

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Posgrado en Ciencias Biológicas

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

ESTRATEGIAS DE REFORESTACIÓN EN SELVAS BAJAS CADUCIFOLIAS:

Influencia del uso de acolchados en el establecimiento, sobrevivencia y
crecimiento de plantas de especies nativas.

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

DOCTORA EN CIENCIAS

P R E S E N T A

M. en C. MARÍA GUADALUPE BARAJAS GUZMÁN

Director de Tesis: Dr. Víctor Luis Barradas Miranda

México, D. F.

Abril, 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 28 de septiembre del 2006, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de DOCTORA EN CIENCIAS de la alumna **BARAJAS GUZMÁN MARÍA GUADALUPE** con número de cuenta **81209477** y número de expediente **3931083**, con la tesis titulada: "**Estrategias de reforestación en selvas bajas caducifolias: Influencia del uso de acolchados en el establecimiento, sobrevivencia y crecimiento de plantas de especies nativas**", bajo la dirección del **Dr. Víctor Luis Barradas Miranda**.

Presidente: Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa
Vocal: Dra. Alicia Enriqueta Brechú Franco
Vocal: Dr. Leopoldo Galicia Sarmiento
Vocal: Dr. Arturo Flores Martínez
Secretario: Dr. Víctor Luis Barradas Miranda
Suplente: Dr. Mark E Olson Zúnica
Suplente: Dr. Christine Desiree Siebe Grabach

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., el 6 de marzo del 2007.



Dr. Juan Núñez Farfán
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

¿Has visto como crecen las plantas?

Al lugar en que cae la semilla acude el agua: es el agua

la que germina, sube al sol. Por el tronco, por las ramas.

El agua asciende al aire, como cuando te quedas viendo
el cielo del mediodía y tus ojos empiezan a evaporarse.

Las plantas crecen de un día a otro. Es la tierra la que crece; se

hace blanda, verde, flexible. El terrón enmohecido, la

costra de los viejos árboles, se desprende, regresa. ¿Lo has visto?

Jaime Sabines

“Todas las civilizaciones del mundo se iniciaron
con la tala del primer árbol. La mayoría de ellas
podrían desaparecer con la tala del último”

Anónimo

DEDICATORIA

Querido Padre:

Este trabajo te lo dedico a ti, con la esperanza de poder encontrarnos nuevamente en algún espacio y tiempo en este universo.

Querida Madre:

Gracias por ser la persona más crítica de este planeta conmigo y, espero que en los próximos años comprendas porque opte por un doctorado.

Queridísimos Hermanos:

Gracias por todo el apoyo, todo el cariño y toda la confianza que me brindaron durante el desarrollo de este larguísimo trabajo.

Queridos Amigos:

Mil gracias por su cariño y apoyo, por las palabras de aliento dadas hasta que el artículo fue aceptado.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Víctor Luis Barradas Miranda deseo agradecerle el haberme permitido trabajar con él y, la asesoría que me brindo en este trabajo. Además de la paciencia que en muchas ocasiones tuvo que mostrar para lidiar con mi carácter.

Al Dr. Julio Campo Alves por todo el valioso tiempo que invirtió en asesorarme, para que yo entendiera más a ese subsistema maravilloso que es el suelo y, por supuesto para que el artículo fuera aceptado.

A mi Comité Tutorial: Dra. Alicia Enriqueta Brechú Franco, Dra. Christine Desiree Siebe Grabach y Dr. Víctor Luis Barradas Miranda, gracias por su asesoría, su tiempo, sus consejos y su preocupación. Finalmente, logré terminar este trabajo y son responsables en gran parte de ello.

Al jurado asignado por el Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas: Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa, Dr. Leopoldo Galicia Sarmiento, Dr. Arturo Flores Martínez, Dr. Mark E Olson Zúnica, a todos ustedes mil gracias por la revisión de este documento, ya que mejoro de manera sustancial el contenido y la interpretación de mi trabajo.

