

ESTABLECIMIENTO Y CRECIMIENTO INICIAL DE ESTACAS DE TRES ESPECIES DE *Bursera* Jacq. ex L.

FIELD ESTABLISHMENT AND INITIAL GROWTH OF CUTTINGS OF THREE SPECIES OF *Bursera* Jacq. ex L.

Carolina Castellanos-Castro¹ y Consuelo Bonfil Sanders¹

RESUMEN

Los árboles del género *Bursera* son elementos característicos y dominantes en muchos bosques tropicales secos de México. Por ello es importante desarrollar estrategias que permitan introducirlos con éxito en plantaciones para apoyar la restauración ecológica de sitios perturbados. En este trabajo se evaluó el crecimiento y la supervivencia de estacas enraizadas de tres especies de *Bursera* (*B. linanoe*, *B. glabrifolia* y *B. copallifera*) en sitios con diferentes características del suelo. A inicios de la temporada de lluvias se introdujeron 30 estacas de cada especie/sitio en dos sitios perturbados; la evaluación se hizo durante cuatro meses mediante un análisis clásico de crecimiento y el registro mensual de altura y diámetro en campo; adicionalmente se realizaron censos mensuales de supervivencia por un año. Al finalizar la temporada de lluvias, *B. linanoe* tuvo el valor más alto en este parámetro (77.5%) y *B. copallifera* el menor (42.3%); sólo en la primera se detectaron incrementos en el diámetro y la altura. Las variables relacionadas con las hojas fueron sensibles al efecto de la calidad del sitio, mientras que la biomasa de la raíz y el cociente raíz/vástago mostraron aumentos significativos en todas las localidades. Un año después del trasplante la supervivencia disminuyó en todos los taxa, pero se mantuvo el patrón inicial. La supervivencia fue mayor en el sitio donde se registró un incremento superior de biomasa y desarrollo del sistema radicular en la temporada de lluvias. Los sitios que presentaron crecimiento limitado, la supervivencia fue baja.

Palabras clave: Análisis de crecimiento, bosque tropical seco, *Bursera*, calidad de sitio, México, restauración ecológica.

ABSTRACT

Bursera trees are characteristic and dominant elements of many tropical dry forests in Mexico. Therefore, it is important to develop protocols that facilitate the introduction of plants either for plantations or during the ecological restoration of disturbed sites. In this work we evaluated field survival and growth of rooted cuttings of three *Bursera* species: *B. linanoe*, *B. glabrifolia* and *B. copallifera*, in sites with different soil characteristics. At the onset of the rainy season, thirty rooted cuttings per species/site were planted in each of two disturbed sites; growth was evaluated during this season (four months) by means of a classical growth analysis and by registering height and diameter of cuttings in the field each month. Additionally, survival censuses were carried out during a year. At the end of the rainy season, *B. linanoe* showed the highest survival (77.5%) and *B. copallifera* the lowest (42.3%); height and diameter increments were observed only in *B. linanoe*. In relation to biomass allocation, leaf variables were sensitive to the effect of site quality, while root biomass and root/shoot ratio showed significant increments in all sites. A year after sowing, survival diminished in all species, but the initial species survival pattern was kept. Survival was higher in sites where biomass increment and root development were higher during the growing season, while in those sites where growth was limited survival was also low.

Key words: Growth analysis, tropical dry forest, *Bursera*, site quality, Mexico, ecological restoration.

Fecha de recepción: 08 de febrero de 2010

Fecha de aceptación: 20 de agosto de 2010.

¹Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: cbonfil@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En México se tienen registradas alrededor de 80 especies del género *Bursera*. La mayoría de las cuales son árboles y arbustos característicos y no pocas veces dominantes en los bosques tropicales caducifolios (McVaugh y Rzedowski, 1965; Rzedowski *et al.*, 2004). A pesar de ello, es escasa la bibliografía sobre su propagación y uso en programas de reforestación y restauración ecológica. Es necesario, por tanto, promover su conocimiento y uso, ya que el ser típicas de etapas sucesionales tardías y servir de alimento a la fauna silvestre, a las aves en particular (Scott y Martin, 1984) les permite acelerar la sucesión y recuperar los servicios ambientales en las zonas con disturbio o degradadas por las actividades humanas (Luken, 1990).

En los bosques tropicales secos (BTS) la estacionalidad de la precipitación genera condiciones ecológicas más drásticas que las que se presentan en zonas más húmedas, por lo que las acciones de restauración tienen desafíos que requieren del desarrollo de protocolos específicos de reintroducción de plantas nativas (Lugo, 1988; Brown y Lugo, 1994). Los fuertes cambios en la disponibilidad de agua, nutrientes y luz a lo largo del año enfrentan a las plántulas a diversas limitantes, entre las que destaca el estrés hídrico, que con frecuencia representa una barrera para la regeneración natural y la rehabilitación ecológica (Gerhardt, 1993; Gerhardt, 1995; Ray y Brown, 1995; Khurana y Singh, 2001; McLaren y McDonald, 2003; Ceccon *et al.*, 2006). En los sitios muy perturbados, como aquellos sujetos a incendios frecuentes y sobrepastoreo, estos problemas suelen agravarse por las características del suelo, en especial la compactación, la erosión y la pérdida de nutrientes.

Se han publicado algunos informes de reintroducción de plantas en sitios perturbados de BTS en México, y aunque se han registrado datos de supervivencia anual relativamente altos, de 50 a 80% (Arriaga *et al.*, 1994; Ayala-García, 2008), los valores inferiores son más frecuentes, de entre 10 y 40% e incluso menores, en particular en áreas con suelos deteriorados (Arriaga *et al.*, 1994; Galindo, 2006; Ulloa-Nieto, 2006; Barajas, 2007; Bonfil y Trejo, 2010). El desempeño de las plantas introducidas al campo depende, además de la especie, de la calidad del sitio y de los propágulos, en especial la edad o tamaño de los individuos al momento de la plantación (Arriaga *et al.*, 1994; Bonfil *et al.*, 2000; Mexal *et al.*, 2009). Las plantas propagadas a partir de estacas suelen alcanzar una talla mayor en un tiempo más corto que por semillas. En el caso de *Bursera*, la segunda estrategia supone diversos problemas, debido a que muchos taxa tienen elevados porcentajes de semillas vanas (Bonfil *et al.*, 2008) y la germinación suele ser muy errática, con frecuencia baja (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002; Barrales-Alcalá, 2009). En este contexto, el uso de material

INTRODUCTION

There are around 80 recorded species of the genus *Bursera* in Mexico, most of them trees and shrubs characteristic of tropical dry forests, where they are frequently dominant (McVaugh and Rzedowski, 1965; Rzedowski *et al.*, 2004). However, reports on their propagation and use in ecological restoration and reforestation programs are scarce. There is a widespread need to encourage their study and use, as they are typical species of late successional forests and a source of food for fauna, especially birds (Scott and Martin, 1984), and therefore they can enhance succession and favor the recuperation of ecosystem services in disturbed and degraded areas (Luken, 1990).

The seasonal pattern of precipitation in tropical dry forests creates harsher ecological conditions for restoration than the ones found at tropical wet forests, and poses particular challenges that can be met by developing specific protocols for the reintroduction of native plant species (Lugo, 1988; Brown and Lugo, 1994). The large changes in water availability, nutrients and light throughout the year frequently limit seedling establishment, and water stress often becomes a barrier for natural regeneration and restoration actions (Gerhardt, 1993; Gerhardt, 1995; Ray and Brown, 1995; Khurana and Singh, 2001; McLaren and McDonald, 2003; Ceccon *et al.*, 2006). In strongly disturbed sites, like those experiencing frequent fires and overgrazing, these limitations increase usually as a result of soil compaction, erosion and nutrient loss.

Previous reports on the reintroduction of plants in disturbed sites of Mexican tropical dry forests show relatively high survival rates of around 50-80% (Arriaga *et al.*, 1994; Ayala-García, 2008), but lower values (10-40%) are more common, particularly in areas experiencing soil deterioration (Arriaga *et al.*, 1994; Galindo, 2006; Ulloa-Nieto, 2006; Barajas, 2007; Bonfil and Trejo, 2010). Plant performance in the field depends on various factors, such as species and site and plant quality, particularly age and size of plants (Arriaga *et al.*, 1994; Bonfil *et al.*, 2000; Mexal *et al.*, 2009). In the case of *Bursera*, many taxa have high proportions of empty seeds (Bonfil *et al.*, 2008) and seed germination is erratic, frequently low (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; Andrés-Hernández and Espinosa-Organista, 2002; Barrales-Alcalá, 2009). In this context, the use of plant material obtained from cuttings is valuable, as it allows the production of large quantities of plants and overcomes the high mortality found by using young seedlings, which are very fragile (Vieira and Scariot, 2006; Barrales-Alcalá, 2009). Plants propagated by cuttings usually attain larger sizes in less time than seedlings. The most frequently cited disadvantage of this propagation form is the reduction of genetic diversity, although it can be overcome if plant material is obtained from a large number of trees or plant sources.

vegetal derivado de estacas ofrece diversas ventajas, ya que además de obtenerse un mayor número de plantas, podría disminuir la gran mortalidad asociada a la fragilidad de las etapas iniciales de crecimiento de las plántulas del género *Bursera* (Vieira y Scariot, 2006; Barrales-Alcalá, 2009). Entre las desventajas de dicho método de propagación se ha señalado la reducción de la diversidad genética que conlleva, aunque ese riesgo puede disminuir si el material procede de una muestra grande de árboles o individuos fuente.

En México es común el establecimiento de cercos vivos de *Bursera* en pastizales y campos agrícolas de zonas tropicales (García-Orth, 2002; Rzedowski *et al.*, 2004), para lo cual se utilizan ramas grandes con diámetros iguales o superiores a 10 cm y un metro o más de longitud. Hay también informes previos del uso de estacas de estas dimensiones de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón y Medina, especie que se emplea para extraer aceites esenciales y elaborar artesanías en Morelos y Guerrero (Hersh-Martínez *et al.*, 2004) y de *Bursera glabrifolia* (HBK.) Engl. usada para la elaboración de alebrijes en Oaxaca (Hernández-Apolinar *et al.*, 2006) y como cerco vivo en Morelos. Sin embargo, dicha práctica tiene la desventaja de que sólo es posible multiplicar un número reducido de ejemplares, debido al esfuerzo físico y económico; así como al impacto de la cosecha y traslado de ramas grandes. Lo anterior se traduce en la imposibilidad de usar esa técnica para reforestar a mayor escala, y en la pertinencia de producir plantas a partir de estacas de menor tamaño, lo que permite abatir los costos y minimizar el esfuerzo de la restauración (Hobbs y Norton, 1996).

