



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE ECOLOGÍA
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**EVALUACIÓN DE LA UTILIDAD DE *Jatropha curcas* PARA LA
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE SITIOS PERTURBADOS EN MORELOS**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

PRESENTA:

BRUNO ARTURO BARRALES ALCALÁ

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. MARÍA DEL CONSUELO BONFIL SANDERS
FACULTAD DE CIENCIAS**

**COMITÉ TUTOR: DR. HORACIO ARMANDO PAZ HERNÁNDEZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS**

**DR. ROBERTO ANTONIO LINDIG CISNEROS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS**

MÉXICO, D.F.

ABRIL, 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
INSTITUTO DE ECOLOGÍA
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**EVALUACIÓN DE LA UTILIDAD DE *Jatropha curcas* PARA LA
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE SITIOS PERTURBADOS EN MORELOS**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

PRESENTA:

BRUNO ARTURO BARRALES ALCALÁ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. MARÍA DEL CONSUELO BONFIL SANDERS
FACULTAD DE CIENCIAS

COMITÉ TUTOR: DR. HORACIO ARMANDO PAZ HERNÁNDEZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS

DR. ROBERTO ANTONIO LINDIG CISNEROS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS

MÉXICO, D.F.

ABRIL, 2013

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 03 de diciembre de 2012, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** del alumno **BARRALES ALCALÁ BRUNO ARTURO** con número de cuenta **99043955** con la tesis titulada **"EVALUACIÓN DE LA UTILIDAD DE JATROPHA CURCAS L. PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE SITIOS PERTURBADOS EN MORELOS"**, realizada bajo la dirección de la **DRA. MARÍA DEL CONSUELO BONFIL SANDERS**:

Presidente: DRA. MARÍA TERESA VALVERDE VALDÉS
Vocal: DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA
Secretario: DR. HORACIO ARMANDO PAZ HERNÁNDEZ
Suplente: DR. JOSÉ RAÚL GARCÍA BARRIOS
Suplente: DR. ROBERTO ANTONIO LINDIG CISNEROS

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 3 de abril de 2013.

M. del Coro Arizmendi

DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a)

Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme una beca para los estudios de maestría en ciencias biológicas.

Al proyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano SDEI-PTID-02 por el apoyo para la realización de esta tesis.

A la fundación Packard por el apoyo económico para la realización del trabajo de campo.

A la Dra. Ma. del Consuelo Bonfil Sanders por todo lo que he aprendido a su lado a lo largo de estos años, por la calidez de su trato y por otorgar siempre su apoyo sin importar las circunstancias.

A los miembros del Comité Tutor Dr. Roberto Lindig Cisneros y el Dr. Horacio Paz Hernández por su apoyo y las valiosas aportaciones hechas a este trabajo.

Agradecimientos

A los miembros del Jurado, Dra. María Teresa Valverde Valdés, Dra. Cristina Martínez Garza y al Dr. Raúl García Barrios por sus valiosos comentarios que enriquecieron y mejoraron esta tesis.

Muy en especial a la Biol. Georgina García Méndez por el apoyo logístico brindado en la realización de la tesis.

A Luz María Aranda por el apoyo en la realización de diversos trámites a lo largo de la maestría.

A mis padres por su apoyo incondicional y por alentarme a seguir siempre adelante, los amo.

A mis amados hermanos (África, Perla y Diego), por compartir mi vida y mis alegrías.

A los integrantes del Laboratorio Especializado de Ecología de la Facultad de Ciencias por todos los buenos momentos que hemos compartido a lo largo de estos años.

A Pedro Mendoza, Wolke Tobón, Jimena Sánchez y Yazmin Mendoza por su apoyo en el trabajo de campo.

A todos mis amigos por estar... *porque solo estar es más puro.*

A Alejandra López Valenzuela por aparecer en mi vida.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| Resumen | 3 |
| Abstract | 4 |
| 1. Introducción | 5 |
| 1.1 La restauración ecológica del Bosque Tropical Seco | 7 |
| 1.2 La utilización de <i>Jatropha curcas</i> para la restauración del BTS | 8 |
| 2. Objetivos | 10 |
| 3. Métodos | 11 |
| 3.1 Descripción de las especies | 11 |
| 3.2 Sitios de estudio | 14 |
| 3.2.1 Estación de restauración “Barrancas del Río Tembembe” | 14 |
| 3.2.1.1 Suelo | |
| 3.2.1.2 Clima | |
| 3.2.1.3 Vegetación | |
| 3.2.2 Sede Regional El Lago | 17 |
| 3.2.2.1 Suelo | |
| 3.2.2.2 Clima | |
| 3.2.2.3 Vegetación | |
| 3.3 Variables ambientales | 18 |
| 3.4 Obtención de plantas | 18 |
| 3.5 Establecimiento de las plantaciones experimentales | 18 |
| 3.6 Acolchado | 20 |
| 3.7 Caracterización del sustrato herbáceo | 20 |
| 3.8 Análisis de datos | 21 |
| 4. Resultados | 22 |
| 4.1 Condiciones microclimáticas | 22 |
| 4.2 Supervivencia | 23 |
| 4.3 Crecimiento | 26 |
| 4.4 Estrato herbáceo | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 5. Discusión | 30 |
| 5.1 Supervivencia | 30 |
| 5.2 Capacidad de rebrote | 33 |
| 5.3 Crecimiento | 35 |
| 5.4 Correlación entre crecimiento y la altura de las hierba | 36 |
| 6. Conclusiones | 38 |
| 7. Bibliografía | 39 |
| 8. Apéndices | 50 |
| 8.1 Apéndice I | 50 |
| 8.2 Apéndice II | 51 |
| 8.3 Apéndice III | 52 |

Resumen

Numerosos autores han planteado la conveniencia de que las plantaciones que se establecen con fines de restauración ecológica permitan también obtener beneficios económicos a los dueños de las tierras, con el fin de que se involucren en el proceso y aumente el éxito de la restauración. Para ello deben utilizarse especies vegetales que sean capaces de resistir las condiciones presentes en las áreas perturbadas y que funcionen como facilitadoras de la sucesión. *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) es una especie que ha adquirido relevancia a nivel mundial ya que evita la erosión, mejora las condiciones del suelo, presenta altas tasas de crecimiento y tolerancia al estrés hídrico. *Jatropha curcas* además puede brindar un ingreso económico, ya que sus semillas se aprovechan para la producción de biodiesel. Por ello, el establecimiento de plantaciones de esta especie se ha planteado como una alternativa viable desde las perspectivas ecológica y económica. Sin embargo, hay pocos estudios sobre su establecimiento en diferentes condiciones, por lo que resulta necesario generar información básica sobre ese tema. Con este fin, durante julio del 2010 se establecieron dos plantaciones experimentales de *Jatropha* en dos sitios del estado de Morelos (Jojutla y en la estación de restauración ecológica Río Tembembe), y se comparó su desempeño (en términos de supervivencia y crecimiento) con el de *Leucaena leucocephala*, una especie útil para la restauración. Se plantaron 100 y 120 plantas por especie respectivamente y por sitio (total 440). Un año después la supervivencia de ambas especies fue baja (*Jatropha* 10% y *Leucaena* 28%), debido principalmente a la depredación de plantas por pequeños mamíferos herbívoros y por la presencia de un incendio superficial en uno de los sitios. La capacidad de rebrote de *Jatropha* en respuesta a dichos eventos fue mayor en las plantas que estuvieron expuestas al fuego (34%), que en aquéllas que sufrieron herbivoría (1.2%). Durante la primera temporada de crecimiento *Leucaena* mostró un incremento mayor y significativo en altura (promedio \pm e.e. 27 ± 6.1 cm) en Jojutla, mientras que en *Jatropha* se incrementó el área basal (0.61 ± 0.18 cm²), en el mismo sitio. La utilización de *Jatropha* en la rehabilitación de sitios degradados de la región parece poco viable por las altas tasas de depredación de plantas por lagomorfos, por lo que se recomienda establecer pruebas piloto, considerando las características de cada sitio, antes de establecer plantaciones extensivas de esta especie.

Abstract

Many authors have stressed the convenience to use valuable tree species in plantations for ecological restoration, as land owners may increase their income and become involved in the process, therefore increasing restoration success. Plant species that are capable of surviving the conditions that prevail in disturbed areas and that also favor ecological succession should be used. *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) is a species that has become relevant worldwide, since it prevents erosion, improves soil conditions, has high growth rates and tolerates water stress. *Jatropha curcas* may also provide an extra income, since its seeds can be used for biodiesel production. Therefore, the establishment of plantations of this species may be a good alternative, both from the ecological and economic perspectives. However, there are few studies on its establishment in different conditions, so it necessary to develop basic information on this subject. In July 2010 we established two experimental plantations of *Jatropha* in two sites in the State of Morelos, and compared its performance (in terms of survival and growth) to field performance of *Leucaena leucocephala*, a species that has proved useful for restoration. 100 and 120 plants per species and site were planted (total 440). A year after, plant survival was low in the two species (*Jatropha* 10% and *Leucaena* 28%), mainly due to predation by small herbivorous mammals and a superficial fire in one site. Resprouting of *Jatropha* was higher in plants exposed to fire (34%), than in those that experienced herbivory (1.2%). During the first growing season *Leucaena* showed a greater and significant height increase (mean \pm s. e. 27 ± 6.1 cm) in Jojutla, while basal area increase was larger in *Jatropha* (0.61 ± 0.18 cm²), at the same site. The use of *Jatropha* in the rehabilitation of degraded sites in the region does not seems viable due to the high rates of plant predation by lagomorphs, so we recommend to make small-scale trials, considering the conditions prevailing at each site, before establishing large plantations of this species.

Introducción

El bosque tropical seco (BTS), es uno de los ecosistemas tropicales más amenazados del mundo (Janzen, 1988). En México y Centroamérica se han deforestado grandes extensiones de BTS para establecer terrenos de pastoreo, lo que ha causado la disminución de la superficie cubierta por bosque primario (Stern *et al.*, 2002; Burgos y Maass, 2004; Sánchez-Azofeifa y Portillo-Quintero, 2011); además, los parches remanentes de bosque en paisajes fragmentados con frecuencia muestran signos de deterioro. En México este ecosistema contaba con una extensión original de 33.9 millones de hectáreas, pero su tasa de degradación ha sido tal que para el año 2002 tan sólo 8.9 millones de hectáreas se encontraban en buen estado de conservación, mientras que el resto se considera vegetación secundaria con algún grado de deterioro (Sarukhan *et al.* 2009).

El estado de Morelos tiene una extensión 4,960 km² y se ha estimado que cerca del 57% de su área total estaba originalmente cubierta por BTS. Sin embargo, en 1989 la superficie cubierta por este tipo de vegetación ya se había reducido a un 22%. La principal causa de este fenómeno es el cambio de uso del suelo para uso agropecuario. De los 1096 km² remanentes en 1989, sólo el 19% correspondía a bosques en buen estado de conservación, mientras que el 17% eran bosques secundarios con algún grado de alteración, aunque conservaban elementos característicos del bosque original. El 31% ya se consideraba como áreas degradadas, cubiertas por matorrales, pastizales o sin cobertura vegetal (Trejo y Dirzo, 2000).

Ante la creciente deforestación a la que está sometido el BTS, la restauración ecológica, definida como el proceso de apoyar la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004), es una alternativa para recuperar y mantener los servicios que brindan dichos ecosistemas, coadyuvando también a su conservación. Para ello deben usarse especies vegetales capaces de resistir las condiciones de estrés presentes en las áreas perturbadas, como son los cambios bruscos de temperatura, suelos pobres en nutrientes, estrés hídrico y altos niveles de radiación (Khurana y Sing, 2000). Es deseable que además de resistir estas condiciones, las especies empleadas funcionen también como facilitadoras de la sucesión, estableciendo condiciones favorables para el establecimiento de otras especies.

Una opción con gran potencial, y que empata las características antes mencionadas para la restauración, son las especies de árboles comúnmente utilizadas como “cercas vivas”, de uso extendido en México y Centro América. Estas especies (entre las que se encuentra *Jathropa curcas*; Euphorbiaceae) tienen gran potencial de uso en la restauración ecológica, debido a su tolerancia y capacidad de establecerse bajo las condiciones de estrés que prevalecen en los pastizales (Zahawi, 2005).

La conservación y restauración del BTS se han convertido en objetivos prioritarios debido a las altas tasas de deterioro que presenta y al alto número de endemismos que alberga. Sin embargo, para lograr estos objetivos es necesario tener un buen nivel de entendimiento de los procesos de degradación (Ashton *et al.*, 2001). De acuerdo con diversos autores, en los BTS las principales fuentes de disturbio son de origen antropogénico, entre las que sobresalen la conversión a pastizales para ganadería o a campos de cultivo (Griscom y Ashton, 2011; y Sánchez-Azofeifa y Portillo-Quintero, 2011). La magnitud y velocidad de la deforestación de estos bosques está asociada a dos factores principales: la fertilidad del suelo y la topografía. La tasa de cambio de uso del suelo es mayor en suelos fértiles y con una topografía poco accidentada, y disminuye en suelos poco fértiles y con topografía accidentada; por lo tanto, es en estas zonas donde permanece la vegetación original, usualmente en paisajes altamente fragmentados (Griscom y Ashton, 2011). Los esfuerzos de restauración pueden por tanto enfocarse en aumentar la conectividad de los parches remanentes de vegetación original y en aumentar el valor de conservación y los servicios ecosistémicos en los paisajes agropecuarios.

El abandono de campos agrícolas, así como la pérdida de la vegetación en áreas boscosas por disturbios como los incendios o la tala, dan paso al proceso de sucesión secundaria, definida como el cambio direccional de las especies que se produce después de un disturbio (Begon *et al.*, 2006). Esta sucesión secundaria tiene características particulares en los BTS, debido a la marcada estacionalidad y a la variabilidad interanual en las condiciones de temperatura y precipitación (Murphy *et al.*, 1986; Lebrija-Trejos *et al.*, 2008). Se cree que la regeneración natural de los BTS es un proceso relativamente lento en términos del establecimiento y crecimiento de plántulas. Sin embargo, debido a la estructura relativamente sencilla de la vegetación, la baja altura del dosel, y la alta capacidad de rebrote de muchas especies, existe el potencial de alcanzar etapas sucesionales maduras en un periodo relativamente corto en comparación

con los bosques tropicales húmedos (Murphy *et al.*, 1986; Vieira y Scariot, 2006; Lebrija-Trejos *et al.*, 2008). Sin embargo, esta recuperación puede ser sólo parcial, al permitir incrementar la producción de oxígeno y la captura de bióxido de carbono, detener la erosión y mejorar la infiltración del agua, sin que necesariamente se recupere por completo la estructura o la composición de especies que existía antes del disturbio (Guriguata y Ostertag, 2001). En este caso suele hablarse de rehabilitación ecológica.