A la DGAPA quien aporoto los recursos para la realización de este trabajo a través del proyecto: "Microambiente y ecofisiología de la reforestación con especies nativas en un bosque tropical caducifolio" IN 204599.

Por supuesto al CONACYT quien me brindo su apoyo a través de una beca y, que afortunadamente todavía no me cobra.

A Lorena Hernández, Gustavo Prado, Ricardo León, Daniel Juárez y Enrique Solís muchísimas gracias por toda la ayuda dada, por los momentos compartidos y por su permitirme ser su amiga.

ÍNDICE

Resumen.....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	4
Antecedentes	
Acolchados utilizados	
Literatura citada	
MICROCLIMATE UNDER ORGANIC AND POLYETHYLENE MULCH IN A TROPICAL DRY FOREST.....	22
Abstract	
Introduction	
Materials and methods	
Site description	
Experimental design	
Net radiation, air temperature and humidity	
Soil temperature and humidity	
Stomatal conductance	
Statistical analysis	
Results	
Air microclimate	
Soil microclimate	
Saplings	
Discussion	
Acknowledgements	
References	

**SOIL WATER, NUTRIENT AVAILABILITY AND SAPLING SURVIVAL UNDER
ORGANIC AND POLYETHYLENE MULCH IN A SEASONALLY DRY
TROPICAL FOREST..... 44**

Abstract

Introduction

Materials and methods

Site description

Experimental design

Organic mulch analysis

Soil sampling and analysis

Sapling survival and growth

Statistical analysis

Results

Characteristics of organic mulches

Soils

Saplings

Discussion

Acknowledgements

References

**ESTRATEGIAS DE REFORESTACIÓN EN BOSQUES TROPICALES
CADUCIFOLIOS..... 74**

Introducción

Materiales y métodos

Zona de estudio

Diseño experimental

Supervivencia y crecimiento

Análisis estadístico

Resultados

Supervivencia

Crecimiento

Discusión

Literatura citada

CONSIDERACIONES FINALES..... 94

Literatura citada

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el efecto de los acolchados en la radiación neta, la temperatura del aire y del suelo, el déficit de presión de vapor (DPV), el contenido de agua en el suelo, el pH, el carbono (C), el nitrógeno mineral (NH_4 y NO_3) y total (N), el fósforo lábil y, en la conductividad estomática, la supervivencia y la tasa relativa de crecimiento (TRC) de tres especies arbóreas, *Ipomea wolcottiana* Rose, *Lonchocarpus eriocarinalis* Micheli y *Caesalpinia eriostachys* Benth, en un área degradada de bosque tropical caducifolio (BTC).

El experimento se llevo a cabo en un área de 90×50 m orientada principalmente hacia el sur (pendientes de 5 a 25°). Se colocaron tres bloques al azar, cada bloque contenía 16 parcelas de 5×6 m en las cuales se ubicaron tres tipos de acolchado (polietileno blanco, paja de *Medicago sativa* L. y, hojarasca del bosque tropical caducifolio), y el suelo desnudo como control. Veinte plantas de un año de edad, se transplantaron a cada una de las parcelas (0.66 plantas m^{-2}), haciendo un total de 240 plantas por especie, con 1.6 m de distancia entre ellas.

Se registraron los valores más altos de la radiación neta en las parcelas acolchadas con hojarasca. La temperatura del aire y del suelo, así como el DPV mostraron sus valores más altos en las parcelas de suelo desnudo y, la humedad del suelo fue más alta en las parcelas acolchadas que en el suelo desnudo. El pH del suelo no cambio con el acolchado y, no se encontraron diferencias entre tratamientos en las concentraciones de C, N total, NO_3 y P total.

En cambio la concentración de NH_4 fue alta en el acolchado de alfalfa y, el fósforo lábil en el acolchado con polietileno. *I. wolcottiana* y *C. eriostachys* registraron los valores más altos de conductividad estomática, mientras que *L. eriocarinalis* mostró los más bajos. La supervivencia y la TRC de las plantas registraron sus valores más altos en el acolchado con polietileno y, también se encontraron diferencias entre especies: *I. wolcottiana* > *C. eriostachys* > *L. eriocarinalis*. De manera que este trabajo demuestra, que una buena estrategia de reforestación para las áreas degradadas de los BTC, es la utilización de plantas de rápido crecimiento combinadas con un acolchado de polietileno, ya que su uso repercute de manera favorable en la humedad y la concentración de nutrientes en el suelo.