Se han realizado algunos estudios de propagación de *Bursera* a partir de estacas pequeñas (~ 25 cm), con el fin de incrementar el acervo de especies útiles para la restauración ecológica (Bonfil *et al.*, 2007). Recientemente se describió un protocolo más detallado para *Bursera copallifera* (D. C.) Bullock, *B. glabrifolia* y *B. linanoe* en el que se utilizaron ramas pequeñas (Castellanos, 2009). En el contexto de este trabajo, se consideró necesario, además, hacer una prueba piloto del desempeño de esas plantas en lugares perturbados, antes de recomendar su producción masiva.

Los ensayos previos de establecimiento de *Bursera* en campo se han centrado en *B. simaruba*, que ha mostrado valores bajos de supervivencia en plantas originadas de estacas chicas y un mayor éxito con las provenientes de semilla (Ray and Brown, 1995) y de estacas de alrededor de 2 m de largo (Messenger *et al.*, 1997; Zahawi, 2005; Zahawi y Holl, 2008). Sin embargo, es necesario realizar experimentos que involucren una variedad amplia de especies y diferentes condiciones ambientales, pues *B. simaruba* se distribuye en zonas más húmedas que la mayoría de los representantes del género en México (Rzedowski *et al.*, 2004).

In Mexico the establishment of living fences of *Bursera* in pastures and crop fields of tropical regions is common (García-Orth, 2002; Rzedowski *et al.*, 2004). Large branches, having diameters of 10 cm or more and length larger than 1 m, are commonly used. Their use has also been reported for the propagation of *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón and Medina, a species from which essential oils are extracted and woodcrafts made in Morelos and Guerrero (Hersh-Martínez *et al.*, 2004), and *Bursera glabrifolia* (HBK.) Engl., whose wood is in high demand in Oaxaca to make alebrijes, a common woodcraft (Hernández-Apolinar *et al.*, 2006) and is also used for living fences in Morelos. However, the use of large branches results in a low number of new plants, because of the physical and economical effort needed, as well as the impact that pruning has on established trees. These considerations restrict the use of this technique for the reforestation of large areas, and point to the suitability of producing plants from smaller-sized cuttings, which reduces costs and lowers the restoration effort (Hobbs y Norton, 1996).

The propagation of *Bursera* using small cuttings, aimed at increasing the number of species available for ecological restoration, has been previously studied (Bonfil *et al.*, 2007). More recently, detailed protocols for the propagation of *Bursera copallifera* (D. C.) Bullock, *B. glabrifolia* and *B. linanoe* from small cuttings were developed (Castellanos, 2009). At that point it was necessary to conduct a trial to make a preliminary evaluation of the field performance of these plants in disturbed sites, before recommending its massive production.

Previous assays of field establishment of plants of *Bursera* have been centered on *B. simaruba*, a species showing low survival of plants originated from small cuttings and a higher success with seedlings (Ray and Brown, 1995) and large cuttings (~ 2 m long) (Messenger *et al.*, 1997; Zahawi, 2005; Zahawi and Holl, 2008). However, information regarding a larger number of species and different environmental conditions is needed, as *Bursera simaruba* is usually found in more humid areas than most species of the genus in Mexico (Rzedowski *et al.*, 2004).

This study presents the results of a first field assay that evaluates survival and growth of plants produced from small cuttings of *Bursera glabrifolia*, *B. linanoe* and *B. copallifera*, in different environmental conditions.

En el presente estudio se muestran los resultados de un primer ensayo en campo, cuyo objetivo fue evaluar la supervivencia y el crecimiento de plantas producidas por estacas de *Bursera glabrifolia*, *B. linanoe* y *B. copallifera* en diversos ambientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo entre marzo de 2007 y junio de 2008, en el noroeste de Morelos, México. En marzo y mayo de 2007 se recolectaron estacas de *B. glabrifolia* y *B. copallifera* en la zona arqueológica de Xochicalco, y de *B. linanoe* en el ejido de Chimalacatlán, en el sur del estado. Las estacas (~ 25 cm de largo y 6-20 mm de diámetro) se obtuvieron de ramas terminales de cinco individuos juveniles de cada especie. Se desarrolló un protocolo de propagación con ácido indol-butírico (Castellanos, 2009). Las estacas se plantaron en bolsas de plástico negro con una mezcla de tierra negra y agrolita (1:1 v) y se mantuvieron en un invernadero con riegos frecuentes hasta que desarrollaron hojas y raíces (11-19 semanas). Antes de trasplantarlas se dejaron a la intemperie durante dos semanas, para su endurecimiento.

En julio de 2007 el material vegetal se plantó en tres sitios, originalmente, cubiertos por Bosque Tropical Caducifolio (BTC), que en la actualidad son pastizales o terrenos baldíos en zonas rurales o semi-urbanas de Morelos: la Estación de Restauración Ambiental Barrancas del río Tembembe (ERBRT) en Cuentepec (NO del estado); el Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (CIE) en Temixco y el Jardín Etnobotánico del Instituto Nacional de Antropología e Historia (JE), en Cuernavaca. Localidades que presentan una estacionalidad marcada en la precipitación, con una temporada de lluvias de junio a octubre y una seca de noviembre-diciembre a mayo. El lugar más cálido y seco es el CIE, con una temperatura media anual de 23.1°C y precipitación anual de 882 mm (estación Temixco, Clave SMN 17034); mientras que el JE es más fresco y húmedo, con una temperatura media anual de 21.1°C y una precipitación anual de 1273.7 mm (estación Cuernavaca, Clave SMN17005); en la ERBRT se registra la menor temperatura promedio (-20°C) y un valor de precipitación intermedio (~1000 mm). (Datos del Servicio Meteorológico Nacional, tomados de Hernández-Pérez, 2004).

El suelo es de origen volcánico, y predominan el feozem háplico y el vertisol pélico, con textura lítica gruesa (INEGI, 2005), aunque se registran variaciones en la textura y la profundidad. En el CIE la plantación se estableció en una ladera con 42° de inclinación con una cobertura de herbáceas y algunos árboles remanentes; suelo de 10-30 cm de profundidad y texturas francas en los primeros horizontes y

MATERIALS AND METHODS

Study area

The research was conducted between March 2007 and June 2008 in the northeast of Morelos state, Mexico. During March and May 2007 cuttings of *B. glabrifolia* and *B. copallifera* were collected in the archaeological area of Xochicalco, and those of *B. linanoe* in the ejido Chimalacatlán, in the south of the state. The cuttings (~ 25 cm long and 6-20 mm wide) were obtained from terminal branches of five juvenile individuals of each species. Propagation protocols using indol-butyric acid solutions were developed (Castellanos, 2009). The cuttings were sown in black polyethylene bags having a mixture of soil and agrolite (1:1 v) and kept in a greenhouse with frequent irrigation until the cuttings developed leaves and roots (11-19 weeks). Two weeks before transplanting the plants were left outdoors for hardening.

In July 2007 the plants were planted in three sites originally covered by Tropical Dry Forest and later transformed into pastures and abandoned lands in rural and semi-urban areas of Morelos; the Environmental Restoration Station Barrancas del río Tembembe (ERBRT) in Cuentepec (NW of the state), the Center for Energy Research of the National Autonomous University of Mexico (CIE) in Temixco, and the Ethnobotanical Garden of the National Institute of Anthropology and History in Cuernavaca (JE). In all localities there is a distinct dry season from November-December to May, and a rainy one from June to October. The hottest and driest conditions are found at CIE, with an annual temperature of 23.1°C and 882 mm of rain (Temixco station, SMN 17034); the JE is cooler and more humid, with a temperature of 21.1°C and 1273.7 mm of annual rain (Cuernavaca station, Clave SMN17005); at the ERBRT precipitation values are intermediate (~1000 mm) and annual temperature is the lowest (-20°C) (Data from the National Meteorological Service, from Hernández-Pérez, 2004).

Soils are of volcanic origin and the predominant types are haplic phaeozem and pelic vertisol, with a coarse and lithic texture (INEGI, 2005), although there are variations in texture and soil depth. At CIE plants were established on a slope of 42° having herbaceous cover and some remnant trees; soil depth was 10-30 cm, with loamy textures in the superficial horizon and clay-sand at a lower depth. At the JE the terrain is even and has a grass cover, and soil, resulting from the transport of rubbles and soil from other zones, is 70 cm deep and has loamy texture at the superficial horizon and clay-sand at the sub-superficial one. At the ERBRT the slope was 33°, soil was shallow (30-40 cm) and compacted as result of cattle grazing, with clay-sandy texture at the superficial horizon and clayish at higher depth (Ulloa-Nieto, 2006; Ayala, 2008).

arcillo-arenosas en los sub-superficiales. En el JE el terreno es plano y cubierto por pasto; el suelo, que es el resultado de movimiento de escombros y tierra de otras zonas, tiene una profundidad de 70 cm y texturas francas en los primeros horizontes y arcillo-arenosas en los sub-superficiales. En la ERBRT se tiene una pendiente de 33°, los suelos son someros (de 30-40 cm) y compactos por el pastoreo de ganado vacuno, con texturas arcillo-arenosas en el primer horizonte y arcillosas en los horizontes sub-superficiales (Ulloa-Nieto, 2006; Ayala, 2008).

Diseño experimental

Cada especie se introdujo en dos de los tres sitios antes mencionados: *B. glabrifolia* y *B. copallifera* se plantaron en el CIE y en la ERBRT, mientras que *B. linanoe* en el CIE y en el JE; ya que no crece de forma natural en la ERBRT; además por tratarse de una estación de restauración, sólo se pueden introducir especies locales.