Algunos factores que pueden impedir que la regeneración natural actúe por sí sola son la fragmentación del bosque y la consecuente pérdida de conectividad, la degradación del suelo, los incendios recurrentes, la falta de fuentes de propágulos cercanas y otros factores del medio físico y biótico. En estos casos es necesario intervenir para lograr la restauración ecológica de los BTS (Holl, 2002; Bonfil *et al.*, 2010).

La restauración ecológica del BTS

Griscom y Ashton (2011), agrupan a las técnicas de restauración ecológica apropiadas para BTS en cinco categorías: a) la restauración pasiva, que consiste en eliminar el disturbio y es adecuada cuando su efecto ha sido puntual y no muy severo, por lo que existen buenas posibilidades de que el sistema se recupere a través de la sucesión secundaria, b) la protección adicional contra incendios, debido a que el fuego es una de las principales limitantes para la regeneración natural en algunos BTS, c) las plantaciones de enriquecimiento, necesarias cuando aún se mantiene cierta cobertura vegetal, pero con una baja diversidad, d) la remoción o control de pastos, que puede favorecer el establecimiento de plántulas y, e) el establecimiento de plantaciones, en caso de que el disturbio haya sido severo y durante mucho tiempo. La utilización y combinación de estas técnicas dependerá en gran medida de la historia de uso de suelo de los sitios a restaurar y de la disponibilidad de fuentes de propágulos cercanas.

Una herramienta útil para incrementar el éxito en el establecimiento inicial de las plantaciones en los BTS es el uso de acolchados, ya que incrementan la supervivencia de las plantas al reducir la evaporación del agua del suelo, y por consiguiente el estrés hídrico al que se ven sometidas las plantas, especialmente durante la temporada seca, en la que se registran altas tasas de mortalidad (Barradas, 2000; Khurana y Sing, 2001; Guzman-Barajas *et al.*, 2007; Nuñez, 2012).

De las técnicas mencionadas por Griscom y Ashton (2011), el establecimiento de plantaciones es la más intensiva, ya que requiere de una mayor inversión económica, de tiempo y de trabajo. Sin embargo, permite acelerar el proceso sucesional en terrenos altamente degradados (Lugo, 1992; Guariguata y Ostertag, 2001); también permite restablecer la sucesión en terrenos que se encuentran en un estado de sucesión detenida, que es la que se presenta cuando no hay recambio de especies a lo largo del tiempo (Young et al., 2001). De ahí se deriva la gran importancia que tienen las plantaciones en la mayoría de los proyectos de restauración ecológica.

La utilización de especies comerciales durante la restauración ecológica a menudo se ha percibido como una técnica que reduce la biodiversidad y que establece disyuntivas entre la recuperación de servicios ecosistémicos y la productividad de la plantación (Griscom y Ashton, 2011). Sin embargo se ha señalado que una selección adecuada de estas especies puede permitir empatar ambos criterios, trayendo consigo beneficios adicionales para los dueños de las tierras (Lamb *et al.*, 2005).

La utilización de *Jatropha curcas* para la restauración del BTS

Jatropha curcas L. (Euphorbiaceae) es un árbol nativo, que ha adquirido gran relevancia a nivel mundial en los últimos años, debido a que sus semillas se utilizan como insumo básico para la producción de biodiesel por su alto contenido de aceite (entre 30 y 40%, Jongschaap *et al.*, 2007; Atchen *et al.*, 2009). Se ha reportado que su sistema radicular, cuando está bien desarrollado, contribuye a evitar la erosión y mejora la estabilidad de los macro-agregados del suelo, reduciendo la densidad del suelo en sitios semiáridos de la India (Chaudhary *et al.*, 2007). *Jatropha* se ha propuesto también como planta nodriza, ya que favorece el establecimiento de plántulas de especies sucesionalmente avanzadas (Spaan *et al.*, 2004), y es una especie de rápido crecimiento. Por ello, el establecimiento de plantaciones de esta especie se ha planteado como una alternativa viable desde las perspectivas ecológica y económica.

En México algunas instituciones oficiales (como la Comisión Nacional Forestal CONAFOR) han fomentado las plantaciones de *Jatropha*, aduciendo que los productores rurales pueden obtener recursos por la venta de sus semillas o la extracción directa de aceite. Además, el uso de esta especie puede resultar útil para la rehabilitación o restauración de sitios degradados, debido a que no requiere de grandes cuidados para su establecimiento y es tolerante a la sequía (Atchen *et al.*, 2009). La CONAFOR

supone que es posible obtener rendimientos razonables de semillas en tierras marginales, a las que se define como aquéllas que se encuentran al borde de su viabilidad económica, cultural y biológica (Strijker, 2005). Sin embargo, hasta la fecha no existen datos confiables que permitan evaluar la viabilidad de estas plantaciones en México. A pesar de lo anterior, ya se ha promovido su plantación extensiva en algunas zonas del país, como Chiapas, para la producción de biodiesel (Valero-Padilla, 2011). En este contexto, es necesario analizar cuidadosamente el desempeño de *Jatropha* en sitios degradados (o marginales, de acuerdo con la CONAFOR), antes de establecer una política pública que impulse y favorezca su establecimiento extensivo.

Una revisión reciente sobre este tema llegó a la conclusión de que muchas de las afirmaciones positivas sobre la siembra y el cultivo de *Jatropha* no tienen sustento científico (Daey *et al.*, 2007), y que los análisis de crecimiento en condiciones de campo son escasos (Atchen *et al.*, 2010). Es por ello que su uso en la rehabilitación de sitios degradados debe evaluarse cuidadosamente y su desempeño debe compararse con el de otras especies nativas que han probado su utilidad para la restauración. Entre ellas destaca la leguminosa *Leucaena leucocephala*, por sus tasas de supervivencia relativamente altas en sitios perturbados y bosques secundarios del estado de Morelos (Ayala-García, 2008; Carrasco-Carballido y Martínez-Garza, 2011). Se ha reportado que las leguminosas nativas de los BTS toleran condiciones de estrés ambiental, presentan altas tasas de crecimiento y permiten la fijación de N en el suelo (Cervantes *et al.*, 2001; Bonfil y Trejo, 2011).

Con estos antecedentes, en el presente trabajo se planteó evaluar el establecimiento inicial de plantas de *Jatropha curcas* en dos sitios degradados del estado de Morelos: a) la estación de restauración ecológica “Barrancas del Río Tembembe” (ERT), en donde se han llevado a cabo labores de restauración ecológica enfocadas al restablecimiento de las comunidades biológicas naturales de los taludes y riberas del río Tembembe (Bonfil *et al.* 2004) y, b) los terrenos de la sede regional “El Lago”, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), ubicados en Jojutla, Morelos. Se espera que los resultados de esta investigación aporten conocimientos para la toma de decisiones sobre la posible utilización de esta especie en la restauración de zonas degradadas, que brinde además a los dueños de las tierras un beneficio económico.

Objetivos

General

- Evaluar el desempeño de las plantaciones de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) con fines de restauración en dos sitios degradados (un pastizal y parcelas de cultivo abandonadas), originalmente cubiertos por BTS en el estado de Morelos.

Particulares

- Describir algunas variables microclimáticas de los dos sitios de estudio.
- Contrastar la supervivencia y el crecimiento de las plantas de *Jatropha* con las de *Leucaena leucocephala*.
- Evaluar las causas de mortalidad de las dos especies en cada sitio.
- Evaluar el efecto del uso de un acolchado plástico en la supervivencia de ambas especies.
- Analizar el efecto del sustrato herbáceo en el crecimiento de ambas especies.
- Hacer recomendaciones sobre el manejo de *Jatropha* en la restauración de sitios degradados de BTS.

Métodos

Descripción de las especies de estudio

Jatropha curcas L. (Euphorbiaceae)

Árbol de 5-7 m de altura, con un tronco de hasta 25 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), y ramificaciones a poca altura. Tiene una raíz central y cuatro periféricas y corteza verde pálida, casi lisa. Sus hojas son simples, de 10 a 15 cm de largo y 9 a 15 cm ancho, ovadas, con cinco nervaduras, y tres a cinco lóbulos, profundos y grandes; la longitud del pecíolo es de entre 6 y 23 mm (Figura 2). Presentan una filotaxia en espiral. Las flores masculinas y femeninas son pequeñas (6- 8 mm), verdoso-amarillas y pubescentes; las femeninas presentan brácteas acuminadas y las masculinas tienen brácteas aovadas y pedicelos pubescentes. Los frutos son cápsulas drupáceas y ovoides, triloculares y de forma elipsoidal, inicialmente verdes y cuando maduran amarillas; dehiscentes y de color café cuando se secan. Cada inflorescencia tiene aproximadamente 10 frutos o más. *Jatropha* suele perder sus hojas durante la temporada seca, pero si las condiciones de humedad lo permiten, las hojas pueden permanecer a lo largo del año. La floración se presenta durante la temporada de lluvias, y el desarrollo del fruto abarca alrededor de 90 días, desde la floración hasta que madura la semilla (Heller, 1996). Es una planta nativa de América, su área de distribución natural comprende desde México hasta Brasil; sin embargo, actualmente se le encuentra en muchas regiones tropicales y subtropicales de África y Asia debido a su introducción como cultivo para producir aceite (Atchen *et. al.*, 2008). En México el género cuenta con 45 especies, de las cuales 35 son endémicas del país (Martínez-Gordillo *et al.*, 2002). *Jatropha* se distribuye en la vertiente del Pacífico, desde Sonora hasta Chiapas, y en la vertiente del Atlántico desde Tamaulipas hasta Quintana Roo (Nuñez-Colin y Gotya-Jimenez, 2009; Figura 1).

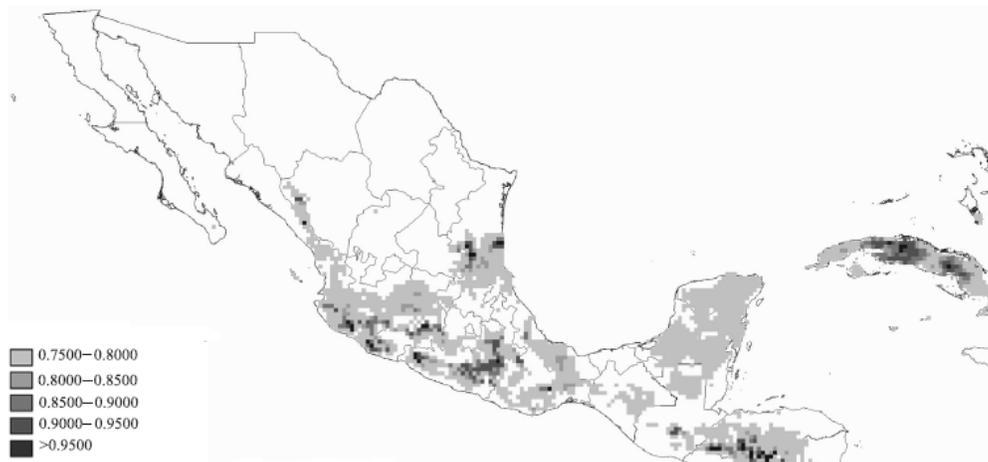


Figura 2. Distribución potencial de *Jatropha curcas* en México (tomado de Núñez-Colín y Gotya-Jiménez, 2009). La escala se refiere a la distribución de las probabilidades de encontrar la especie.

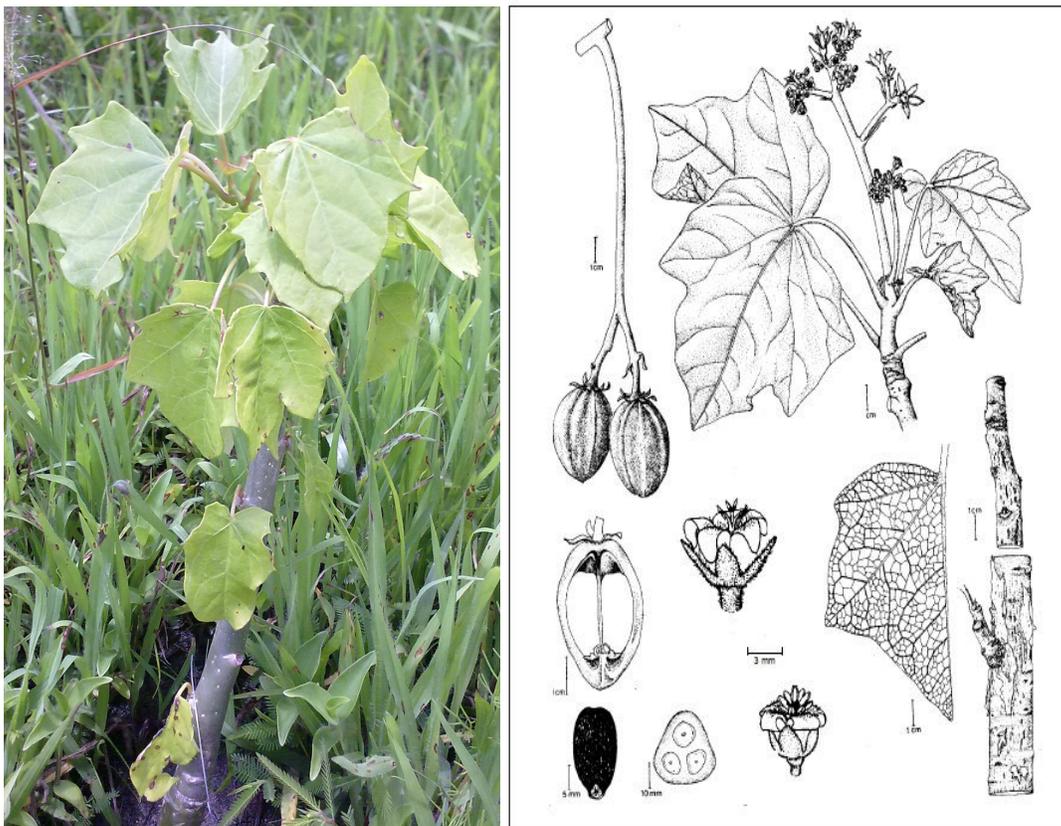


Figura 1. Características distintivas de *Jatropha curcas* L. (tomado de Heller, 1996).