ABSTRACT

We examine the effect of mulches on the net radiation, air and soil temperature, vapour pressure deficit (VPD), soil gravimetric water content (SGWC), pH, carbon (C), total and mineral (NH_4 and NO_3) nitrogen (N), total and bicarbonate phosphorus (P), and on the stomatal conductance, the survival and relative growth rate of three species, *Ipomea wolcottiana* Rose, *Lonchocarpus eriocarinalis* Micheli and *Caesalpinia eriostachys* Benth, in a degraded seasonally dry tropical forest (SDTF) area. Our study year was unusually dry, with only half of the mean annual rainfall. Sixteen plots (5×6 m) for each of our four treatments, mulches with alfalfa (*Medicago sativa*, L.) alfalfa straw, forest litter (SDTF forest litter), polyethylene and bare soil (control), were used. In each plot, 20 tree saplings were planted of each species.

The net radiation was higher in plots mulched with forest litter than in others treatments, the air and soil temperature, and VPD was higher in bare soil plots than in mulched plots, and SGWC was higher in plots mulched than in bare soil plots. The soil pH did not change with mulching, and there were no differences between treatments in the concentrations of soil organic C, total N, NO₃ and total P. However, soil concentrations of NH₄ were highest in plots with alfalfa straw and of bicarbonate P in plots with polyethylene. *Ipomea wolcottiana* and *C. eriostachys* registered the highest values of stomatal conductance, whilst *L. eriocarinalis* registered the lowest values. Sapling survival was higher in polyethylene mulch plots than in other mulching treatments, in the order *I. wolcottiana* > *C. eriostachys* > *L. eriocarinalis*. Sapling survival under organic mulches, alfalfa straw and forest litter were similar, and lowest in bare soil. The relative growth rate followed the order *L. eriocarinalis* < *C. eriostachys* < *I. wolcottiana*, and the growth rate of all species was greatest under polyethylene mulch. We conclude that a combination of polyethylene mulch with species of high growth rate is best for restoring seasonally dry tropical areas.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Entre los problemas ambientales más importantes que enfrenta la humanidad se encuentran: la contaminación del aire y agua, la alteración y pérdida de los ecosistemas y de las especies que habitan en ellos, así como la pérdida del suelo y de su fertilidad. La historia humana revela que es justamente el hombre, el que al tratar de ajustar el medio en que vive a sus necesidades, ejerce su acción constante sobre la naturaleza y, desafortunadamente, la explotación de los recursos naturales es cada vez más intensiva y de mayor magnitud (Semarnat, 2005).

Dentro de los recursos naturales, los forestales están sometidos a una fuerte presión por las actividades humanas. La práctica de rozar áreas para dedicarlas al cultivo, la apertura de los bosques para la explotación minera, la construcción de obras viales, la búsqueda y extracción de especies maderables, la expansión de las ciudades y la necesidad de energía son las causas fundamentales de la pérdida de este recurso.

Las consecuencias de la presión humana sobre los recursos forestales son: la pérdida de tierras fértiles y alteración del ciclo hidrológico, especies que desaparecen, pérdida de la variabilidad genética, cambios climáticos y aparición de plagas (Cony, 1995).

En la actualidad existe una creciente preocupación por la deforestación de los trópicos y sus consecuencias en la biodiversidad, en los cambios en el ciclo hidrológico y en el régimen climático, así como en la preservación del suelo y el ciclo de nutrientes (Fernández y Tarrío, 1988). Se estima que se talan entre 11 y 20.4×10^6 ha año⁻¹, mientras que sólo se reforestan 1.1×10^6 ha año⁻¹ en todo el mundo (Anónimo, 1991). A esto hay que añadir las deficiencias

que presentan los programas de reforestación, lo que produce que la supervivencia de las plantas introducidas sea baja.