En julio de 2007 se colocaron alrededor de 35 plantas por especie (estacas con raíces y follaje) en dos áreas, con un total de 70 ejemplares. Se siguió un arreglo de tresbolillo, alternando las especies, con una distancia de 1.5 m entre ellas. La altura, el diámetro y la cobertura se registraron cuatro semanas después del trasplante y una vez al mes hasta noviembre. Excepto la cobertura, cuya medición final se hizo en octubre. Para evaluar las tasas de crecimiento y los cambios en la asignación de biomasa se realizaron dos cosechas destructivas (10-15 individuos por especie por sitio). La primera en junio, antes de llevar a cabo la plantación, y la segunda en noviembre (cuatro meses después de la siembra). Para evitar la pérdida de raíces al momento de la extracción, previamente el suelo se humedeció. Se registró el número total de raíces, así como el diámetro y la longitud de la más desarrollada. Las plantas se llevaron al laboratorio, en donde se separaron por partes (raíz, tallo, hojas) y se secaron en un horno marca Felisa, modelo FE182 a 70°C por un periodo de 48 h. Adicionalmente se tomó una muestra de cinco hojas por ejemplar para medir el área foliar (Delta-T Devices LTD, modelo Dias) y calcular el área foliar específica (AFE). El registro de la supervivencia de los individuos restantes continuó durante un año, se consideraron muertos los individuos en los que no se observaba tejido vivo (verde), al raspar la corteza en la base.

Análisis de datos

Las diferencias en altura, diámetro y cobertura entre localidades para una misma especie se analizaron mediante pruebas t-student (o en su defecto pruebas de Mann-Whitney). Los cambios en altura y diámetro (final – inicial), por conducto de una prueba t pareada para cada taxón y sitio. Sólo se incluyeron las estacas vivas al final del periodo (noviembre). Cuando los datos no cumplieron con los supuestos de esta prueba, se usó la t de Wilcoxon.

Experimental design

Each species was planted in two sites of the three above-mentioned: *B. glabrifolia* and *B. copallifera* were sown at CIE and the ERBRT, while *B. linanoe* was planted at CIE and JE. This species does not occur naturally at the ERBRT and it was not planted as the use of local native species is encouraged there.

In July 2007 thirty five plants per species were planted in each site, with a total of 70 plants per species. The plants were sown in rows with a distance of 1.5 m between each, alternating species. Initial height, diameter and crown cover were registered four weeks after planting and subsequently each month until November, except for crown cover whose last record was taken in October. Two destructive harvests were made to assess growth rates and biomass allocation during the rainy season (10-15 individuals per species and site). The initial one was made in June, before transplanting, and the second one in November (four months after planting). To minimize root loss the soil was thoroughly wet before extraction. Total number of roots, and diameter and length of the longest root were registered. Plants were transported to the laboratory where they were separated in root, stem and leaves and oven dried at 70°C for 48 h (Felisa Oven FE182). A sample of five leaves per individual was taken to measure leaf area (Delta-T Devices LTD, Dias model), and calculate Specific Leaf Area index (SLA). Survival was registered in the remaining individuals during a year, and plants were considered dead when no green tissue was observed at the base of the cutting when scratched.

Data analysis

Differences in height, diameter and crown cover between localities for each species were analyzed by t-student tests (or Mann-Whitney tests when data did not fulfill normality requirements). Changes in height and diameter (final – initial) were evaluated by means of a paired t-test for each species and site (or alternatively by a Wilcoxon test); only cuttings surviving at the end of the rainy season (November) were included in this analysis.

Biomass of harvested plants was analyzed using a classic growth analysis (Evans, 1972; Hunt, 1978), and the following variables were registered: relative growth rate ($\ln \text{ final biomass} - \ln \text{ initial biomass} / t_2 - t_1$), absolute growth rate ($\text{final biomass} - \text{initial biomass} / t_2 - t_1$), specific leaf area (leaf area/ leaf dry biomass), leaf area ratio (LAR; leaf area/ total biomass), leaf weight ratio (LWR; leaf biomass/ total biomass) and root/ shoot ratio (R/ S; root biomass/ shoot biomass). Differences between harvests were evaluated for each growth variable and species using analysis of variance or Kruskal-Wallis tests (Zar, 1996).

A las plantas cosechadas se les aplicó un análisis clásico de crecimiento (Evans, 1972; Hunt, 1978), para ello se registraron las siguientes variables: biomasa, tasa relativa de crecimiento ($\ln \text{biomasa final} - \ln \text{biomasa inicial} / t_2 - t_1$), tasa absoluta de crecimiento ($\text{biomasa final} - \text{biomasa inicial} / t_2 - t_1$), área foliar específica (área foliar/biomasa foliar), cociente de área foliar (CAF; área foliar/biomasa total), cociente de peso foliar (CPF; biomasa foliar/biomasa total) y cociente raíz/ vástago (R/V; biomasa de raíz/ biomasa de la parte aérea). Las diferencias entre cosechas se determinaron con un análisis de varianza de una vía o bien con pruebas de Kruskal-Wallis para cada variable de crecimiento (Zar, 1996).

Se aplicó un análisis de supervivencia con censos, con una distribución exponencial del error, en el cual la variable de respuesta es el periodo que permanece viva cada planta (i. e., se comparó el periodo de vida entre especies y sitios); se consideró el diámetro inicial como covariable en el modelo inicial a fin de evaluar su efecto en los resultados observados. Los análisis se realizaron usando los paquetes estadísticos R 2.7.2 (R Development Core Team, 2009) y SPSS Versión 13.0 (SPSS Inc., 2004).

RESULTADOS

Supervivencia

Cuatro semanas después del trasplante, todas las plantas permanecían vivas. Al finalizar la temporada de crecimiento (noviembre), la mejor respuesta correspondió a *B. linanoe* (77.5%), seguida de *B. glabrifolia* (63.9%) y *B. copallifera* (42.3%). Después de un año, las dos primeras especies presentaron valores significativamente mayores que los de *B. copallifera* (26.4, 14.0 y 2.6% respectivamente, $P < 0.05$) (Figura 1). El análisis de supervivencia anual se realizó con la fórmula: Especie + Sitio + Diámetro. El diámetro inicial no tuvo un efecto significativo ($P = 0.09$). Al incluir las interacciones diámetro x especie y diámetro x sitio no se incrementó de forma significativa el ajuste del modelo, por lo que no fueron consideradas.

En cuanto a las diferencias entre sitios, en el Centro de Investigación en Energía (CIE) y en el Jardín Etnobotánico (JE) la supervivencia fue significativamente superior (en promedio 19.7 y 22.7% respectivamente, $P < 0.01$) que en la Estación de Restauración (ERBRT; promedio 2.1%) (Figura 1). Fue imposible evaluar la interacción especie x sitio porque no todos los taxa estaban en las mismas localidades; aún así puede observarse que *B. copallifera* registró una alta mortalidad en los dos sitios en que crecía, mientras que en *B. linanoe* y *B. glabrifolia* el efecto positivo de las condiciones más favorables del Centro de Investigación en Energía fue notorio (Figura 1). La estimación de la supervivencia anual se basó en una muestra pequeña

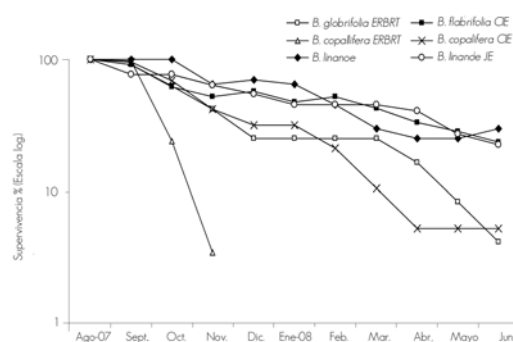
Survival was evaluated using a Censored Survival Analysis with exponential error distribution. The response variable was the time period that each plant remained alive (survived). To evaluate the effect of size on survival, initial diameter was considered as a covariable in the initial model. All the analyses were performed using the statistical software R 2.7.2 (R Development Core Team, 2009) an SPSS Version 13.0 (SPSS Inc., 2004).

RESULTS

Survival

Four weeks after transplanting all the plants were alive. At the end of the rainy season (November), *B. linanoe* showed the highest survival (77.5%), followed by *B. glabrifolia* (63.9%) and *B. copallifera* (42.3%). A year after, the first two species showed significantly higher survival than *B. copallifera* (26.4, 14.0% and 2.6% respectively, $P < 0.05$) (Figure 1). The model for survival analysis which best fit the data included the following parameters: species + site + diameter. Initial diameter did not have a significant effect on survival ($P = 0.09$). The interactions diameter x species and diameter x site did not improve the fit and were not included in the model.

In relation to differences among sites, overall survival of plants at the Energy Investigation Center (CIE) and in the Ethnobotanical Garden (JE) was significantly higher (19.7% and 22.7% respectively, $P < 0.01$) than at the Restoration Station (ERBRT, 2.1%) (Figure 1). It was not possible to evaluate the interaction species x site because the design did not include all species in all sites. However, *B. copallifera* had a higher mortality than the other two species in the two sites where it was planted, while *B. linanoe* and *B. glabrifolia* showed a better performance at CIE (Figure 1) than at the



ERBRT = Estación de Restauración Ambiental Barrancas del Tembembe; CIE = Centro de investigación en Energía de la UNAM; JE = Jardín Etnobotánico del INAH.
ERBRT = Environmental Restoration Station Barrancas del río Tembembe; CIE = Center for Energy Research; JE = Ethnobotanical Garden

Figura 1. Supervivencia de estacas de tres especies de *Bursera* en tres sitios durante un año.
Figure 1. Annual survival of plants from cuttings of three *Bursera* species at three disturbed sites.

(22.2 ± 3.9 por especie y sitio), debido a que la recolecta realizada en noviembre significó una reducción en el número de plantas vivas en el campo.

Crecimiento en campo

Las diferencias en altura y diámetro de las plantas entre localidades, así como su magnitud y sentido, dependieron de la especie. Un mes después del trasplante, los individuos de *B. linanoe* del CIE fueron más altos y tuvieron una cobertura significativamente mayor ($t = -2.6$, $P = 0.014$ y $t = -3.6$, $P = 0.001$) que las del JE (Cuadro 1). Las plantas de *B. copallifera* alcanzaron una altura ligeramente menor en el CIE que en la ERBT ($t = 3.8$, $P = 0.001$), y no se obtuvieron diferencias en el diámetro inicial entre localidades en ninguno de los taxa.