Leucaena leucocephala (Lam.) De Wit. (Leguminosae-Mimosoideae)

Árbol de hasta 10 m de altura, y DAP de hasta 25 cm. Su tronco es recto y presenta ramas ascendentes con copa redondeada; la corteza es lisa a ligeramente fisurada, de color gris pardusca, con abundantes lenticelas. Las hojas están dispuestas en espiral y son bipinadas, de 9 a 25 cm de largo, compuestas por 3 a 7 pares de folíolos primarios opuestos, cada uno formado de 8 a 16 pares de folíolos secundarios opuestos, sésiles de base asimétrica, verde grisáceos y glabros en ambas superficies (Figura 3). Presenta una glándula cóncava a la mitad del pecíolo o entre el primer par de folíolos y en ocasiones otra glándula en el último par de folíolos. Las hojas se caen durante la temporada seca en sitios con una marcada estacionalidad climática, florece durante la temporada de lluvias aunque esta se puede prolongar a lo largo del año dependiendo de la precipitación, los frutos maduran de marzo a abril. Las flores blancas son perfumadas y actinomórficas y están dispuestas en cabezuelas solitarias o en pares, a veces formando una inflorescencia terminal ramificada. El fruto es una vaina oblonga (11-25 cm de largo y 1.2 a 2.3 cm de ancho), con 15 a 30 semillas aplanadas de color café brillante (Guizar y Sánchez, 1991). *Leucaena* presenta dos variedades en México la tipo común (la cual es utilizada en el presente trabajo), y la tipo gigante. La variedad común cuenta con una amplia distribución en el país y abarca en la vertiente del Pacífico desde Baja California Sur hasta Chiapas y en la vertiente del Atlántico desde Tamaulipas hasta Quinta Roo, mientras que la variedad gigante se encuentra restringida a los estados de Oaxaca y Chiapas (Parrotta, 1994; Figura 4).



Figura 3. Características distintivas de *Leucaena leucocephala* (tomado de Parrotta, 1992).

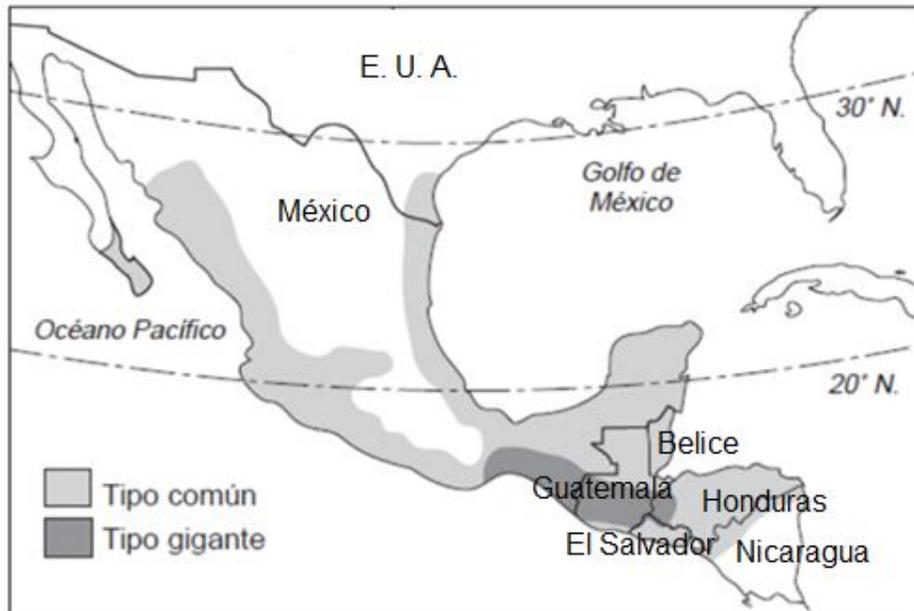


Figura 4. Distribución natural de *Leucaena leucocephala* en México (tomado de Parrotta, 1992).

Sitios de estudio

Las plantaciones experimentales se realizaron en dos sitios (Figura 5), del estado de Morelos: la estación de restauración ambiental Barrancas del Río Tembembe (ERT), en el NO del estado, y la Sede Regional El Lago, de la Universidad Autónoma de Morelos, en el municipio de Jojutla, las cuales se describen brevemente a continuación:

A. Estación de restauración ecológica “Barrancas del Río Tembembe”(ERT)

La ERT se encuentra en el municipio de Temixco, entre las coordenadas $99^{\circ}20'17''$ – $99^{\circ}20'39''$ O y $18^{\circ}53'56''$ – $18^{\circ}55'07''$ N. El polígono de la estación comprende ~95 ha distribuidas a ambos lados de la barranca en cuyo fondo transcurre el río Tembembe. Presenta un gradiente altitudinal que va de 1700 m (en su extremo norte) a 1500 m (en el extremo sur), y abarca terrenos en dos laderas principales (con orientación este y oeste), con pendientes de entre 5 y 50% (García-Flores, 2008). Perteneció a la comunidad de Cuentepec y se encuentra al N del pueblo del mismo nombre, en los límites con el estado de México.

Las dos estaciones meteorológicas más cercanas a la ERT son la estación meteorológica de Ahuatenco, ubicada alrededor de 3.5 km al N de la ERT con una altitud de 1,950 m, que registra un clima templado subhúmedo [Cb(w₂)(w)(i)g] (el más húmedo de los subhúmedos) con una temperatura media anual de 17.5°C y una precipitación anual de 1,166 mm (Figura 6a). En la estación meteorológica de Cuentepec, ubicada alrededor de 5.5 km al S de la estación, se presenta un clima semicálido subhúmedo [A(C)w₀(w)w''(i)g] (el más seco de los subhúmedos) con una precipitación anual de 961 mm y una temperatura media anual de 21.6° C (Figura 6b). Se encuentra a una altitud de 1,450 m (Camacho, 2004). En ambos sitios se presenta una estacionalidad de las lluvias muy marcada, con una época seca de noviembre a mayo.

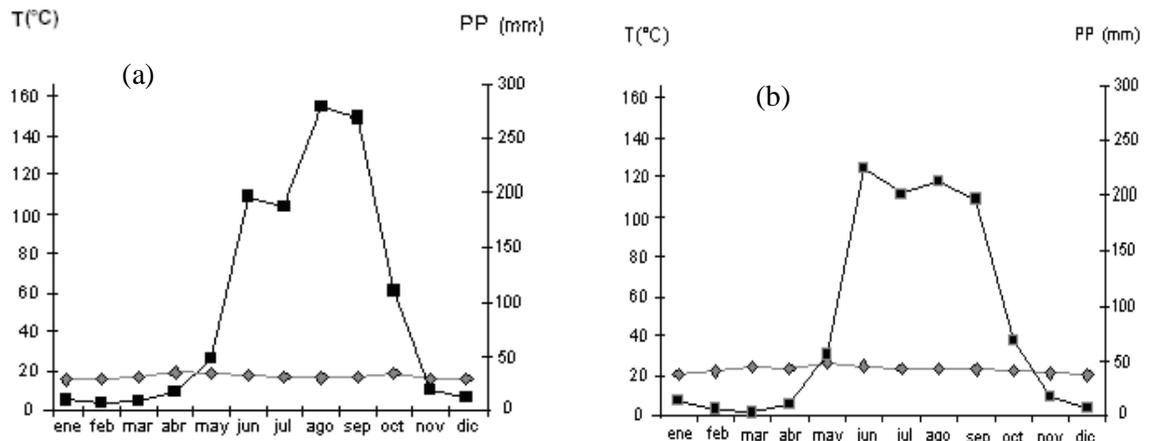


Figura 6. Diagramas ombrotérmicos de las estaciones: (a). Ahuatenco, Edo. de México, (b) Cuentepec, Morelos (tomado de Camacho, 2004).

Vegetación

La vegetación predominante en la estación es el pastizal inducido, que ha sido utilizado por muchos años para el pastoreo de ganado bovino y equino; sin embargo es posible encontrar parches remanentes de vegetación relativamente bien conservados (bosque tropical caducifolio y bosque de *Quercus glaucooides*) en laderas poco accesibles, además de la vegetación ribereña a lo largo del cauce del río (Bonfil *et al.*, 2004; Camacho *et al.*, 2006). Hasta la fecha se han registrado en la estación 42 familias, 98 géneros y 153 especies de plantas, siendo Leguminosae la familia más representativa con 25.5% de las especies, seguida de Asteraceae con 15%, Rubiaceae con 5.8% y

Bursereaceae con 5.2% (García-Flores, 2008). En el pastizal dominan las poáceas *Paspalum notatum* y *P. convexum*, aunque se encuentran también diversas especies de las familias Fabaceae, Asteraceae y Cyperaceae (Jimena Sánchez-Battenberg, tesis en preparación).

B. Sede Regional El Lago, Jojutla.

Este sitio se ubica en un terreno de 2 625 m² (~ 2.5 ha) con diversas instalaciones pertenecientes a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) en el municipio de Jojutla, en el suroeste del estado (18°36' 53.38" N y 99°13' 54.40" O) a una altitud de 962 m. En la zona predominan los relieves de llanuras y mesetas, y poco más del 80% de la superficie del municipio se dedica a la producción agropecuaria (Guerrero-González, 1993).

Suelos

De acuerdo con el CETENAL (1976), el tipo de suelo predominante en la zona es el Feozem calcárico, con textura media en fase pedregosa. Se caracteriza por su tono claro, y una capa superficial de materia orgánica y nutrientes. Presenta acumulación de caliche, así como un lecho rocoso entre los 10 y 50 cm de profundidad.

Clima

El servicio meteorológico nacional (SMN) reporta en la estación de Jojutla (ubicada 5 km al NO del sitio de estudio), una temperatura media anual de 24°C y una precipitación anual de 894 mm, con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano [A(C) w₀(w)w''(i')g]. La estación de lluvias abarca de junio a octubre y la seca de noviembre a mayo (Figura 7).

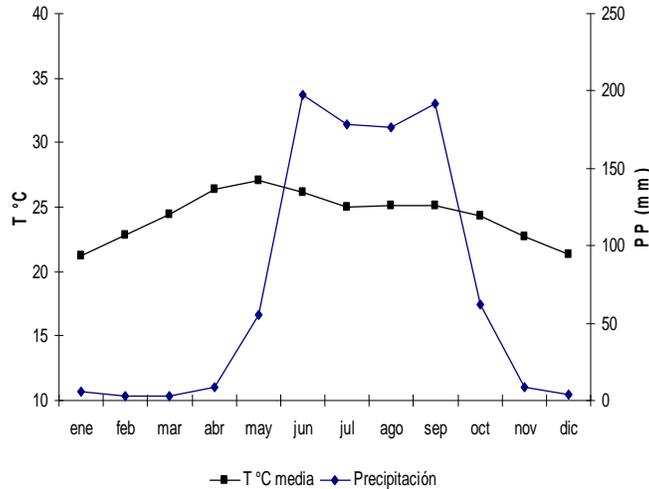


Figura 7. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Jojutla, realizado a partir de los datos de la misma estación del SMN.

Vegetación

La vegetación original de la zona es la selva baja caducifolia, pero la mayor parte ha sido eliminada y solo se encuentran árboles aislados (de especies como *Guzuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Pithecellubium dulce* y diversas especies de *Acacia*, observación personal), o pequeños manchones de bosques secundarios, así como elementos de vegetación ribereña a los lados de los cauces de agua, la mayoría de los cuales son estacionales.

VARIABLES AMBIENTALES

Se registraron la temperatura y la humedad atmosférica, así como la temperatura del suelo, entre julio de 2010 y abril de 2011 usando registradores automáticos (Hobo Pro V Part No U23-001 y Hobo Pendant Part No. UA-001-08). Se colocaron dos registradores para medir la temperatura y la humedad atmosférica a una altura de 50 cm del suelo en cada sitio de estudio. Para medir la temperatura del suelo se enterraron dos registradores en cada sitio de estudio a una profundidad de 15 cm (que era la profundidad media de las raíces de las plantas introducidas). Los registros se realizaron cada hora.

Obtención de plantas

Las plántulas de *Jatropha* que se utilizaron en este trabajo se obtuvieron de un vivero comercial, ubicado en el municipio de Yautepec, Morelos. Fueron propagadas a partir de

germoplasma local, recolectado en los alrededores de dicha población. Las semillas fueron germinadas en 2009, por lo que las plantas contaban con alrededor de un año de edad al momento de la plantación. Las plántulas de *Leucaena* fueron propagadas en un vivero forestal ubicado en el municipio de Miacatlán y donadas por la CONAFOR y contaban con poco más de un año de edad al momento de la plantación.

Establecimiento de las plantaciones experimentales

En ambos sitios de estudio se establecieron dos parcelas experimentales (de ~600 m² cada una), sobre terrenos planos o con pendiente muy suave, con el fin de evitar un posible efecto de ladera. Las plantaciones experimentales se realizaron durante la primera quincena de junio de 2010, una vez iniciada la temporada de lluvias. Se plantaron 50 plantas de *Jatropha* y 60 de *Leucaena* por parcela (100 y 120 por especie en cada sitio de estudio), intercaladas en una disposición de tresbolillo (Figura 8), con una separación de dos metros entre planta y planta.