Un ejemplo que ilustra esta situación es lo que ocurre en México, el cual se encuentra dentro de los 12 países con mayor diversidad biológica (Montaño y Monroy, 2000), y presenta una tasa elevada de deforestación, con un rango que va de 348,000 a 776,000 ha año⁻¹ (Conafor, 2005; Velázquez et al., 2002). De éstas, aproximadamente se reforesta un 30% (Semarnat, 2005), y de las plantas que se introducen menos del 35% sobreviven (Masera et al., 1997). Los bajos valores de supervivencia podrían deberse a la introducción de especies exóticas y, a que no hay un seguimiento y cuidado de las plantas después del trasplante. De manera que, la reforestación no ha tenido el éxito deseado para recuperar la cubierta forestal del territorio nacional.

Además de aumentar al área reforestada, es necesario incrementar los porcentajes de supervivencia de las plantas utilizadas durante los planes de reforestación. Dentro de las prácticas que podrían favorecer la supervivencia y el crecimiento de las plantas durante este proceso, se encuentran las coberturas vegetales (muertas o artificiales), también llamadas acolchados, que son materiales (materia orgánica muerta, polietileno o papel, entre otros) que protegen la capa superficial del suelo.

Al proteger la capa superficial del suelo se consigue preservar la estructura frente al impacto de la lluvia, se aminoran los cambios bruscos de temperatura, disminuye la tasa de evaporación y la erosión, se mejora la tasa de infiltración, y se protege y provee de nutrimentos a las raíces de las plantas (Heineman et al., 1997; Paris et al., 1998).

Dada estas ventajas, resulta de máximo interés probar esta técnica en experimentos de reforestación con plantas nativas en zonas degradadas de bosques tropicales.

ANTECEDENTES

Bosque tropical caducifolio.

En México el bosque tropical caducifolio (BTC) se encuentra en la vertiente del Pacífico, desde el sur de Sonora y el suroeste de Chihuahua hasta Chiapas. En la vertiente Atlántica se localiza en los estados de Veracruz, Tamaulipas y San Luís Potosí, así como en la Península de Yucatán y el estado de Campeche (Rzedowski, 1988).

El BTC tiene dos estaciones climáticas bien definidas: lluvias y secas, presentándose la estación húmeda durante el verano. Las plantas están expuestas a temperaturas altas durante el verano y, a inviernos secos. Los árboles son la forma de vida dominante en este tipo de sistema y forman dos estratos; más de dos terceras partes de los árboles en el dosel son caducifolios, mientras que la mayor parte de los que se encuentran en el estrato bajo son perennifolios. Estas selvas tienen pocas lianas y epifitas, y las especies herbáceas (incluyendo los pastos) usualmente no son abundantes (Rzedowski, 1988). La presencia de cactáceas columnares y candelabrifformes se hace más evidente en la época de sequía.

La temperatura promedio anual en este tipo de bosque es mayor a los 17 °C y el intervalo de precipitación va de 300 a 1800 mm (Rzedowski, 1988). El BTC se caracteriza por la pérdida de las hojas de la vegetación durante la estación seca, la cual abarca de cinco a ocho meses. Mientras que el

crecimiento de las hojas en las plantas se da en los meses de junio y julio, la floración dura menos de dos meses en la mayoría de las especies; las semillas (o frutos) se encuentran en el piso de la selva hacia el final de la época seca esperando la llegada de las lluvias para iniciar la germinación (Bullock y Solis, 1990).

La productividad primaria en este ecosistema está limitada por la disponibilidad de agua (Martínez-Yrizar, 1995), de manera que la producción de nueva biomasa alcanza sus valores más altos después del inicio de las lluvias. En tanto que, las tasas máximas de producción de hojarasca se presentan cuando la precipitación disminuye (Martínez-Yrizar y Sarukhán, 1990).