Los cambios en altura y diámetro al finalizar la temporada de crecimiento (noviembre) fueron notorios en *B. linanoe*, que registró aumentos en altura en los dos sitios en que se introdujo y en diámetro en el CIE (Cuadro 1). En las otras especies el único cambio significativo fue la pérdida en altura en respuesta a la muerte de los renuevos de *B. copallifera* en la ERBT. Se observaron también incrementos en la cobertura de las tres especies en el CIE,

other locations, showing the more favorable conditions found at the former. Annual survival was estimated from a small sample (22.2 ± 3.9 individuals per species and site) due to the reduction on the number of plants brought by the harvest.

Field growth

Differences in plant height and diameter among sites, as well as their magnitude and direction, were dependent on the species. A month after transplanting, *B. linanoe* showed a higher height and crown cover at CIE than at JE (Table 1). Plants of *B. copallifera* at CIE showed a slightly lower height than at the ERBT ($t = 3.8$, $P = 0.001$). *B. glabrifolia* did not show differences in height among sites and there were no differences in diameter among sites in any species.

Changes in height and diameter at the end of the rainy season (November) were evident in *B. linanoe*, and plants of this species had significant increases in height at both sites and in diameter at CIE (Table 1). The other two species did not show significant changes, except for the decrease in height as a result of dead of apical buds in *B. copallifera* at ERBT. There were increases in the crown cover of the three species at CIE, even though the differences were not significant because of the high intra-species variation.

Cuadro 1. Valores de variables de tamaño inicial y final en plantas originadas de estacas de tres especies de *Bursera* en tres sitios. Table 1. Values (mean $\pm$ s. d.) of initial and final size variables of plants from cuttings of three species of *Bursera* at three localities.

	<i>B. linanoe</i>		<i>B. glabrifolia</i>		<i>B. copallifera</i>	
	JE	CIE	ERBT	CIE	ERBT	CIE
A I (cm)	21,4 $\pm$ 4,4 a	25,7 $\pm$ 7,7 a	21,4 $\pm$ 5,0 a	19,0 $\pm$ 5,4 a	22,5 $\pm$ 4,5 b	19,4 $\pm$ 5,1 a
A F (cm)	24,5 $\pm$ 4,9 b	36,9 $\pm$ 19,0 b	20,0 $\pm$ 3,3 a	22,4 $\pm$ 10,6 a	20,5 $\pm$ 3,1 a	20,3 $\pm$ 6,9 a
D I (mm)	9,4 $\pm$ 2,4 a	10,3 $\pm$ 2,7 a	11,9 $\pm$ 2,9 a	11,2 $\pm$ 2,3 a	10,6 $\pm$ 3,1 a	9,9 $\pm$ 2,4 a
D F (mm)	9,4 $\pm$ 2,4 a	12,4 $\pm$ 3,1 b	11,7 $\pm$ 2,6 a	12,4 $\pm$ 2,4 a	9,7 $\pm$ 2,2 a	10,4 $\pm$ 2,4 a
C I (cm ²)	145,1 $\pm$ 53,2 a	266,4 $\pm$ 157,9 a	137,0 $\pm$ 95,1 b	164,0 $\pm$ 79,7 a	134,6 $\pm$ 98,3 b	176,3 $\pm$ 126,9 a
C F (cm ²)	92,4 $\pm$ 52,5 a	367,5 $\pm$ 330,4 a	74,2 $\pm$ 42,4 a	172,0 $\pm$ 88,6 a	95 a	201,5 $\pm$ 134,7 a
NI	30 (19)	34 (32)	36 (33)	33 (31)	33 (26)	36 (30)
NF	23 (15)	21 (22)	17 (13)	21 (21)	5 (1)	24 (24)

A = Altura; D = Diámetro basal; C = Cobertura; I = Valor inicial; F = Valor final; NI = Número inicial; NF = Número final. El número de individuos para el diámetro y la altura se encuentra fuera del paréntesis y para la cobertura dentro del paréntesis. El valor de NF corresponde al mes de noviembre para la altura y el diámetro y a octubre para la cobertura. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre censos. (Fecha de plantación: julio de 2007).

H = Height; D = Basal diameter; C = Crown Cover; I = Initial value; F = Final value; NI = Initial number; NF = Final number. Sample numbers for height and diameter analysis are outside parenthesis, while sample number for crown cover is inside. Final values were registered in November for height and diameter and for cover in October. Different letters in the same column indicate significant differences among censuses (Planting date: July 2007).

aunque las diferencias no fueron significativas debido a la gran variación al interior de cada grupo.

En las dos especies plantadas en la ERBT se registraron reducciones significativas en la cobertura (Cuadro 1), lo que se relaciona con el hecho de que poco después del trasplante muchos ejemplares perdieron sus hojas y no todos produjeron follaje de nuevo. Los que carecían de follaje al final de la

At ERBT both species showed significant reductions in crown cover (Table 1), as a large number of plants lost their leaves after transplanting and they did not produce new foliage. Those plants without leaves by the end of the rainy season were excluded from the analysis, which explains the differences in initial and final numbers (in parenthesis in the Table 1) in relation to those for diameter and height.

temporada se excluyeron del análisis de cobertura, y por ello los números iniciales y finales (entre paréntesis en el Cuadro 1) no son iguales a los correspondientes a diámetro y altura.

Análisis clásico de crecimiento

Los cambios en la biomasa se evaluaron como la diferencia entre las medidas finales (plantas cosechadas después de cuatro meses en el campo) y las iniciales (plantas cosechadas antes del trasplante). Al momento inicial se confirmaron diferencias significativas entre las especies en las variables relacionadas con las hojas: biomasa, área foliar y área foliar específica ($F = 12.2$ g, l. 2, $P \leq 0.001$, $F = 3.8$ g, l. 2, $P = 0.028$ y $H = 10.7$ g, l. 2, $P = 0.005$ respectivamente), y la biomasa total ($F = 3.2$, g. l. 2, $P = 0.047$). Estas diferencias se deben a que *B. copallifera* tiene hojas de mayor tamaño, más gruesas y pubescentes, por lo que son también más pesadas que las de los otros dos taxa. La menor biomasa total correspondió a *B. glabrifolia* y la mayor a *B. copallifera*.

Después de cuatro meses, *B. linanoe* tuvo una tasa de crecimiento en biomasa superior (TRC) en el CIE, mientras que en *B. copallifera* los valores fueron más bajos en la ERBT;

Classical growth analysis

There were significant differences between species in the initial values of leaf variables: biomass, leaf area and SLA ($F = 12.2$, d. f. 2, $P \leq 0.001$, $F = 3.8$, d. f. 2, $P = 0.028$ and $H = 10.7$, d. f. 2, $P = 0.005$ respectively), and total biomass ($F = 3.2$, d. f. 2, $P = 0.047$). Differences in leaf variables were related to the fact that *B. copallifera* leaves are larger and thicker, and also pubescent, rendering them heavier than those of the other species. There were also differences in total biomass ($F = 3.2$, d. f. 2, $P = 0.047$), with *B. glabrifolia* having the lowest and *B. copallifera* the largest biomass.

Changes in biomass were evaluated as the difference between final measures (plants harvested after four months in the field) and initial measures. *B. linanoe* attained the highest relative growth rate at CIE, while *B. copallifera* had the lowest rate at ERBT; *B. glabrifolia* showed intermediate values (Tables 2, 3 and 4). Plants of *B. linanoe* increased their total and root biomass, as well as their R/S ratio, while their LAR decreased at both sites. Stem and leaf biomass also increased at CIE, while at JE leaf area and LWR decreased (Table 2). In this species there were significant differences among sites ($P \leq 0.05$) for all the growth variables, except SLA, leaf number and LAR; in all cases values were higher at CIE (Table 2).

Cuadro 2. Valores (promedio $\pm$ d. e.) de las variables de tamaño inicial y final (cuatro meses después de trasplantadas) en estacas de *B. linanoe* en dos sitios: JE y CIE.

Table 2. Initial and final (four months after planting) values of growth variables (mean $\pm$ s. d.) of cuttings of *B. linanoe* at two sites: JE and CIE.

Variable	Inicial	Final JE	Final CIE	P
Biomasa total (g)	12.3 $\pm$ 6.5 a	29.9 $\pm$ 18.0 b	47.4 $\pm$ 17.5 c	≤ 0.001
Biomasa hojas (g)	1.1 $\pm$ 0.6 a	0.8 $\pm$ 0.7 a	3.1 $\pm$ 2.9 b	≤ 0.001
Biomasa tallo (g)	10.5 $\pm$ 4.7 a	10.5 $\pm$ 4.7 a	20.2 $\pm$ 14.2 b	0.008
Biomasa raíz (g)	0.1 $\pm$ 0.1 a	0.7 $\pm$ 0.5 b	1.9 $\pm$ 1.2 c	≤ 0.001
R/V	0.009 $\pm$ 0.009 a	0.055 $\pm$ 0.033 b	0.089 $\pm$ 0.037 c	≤ 0.001
N. hojas	16.8 $\pm$ 7.6	20.7 $\pm$ 15.9	42.4 $\pm$ 32.2	0.111
Área foliar (cm ²)	122.5 $\pm$ 76.1 b	87.9 $\pm$ 84.8 a	441.1 $\pm$ 416.4 b	≤ 0.001
AFE (cm ² g ⁻¹)	172.8 $\pm$ 45.3	152.3 $\pm$ 42.3	167.4 $\pm$ 41.3	0.242
CAF	10.5 $\pm$ 6.6 b	3.5 $\pm$ 4.0 a	8.8 $\pm$ 6.4 a	0.002
CPF	0.100 $\pm$ 0.047 b	0.029 $\pm$ 0.034 a	0.061 $\pm$ 0.045 b	≤ 0.001
TCR biomasa	NE	0.008 $\pm$ 0.004	0.012 $\pm$ 0.003	0.006
TCA biomasa	NE	0.169 $\pm$ 1.152	0.314 $\pm$ 0.147	0.007
N	18	10	16	

R/V = Cociente Raíz/Vástago; AFE = Área Foliar Específica; CAF = Cociente de Área Foliar; CPF = Cociente de Peso Foliar; TCR = Tasa de Crecimiento Relativa; TCA = Tasa de Crecimiento Absoluta; N = Tamaño de Muestra. Letras diferentes en un mismo renglón indican diferencias significativas. (Fecha de plantación: julio de 2007).