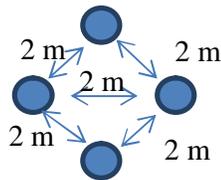


Figura 8. Diseño de la plantación

Se realizaron censos bimensuales de supervivencia y crecimiento a lo largo de un año (julio 2010-2011). En cada censo se registró si la planta se encontraba viva o muerta, así como las causas de muerte más evidentes. También se registró la altura y el diámetro basal. Las tres principales causas de muerte de las plantas, reconocibles en el campo, fueron: 1) la depredación por herbívoros, que se caracterizó por una mordida de forma diagonal en la base del tallo, 2) la sequía, cuando el tallo permaneció seco y no hubo registro de rebrote y, 3) a causa de un incendio (que se presentó en febrero de 2011 en la ERT), cuando el tallo se encontraba quemado y no hubo registro de rebrote posterior a éste.

Debido a que la mortalidad inicial fue alta y provocó una reducción y desbalance en el tamaño de muestra, el análisis de crecimiento se dividió en dos períodos: a) un análisis del incremento en tamaño de las plantas al final de la primera temporada de

crecimiento (octubre 2010), cuando aún se contaba con suficientes individuos en los dos sitios de estudio y, b) comparaciones de diversas variables de tamaño de las plantas por especie y sitio un año después de la plantación (junio 2010 – julio 2011).

Acolchado plástico

Con el fin de evaluar si un acolchado plástico contribuye a mantener la humedad del suelo y a disminuir la mortalidad durante la temporada seca, en enero de 2011 (seis meses después de que se estableció la plantación) se colocó un cuadro de acolchado plástico (negro y plata) de 50 × 50 cm alrededor del tallo de la mitad de las plantas vivas de cada especie, las cuales se seleccionaron aleatoriamente. El acolchado se retiró al iniciar la temporada de lluvias de 2011. Sin embargo, debido a las condiciones presentes durante el estudio (alta mortalidad inicial de las plantas y un incendio), los resultados de este experimento fueron muy limitados, por lo que los resultados parciales se presentan en el Apéndice I.

Caracterización del sustrato herbáceo

Con el fin de evaluar si el crecimiento de las especies de estudio se vio afectado por la presencia de la vegetación herbácea de los sitios de estudio, se analizaron algunas características del estrato herbáceo de cada parcela a principios de la temporada de lluvias 2011. Para ello, se colocaron nueve cuadros de un metro cuadrado por parcela leñosa (en total nueve por parcela y 18 por sitio). Se registró la altura promedio y la cobertura de hierbas de cada cuadro mediante una estimación visual, realizada por tres personas capacitadas, en la cual cada sujeto proporcionó una estimación porcentual de la cobertura de cada especie, para finalmente promediar los valores y obtener el porcentaje promedio de suelo cubierto (por todas las especies de hierbas), y el porcentaje de área cubierta por las especies más conspicuas de cada cuadro (cobertura relativa), para posteriormente explorar mediante una regresión lineal si existía alguna relación entre estos resultados y las variables de crecimiento (altura y diámetro basal), de ambas especies.

Análisis de datos

Se elaboraron curvas de supervivencia con la función Kaplan-Meier, que genera una curva escalonada discreta e incorpora información cuando ocurre una o varias muertes, inicia en un valor de 1 cuando todos los individuos están vivos y desciende en proporción a las muertes ocurridas en periodo dado, por lo que incorpora dos grupos de información en cada momento: a) la proporción de individuos muertos y b) la proporción de individuos en riesgo de morir (i. e., los individuos vivos).

La función es la siguiente:

$$\hat{S}_{KM} = \prod_{t_i < t} \frac{r(t_i) - d(t_i)}{r(t_i)}$$

Donde $r(t_i)$ es el número de individuos vivos en el tiempo t_i y $d(t_i)$ es el número de individuos muertos en el tiempo t_i .

La supervivencia entre especies se comparó con un análisis de supervivencia con riesgos específicos a la edad y con datos censurados (1 si la planta está muerta y 0 si permanece viva por más tiempo que el periodo de observación). Los factores sitio y especie son las variables explicativas y la variable de respuesta es el tiempo de vida de cada planta (calculada con base en el mes en que se registró su muerte). Este análisis permite calcular la esperanza de vida y se realizó con la librería de análisis de supervivencia del programa R (R Development Core Team, 2012).

El crecimiento de las plantas durante la primera temporada de lluvias se evaluó por medio de análisis de varianza bifactorial, con los factores sitio y especie, y los incrementos relativos (tamaño final – tamaño inicial / tamaño inicial), como variables de respuesta. En este análisis cada planta en un tratamiento (i.e. sitio y especie) representa una réplica. Los incrementos anuales en altura y diámetro basal de *Leucaena* se compararon entre los dos sitios de estudio mediante pruebas no paramétricas (U de Mann-Whitney). En el caso de *Jatropha* sólo se realizaron algunas descripciones de su crecimiento debido a que el tamaño de muestra final impidió analizar los datos. Las posibles relaciones entre la vegetación herbácea y el crecimiento de las especies de estudio se analizaron mediante regresiones lineales entre la altura y el diámetro basal de las plantas introducidas contra la altura promedio y la proporción de terreno cubierto la vegetación herbácea; esta última variable previamente transformada mediante la función $\sqrt{\text{arco-seno}}$ para cumplir con el supuesto de normalidad.

Resultados

Caracterización de las condiciones microclimáticas de los sitios de estudio

La temperatura promedio del aire durante el periodo registrado fue significativamente más alta en Jojutla (20.9 °C), que en la ERT (19.9 °C; $F = 33.8$ $P = 0.001$). La diferencia entre sitios en la temperatura promedio mensual fue de entre 2 y 4°C, con valores significativamente más altos en Jojutla que en la ERT en octubre, febrero y marzo ($P < 0.001$ en los tres meses). El valor mensual más alto se presentó en marzo en ambos sitios (25°C en Jojutla y 22°C en la ERT; Figura 9).

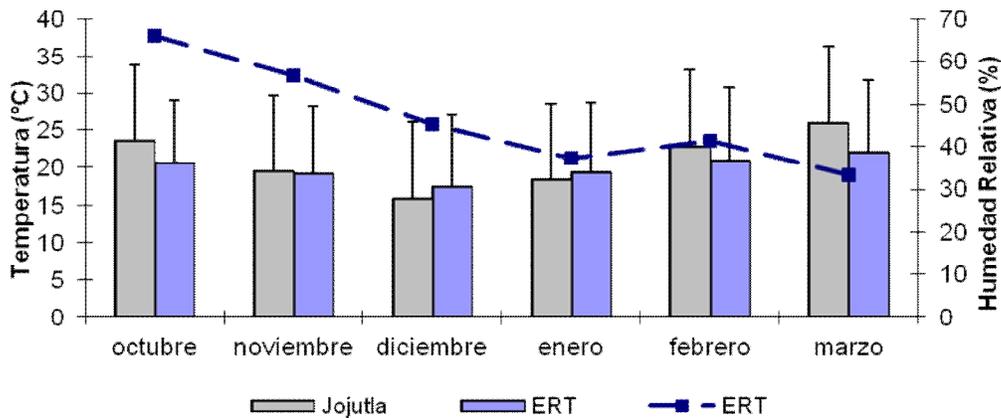


Figura 9. Temperatura atmosférica (barras sólidas; promedio y d. e.) y humedad relativa promedio (línea punteada) en los sitios de estudio.

Lamentablemente el censor de humedad atmosférica falló en Jojutla poco después de haber sido colocado sin que nos percatáramos, lo que impidió hacer comparaciones de esta variable entre sitios. En la ERT octubre fue el mes con mayor humedad relativa promedio (65%), y a partir de entonces ésta disminuyó hasta que registrar un valor mínimo en marzo (33%), aunque el periodo enero-marzo puede considerarse el más seco.

Las diferencias significativas en la temperatura del suelo entre sitios fueron marginalmente significativas ($F = 5.97$ $P = 0.058$); la temperatura promedio fue ligeramente más alta en Jojutla que en la ERT, especialmente en marzo, con una diferencia de tres grados y en diciembre, con dos (Figura 10).

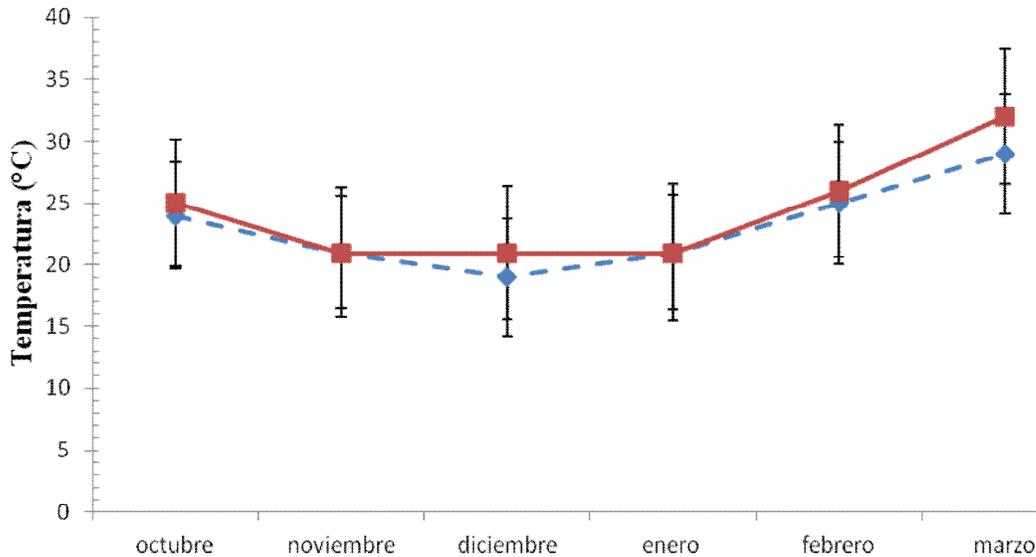


Figura 10. Temperatura promedio mensual del suelo en los dos sitios de estudio. Jojutla - línea continua, ERT - línea punteada.

Supervivencia

La supervivencia anual global de *Leucaena* (28%), fue mayor a la de *Jatropha* (10%). Durante la temporada de lluvias (julio – octubre de 2010) la supervivencia de *Leucaena* fue alta (84%), pero disminuyó a fines de la temporada seca por el efecto de la sequía y como resultado del ataque de mamíferos pequeños.

La supervivencia de *Jatropha* se vio muy afectada por el ataque de pequeños mamíferos herbívoros, muy probablemente lagomorfos, que fueron observados frecuentemente en los sitios de estudio y que dejaron huellas de su presencia por el tipo de mordida en el tallo (en diagonal, característica de estos mamíferos (Holl, 1999)) y por la presencia de excretas en las inmediaciones de las cepas (Figura 11). Esta depredación causó la muerte de 40% de las plantas al final de la temporada de lluvias (octubre de 2010), pero continuó durante la temporada seca. El incendio que se presentó en febrero de 2011 en la ERT (ver métodos), fue otra causa de muerte importante; en conjunto estos factores causaron que la supervivencia final de *Jatropha* fuera muy baja.



Figura 11. Evidencias de la actividad de lagomorfos: presencia de excretas en los sitios de estudio (izquierda), corte diagonal en un tallo de *Jatropha* (derecha).

Al comparar la supervivencia por especie y por sitio, usando la función de supervivencia de Kaplan-Meier, se observa una fuerte caída en *Jatropha* en Jojutla pocos meses después de establecida la plantación, lo que llevó a que al final del estudio sólo 1% de las plantas permanecieran vivas (Figura 12). Una caída similar, aunque menos dramática, se presentó en esta especie un mes después en la ERT, pero en este sitio la supervivencia final fue mayor (~13%). En *Leucaena* se presentó un patrón similar, ya que la caída en la mortalidad fue mucho más abrupta en Jojutla que en la ERT; sin embargo la supervivencia final de esta especie fue mayor que la de *Jatropha* en los dos sitios (43% en Jojutla y 18% en la ERT).

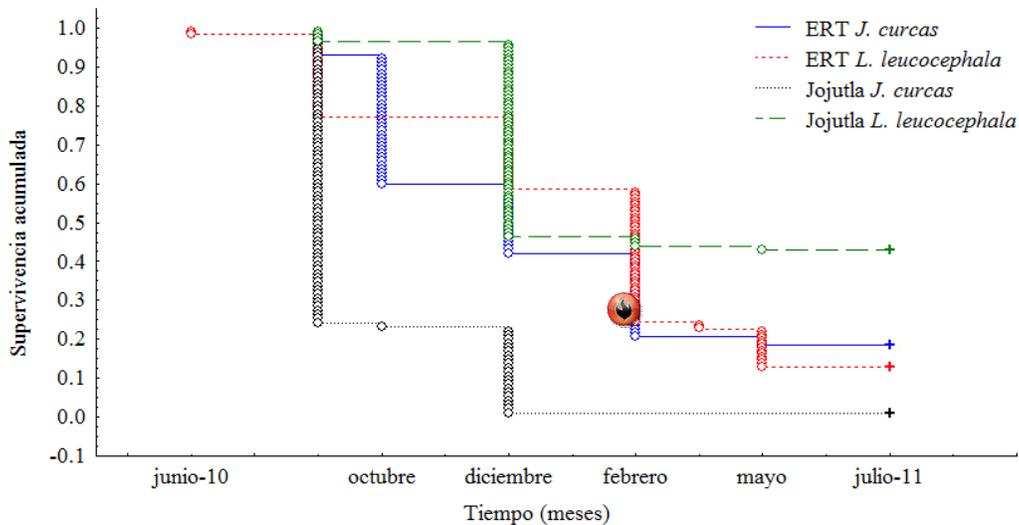


Figura 12. Función de supervivencia de Kaplan-Meier de *Jatropha* y *Leucaena* en Jojutla y la ERT en el periodo junio 2010-julio 2011. El símbolo circular indica la fecha en que se presentó un incendio superficial en la ERT.

En Jojutla la principal causa aparente de muerte fue la depredación de plantas por pequeños mamíferos herbívoros, que causó el 90% de las muertes de *Jatropha* y el 53% de *Leucaena*. Esta depredación se presentó con mayor intensidad durante los primeros tres meses de la temporada de lluvias. Otra causa de mortalidad, con un impacto relativamente menor, fue la sequía, que causó el 4% de las muertes de *Leucaena* (aunque debe considerarse que en este sitio quedaban menos plantas vivas al inicio de la temporada seca).

