.

Figure 4. *Leucaena leucocephala* roots: plants with (A) and without (B) compost one year after transplant in Estación de Restauración Ecológica Barranca del Río Tembembe, Morelos, México. Note the higher quantity of fine roots in A.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez, A. C., and G. Williams-Linera. 2012. Seedling survival and growth of tree species: site condition and seasonality in tropical dry forest restoration. *Bot. Sci.* 90: 341-352.
- Barajas, G. G., J. Campo, and V. Barradas. 2006. Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Plant Soil* 287: 347-357.
- Blanco, G. A., and R. Lindig. 2005. Incorporating restoration in sustainable forestry management: using pine-bark mulch to improve native species establishment on tephra deposits. *Restoration Ecol.* 13: 703-709.
- Bonfil, C., I. Trejo, and R. García-Barrios. 2004. The experimental station "Barrancas del río Tembembe" for ecological restoration in NW Morelos, Mexico. *Memorias del Congreso Restoration on the Edge Society of Ecological Restoration Conference.* 24-26 de agosto de 2004. Victoria, B. C., Canadá.
- Bonfil, C., and I. Trejo. 2010. Plant propagation and the ecological restoration of Mexican tropical deciduous forests. *Ecol. Restoration* 28: 369-376.
- Campo, J., V. J. Jaramillo, and J. M. Maass. 1998. Pulses of soil phosphorus availability in a Mexican tropical dry forest: effects of seasonality and level of wetting. *Oecologia* 115: 167-172.
- Castellanos-Castro, C., and C. Bonfil. 2010. Establecimiento y crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera* Jacq. ex. L. *Rev. Mex. Ciencias For.* 2: 93-108.
- Ceccon, E., P. Huante, and J. Campo. 2003. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the survival and recruitment of seedlings of dominant tree species in two abandoned tropical dry forests in Yucatán, Mexico. *For. Ecol. Manage.* 182: 387-402.
- Ceccon, E., S. Sánchez, and J. Campo. 2004. Tree seedling dynamics in two abandoned tropical dry forests of differing successional status in Yucatan, Mexico: a field experiment with N and P fertilization. *Plant Ecol.* 170: 12-26.
- Cenobio, P., S. F. Mendoza M., I. E. Sánchez C., y M. A. Izunza. 2004. Respuesta de la sandía (*Citrullus lanatus* T.) a diferentes colores de acolchado plástico y riego por goteo. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas* 3: 89-97.
- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional). 1976. Carta Edafológica 1:50,000 Cuernavaca. D. F., México.
- Challenger, A. 1998. Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro. CO-NABIO-IBUNAM-ASM-SC, México. 847 p.
- Cole, D. 2007. Seedling establishment and survival on restored campsites in subalpine forest. *Restoration Ecol.* 15(3): 430-439.
- Cole, I., I. D. Lunt, and T. Koen. 2004. Effects of soil disturbance weed control and mulch treatments on establishment of *Themeda triandra* (Poaceae) in a degraded white box (*Eucalyptus albens*) woodland in central western New South Wales. *Austr. J. Bot.* 52: 629-637.
- Cotler, H., E. Sotelo, J. Domínguez, M. Zorrilla, S. Cortina, y L. Quiñones. 2007. La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecol.* 83: 5-71.
- Dalzell, H. W., A. J. Biddlestone, K. R. Gray, y K. Thurairajan. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín de Suelos de la FAO* No. 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 177 p.
- De Byle, N. V. 1969. Black polyethylene mulch increases survival and growth of a Jeffrey pine plantation. *Tree Planter's Notes* 19: 7-10.
- Devine W. D., C. Harrington, and L. P. Leonard. 2007. Post-planting treatments increase growth of Oregon white oak (*Quercus garryana* Dougl. ex Hook.) seedlings. *Restoration Ecol.* 15: 212-222.
- Giovannini, G., S. Lucchesi, and S. Giachetti. 1990. Beneficial and detrimental effects of heating on soil quality. *In: Gollammer, J. G., and M. J. Jenkins (eds). Fire in Ecosystem Dynamics. Mediterranean and Northern Perspective.* SPB Academic Publishing. Hague, Holland. pp: 95-102.
- Giusquiani, P. L., G. Gigliotti, D. Businelli, and A. Macchioni. 1994. Spectroscopy comparison between humic and fulvic acids from urban waste compost and soil. *In: Senesi, N., and T. M. Miano (eds). Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health.* Elsevier. Amsterdam, Holland. pp: 1303-1310.
- Greenland, D. J. 1977. Soil damage by intensive arable cultivation: Temporary or permanent?. *Philosophical Trans. of the Royal Soc. of London* 281: 193-208.
- Huante, P., and E. Rincón. 1994. Influence of mineral nutrient availability on growth of tree seedlings from the tropical deciduous forest. *Trees* 9: 93-97.
- Huante, P., E. Rincón, and I. Acosta. 1995. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. *Functional Ecol.* 9: 849-858.
- Jury, W., and R. Horton. 2004. *Soil Physics.* 6th ed. John Wiley and Sons, Hoboken. 384 p.
- López B., F., y J. Albadalejo. 1990. Factores ambientales de la degradación del suelo en el área Mediterránea. *In: Albadalejo J., M. A. Stocking, y E. Díaz (eds). Degradación y Regeneración del Suelo en Condiciones Ambientales Mediterráneas.* Murcia, España. pp: 13-45.
- Luken, J. O. 1990. *Directing Ecological Succession.* Chapman and Hill. Nueva York. 281 p.
- Murphy, G. P., and E. A. Lugo. 1995. Dry forests of Central American and the Caribbean Islands. *In: Bullock, S. H., H. A. Mooney, and E. Medina (eds). Seasonally Dry Tropical Forests.* Cambridge University Press, Cambridge, England. pp: 9-34.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., and C. A. Portillo-Quintero. 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the America. *Biol. Conservation* 143: 144-155.
- Sprent, J. 2005. Nodulated legume trees. *In: Dilworth, M. J., E. K. James, J. I. Sprent, W. E. Newton, D. Werner, and W. Newton (eds). Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment. Nitrogen Fixation: Origins, Applications, and Research Progress.* Springer. Netherlands. pp: 113-141.
- StatSoft Inc. 2007. *Statistica (Data Analysis Software System).*
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis M., M. I. Alcocer, M. Gual, y C. Sánchez D. 1990. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Technical Report for Project J-084. Ciudad de México:

- CONABIO e Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. [www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/introd-J084.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/introd-J084.html). (Consulta: noviembre 2012).
- Wang, S. Y., and S. Lin. 2002. Composts as soil supplement enhanced plant growth and fruit quality of strawberry. *J. Plant Nutr.* 25: 2243-2259.
- Zegada-Lizarazu, W., and P. Berliner. 2011. The effects of the degree of soil cover with an impervious sheet on the establishment of tree seedlings in an arid environment. *New For.* 42: 1-17.