R/S = Root/ Shoot ratio; SLA = Specific Leaf Area; LAR = Leaf Area Ratio; LWR = Leaf Weight Ratio; RGR = Relative Growth Rate; AGR = Absolute Growth Rate; N = Sample size. Different letters in the same row indicate significant differences (Planting date: July 2007).

para *B. glabrifolia* los valores fueron intermedios (cuadros 2, 3 y 4). Las plantas de *B. linanoe* presentaron incrementos en la biomasa total, de la raíz y en el cociente R/V, y una disminución del CAF en ambos sitios. En el CIE aumentó también la biomasa de tallo y de hojas, en tanto que en el JE disminuyó el área foliar y el CPF (Cuadro 2). En *B. linanoe* hubo diferencias significativas entre sitios ($P \leq 0.05$) en todas las variables de crecimiento evaluadas, con excepción del AFE,

B. grabifolia showed increases in total and root biomass and R/ S ratio at both sites, as well as reductions in leaf area and leaf weight ratios (LAR and LWR; Table 3). At ERBRT leaf number, leaf biomass and leaf area also decreased, while at CIE stem biomass increased and SLA decreased. There were significant differences among sites in all variables, except biomass (total, stem and root), R/ S ratio and LWR; as in *B. linanoe*, mean values were higher at CIE (Table 3).

Cuadro 3. Valores (promedio $\pm$ d. e.) de las variables de tamaño inicial y final (cuatro meses después de trasplantadas) en estacas de *B. glabrifolia* en dos sitios: ERBRT y CIE.

Table 3. Initial and final (four months after planting) values of growth variables (mean $\pm$ s. d.) of cuttings of *B. glabrifolia* at two sites: ERBRT and CIE.

Variable	Inicial	Final ERBRT	Final CIE	P
Biomasa total (g)	9.2 $\pm$ 4.7 a	25.0 $\pm$ 7.6 b	32.0 $\pm$ 8.9 b	≤ 0.001
Biomasa hojas (g)	0.8 $\pm$ 0.4 b	0.3 $\pm$ 0.4 a	1.2 $\pm$ 1.3 b	0.002
Biomasa tallo (g)	8.3 $\pm$ 4.6 a	11.4 $\pm$ 4.6 ab	14.4 $\pm$ 7.3 b	0.006
Biomasa raíz (g)	0.06 $\pm$ 0.5 a	0.3 $\pm$ 0.3 b	0.6 $\pm$ 0.4 b	≤ 0.001
R/V	0.007 $\pm$ 0.007 a	0.025 $\pm$ 0.226 b	0.038 $\pm$ 0.023 b	≤ 0.001
N. hojas	16.9 $\pm$ 10.5 b	7.4 $\pm$ 5.6 a	16.7 $\pm$ 14.8 b	0.023
Área foliar (cm ²)	100.6 $\pm$ 48.4 b	24.8 $\pm$ 32.9 a	151.5 $\pm$ 159.3 b	≤ 0.001
AFE (cm ² g ⁻¹)	157.7 $\pm$ 67.6 b	114.8 $\pm$ 23.9 a	137.3 $\pm$ 52.0 ab	0.026
CAF	12.8 $\pm$ 9.5 a	1.0 $\pm$ 1.1 b	4.7 $\pm$ 4.5 c	≤ 0.001
CPF	0.059 $\pm$ 0.103 b	0.011 $\pm$ 0.013 a	0.040 $\pm$ 0.037 a	≤ 0.001
TCR biomasa	NE	0.008 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.011
TCA biomasa	NE	0.127 $\pm$ 0.058	0.194 $\pm$ 0.076	0.019
N	20	12	15	

R/V = Cociente Raíz/Vástago; AFE = Área Foliar Específica; CAF = Cociente de Área Foliar; CPF = Cociente de Peso Foliar; TCR = Tasa de Crecimiento Relativa; TCA = Tasa de Crecimiento Absoluta; N = Tamaño de Muestra. Letras diferentes en un mismo renglón indican diferencias significativas. (Fecha de plantación: julio de 2007).

R/ S = Root/ Shoot ratio; SLA = Specific Leaf Area; LAR = Leaf Area Ratio; LWR = Leaf Weight Ratio; RGR = Relative Growth Rate; AGR = Absolute Growth Rate; N = Sample size. Different letters in the same row indicate significant differences (Planting date: July 2007).

el número de hojas y el CAF; en todos los casos los valores promedio más altos se observaron en el CIE (Cuadro 2).

En *B. glabrifolia* se determinaron incrementos en la biomasa total, de raíz, y en el cociente R/V; así como reducciones en los cocientes de área y peso foliar (CAF y CPF) en ambos sitios (Cuadro 3). En la ERBRT se produjeron simultáneamente disminuciones en el número y la biomasa de hojas y el área foliar. En el CIE se incrementó la biomasa del tallo y se redujo el AFE. Al hacer la comparación entre sitios se observaron diferencias significativas en todas las variables, con excepción de la biomasa total, del tallo y raíz, y los cocientes R/V y CPF; al igual que en el caso anterior, los mayores valores promedio se estimaron en el CIE (Cuadro 3).

En *B. copallifera* se presentaron incrementos en la biomasa total y de raíz y en el cociente R/V en el CIE; en las demás variables no hubo cambios (Cuadro 4). En la ERBRT el tamaño de muestra final fue pequeño y sólo una de las plantas vivas

B. copallifera plants showed increases in total and root biomass, and R/ S ratio at CIE; changes in other variables were not significant (Table 4). Sample size at ERBRT at the end of the field trial was very low, as only one plant remained alive, so leaf variables were not analyzed. In this species stem and root biomass did not increase at CIE, probably because of its low RGR, which was different among sites ($P \leq 0.05$), with a higher average value at CIE (Table 4).

Root development

Root number and length and diameter of the longest root showed significant differences between sites and species. Before planting (June) root number was significantly larger in *B. glabrifolia* and *B. copallifera* than in *B. linanoe* ($F = 13.1$, d. f. 2, 51 $P \leq 0.001$). In relation to the dimensions of the longest root, the highest values of diameter and length were found in *B. linanoe* ($F = 10.3$, d. f. 2, 50 $P < 0.001$ and $F = 5.7$, d. f. 2, 51 $P = 0.006$), with larger differences in length than in diameter (Figure 2).

Cuadro 4. Valores (promedio $\pm$ d. e.) de las variables de tamaño inicial y final (cuatro meses después de trasplantadas) en estacas de *B. copallifera* en dos sitios: ERBRT y CIE.Table 4. Initial and final (four months after planting) values of growth variables (mean $\pm$ s. d.) of cuttings of *B. copallifera* at two sites: JE and CIE.

Variable	Inicial	Final ERBRT	Final CIE	P
Biomasa total (g)	13.9 $\pm$ 6.1 a	21.3 $\pm$ 6.3 ab	34.0 $\pm$ 13.9 b	≤ 0.001
Biomasa hojas (g)	1.9 $\pm$ 1.1	-	1.6 $\pm$ 1.6	0.461
Biomasa tallo (g)	11.9 $\pm$ 5.3	11.7 $\pm$ 2.1	14.8 $\pm$ 7.2	0.359
Biomasa raíz (g)	0.1 $\pm$ 0.1 a	0.3 $\pm$ 0.2 a	1.0 $\pm$ 0.9 b	≤ 0.001
R/V	0.007 $\pm$ 0.005 a	0.021 $\pm$ 0.009 a	0.058 $\pm$ 0.037 b	≤ 0.001
N. hojas	12.2 $\pm$ 4.4	-	10.1 $\pm$ 7.7	0.515
Área foliar (cm ²)	162.6 $\pm$ 77.2	-	145.2 $\pm$ 136.9	0.361
AFE (cm ² g ⁻¹)	127.1 $\pm$ 62.1	-	110.8 $\pm$ 26.3	0.713
CAF	9.7 $\pm$ 4.6	-	4.4 $\pm$ 3.0	≤ 0.001
CPF	0.135 $\pm$ 0.050	-	0.049 $\pm$ 0.037	≤ 0.001
TCR biomasa	NE	0.002 $\pm$ 0.003 a	0.007 $\pm$ 0.004 b	0.019
TCA biomasa	NE	0.068 $\pm$ 0.050	0.184 $\pm$ 0.116	0.071
N	16	4	16	

R/V = Cociente Raíz/Vástago; AFE = Área Foliar Específica; CAF = Cociente de Área Foliar; CPF = Cociente de Peso Foliar; TCR = Tasa de Crecimiento Relativa; TCA = Tasa de Crecimiento Absoluta; N = Tamaño de Muestra. Letras diferentes en un mismo renglón indican diferencias significativas. (Fecha de plantación: julio de 2007).

R/S = Root/ Shoot ratio; SLA = Specific Leaf Area; LAR = Leaf Area Ratio; LWR = Leaf Weight Ratio; RGR = Relative Growth Rate; AGR = Absolute Growth Rate; N = Sample size. Different letters in the same row indicate significant differences (Planting date: July 2007).

al concluir el periodo tenía hojas, por lo que no se realizaron los análisis para las variables foliares. A diferencia de las otras especies, en *B. copallifera* los valores de biomasa de tallo y raíz no mostraron un incremento significativo en este sitio, lo que se relaciona con la baja tasa de crecimiento relativo (TCR). Variable que presentó diferencias significativas entre localidades ($P \leq 0.05$), con valores promedio más altos en el CIE (Cuadro 4).

Desarrollo de raíces

El número de raíces, así como la longitud y el diámetro de la raíz con mejor desarrollo presentaron diferencias significativas entre sitios y especies. Antes del trasplante (junio) el primero fue significativamente mayor en *B. glabrifolia* y *B. copallifera* que en *B. linanoe* ($F = 13.1$ g, l. 2, 51 $P \leq 0.001$). En cuanto a las características de la raíz más larga, las mayores dimensiones correspondieron a *B. linanoe* ($F = 10.3$, g. l. 2, 50 $P < 0.001$ y $F = 5.7$ g, l. 2, 51 $P = 0.006$), y destacaron las diferencias iniciales entre especies en longitud y no tanto en diámetro (Figura 2).