En la ERT, las principales causas aparentes de muerte difirieron entre las especies. La depredación de plantas representó 65% de las muertes en *Jatropha* y sólo el 18% en *Leucaena*, mientras que en esta última el efecto del incendio y la sequía fueron más importantes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales causas aparentes de muerte de *J. curcas* y *Leucaena* en la ERT y Jojutla. Los porcentajes se calcularon sobre el total de plantas establecidas inicialmente.

| Causas de Muerte | <i>Jatropha</i> | | <i>Leucaena</i> | |
|------------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
| | ERT | Jojutla | ERT | Jojutla |
| Depredación | 65 % | 99 % | 18 % | 53 % |
| Sequía | 0 % | 0 % | 36 % | 4 % |
| Incendio | 17 % | N.A. | 33 % | N.A. |

El análisis de supervivencia realizado con un modelo lineal generalizado (GLM), mostró que los factores especie y sitio, así como su interacción, tuvieron efectos muy significativos en la supervivencia final de ambas especies (Cuadro 2). La esperanza de vida (medida en meses) fue menor en *Jatropha* que en *Leucaena* en los dos sitios de estudio (*Jatropha* 3.6 meses en Jojutla y 6.7 en la ERT, *Leucaena* 8.3 y 7.2 meses respectivamente). La interacción significativa se debe a que mientras *Jatropha* tuvo una esperanza de vida mayor en la ERT, *L. leucocephala* la tuvo en Jojutla.

Cuadro 2. Resultados del análisis lineal generalizado del efecto de la especie y el sitio en la supervivencia de *Jatropha* y *Leucaena* en la ERT y Jojutla, Morelos. e. e. = error estándar.

| Factor | Estimador | e. e. | Z | P |
|-----------------|-----------|-------|-----|---------|
| Especie | 1.024 | 0.067 | 15 | <0.0001 |
| Sitio | 0.743 | 0.065 | 11 | <0.0001 |
| Especie × Sitio | -0.99 | 0.092 | -10 | <0.0001 |

Crecimiento

Como se explicó en los métodos, el análisis de crecimiento se dividió en dos períodos: a) un análisis del incremento en tamaño de las plantas al final de la primera temporada de crecimiento (octubre 2010) y, b) comparaciones de diversas variables de tamaño de las plantas después de un año (junio 2010 – julio 2011), realizadas con un tamaño de muestra pequeño.

En el primer periodo se presentó un mayor incremento promedio en el área basal en Jojutla ($0.28 \text{ cm}^2 \pm 0.04 \text{ e. e.}$) que en la ERT $0.08 \text{ cm}^2 (\pm 0.06.)$. El análisis de varianza mostró un efecto significativo del sitio ($F_{(1,312)} = 26.81; P = 0.001$), la especie ($F_{(1,312)} = 85.60; P = 0.001$) y de la interacción entre ambos ($F_{(1,312)} = 45.46; P = 0.001$) en esta variable. Esto se debe a que *Leucaena* presentó un mayor incremento promedio en Jojutla que en la ERT, pero en *Jatropha* se registró un aumento en Jojutla y un decremento en la ERT (Figura 13a).

El sitio ($F_{(1,312)} = 3.23; P = 0.007$), la especie ($F_{(1,312)} = 12.33; P = 0.001$), y la interacción entre ambos ($F_{(1,312)} = 4.81; P = 0.02$) también tuvieron efectos significativos en el incremento en altura. El incremento promedio fue mayor en Jojutla ($21 \text{ cm} \pm 2.44 \text{ e.e.}$), que en la ERT ($0.87 \text{ cm} \pm 0.66$), y nuevamente *Leucaena* presentó un incremento promedio mayor ($16.7 \text{ cm} \pm 1.5 \text{ e.e.}$) que *Jatropha* ($-4.14 \text{ cm} \pm 0.8$). El incremento registrado en *Leucaena* fue significativamente mayor en Jojutla que en la ERT (Figura 13b).

Al analizar los incrementos en un periodo anual, se observa que en *Jatropha* se presentó una reducción promedio de la altura de $\sim 30 \text{ cm}$ en la ERT, y en el área basal se registró un ligero decremento en esta variable (0.8 cm^2) después de un año. En Jojutla no hubo plantas vivas de esta especie al final del estudio para evaluar las variables de tamaño. Un análisis no paramétrico mostró diferencias significativas en la altura final entre sitios en *Leucaena* ($W=271 P=0.03$), ya que esta variable aumentó en promedio $\sim 22 \text{ cm} (\pm 6.1 \text{ e.e.})$ en Jojutla, mientras que en la ERT se incrementó $5 \text{ cm} (\pm 0.69)$. En ambos sitios se registraron incrementos en el área basal, sin diferencias significativas en el valor final entre sitios ($U = 381 P = 0.54$). El incremento promedio de esta variable fue de $0.63 \text{ cm}^2 (\pm 0.1 \text{ e.e.})$ en la ERT, y $0.56 \text{ cm}^2 (\pm 0.13)$ en Jojutla.

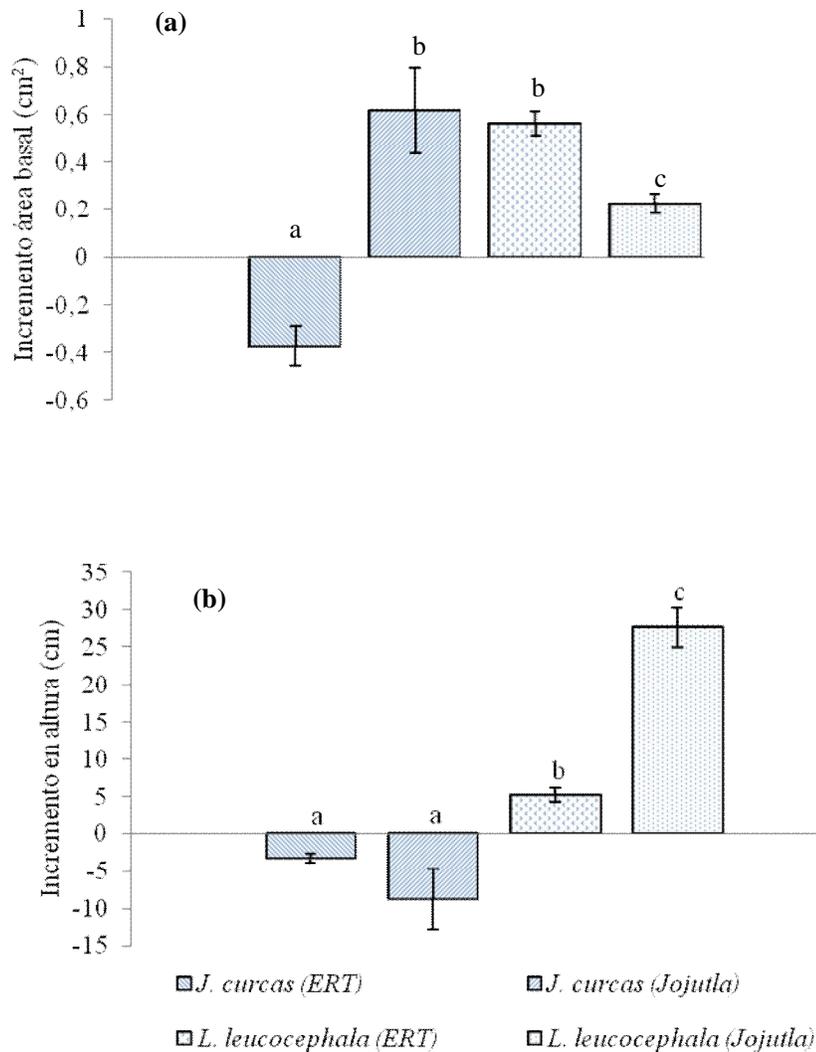


Figura 13. Incrementos en las variables de tamaño (valor final – valor inicial/valor inicial): área basal (a) y altura (b) durante la primera temporada de crecimiento (julio-octubre 2010). Letras distintas denotan diferencias significativas entre las medias ($P < 0.05$), con la prueba de Tukey.

Estrato herbáceo

El análisis de regresión lineal entre la altura de las plantas de *Leucaena* y la altura del estrato herbáceo (en el que dominan los pastos) mostró una relación positiva y significativa entre la altura promedio de los pastos y la altura de *Leucaena* ($R^2 = 0.63$ $F_{(1,14)} = 9.31$ $P = 0.04$; Figura 14a). Se observó también una tendencia a que el incremento en área basal aumentara con la altura del estrato herbáceo (Figura 14b), aunque la correlación no fue significativa ($R^2 = 0.35$ $F_{(1,14)} = 2.01$ $P = 0.17$). La cobertura del estrato herbáceo no se relacionó con el incremento en la altura ($R^2 = 0.18$

$F_{(1,14)} = 0.51$ $P = 0.48$) ni con el incremento en el área basal ($R^2 = 0.02$ $F_{(1,14)} = 1.1$ $P = 0.31$) de esta especie. En estos análisis se incluyeron los datos de los dos sitios de estudio (N=16).

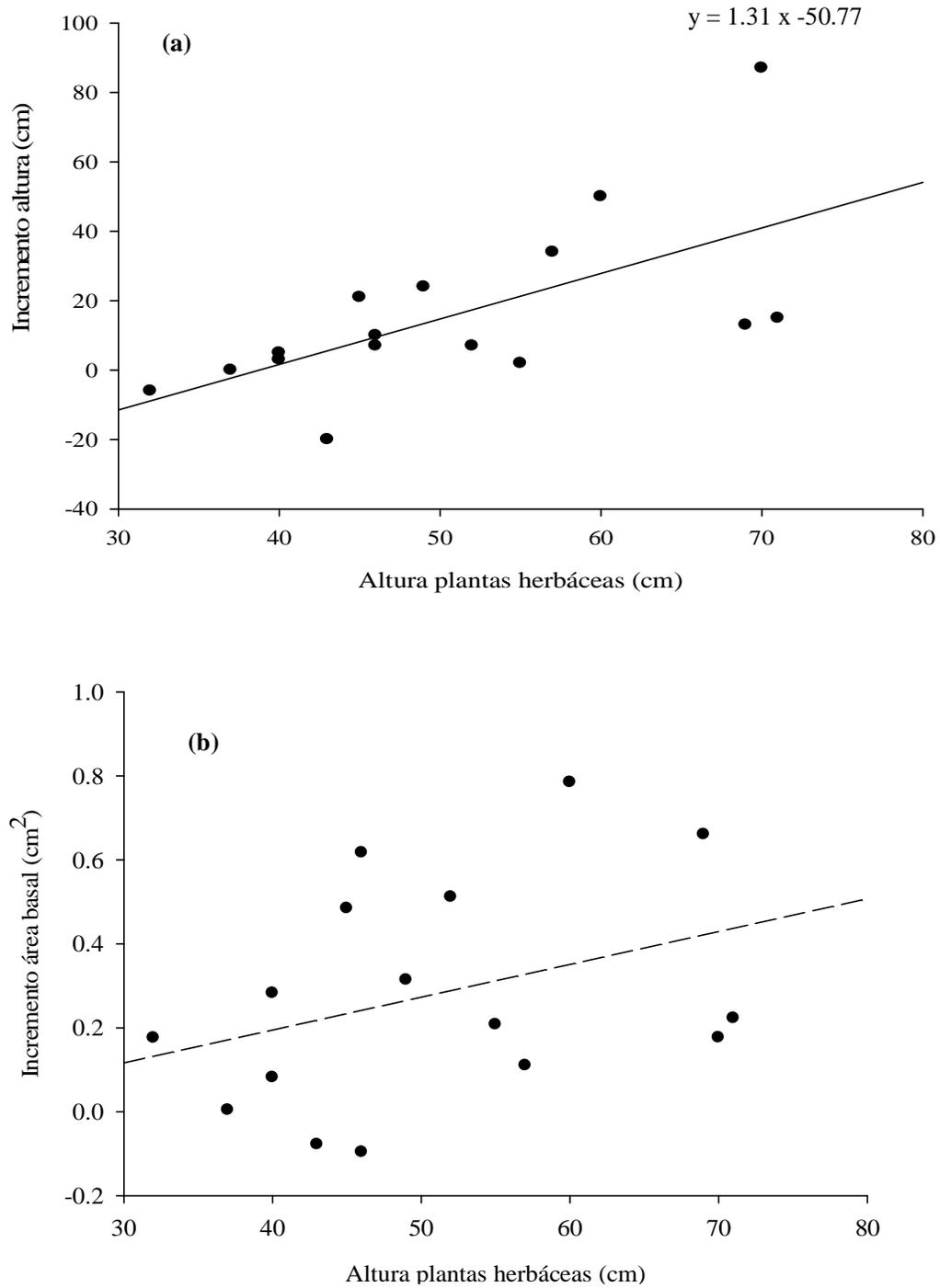


Figura 14. Regresión lineal entre la altura del sustrato herbáceo y: (a) la altura, (b) la cobertura de *Leucaena*.

No se presentaron correlaciones significativas entre la altura y la cobertura del estrato herbáceo y el tamaño final de *Jatropha* [altura de las hierbas vs. altura de *Jatropha* ($R^2 = 0.13$ $F_{(1,10)} = 0.17$ $P = 0.68$), altura vs. área basal ($R^2 = 0.26$ $F_{(1,10)} = 0.74$ $P = 0.4$); cobertura sustrato herbáceo vs. altura ($R^2 = 0.03$ $F_{(1,10)} = 0.013$ $P = 0.9$) y cobertura vs. área basal ($R^2 = 0.19$ $F_{(1,10)} = 0.39$ $P = 0.54$)]. Al igual que en el caso anterior en los análisis se incluyeron los datos de los dos sitios de estudio, pero el número final de plantas vivas de *Jatropha* fue menor ($N=12$).

Discusión

Durante el desarrollo de este estudio se presentaron algunos disturbios que no estaban considerados en el diseño experimental original, en especial la presencia de un incendio superficial en los terrenos de la ERT, que limitaron sus alcances. Sin embargo, a pesar de lo anterior pudieron observarse en vivo los factores que comúnmente actúan como barreras para el establecimiento de plantas leñosas bajo las condiciones prevalecientes en el campo en México, y pudieron extraerse conclusiones útiles respecto al uso de plantaciones de *Jatropha* para la restauración de las llamadas tierras marginales, que con frecuencia son las que pueden ser restauradas.