Al final del periodo de crecimiento (noviembre), las diferencias iniciales en el número de raíces entre especies ya no se observaron, lo que se debió a una reducción en esta variable en *B. glabrifolia* y *B. copallifera* (Figura 2), que no se presentó en *B. linanoe*. Las diferencias entre taxa en las variables de tamaño se mantuvieron, aunque disminuyeron en

At the end of the growing season (November), initial differences in root number were no longer observed, due to a reduction in this variable in plants of *B. glabrifolia* and *B. copallifera* (Figure 2), and an increase in those of *B. linanoe*. Initial differences in size variables remained, although they were less evident in root length and increased in diameter ($F = 4.7$, d. f. 2, 69 $P = 0.013$ and $F = 10.4$, d. f. 2, 69 $P < 0.001$). Comparisons between harvests showed that the diameter of the longest root increased significantly in relation to the initial values at all sites, while length increased only at CIE (Figure 2).

DISCUSSION

In areas showing a strong seasonal pattern in rain, plant establishment is usually evaluated taking into account the two contrasting seasons (Gerhardt, 1995). Growth is restricted to the rainy period, when plants increase in biomass and store reserves, while during the dry months they experience hydric stress and maintain a low metabolism (Murphy and Lugo, 1986). It is expected that the development that plants attain during the rainy season, especially during their initial life stages, will have a strong influence in their chances of surviving the dry period (Gerhardt, 1998).

Survival

Survival during the growing season was high in *B. linanoe* and *B. glabrifolia*, and low in *B. copallifera*, especially at ERBRT.

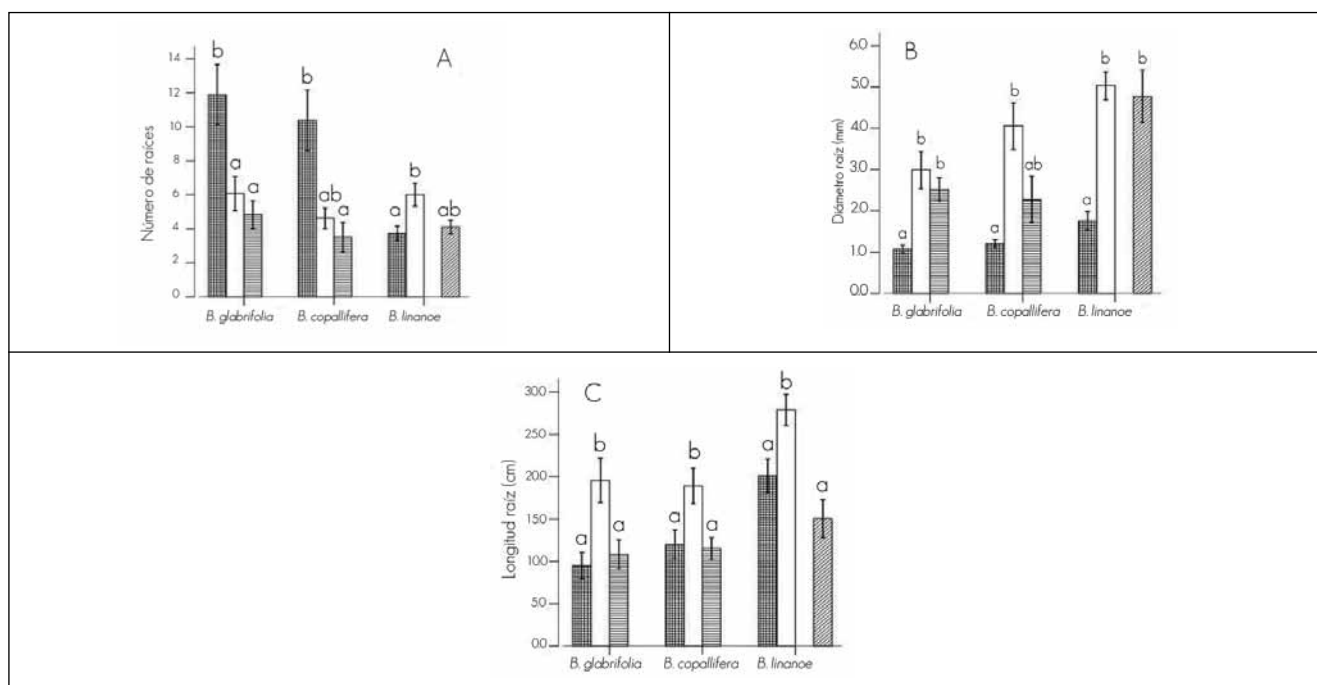


Figura 2. Número de raíces (A), diámetro (B) y longitud (C) de la raíz más larga (promedio $\pm$ e. e.) en plantas de tres especies de *Bursera* al momento de la cosecha inicial y final (cuatro meses después de la siembra) en CIE, ERBRT y JE. Las letras indican diferencias significativas entre sitios para cada especie.

Figure 2. Root number (A), diameter (B) and length (C) of the longest root (mean $\pm$ s. e.) in plants of three species of *Bursera* before and four months after planting at three sites: CIE, ERBRT and JE. Different letters indicate significant differences between harvests and sites.

la longitud y se incrementaron en el diámetro ($F = 4.7$ g, l. 2, 69 $P = 0.013$ y $F = 10.4$ g, l. 2, 69 $P < 0.001$); las raíces de *B. linanoe* fueron mayores.

Las comparaciones de las variables de raíz entre cosechas por especie mostraron que el diámetro de la raíz más larga aumentó de forma significativa en relación con el valor inicial en todos los sitios, mientras que la longitud lo hizo sólo en el CIE (Figura 2), en donde la longitud final de la raíz de todos los taxa fue significativamente superior a la inicial.

DISCUSIÓN

El éxito del establecimiento de plantas en zonas con una marcada estacionalidad hídrica, generalmente, se evalúa diferenciando dos épocas contrastantes: la de crecimiento y la de reposo o latencia (Gerhardt, 1995). La primera se restringe a los meses de lluvia, durante los cuales los individuos incrementan su biomasa y acumulan reservas, en tanto que la segunda corresponde a los meses con poca precipitación, durante los cuales las plantas experimentan estrés hídrico y mantienen un metabolismo bajo (Murphy y Lugo, 1986). Es de esperarse que el desarrollo que alcancen las plantas durante la época de lluvias, especialmente en los primeros estadios del ciclo de

High mortality during the dry season is common in arid and semiarid ecosystems (Lieberman and Li, 1992; Gerhardt, 1993; Marod *et al.*, 2002; McLaren and McDonald, 2003). However, in this case mortality was also related to site quality, which had an effect on plant growth during the rainy season. The three species showed higher survival in the sites with better edaphic conditions and lower disturbance, which was also evident in the higher growth rates they attained. Species differences also had an important effect on survival, as the favorable conditions at CIE were more evident in survival of *B. glabrifolia* and *B. linanoe* than of *B. copallifera* (Figure 1).

Soil characteristics at ERBRT, such as compaction and a high proportion of clay, resulted in frequent flooding during events of high precipitation, and flooding may cause asphyxia and rotting of roots (Siebe *et al.*, 1996), with a negative effect on plant development. The intense superficial water flow also dug out some cuttings, increasing mortality. These results are similar to those reported with cuttings of *B. simaruba*, whose establishment is affected by the water storage capacity of soils, as in humid clayish soils roots easily rot (Messenger *et al.*, 1997; Zahawi, 2005). Additionally, other field assays at ERBRT have shown that survival of several tree species decreases in areas having drainage deficiencies (Galindo, 2006; Ayala, 2008).

vida, influya en sus probabilidades de enfrentar con éxito la temporada seca (Gerhardt, 1998).

Supervivencia

La supervivencia a lo largo de la temporada de crecimiento fue alta en *B. linanoe* y *B. glabrifolia*, y algo inferior en *B. copallifera* en la ERBT. La alta mortalidad en el período de sequía es un fenómeno común en los ecosistemas de zonas áridas y semi áridas (Lieberman y Li, 1992; Gerhardt, 1993; Marod *et al.*, 2002; McLaren y McDonald, 2003). Sin embargo, en este caso la mortalidad estuvo influida por la calidad del sitio, que repercutió en el crecimiento las plantas durante la etapa lluviosa. Las tres especies registraron la supervivencia más alta en el sitio con mejores condiciones edáficas, que experimentó una perturbación menos severa, lo que se tradujo directamente en un mayor crecimiento. También se identificó un efecto importante de las especie, ya que el ambiente favorable del CIE fue más notorio en la supervivencia de *B. linanoe* y *B. glabrifolia* que en la de *B. copallifera* (Figura 1).

En la ERBT, por el contrario, el alto contenido de arcillas y la compactación del suelo ocasionaron eventos de anegamiento frecuentes en el periodo de mayor precipitación, que pueden ocasionar asfixia radical y pudrición de las raíces (Siebe *et al.*, 1996) y que afectaron negativamente el desarrollo de las plantas. El intenso flujo hídrico a nivel superficial, a su vez, desenterró varias estacas de las dos especies, lo que incrementó la mortalidad. Estos resultados concuerdan con lo citado para *B. simaruba*, cuyo establecimiento está vinculado con la cantidad de agua que almacena el suelo, ya que cuando éstos son muy húmedos y con alto contenido de arcillas, las estacas se pudren con facilidad (Messenger *et al.*, 1997; Zahawi, 2005). Adicionalmente, en otros ensayos con varias especies arbóreas en la ERBT se ha demostrado que la supervivencia disminuye en áreas con deficiencias en el drenaje (Galindo, 2006; Ayala, 2008).

Aunque el efecto del diámetro inicial en la supervivencia de las plantas no fue globalmente significativo, pudo observarse en dos de las tres especies, una tendencia a que la mayoría de las estacas menores a 10 mm de diámetro murieran en los cuatro primeros meses después del trasplante, por lo que sería recomendable usar como límite inferior esa medida para seleccionar las estacas.

Crecimiento

La evaluación del crecimiento en la temporada de lluvias reveló patrones claros, a pesar de ser un estudio de corto plazo. El crecimiento en altura y diámetro en general fue bajo (Cuadro 1) y reflejó limitaciones asociadas a la calidad del sitio; aún así, las tres especies manifestaron un patrón general de aumento en la biomasa total, la de la raíz y el cociente raíz/vástago (cuadros 2 a 4). *B. linanoe* presentó incrementos

Although the effect of initial diameter in plant survival was not globally significant, in two species there was a tendency to higher mortality of cuttings with diameters lower than 10 mm during the first four months after transplanting, so it advisable to use this measure as a lower limit to select cuttings.

Growth

Growth during the rainy season showed clear patterns despite the fact that the length of the study was short. Growth in height and diameter were generally low because of the limitations imposed by site quality (Table 1), but all three species showed increases in total and root biomass and root/shoot ratio (Tables 2-4). *B. linanoe* also showed significant increases in above and belowground biomass at the most favorable site (CIE), while in less propitious conditions only root biomass increased (Table 2). In other tropical dry forest species biomass allocation to leaves has been negatively related to stem and root allocation in nutrient poor soils (Huante *et al.*, 1995a). LAR and LWR indexes, which are a measure of allocation to leaves, decreased in all cases; as a result either of an increase in stem and root biomass or a decrease in leaf area and biomass. The first explanation is more feasible in plants at CIE, while at the other two sites (JE and ERBT) probably both factors contributed, as there was a premature leaf fall as a result of transplant stress and water saturation of the roots (Lambers *et al.*, 1998; Larcher, 2003).

Relative growth rates were low ($0.002 - 0.012 \text{ g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$) with similar values to those of seedlings of species exhibiting low growth rates, such as *Celaenodendron mexicanum* Standl. (Cervantes *et al.*, 1998; Huante and Rincón, 1998). At ERBT, previous assays with seedlings of different tree species have shown similar values; these have been considered a result of the low phosphorus and high clay content of soil, as well as its compaction (Ayala-García, 2008). Relative growth rates of *B. glabrifolia*, ($0.009 \text{ g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$) are lower than those of seedlings grown in a greenhouse, $0.025 \text{ g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ (Montes, 2006), due to differences in plant origin, age and environmental conditions.

Significant reductions in SLA were found at the end of the growing season in *B. glabrifolia*, a species showing a higher plasticity in this trait than the other two study species. Rapid responses to changes in radiation have been registered in this species previously (Montes, 2006), a reaction not found in *B. copallifera*, whose thicker leaves could be more expensive, thus restricting their replacement once they are shed. This could have contributed to the high mortality observed in this species.

The ecological traits of many *Bursera* taxa, as well as their dominance in advanced successional stages in dry tropical forests and their lower abundance at disturbed sites, allowed

significativos tanto en la biomasa de partes aéreas como en la de tejidos subterráneos en el sitio más favorable (CIE), mientras que en condiciones menos propicias sólo se observó un aumento en el sistema radical, en comparación con los tejidos aéreos (cuadros 2 a 4). En otros taxa de bosques tropicales secos se ha determinado que la asignación de biomasa a hojas está correlacionada negativamente con la correspondiente al tallo y raíces en suelos pobres en nutrimentos (Huante *et al.*, 1995a). Los cocientes CAF y CPF, que son una medida de la inversión en hojas, disminuyeron en todos los casos, lo que puede ser el resultado ya sea de un aumento preferencial de la biomasa de tallo y raíz o de la reducción del área y biomasa foliar. En el caso de las plantas en el CIE la primera explicación es más plausible, mientras que en las del JE y la ERBT se debe a una combinación de ambas, ya que se observa una caída prematura de hojas, respuesta asociada al estrés, probablemente por la saturación de agua en la zona de las raíces (Lambers *et al.*, 1998; Larcher, 2003).

Las tasas de crecimiento en biomasa registradas fueron bajas y los valores (entre 0,002 y 0,012 g g⁻¹ día⁻¹) son cercanos a los consignados en plántulas de especies de lento crecimiento, como *Celaenodendron mexicanum* Standl. (Cervantes *et al.*, 1998; Huante y Rincón, 1998). Desafortunadamente no hay datos de crecimiento de otras plantas de bosque tropical caducifolio producidas a partir de estacas, sino sólo de aquellas propagadas por semilla). En la ERBT, ensayos realizados con plántulas de diferentes taxa arbóreos han generado valores similares a los de este estudio, que se han explicado por el bajo contenido de fósforo, el alto contenido de arcillas y la compactación del suelo (Ayala-García, 2008). En el caso de *B. glabrifolia* las tasas de crecimiento calculadas (0,009 g g⁻¹ día⁻¹ en promedio, Cuadro 4), son inferiores a las de plántulas producidas por semillas en invernadero, 0,025 g g⁻¹ día⁻¹ (Montes, 2006), lo cual puede responder a las diferencias en el origen, la edad de las plantas y las condiciones ambientales.

En *B. glabrifolia* se registraron disminuciones en el AFE al final de la temporada de crecimiento, lo que muestra su mayor plasticidad con respecto a las otras dos especies de interés. Se sabe de respuestas rápidas en variables relacionadas con las hojas de este taxón como resultado de cambios en los niveles de radiación (Montes, 2006), reacción que no se presentó en *B. copallifera*, cuyas hojas más gruesas podrían ser más costosas, lo que limitaría su recambio una vez que se pierden, y pudo haber influido en su alta mortalidad.

Los rasgos ecológicos de muchos taxa de *Bursera*, como su dominancia en estadios sucesionales avanzados en los bosques tropicales secos y su menor abundancia en sitios muy perturbados, permitan esperar tasas de crecimiento relativamente bajas, una plasticidad reducida y una asignación preferencial de recursos a las raíces (Huante *et al.*, 1995b;

us to expect low growth rates, a reduced plasticity and a preferential resource allocation to roots (Huante *et al.*, 1995b; Huante and Rincón, 1998; Poorter and Hayashida-Oliver, 2000; Montes, 2006). The results of this study agree with those predictions.

Root development

Root biomass increments can result from an increase in the number of roots or from roots becoming larger in diameter and length. In *B. linanoe* both processes occurred, while in *B. glabrifolia* and *B. copallifera* growth was attained by increases in root size, as root number decreased (Figure 2). The larger growth of the main root in all species at CIE was associated to the higher survival found there in comparison to the other two sites. This underlies the importance of edaphic conditions for the establishment of plants propagated by cuttings. The larger initial dimensions of the root system of *B. linanoe* plants seems to have been a relative advantage in relation to the more abundant but smaller roots of *B. copallifera* and *B. glabrifolia*. Root mortality during the rainy season could be the result of transplant stress combined with the anoxic conditions found during flooding events at JE and ERBT. Other studies in dry tropical forests have found high root mortality during the dry season, followed by a rapid proliferation at the beginning of the rainy season (Kavanagh y Kellman, 1992). In this study, root number declined during the rainy season in two of the three species and this process probably continued during the dry months, compromising survival in sites such as ERBT.

CONCLUSIONS

The results of the classical growth analysis showed a direct relation to field survival, which was higher in *B. linanoe*, the species having the largest increase in stem diameter and height, the highest relative growth rate and a prolific development of the root system. *B. glabrifolia* and *B. copallifera* showed a modest root growth, lower growth rates and decreases in photosynthetic area during the rainy season, especially at ERBT, where mortality was extensive.

Reintroduction of *Bursera* plants obtained from small cuttings is a feasible tool for the restoration of disturbed sites, as long as some aspects related to species and soil characteristics are taken into account. *B. linanoe* has extensive root development and relatively high growth, but must be introduced in sites whose soils lack compaction or drainage problems. The same soil characteristics must be met if *B. copallifera* and *B. glabrifolia* cuttings will be used; however, the high mortality of the former could be reduced if plants are kept in the nursery for a longer period before transplanting, in order to promote root development and thus increase field survival.

Huante y Rincón, 1998; Poorter y Hayashida-Oliver, 2000; Montes, 2006). Todo ello coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Desarrollo de raíces

El aumento registrado en la biomasa de la raíz de todas las especies puede ser consecuencia de un aumento en su número o del desarrollo de raíces más largas y gruesas. En *B. linanoe* ocurrieron ambos procesos, mientras que en *B. glabrifolia* y *B. copallifera* obedeció al incremento en diámetro y longitud de algunas raíces, ya que su cantidad disminuyó (Figura 2). El mayor crecimiento de la raíz principal, que se observó en las tres especies en el CIE, se correlacionó con la mayor supervivencia en comparación con las otras dos localidades. Lo anterior subraya la importancia de las condiciones edáficas para el establecimiento de plantas propagadas por estacas. Así mismo, las mayores dimensiones de las raíces de *B. linanoe* al momento del trasplante parecen representar una ventaja con respecto a las raíces más abundantes, pero de menor tamaño, de *B. copallifera* y *B. glabrifolia*. La mortalidad de estas estructuras durante la época de lluvias pudo deberse, en parte, al estrés provocado por el trasplante, aunado a las condiciones de anoxia durante los eventos de anegamiento. En general en bosques estacionales la mortalidad más alta de raíces se verifica en la temporada seca, y es seguida por una rápida proliferación a inicios de la temporada de lluvias para aprovechar la disponibilidad de agua (Kavanagh y Kellman, 1992). En el experimento aquí documentado, el número de raíces se redujo en la época húmeda en dos especies y cabe esperar que esto se acentúe aún más durante la etapa seca, comprometiendo así la supervivencia en localidades como la ERBRT.

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de crecimiento fueron congruentes con la supervivencia observada, que fue más alta en *B. linanoe*, especie que presentó el mayor incremento en el diámetro y la altura de las plantas en campo, una mayor tasa relativa de crecimiento y un buen desarrollo del sistema radicular. *B. glabrifolia* y *B. copallifera*, en cambio, mostraron un desarrollo radicular más modesto, un menor crecimiento y una disminución de la superficie fotosintética durante la época de lluvias, en especial en la ERBRT.

La reintroducción de plantas de *Bursera* producidas a partir de estacas pequeñas es factible para la restauración de sitios perturbados, mientras se consideren algunos aspectos relacionados con la especie y las características del suelo. *B. linanoe* tiene un buen desarrollo radicular y crecimiento inicial en campo, pero debe introducirse en sitios cuyo suelo no esté muy compactado y sin problemas de drenaje. Las mismas características del suelo deben buscarse al

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to F. Ayala, B. Barrales, R. Díaz, P. Mendoza, A. Sierra, E. Soriano and J. Velásquez for their support during field work. Architect Javier Rojas and anthropologist Paul Hersch allowed us to use the facilities at CIE-UNAM and the Ethnobotanical Garden of INAH, respectively. T. Valverde and two anonymous reviewers made valuable suggestions to improve the original manuscript.

This study was possible thanks to the financial support of the project "Ecosystem management and human development: the Apatlaco and Tembembe basins", SDEI-TTID-02, financed by the National Autonomous University of Mexico. The first author was also supported by a grant of the Packard Foundation.