Supervivencia

La baja supervivencia de ambas especies contrasta con los resultados de otros estudios, ya que se han registrado supervivencias superiores al 80% en plantaciones de *Jatropha* en Centroamérica (Zahawi, 2005) y África (Jimu *et al.*, 2009) establecidas en pastizales. También se han registrado supervivencias mayores a la observada en este estudio en otras plantaciones de *Leucaena* en el estado de Morelos; en la ERT se han reportado supervivencias de 86% y 61% en diferentes periodos anuales (Ayala-García, 2008; Mendoza-Segovia, 2012).

Entre las limitantes para el establecimiento de plantaciones de restauración en pastizales abandonados destacan la sequía estacional (Aide y Cavelier, 1994), la compactación del suelo (Nepstad *et al.*, 1996; Wolfe y Van Bloem, 2012), la herbivoría (Cabin *et al.*, 2000; Nepstad *et al.*, 1996), y los incendios (Gunaratne *et al.*, 2010). La herbivoría por mamíferos pequeños ha sido ampliamente documentada como una limitante para el establecimiento de árboles, tanto en ecosistemas templados como

tropicales húmedos (Aldous y Aldous, 1944; Asquith, *et al.* 1997; Nepstad *et al.*, 1996; Bonfil *et al.* 2000; Seewney *et al.*, 2002; Terborgh y Wright, 1994). En los bosques tropicales estacionalmente secos ha sido considerada un obstáculo importante para el establecimiento de algunas plantaciones de restauración ecológica en pastizales abandonados. Holl y Quiroz-Nietzen (1999) reportaron que entre 30 y 50% de las plantas de cuatro especies arbóreas fueron afectadas por el consumo de conejos tres meses después del trasplante en pastizales abandonados en Costa Rica; concluyen que ésta fue la principal limitante para su establecimiento, un patrón similar al encontrado en el presente estudio. Queda por establecer si al aumentar la diversidad de especies en las plantaciones de restauración disminuye el impacto de los herbívoros, como ha sido reportado en otros ecosistemas tropicales (Massad, 2012).

El impacto de los lagomorfos como depredadores de plantas puede variar a lo largo del tiempo, con las fluctuaciones en su densidad poblacional. En las islas Canarias las poblaciones de conejos presentan tamaños mayores al final de la primavera y principio del verano (Lorenzo *et al.* 2008). En esta misma temporada se registraron altos niveles de herbivoría en el presente estudio, por lo que el comportamiento de las poblaciones de lagomorfos podría ser similar. Además de las fluctuaciones estacionales, es muy probable que el impacto de los lagomorfos varíe en diferentes años y en diferentes sitios. Sin embargo, en este caso cabe destacar que mostraron una clara preferencia por *Jatropha* en los dos sitios de estudio, a pesar de la gran distancia geográfica entre ellos, y a las diferencias en las condiciones del medio tanto abiótico como biótico: la mortalidad por depredación de plántulas fue consistentemente mayor en esta especie que en *Leucaena*. Conforme se realicen más estudios se podrá establecer qué tan variable es este fenómeno entre años. Es necesario hacer notar, sin embargo, que incluso en la ERT el porcentaje de muertes debido a la depredación de plantas de *Leucaena* fue más alto en este estudio (18%) que en otros previos, en los que no constituyó un factor de mortalidad importante. Esto podría relacionarse con diferencias a nivel micro (i.e., la ubicación específica de las parcelas) o con fluctuaciones interanuales en la abundancia de lagomorfos.

Si bien la depredación por mamíferos herbívoros fue la principal causa de muerte de *Jatropha*, no tuvo el mismo impacto en los dos sitios de estudio, ya que en Jojutla fue mayor que en la ERT (Cuadro 1). Estas diferencias muy probablemente están

relacionadas con la matriz del paisaje de cada localidad, ya que en la ERT las parcelas experimentales se encuentran rodeadas de terrenos destinados a la ganadería, y el uso del fuego para favorecer la renovación del pasto es común (un año antes ocurrió otro incendio; Díaz-Martín 2010), mientras que en Jojutla la presencia de ganado es mucho menor, no hay evidencia de incendios recientes y en las inmediaciones hay parcelas agrícolas abandonadas y parches remanentes de vegetación arbórea y arbustiva. Muy probablemente este es el hábitat utilizado por los mamíferos pequeños (Lorenzo *et al.*, 2008), que fueron los responsables de los altos niveles de depredación registrados. Los incendios frecuentes podrían limitar a las poblaciones de lagomorfos y otros mamíferos pequeños en la ERT (Meslow y Keith, 1968), ya que las quemas prescritas para favorecer el rebrote de pasto tienen efectos negativos en el tamaño poblacional de lagomorfos (como el conejo del Istmo de Tehuantepec, *Lepus flavigularis*; Lorenzo *et al.*, 2008). Sin embargo, aun en estas circunstancias constituyeron un factor limitante importante para el establecimiento de ambas especies.

Los resultados obtenidos nos permiten concluir que el uso de *Jatropha* para la restauración ecológica se podría ver fuertemente limitado por el consumo de plantas por lagomorfos. Esto no es un fenómeno local, ya que limitó el establecimiento de las plantaciones en los dos sitios de estudio. Aunque después de los primeros eventos de consumo de plantas en la ERT se colocaron mallas de alambre alrededor de cada planta de *Jatropha*, no resultaron efectivas para excluir a los conejos, por lo que deben considerarse otras opciones al intentar establecer plantaciones de esta especie. Una posibilidad sería usar malla fina para excluir a lagomorfos y mamíferos pequeños en las parcelas y monitorear a las poblaciones de conejos y su relación con las variables climáticas para estimar la presión de herbivoría (Holl y Quiroz-Nietzen, 1999). Sin embargo, esto incrementaría los costos de las plantaciones, por lo que es necesario evaluar cuidadosamente en cada caso si es una opción viable.

El control de estos herbívoros es esencial si se desea establecer plantaciones de *Jatropha*, no con fines de restauración, sino también con fines productivos. Este aspecto debe ser considerado con la debida atención, ya que se ha dado un gran impulso a las plantaciones de *Jatropha* para la elaboración de biodiesel en estados como Veracruz, Chiapas, Puebla y San Luis Potosí; y se han reportado densidades de ~1660 individuos ha⁻¹ en extensiones mayores a 3000 ha (Martínez-Herrera *et al.*, 2010). Debe

considerarse además la posibilidad de que el comportamiento de los mamíferos varíe de acuerdo con el grado de toxicidad de las distintas poblaciones de *Jatropha*. Algunas procedencias no son tóxicas (como la empleada en el presente estudio) y se ha reportado que el ganado consume sus hojas, tallo y flores durante temporada seca (Martínez-Herrera, 2010); además, en los estados de Veracruz, Puebla y Morelos las semillas de *Jatropha* son consumidas por algunos grupos humanos. Es posible que en estas procedencias se presenten niveles más altos de depredación por herbívoros que en las procedencias tóxicas, que tienen dipertenos en raíz, saponinas y taninos en el tallo, flavonoides en las hojas, esteroides de forbol y curcuma en las semillas (Abdulla *et al.*, 2011; Adolf *et al.*, 1984; Gübitz *et al.*, 1999). Por ello, es necesario realizar ensayos con diferentes procedencias, que difieran en su palatabilidad, antes de realizar plantaciones masivas. Debido a que México es el centro de origen y diversificación de la especie (Heller *et al.*, 1996; Makkar *et al.*, 1998), hay un gran potencial para realizar estudios comparativos del comportamiento en campo de distintas procedencias.

Capacidad de rebrote

En las especies leñosas del BTS la regeneración por rebrote después de la pérdida del vástago es común, sin embargo la capacidad de rebrotar varía según la especie y el tipo, frecuencia y magnitud del disturbio (Ewel, 1980; Kennard, 2002; Burgos y Mass, 2004; Vieira y Scariot, 2006; Sampaio *et al.*, 2007; Calderon-Aguilera *et al.*, 2012). Por ejemplo, se ha reportado que la frecuencia de rebrote disminuye en sitios con un uso intensivo del suelo (ganadería y cultivo con uso de maquinaria pesada), con incendios frecuentes y cuando los árboles han sufrido repetidos cortes (Viera y Scariot, 2006). El uso del fuego y el consumo por mamíferos tienen efectos sinérgicos, ya que en conjunto afectan más la capacidad de rebrote de las especies que cuando se presentan de forma aislada (Cantarello *et al.*, 2011).

El incendio en la ERT, que afectó a una de las parcelas experimentales, y la depredación de plantas que se presentó en ambos sitios, permitieron evaluar la capacidad de rebrote de ambas especies en respuesta a los dos tipos de disturbio. *L. leucephala* rebrotó más que *Jatropha* cuando el tallo fue consumido por los conejos (18 y 2% respectivamente), mientras que *Jatropha* rebrotó más que la primera en respuesta al fuego (12 y 0% respectivamente), aunque su capacidad de rebrotar fue limitada. Esta respuesta de *Jatropha* probablemente está asociada al daño sufrido en el

tallo, que en algunas plantas pudo permanecer vivo después del incendio, lo que les permitió rebrotar en la siguiente temporada de lluvias (Figura 16), mientras cuando el tallo fue removido desde la base por los herbívoros (dejando un tocón no mayor a dos centímetros de altura) su capacidad de rebrotar se vio muy limitada. *Jatropha* asigna alrededor del doble de biomasa al tallo que a la raíz, y su tallo es suculento, lo que le permite almacenar agua (Atchen *et al.*, 2010; Borchert, 1994; Maes *et al.*, 2009), por lo que se considera una especie caducifolia con madera blanda (0.26 g/cm^3). Su sistema radicular es superficial, ya que la mayor densidad de raíces se encuentra en los primeros 30 cm del suelo (Krishnamurthy *et al.*, 2012). Por ello, la pérdida o daño severo del tallo es una limitante importante para su supervivencia y su capacidad de rebrote, aunque los árboles ya establecidos toleran bien la poda de las ramas e incluso del tallo (Atchen *et al.*, 2008).



Figura 16.- Plantas de *Jatropha* después un evento de herbivoría (izquierda) y fuego (derecha) en la ERT.

Leucaena, por otro lado, tiene una madera bastante más dura que la de *Jatropha* (0.87 g/cm^3 ; Barajas-Morales, 1987), que almacena poca agua, y tiene un sistema radicular profundo, que le permite acceder a recursos que otras especies no pueden alcanzar (Brewbaker *et al.* 1972; Borchert (1994). Estas características nos permiten suponer que el daño en la parte aérea no afectaría mucho su capacidad de rebrote, pero éste sólo se presentó en respuesta a la herbivoría cuando no hubo incendio, lo que nos lleva a suponer que durante el incendio las llamas pudieron dañar la raíz o las yemas basales, limitando su capacidad de rebrotar (Gutteridge y Shelton, 1994) y con ello su

supervivencia posterior. Las diferencias observadas en la capacidad de rebrote de ambas especies parecen estar asociadas con sus diferencias en la densidad del tallo y la asignación a raíz y vástago, conjuntamente con el tipo de disturbio, su magnitud y el momento en que ocurrió.

Crecimiento

En el presente estudio se deseaba evaluar la aseveración, hecha con frecuencia por dependencias como la CONAFOR, de que *Jatropha* es una especie de crecimiento rápido capaz de establecerse en sitios marginales –en los que normalmente se presenta un alta radiación solar, estrés hídrico, suelos compactados, etc.–, lo que nos permitiría valorar la conveniencia de usarla en la restauración ecológica de sitios degradados. Sin embargo su crecimiento en estas condiciones no se pudo evaluar adecuadamente por los daños sufridos por las plantas. En la ERT *Jatropha* presentó decrementos en altura y área basal después de un año, que se explican porque el incendio dañó el ápice de las plantas, y los herbívoros royeron la base del tallo de algunos individuos, sin llegar a derribarlos por completo.

Durante la primera temporada de crecimiento la única variable que registró un incremento en *Jatropha* fue el área basal, y sólo en Jojutla. En este sitio fue más común que las plantas fueran eliminadas desde la base del tallo por los conejos, y las pocas plantas que permanecieron vivas en los sucesivos censos se encontraban intactas al momento de su medición, lo que permitió detectar el crecimiento. Por el contrario, en la ERT durante la temporada de lluvias los conejos royeron parcialmente el tallo de muchas plantas, lo que produjo decrementos en el área basal entre sucesivos censos; posteriormente todas las plantas fueron consumidas. De esta forma, no fue posible evaluar el impacto que pudieron tener las diferentes condiciones abióticas de los sitios en el crecimiento, a pesar de que se realizaron mediciones de temperatura y humedad del aire, que aunque parciales coincidieron en la apreciación de que el clima es relativamente más fresco en la ERT que en Jojutla, en donde es más cálido y seco.

Leucaena presentó incrementos en la altura y el diámetro basal. El mayor incremento en altura se registró en Jojutla, tanto en la primera temporada de crecimiento como un año después. En esta localidad el incremento anual promedio fue de 22 cm, y en la ERT de 5 cm. El bajo incremento en altura reportado para la ERT es similar a lo

reportado en otros estudios realizados en dicha estación (5.6 cm, Mendoza-Segovia, 2012), lo que podría estar asociado a las difíciles condiciones del suelo. Ayala-García (2008), reportó valores bajos de fósforo y potasio en los suelos de la estación, elementos importantes para el crecimiento de las leguminosas (Grubb, 1977), y se ha reportado que la adición de estos elementos produce incrementos en las tasas de crecimiento de juveniles de esta especie (Dutt y Pathania, 1986; Prasad y Rawat, 1992; Wrigth, 2011).

Las diferencias en el crecimiento de ambas especies, apuntan a que las condiciones del sitio son mejores en Jojutla que en la ERT, y que esto se debe sobre todo a las diferencias en las condiciones del suelo. Aunque éstas no se evaluaron sistemáticamente como parte del presente estudio, debe recordarse que en Jojutla se practicó la agricultura hasta hace algunos años, mientras que los terrenos de la ERT no se consideraron aptos para la agricultura, por lo que se destinaron al pastoreo de ganado vacuno y equino desde hace varios siglos (Alavéz-Vargas, 2010). La compactación del suelo es muy alta en la ERT (380-430 libras por pulgada cuadrada, los valores máximos que pueden ser registrados con el instrumento de medición; García-Flórez, 2008), y esto, conjugado con su alto contenido de arcillas, limita el desarrollo radicular y afecta el crecimiento de las plantas (Ayala-García, 2008).

Correlación entre crecimiento y la altura de las hierbas

La alta proporción de pastizales abandonados en los Neotrópicos y los esfuerzos realizados para restaurarlos han llevado a discutir si el sustrato herbáceo limita o no el establecimiento de las especies arbóreas (Meli y Dirzo, 2012). Por un lado, se ha mostrado que los pastos representan una barrera para la germinación y la emergencia de plántulas de diversas especies leñosas, debido a que representan una barrera física que dificulta que las raíces de las plántulas alcancen el suelo y a la competencia por luz (Holl, 1999, 2002; Litton *et al.*, 2006). Sin embargo, esta limitante se presenta sobre todo durante las primeras fases del ciclo de vida. Otros estudios han reportado que la presencia del sustrato herbáceo favorece el establecimiento de árboles juveniles (Suman *et al.*, 1996; Meli y Dirzo, 2012), debido a que amortigua las duras condiciones de las zonas que carecen de un dosel arbóreo o arbustivo, reduciendo la temperatura del suelo, aumentando la humedad en el ambiente y contribuyendo a la formación de mantillo, entre otros efectos.

En este estudio se encontraron relaciones positivas y significativas entre la altura del sustrato herbáceo y el incremento en altura de las plantas de *Leucaena* (Figura 15). Este efecto positivo se observó también en otro estudio realizado en la ERT, en donde las tasas de crecimiento de *Leucaena* fueron ligeramente mayores en el presencia de pastos que cuando se removieron (Mendoza-Segovia, 2012). Otros estudios han reportado relaciones positivas entre la presencia de pastos y *Leucaena*. Por ejemplo, Suman y colaboradores (1996), encontraron una mayor absorción de fósforo del suelo por *Leucaena* en plantaciones mixtas de esta especie y cuatro especies de pasto en comparación con plantaciones sin pastos. El fósforo favorece el establecimiento y crecimiento de especies fijadoras de nitrógeno (como *Leucaena*, Dutt y Pathania, 1986; Prasad y Rawat, 1992). Este conjunto de evidencias indica que el establecimiento de esta especie no se ve limitado por la competencia con los pastos, y que resulta más importante el efecto nocivo del fuego, que es un disturbio común en dichos sistemas.

El crecimiento de *Jatropha* no fue afectado por el sustrato herbáceo, pese a que las raíces de esta especie se desarrollan principalmente en los primeros 15-30 cm del suelo (Krishnamurthy *et al.*, 2012), lo que podría favorecer la competencia entre ambos. En apoyo a nuestros resultados, otros estudios muestran que el crecimiento de especies arbóreas de bosques tropicales no se ve afectado significativamente por los pastos (Suman *et al.*, 1996; Meli y Dirzo, 2012).

A pesar de que se ha sugerido que *Jatropha* es una especie adecuada para la restauración de sitios perturbados, debido a que mejora las características del suelo, crece en condiciones de baja disponibilidad de agua y es poco atractiva para los herbívoros (Atchen *et al.*, 2010), los resultados del presente trabajo mostraron que dichas afirmaciones no se sostienen, en especial porque *Jatropha* resultó ser una planta muy atractiva para los mamíferos pequeños, y la depredación de las plantas limita seriamente su establecimiento. Es de resaltarse que, a pesar de la gran distancia geográfica entre los dos los sitios de estudio, de su diferente historia de uso, y de la diferente calidad de la matriz en que se encontraban las parcelas experimentales, en ambos la principal barrera para el establecimiento de *Jatropha* fue el consumo de las plantas por mamíferos pequeños, que fue muy superior al registrado en *Leucaena*.

Los resultados obtenidos indican que esta especie no representa la mejor opción para la restauración ecológica de los BTS en Morelos, y que si se desea incrementar el

éxito en su establecimiento debe considerarse con especial cuidado su protección contra pequeños mamíferos herbívoros, lo que incrementaría los costos y la dificultad de la restauración ecológica.

Conclusiones

- Las plantaciones de *Jatropha* presentaron un pobre establecimiento, por lo que la utilización de esta especie en programas de restauración ecológica de los BTS de Morelos es poco recomendable.
- La supervivencia de *Jatropha* fue menor que la de *Leucaena*, independientemente del sitio de estudio.
- La depredación por pequeños mamíferos herbívoros fue la principal limitante para el establecimiento de *Jatropha*, y la supervivencia de ambas especies resultó afectada por la presencia de un incendio superficial.
- *Leucaena* presentó mayores incrementos en altura y área basal que *Jatropha* en los dos sitios de estudio al cabo de un año.
- El sustrato herbáceo no fue una limitante para el establecimiento de las dos especies –e incluso se registró una relación positiva entre la altura del sustrato herbáceo y la altura de *Leucaena*– de forma que no es recomendable eliminar el pasto al establecer plantaciones de restauración con estas especies.

Bibliografía

- Abdulla, R., Chan, E. S. y P., Ravindra. 2011. Biodiesel production from *Jatropha curcas*: a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology* 31(1): 53-64.
- Adolf, W., Opferkuch, H. J. y E., Hecker. 1984. Irritant phorbol derivatives from four *Jatropha* species. *Phytochemistry* 23(1): 129-132.
- Aide, T. M., y J., Cavelier. 1994. Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restoration Ecology* 2: 219-229.
- Alavéz-Vargas, M. 2010. El paisaje histórico como referencia para la restauración ecológica de Cuentepec una comunidad nahua de Morelos. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aldous, C. M. y S. E., Aldous. 1944. The snowshoe – A serious enemy of forest plantations. *Journal of Forestry* 42(2): 88-94.
- Ashton, M.S., Gunatilleke, C.V.S., Singhakumara, B.M.P. y I.A.U.N. Gunatilleke. Restoration pathways for rain forests in southwest Sri Lanka: a review of concepts and models. *Forest Ecology and Management* 154: 1-23.
- Asquith, N. M., Wright, S. J. y M. J. Clauss. Does mammal community composition control recruitment in Neotropical forests? Evidence from Panama. *Ecology* 78(3): 941-943.
- Atchen, W. M. J., Verchot, L., Franken Y. J., Mathijs, E., Singh, V. P., Aerts, R., y B. Muys. 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass & Bioenergy* 32: 1063-1084.
- Atchen, W. M. J., Maes, W. H., Aerts, R., Verchot, L., Trabucco, A., Mathijs, E., Singh, V. P. y B. Muys. 2010. *Jatropha*: from global hype to local opportunity. *Journal of Arid Environments* 74: 164-165.

- Ayala-García, J. F. 2008. Desempeño de plantas de tres especies arbóreas en tres unidades de ladera de la estación de restauración “Barrancas del río Tembembe”, Morelos, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Barajas-Morales, J. 1987. Wood specific gravity in species from two tropical forests in Mexico. *IAWA Bulletin* 8(2): 143-148.
- Barradas, V. L. 2000. Modificación del microclima con énfasis en la restauración ecológica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 83-88.
- Barrales-Alcalá, B. A. 2009. Establecimiento de *Bursera copallifera* en tres sitios con diferente grado de perturbación. Tesis de Licenciatura (Biología), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bonfil, C., Rodríguez de la Vega H. y V. Peña. 2000. Evaluación del efecto de las plantas nodriza en el establecimiento de una plantación de *Quercus* en un matorral xerófilo. *Ciencia Forestal en México* 25 (88): 59-74.
- Bonfil, C., Cortés P., Espelta J. M. and J. Retana. 2004. The role of disturbance in the coexistence of the evergreen *Quercus ilex* and the deciduous *Quercus cerrioides*. *Journal of Vegetation Science* 15: 423-430.
- Bonfil, C. y I. Trejo. 2011. Plant propagation and the ecological restoration of Mexican tropical deciduous forest. *Ecological Restoration* 28(3): 369-373.
- Borchert, R.1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology* 75(5): 1437-1449.
- Brewbaker, J.L., Pluckett, D. y V. Gonzalez. 1972. Varietal variation and yield trials of *Leucaena leucocephala* (Koa haole) in Hawaii. Hawaii Agricultural Experiment Station Bulletin 166: 29.
- Burgos, A. y J. M. Maass.2004. Vegetation change associated with land-use in tropical dry forest areas of western Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 475-481.

- Cabin, R. J., Weller, S. G., Lorence, D. H., Flynn, T. W., Sakai, A. K., Sandquist, D. y L. J. Hadway. 2000. Effects of long-term ungulate exclusion and recent alien species control on the preservation and restoration of a Hawaiian tropical dry forest. *Conservation Biology* 14(2): 439-453.
- Calderón-Aguilera L. E., Rivera-Monroy V. H., Potter-Bolland L., Martínez-Yrizar A., Ladah L. B., Martínez-Ramos M., Alcocer J., Santiago-Pérez A.L., Hernández-Arana H. A., Reyes-Gómez V. M., Pérez-Salicrup D. R., Díaz-Núñez V., Sosa-Ramírez J., Herrera-Silveira J. y A. Búrquez. 2012. An assessment of natural and human disturbance effects on Mexican ecosystems: Current trends and research gaps. *Biodiversity and Conservation* 21(3): 589-617.
- Camacho-Rico F. 2004. Estructura y composición de la vegetación del fondo de la barranca del río Tembembe, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Camacho-Rico F., Trejo I. y C. Bonfil. 2006. Estructura y composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Morelos, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 78: 17-31.
- Cantarello E., Newton A. C., Ross A. H., Tejedor-Garavito N., Williams-Linera G., López-Barrera F., Manson R. H. y D. J. Golicher. 2011. Simulating the potential for ecological restoration of dryland forests in Mexico under different disturbance regimes. *Ecological Modeling* 222: 1112-1128.
- Castellanos-Castro C. 2009. Propagación vegetativa, establecimiento y crecimiento inicial de cuatro especies del género *Bursera*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cervantes Gutiérrez, V., López, M., Salas, N. y G. Hernández. 2001. Técnicas para propagar especies nativas de selva baja caducifolia y criterios para establecer áreas de reforestación. UNAM, SEMARNAP, PRONARE. México.
- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional). 1976. Carta edafológica 1: 50,000 Cuernavaca. D.F., México.

- Chaudhary, D.R., Patolia, J. S., Ghosh, A., Chikara, J., Boricha, G. N. y A. Zala. 2007. Changes in soil characteristics and foliage nutrient content in *Jatropha curcas* plantations in relation to stands density in India wasteland. Expert seminar in *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics. Holanda.
- Daey, O.K., Francis, G., Franken, Y. J., Rijssenbeek, W., Riedacker, A., Foidl, N., Jongschaap, R. E. y P. S. Bindraban. 2007. Position paper on *Jatropha curcas*. State of the art, small and large scale project development. FACT Foundation. Holanda.
- Díaz-Martín, R. M. 2010. Evaluación del desempeño de plántulas y estacas de dos especies de *Bursera* en la restauración de sitios perturbados del noroeste de Morelos. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Dutt, A. K. y U., Pathania. 1986. Effect of different spacings on growth and wood production in *Sesbania sesban*. Nitrogen Fixing Tree Research Reports 4: 13.
- Ewel, J. 1980. Tropical succession: Manifold Routes to Maturity. *Biotropica* 12(2): 2-7
- Galindo-Escamilla, A. 2006. Problemática para el establecimiento de seis especies nativas de selva baja caducifolia en la recuperación de un sitio perturbado en las barrancas del río Tembembe, Morelos. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Flores, J. 2008. Diagnóstico ambiental de las unidades naturales de la estación de restauración ecológica “Barrancas del Río Tembembe” con fines de restauración. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gómez-Cirilo, C. Y. 2011. Establecimiento de plántulas de *Quercus glaucooides* en un pastizal degradado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Griscom, H. P. y M. S., Asthon. 2011. Restoration of dry tropical forests in Central America: A review of pattern and process. *Forest Ecology and Management* 261: 1564-1579.
- Grubb, P. J. 1977. The maintenance of species-richness in plant community: The importance of regeneration niche. *Biological Review* 52: 107-145.
- Gunaratne, A. M. T. A., Gunatilleke C. V. S., Gunatilleke, I. A. U. N., Madawala-Weerasinghe, H. M. S. P. y D. F. R. P. Burslem. 2011. Release from root competition promotes tree seedling survival and growth following transplantation in to human-induced grasslands in Sri Lanka. *Forest Ecology and Management* 262: 229-236.
- Gübitz, G. M., Mittelbach, M. y M. Trabi. 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology* 67: 73-82.
- Guerrero-Gonzales, M. A. 1993. Suelos agropecuarios del estado de Morelos, producción y rendimiento. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM, Cuernavaca, Morelos.
- Guizar, E. y A. Sánchez. 1991. Guía para el reconocimiento de los principales árboles del alto Balsas. Universidad Autónoma de Chapingo, Montecillos, Estado de México.
- Guariguata, M. R. y R. Ostertag. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148: 185-206.
- Gutteridge, R. C. y H. M. Shelton. 1994. Forage tree legume in tropical agriculture. CAB International. United Kingdom.
- Guzmán-Barajas, M. G., Campo, J. y V. L. Barradas. 2006. Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonal dry forest. *Plant Soil* 287: 347-357.