End of the English version

emplear estacas de *B. glabrifolia* y *B. copallifera*; sin embargo la alta mortalidad que experimentó esta última especie hace recomendable mantener el material vegetal en vivero por un periodo más extenso previo al trasplante, para promover el desarrollo de las raíces e incrementar así la supervivencia en campo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda en campo de F. Ayala, B. Barrales, R. Díaz, P. Mendoza, A. Sierra, E. Soriano y J. Velásquez. El Arq. Javier Rojas y el Antrop. Paul Hersch facilitaron el uso de las instalaciones del CIE-UNAM y el Jardín Etnobotánico del INAH, respectivamente. A T. Valverde y dos evaluadores anónimos por haber hecho valiosas sugerencias que mejoraron el manuscrito original.

El estudio presente fue posible gracias al apoyo económico del proyecto "Manejo de ecosistemas y desarrollo humano: las cuencas del Apatlaco y el Tembebe" SDEI-TTID-02, financiado por la UNAM. La primera autora contó con el respaldo financiero de la fundación Packard a través del Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

REFERENCIAS

- Andrés-Hernández A., R. y D. Espinosa-Organista. 2002. Morfología de plántulas de *Bursera* Jacq. Ex L. (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. *Bol. Soc. Bot. México* 70:5-12.
- Arriaga V., V. Cervantes y A. Vargas-Mena A. 1994. Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. Secretaría de Desarrollo Social. Instituto Nacional de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 219 p.
- Ayala-García, F. 2008. Desempeño de plantas de tres especies arbóreas en tres unidades de ladera de la estación de restauración "Barranca del río Tembebe", Morelos, México. Tesis de Maestría (Ciencias Biológicas). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 84 p.
- Barajas M., G. 2007. Estrategias de reforestación en selvas bajas caducifolias: influencia del uso de acolchados en el establecimiento, sobrevivencia y crecimiento de plantas de especies nativas. Tesis de Doctorado (Ciencias Biológicas). Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 97 p.
- Barrales-Alcalá, B. A. 2009. Establecimiento inicial de *Bursera copallifera* en tres sitios con diferente grado de perturbación. Tesis Profesional (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 41 p.
- Bonfil, C., H. Rodríguez de la Vega y V. Peña. 2000. Evaluación del efecto de las plantas nodrizas en el establecimiento de una plantación de *Quercus* L. *Rev. Cien. For. en Mex.* 25(88): 59-73.
- Bonfil, C., P. Mendoza-Hernández y J. A. Ulloa. 2007. Propagación de siete especies del género *Bursera* a partir de estacas. *Agrociencia* 41: 103-109.
- Bonfil, C., I. Cajero y R. Evans. 2008. Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia* 42: 827-834.
- Bonfil, C., and I. Trejo. 2010. Plant propagation and the ecological restoration of Mexican tropical deciduous forests. *Rest. Ecol.* 28: 369-376.
- Brown, S. and A. E. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Ecol. Restor.* 2: 97-111.
- Castellanos, C. 2009. Propagación vegetativa, establecimiento y crecimiento inicial de cuatro especies del género *Bursera*. Tesis de Maestría (Ciencias Biológicas). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 84 p.
- Ceccon, E., P. Huante and E. Rincón. 2006. Abiotic factors influencing tropical dry forest regeneration. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 49: 305-312.
- Cervantes, V., V. Arriaga, J. Meave and J. Carabias. 1998. Growth analysis of nine multipurpose woody legumes native from southern Mexico. *Forest Ecology and Management* 110: 329-341.
- Evans, G. C. 1972. The quantitative analysis of plant growth. University of California. Berkeley, CA. USA. 734 p.
- Galindo, A. 2006. Problemática para el establecimiento de seis especies nativas de selva baja caducifolia en la recuperación de un sitio perturbado en las barrancas de Tembebe, Morelos. Tesis de Maestría (Ciencias Biológicas), Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 61 p.
- García-Orth, X. 2002. Efectos del ácido indolbutírico en la formación de callos y de raíces en estacas de *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. y *Omphalea oleifera* Hemsl., tres especies potencialmente útiles para restauración ecológica. Tesis Profesional (Biología). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 66 p.
- Gerhardt, K. 1993. Tree seedling development in tropical abandoned pastures and secondary forest in Costa Rica. *J. Veg. Sci.* 4: 95-102.
- Gerhardt, K. 1995. Effects of root competition and canopy openness on survival and growth of tree seedlings in a tropical seasonal dry forest. *Forest Ecology and Management* 82: 33-48.
- Gerhardt, K. 1998. Leaf defoliation of tropical dry forest tree seedlings - implications for survival and growth. *Trees* 13:88-95.
- Hernández-Apolinar, M., T. Valverde and S. Purata. 2006. Demography of *Bursera glabrifolia*, a tropical tree used for folk woodcrafting in Southern Mexico: an evaluation of its management plan. *Forest Ecology and Management* 223: 139-151.
- Hernández-Pérez, E. 2008. Distribución del género *Bursera* en el estado de Morelos y su relación con el clima. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 110 p.
- Hersch-Martínez, P., R. Glass, A. Fierro y C. Guerrero 2004. El linaloe, *Bursera aloexylon* (Schiede ex Schltdl) Engl. Programa Actores Sociales de la Flora Medicinal de México. Serie Patrimonio Vivo 6. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. México. 24 p.
- Hobbs, R. J. and D. A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restor. Ecol.* 4:93-110.
- Huante, P., E. Rincón and F. S. Chapin. 1995a. Responses to phosphorus of contrasting successional tree seedling species from the tropical deciduous forest of Mexico. *Funct. Ecol.* 9: 760-766.
- Huante, P., E. Rincón and I. Acosta. 1995b. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. *Funct. Ecol.* 9: 849-858.
- Hunt, R. 1978. *Plant Growth Analysis*. Edward Arnold Ltd. London, UK. 67 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Carta Edafológica. Clave E14-5. Cuernavaca. Escala 1:250 000. Tercera impresión.
- Kavanagh, T. and M. Kellman. 1992. Seasonal pattern of fine root proliferation in a tropical dry forest. *Biotropica* 24: 157-165.
- Khurana, E. and J. S. Singh. 2001. Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. *Environ. Conserv.* 28: 39-52.
- Lambers, H., F. S. Chapin III and T. L. Pons. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag. New York, NY. USA. 540 p.
- Larcher, W. 2003. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 513 p.
- Lieberman D. and M. Li. 1992. Seedling recruitment patterns in a tropical dry forest in Ghana. *J. Veg. Sci.* 3: 375-382.
- Lugo, A. E. 1988. The future of the forest. *Environment* 30: 16-45.
- Luken, J. O. 1990. *Directing ecological succession*. Chapman and Hall. New York, NY. USA. 251 p.
- Marod, D., U. Kutintara, H. Tanaka and T. Nakashizuka. 2002. The effects of drought and fire on seed and seedling dynamics in a tropical seasonal forest in Thailand. *Plant Ecol.* 161: 41-57.

- McLaren, K. P. and M. A. McDonald. 2003. The effects of moisture and shade on seed germination and seedling survival in a tropical dry forest in Jamaica. *Forest Ecology and Management*. 183: 61-75.
- McVaugh, R. and J. Rzedowski. 1965. Synopsis of the genus *Bursera* L. in western Mexico, with notes on the material of *Bursera* collected by Sessé & Mociño. *Kew Bull.* 18: 317-382.
- Messenger, A. S., J. F. Di Stéfano and L. A. Fournier. 1997. Rooting and growth of cuttings of *Bursera simarouba*, *Gliricidia sepium* and *Spondias purpurea* in upland stony, upland non-stony and lowland non-stony soils in Ciudad Colón, Costa Rica. *J. Sustain. For.* 5: 139-151.
- Mexal, J. G., R. A. Cuevas Rangel and T. D. Landis. 2009. Reforestation success in Central Mexico: factors determining survival and early growth. *Tree Plant. Notes* 53: 16-22.
- Montes, C. 2006. Crecimiento de plantas y supervivencia de plántulas de *Bursera glabrifolia* en respuesta a diferentes condiciones ambientales. Tesis Profesional (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 61 p.
- Murphy, P. G. and A. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 17: 66-88.
- Poorter, L. and Y. Hayashida-Oliver. 2000. Effects of seasonal drought on gap and understory seedlings in a Bolivian moist forest. *J. Trop. Ecol.* 16: 481-498.
- Ray, G. J. and B. J. Brown. 1995. Restoring Caribbean dry forests: evaluation of tree propagation techniques. *Rest. Ecol.* 3: 86-94.
- Rzedowski, J., R. Medina y G. Calderón de Rzedowski. 2004. Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del río Papaloapan (México). *Acta Bot. Mex.* 66: 23-151.
- R Development Core Team. 2009. R: A language and environment for statistical computing, versión 2.9.0. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>
- Scott, P. E. and R. F. Martin. 1984. Avian consumers of *Bursera*, *Ficus* and *Ehretia* in Yucatán. *Biotropica* 16: 319-323.
- Siebe Ch., R. Jahn y K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación Especial No. 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, Edo. de Méx., México. 57 p.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 1981. Síntesis geográfica de Morelos. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México.
- Statistical Package for the Social Sciences Inc. (SPSS). 2004. SPSS para Windows. Versión 13.0. Chicago: SPSS Inc. s/p.
- Ulloa-Nieto, J. A. 2006. Establecimiento y crecimiento inicial de cuatro especies arbóreas potencialmente útiles para la restauración de pastizales degradados de NO de Morelos. Tesis Profesional (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 85 p.
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis, M. I. Alcocer, M. Gual y C. Sánchez. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del J084. CONABIO-Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespecies/arboles/doctos/introd-J084.html>. (14 enero 2010).
- Vieira D. L. M. and A. Scariot. 2006. Principles of natural regeneration of tropical dry forest for restoration. *Restor. Ecol.* 14: 11-20.
- Zahawi, R. A. 2005. Establishment and growth of living fence species: an overlooked tool for the restoration of degraded areas in the tropics. *Restor. Ecol.* 13: 92-102.
- Zahawi, R. A. and K. D. Holl. 2008. Comparing the performance of tree stakes and seedlings to restore abandoned tropical pastures. *Restor. Ecol.* 17: 854-864.
- Zar J. H. 1996. Biostatistical Analysis. 3rd ed. Prentice Hall. New Jersey, NJ. USA. 121 p.