- Heller, J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of under-utilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- Holl, K. D. y M. Kappelle. 1999. Tropical forest recovery and restoration. *Trends in Ecology and Evolution* 14(10): 378-379.
- Holl, K. D. y E. Quiroz-Nietzen. 1999. The effect of rabbit herbivory on reforestation of abandoned pastures in southern Costa Rica. *Biological Conservation* 87: 391-395.
- Holl, K. D., 2002. Effect of shrubs on tree seedling establishment in an abandoned tropical pasture. *Journal of Ecology* 90: 179-187.
- Janzen, D.H., 1998. Management of habitat fragments in a tropical dry forest: Growth. *Ann. Missouri Botanical Garden* 75: 105-116.
- Jimu, L., Nyakudya, I. W. y C. A. T. Katsvanga. 2009. Establishment and early field performance of *Jatropha curcas* L. at Bindura University farm, Zimbabwe. *Journal of Sustainable Development in Africa* 10(4): 445-469.
- Jongschaap, R. E., Corré, W. J., Brindraban, P. S. y W. A. Brandenburg. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L. *Plant Research International*. Holanda.
- Kennard, K. D., 2002. Secondary forest succession in a tropical dry forest: patterns of development across a 50-years chronosequence in lowland Bolivia. *Journal of Tropical Ecology* 18: 53-66.
- Khurana, E. y J. S., Singh. 2000. Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. *Environmental Conservation* 28: 39-52.
- Khurana, E. y J. S., Singh. 2001. Ecology of tree seed and seedlings: implications for tropical forest conservation and restoration. *Current Science* 80(6): 748-757.

- Krishnamurthy, L., Zaman-Allah, M., Marimuthu, S., Wani, S. P., y A. V. R. Kesava-Rao. 2012. Root growth in *Jatropha* and its implications for drought adaptation. *Biomass and Bioenergy* 39: 247-252.
- Lamb, D. y D. Gilmour. 2003. Rehabilitation and restoration of degraded forest. IUCN, Gland, Cambridge. UK.
- Lamb, D., Erskine, P. D. y J. A. Parrotta. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science* 310: 1628-1632.
- Lebrija-Trejos, E., Bongers, F., Pérez-García, E. A. y J. A., Meave. 2008. Successional change and resilience of a very dry tropical deciduous forest following shifting agriculture. *Biotropica* 40(4): 422-431.
- Litton, C. M., Sandquist D. R. y S. Cordell. 2006. Effects of non-native grass invasion on aboveground carbon pools and tree population structure in a tropical dry forest of Hawaii. *Forest Ecology and Management* 231: 105-113.
- Lorenzo, C., Rioja T. M. Carrillo, A. y F. A. Cervantes. 2008. Population fluctuations of *Lepus flavigularis* (Lagomorpha: Leporidae) at Tehuantepec isthmus, Oaxaca, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 24(01): 207-220.
- Lugo, A. E. 1992. Comparison of tropical tree plantations with secondary forest of similar age. *Ecological Monographs* 62: 1-41.
- Maes, W., Gent, U., A. Trabucco, Wouter MJ Achten and Bart Muys. 2009. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. *Biomass & Bioenergy* 33(10): 1481-1485.
- Makkar, H. P. S, Becker, K. y B. Schmook. 1998 Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 52: 31-6.
- Martínez-Gordillo, M. Jiménez-Ramírez, J., R. Cruz-Durán, E. Juárez-Arriaga, R. García, A. Cervantes and R. Mejía-Hernández. 2002. Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 73: 155-281.

- Martínez, H. J., Martínez, A. A.L., Makkar, H, Francis G y K, Becker. 2010. Agroclimatic conditions, chemicals and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from México. *European Journal of Scientific Research* 39(3): 396-407.
- Meli, P. y R., Dirzo. 2012. Effects of grasses on sapling establishment and the role of transplanted saplings on the light environment of pastures: implications for tropical forest restoration. *Applied Vegetation Science* 15: 1-10.
- Mendoza-Segovia, Y. A. 2012. Efecto de la remoción del pasto en el establecimiento inicial de tres especies arbóreas en una selva baja degradada. Tesis de Licenciatura (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Meslow, C. E. y L. B. Keith. 1968. Demographic parameters of a snowshoe hare population. *Journal of Wildlife Management* 32(4): 812-834.
- Murphy, P. G y A. E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 67-88.
- Nepstad, D. C., Uhl, C., Pereira, C. A., Cardoso da Silva, J. M., 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of Eastern Amazonia. *Oikos* 76(1): 25-39.
- Núñez Cruz, M. A. 2012. Evaluación de dos técnicas de restauración para el establecimiento de tres especies arbóreas del bosque tropical seco de Morelos, México. Tesis de Licenciatura (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Núñez-Colín, C. A. y M. A. Gotya-Jiménez. 2009. Distribution and agroclimatic characterization of potential cultivation regions of physic nut in Mexico. *Pesquisa Agropecuaria* 44(9): 1078-1085.
- Parrotta, J.A. 1992. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. En: *Silvics of Native and Exotic Trees of Puerto Rico and the Caribbean Islands*. SO-ITF-SM-52. E.U. Department of Agriculture, Forest Service, Nueva Orleans, Louisiana, pp. 308–316.

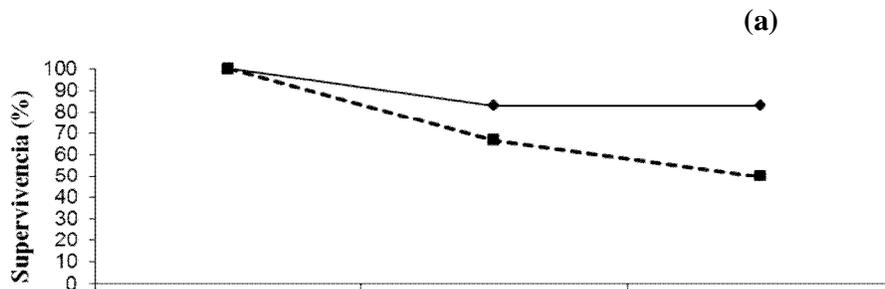
- Prasad, K. G. y V. R. S. Rawat. 1992. Fertilizer use efficiency of different tree species for higher biomass production. *Indian Forester* 118(4): 265-270.
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing. Viena, Austria.
- Sampaio A. B., Holl K. D. y A. Scariot. 2007. Regeneration of seasonal deciduous forest tree species in long-used pastures in central Brazil. *Biotropica* 39(5): 655-659.
- Sanchez-Azofeifa, G. A. y C. Portillo-Quintero. 2011. Extent and drivers of change of neotropical seasonally dry tropical forests. En: Dirzo, R., Mooney, H., Ceballos, G. y H. Young (eds.). *Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation*, pp. 45-57. Island Press, Washington, DC, E.U.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halfrter, G., Gonzáles, R., March, I., Mohar, A., Anta, S. y J. de la Maza. 2009. *Capital natural de México: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Ed. CONABIO. México.
- Seewney, B. W., Czapka, S. J. y T. Yerkes. 2002. Riparian forest restoration: Increasing success by reducing plant competition and herbivory. *Restoration Ecology* 10(2): 392-400.
- Society for Ecological Restoration. 2004. *The SER International primer on ecological restoration*. Tuscon, AZ: Society for Ecological Restoration International.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). Normales climatológicas Jojutla de Juárez, 1971-2000. Disponible en línea:
<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/mor/NORMAL17031.TXT>
- Spaan, W.P., Bodnár, F., Idoe O. y J. de Graaff. 2004. Implementation of contour vegetation barriers under farmer conditions in Burkina Faso and Mali. *Quarterly Journal of International Agriculture* 43: 21-38.

- Stern, M., Quesada, M., Stoner, K.E., 2002. Changes in composition and structure of a tropical dry forest following intermittent cattle grazing. *Revista de Biología Tropical* 50: 1021–1034.
- Strijker, D. 2005. Marginal lands in Europe – causes of decline. *Basic and Applied Ecology* 6: 99-106.
- Suman, J. G., Kumar, M. B., Wahid, P. A. y N. A. Kamalan. 1996. Root competition for phosphorus between the tree and herbaceous components of silvopastoral systems in Kerala, India. *Plant and Soil* 179: 189-196.
- Terborgh, J. y S. J. Wright. 1994. Effects of mammalian herbivores on plant recruitment in two Neotropical forests. *Ecology* 75(6): 1829-1833.
- Tobon Niedfeldt, W. 2005. Evaluación del crecimiento y establecimiento de plántulas de *Conzattia multiflora* para la restauración de las selvas bajas de Morelos. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94:133-142.
- Ulloa, J. A. 2006. Establecimiento y crecimiento inicial de cuatro especies arbóreas potencialmente útiles para la restauración de pastizales degradados de NO de Morelos. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Valero-Padilla, J., Cortina-Villar, H. S. y M. P. Vela Coiffier. 2011. El proyecto de biocombustibles en Chiapas: experiencias de los productores de piñón (*Jatropha curcas*) en el marco de la crisis rural. *Estudios Sociales* 19(38): 121-144.
- Vieira, L. M. D. y A. Scariot. 2006. Principles of natural regeneration of tropical dry forest for restoration. *Restoration Ecology* 14: 11-20.

- Wolfe, B. T. y S. J. Van Bloem. 2012. Subtropical dry forest regeneration in grass-invaded areas of Puerto Rico: Understanding why *Leucaena leucocephala* dominates and native species fail. *Forest Ecology and Management* 267: 253-261.
- Wright, S. J., Yavitt, J. B., Wurzburger, N., Turner, B. L., Tanner, E. V. J., Sayer, E. J., Santiago, L. S., Kaspari, M., Hedin, L. O., Harms, K. E., Garcia, M. N. y M. D. Corre. 2011. Potassium, phosphorus, or nitrogen limit root allocation, tree growth, or litter production in a lowland tropical forest. *Ecology* 92: 1616–1625.
- Zahawi, R. A. 2005. Establishment and growth of living fence species: An overlooked tool for the restoration of degraded areas in the tropics. *Restoration Ecology* 3(1): 92-102.

APÉNDICE I. Acolchado plástico

Uno de los objetivos del presente estudio fue probar el efecto de usar un acolchado plástico (polietileno), en la supervivencia de ambas especies durante la temporada seca. Sin embargo éste se aplicó sólo en la ERT, debido a que el fuerte impacto de los herbívoros en Jojutla desde el inicio del estudio no permitió realizar comparaciones entre especies. En la ERT se colocó el acolchado en las plantas que aún permanecían vivas a principios de la temporada seca, pero en febrero del 2011 un incendio accidental quemó más de la mitad de los acolchados de *Leucaena* y una gran parte de los acolchados de *Jatropha*. Esto limitó mucho el análisis por el pequeño tamaño de muestra; sin embargo, *Jatropha* parece haberse beneficiado del uso del acolchado, mientras que no se observaron diferencias notables en la supervivencia de *Leucaena* (Figura 17). Núñez-Cruz (2012) encontró una supervivencia significativamente mayor en plantas de esta especie con acolchado plástico respecto a las plantas control en la ERT, por lo que para llegar a conclusiones sólidas sería necesario hacer más ensayos con tamaños de muestra mayores que los de este estudio. El uso de acolchados plásticos durante la temporada seca permite conservar la humedad en el suelo y una reducir su temperatura, lo que disminuye el estrés hídrico que enfrentan las plantas, favoreciendo su establecimiento (Guzman-Barajas *et al.*, 2006; Núñez-Cruz, 2012).



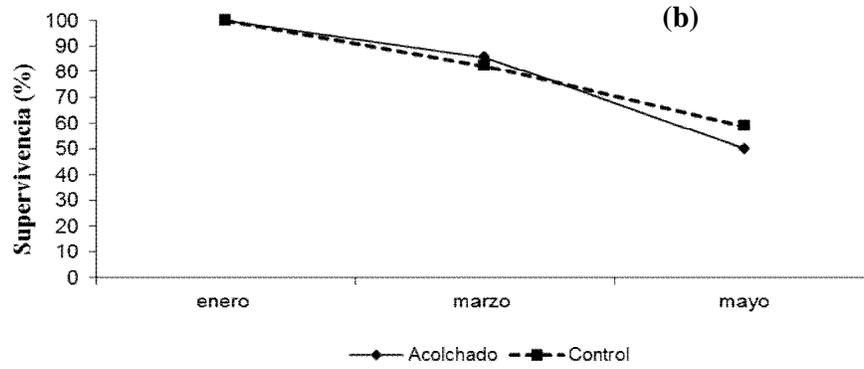


Figura 17. Supervivencia de *Jatropha* (a) y *Leucaena* (b), con acolchado (línea sólida) y sin él (línea punteada), en la ERT.

APÉNDICE II. Descripción del sustrato herbáceo en los dos sitios de estudio.

| Sitio | Parcela | Riqueza (S) | Diversidad (1/D) | Altura promedio herbáceas | Suelo desnudo (%) |
|----------|---------|-------------|------------------|---------------------------|-------------------|
| Tembembe | 1 | 34 | 8.1 | 41 | 2 |
| | 2 | 24 | 6.2 | 44 | 3 |
| Jojutla | 1 | 17 | 4.3 | 57 | 4 |
| | 2 | 16 | 4.7 | 55 | 5 |

APÉNDICE III. Presencia ausencia de especies del sustrato herbáceo en los dos sitios de estudio.

| Especie | Tembembe | | Jojutla | |
|----------------------------------|-----------------|----------|----------------|----------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| <i>Acacia farnesiana</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Aeschynomene americana</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Aeschynomene sp.1.</i> | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Boutelova radicata</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Boutelova sp.1</i> | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Crotalaria pumila</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Crotalaria sagittalis</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Cyperus sp.1</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Cyperus sp.2</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Dalea foliosa</i> | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Desmanthus virgatus</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Desmodium procumbens</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Euphorbia indivisa</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Euphorbia sp.1</i> | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Evolvulus alsinoides</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Florestina apedata</i> | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Ipomea sp.1</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Ipomea sp.2</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Ipomea sp.3</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Leguminosa sp.1</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Macroptilium gibosifolium</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Macroptilium sp.1</i> | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Melampodium gracile</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Mercadonia procumbens</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Muhlenbergia microsperma</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Paspalum notatum</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Paspalum plicatulum</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Paspalum sp.1</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Paspalum sp.2</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Pasto desconocido 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Pasto desconocido 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Pasto desconocido 3 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Pasto desconocido 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Piqueria trinervia</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Porophyllum ruderale</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Rhynchosia minima</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Sanvitalia procumbens</i> | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Scleria reticularis</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Scleria reticularis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Setaria parviflora</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Setaria sp.1</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Simsia lagascaeformis</i> | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Tagetes lucida</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Tagetes micrantha</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Tagetes sp. 2</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Tagetes sp.1</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|-----------------------------|---|---|---|---|
| <i>Tagetes sp.1</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Tagetes sp.3</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Tridax coronopifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Waltheria indica</i> | 1 | 1 | 1 | 0 |