La estacionalidad de las lluvias también tiene un efecto significativo sobre el ciclo de nutrientes en el suelo (Eaton, 2001). Esto se debe a que los microorganismos toleran más los niveles bajos de humedad en el suelo que las plantas. Así, el crecimiento de las poblaciones microbianas durante la estación seca provoca que el proceso de descomposición continúe (Singh et al., 1989) y los nutrientes liberados de la materia orgánica muerta se acumulen en los tejidos microbianos, convirtiéndolos en un sumidero de nutrientes. De manera que cuando llegan las lluvias, los nutrientes son liberados de la masa microbiana y quedan disponibles para el nuevo ciclo de crecimiento de la masa vegetal. Así pues, la duración y severidad de la estación seca tiene un papel crítico en la productividad primaria, y la circulación de nutrientes en los BTC (Campo et al., 2001).

Deforestación en el bosque tropical caducifolio.

México presenta el 72.5 % de su superficie cubierta por comunidades naturales en diferentes grados de conservación, mientras que el resto del

territorio ha sido convertido, principalmente a uso agrícola, ganadero y urbano (Semarnat, 2005). Sin embargo, sólo el 50.8% del territorio nacional conserva vegetación primaria, siendo los bosques tropicales los que han experimentado la perturbación más severa, ya que sólo el 35% presentan vegetación primaria.

Tabla 1. Cambio del uso del suelo en la República Mexicana. Nótese que este proceso no solo ha afectado a bosques templados y tropicales sino que también a los matorrales y a los pastizales (Semarnat, 2005).

Tipo de vegetación	Superficie conservada respecto a la original (%) (datos año 2002)	Pérdida histórica neta (km ²)
Bosques templados	70	129,000
Bosques tropicales	56	250,000
Matorral	77	155,000
Pastizal	55	83,000

En contraparte en el período que va de 1993 al 2002, los pastizales cultivados o inducidos ampliaron su extensión en unas 117000 ha. Si se suman las áreas de agricultura y los pastizales reservados al ganado se tiene una extensión total de 49.7×10^6 ha para el año 2002.

Es evidente que para que aumenten las áreas de agricultura y en menor medida para la ganadería, se debe deforestar y, las diferentes estimaciones de este proceso que se tienen para el país indican que el rango va de 348,000 ha anuales para el periodo 1990-2000 (Conafor, 2005) a la cifra más alta que es 776,000 ha por año (1.14% anual) durante el periodo 1993-2000 (Velázquez et al., 2002). Con estas estimaciones se calcula la pérdida en el país de entre 3.5 y 5.5×10^6 ha de masa vegetal.

En México, el Bosque Tropical Caducifolio (BTC) cubre aproximadamente el 8% de la superficie del país (Trejo y Dirzo, 2000), y está

considerado como un ecosistema amenazado, ya que está sujeto constantemente a perturbaciones severas (Murphy y Lugo, 1986).

Las actividades agrícolas y el incremento de la población han producido una presión considerable sobre sus recursos, causando no solo la reducción de su cobertura (Figura 1), sino también el deterioro de los bosques remanentes (Trejo y Dirzo, 2000), se ha estimado que 30 % de los BTC de México se han alterado y convertido en áreas para la agricultura y la ganadería (Flores y Geréz, 1994).



Figura 1. Bosque tropical caducifolio natural (A) y perturbado (B) en la región de Chamela, Jalisco. Nótese en el bosque perturbado que las líneas claras que semejan caminos, es la roca madre expuesta.

El bosque tropical caducifolio de la región de Chamela, Jalisco, presenta una tasa de deforestación de 26700 ha año⁻¹ (Masera et al., 1997). La causa principal de la deforestación y de la degradación del suelo en la zona es la expansión de pastizales (Maass et al., 1988). El ganado influye directamente en la compactación del suelo y, además causa la disminución de la biomasa en pie por el consumo de plantas.

La roza-tumba-quema es la práctica más común para cambiar el uso del suelo; el fuego utilizado durante esta práctica cambia el contenido de nutrientes en el suelo, además de reducir la biomasa de las plantas (Kauffman et al.,

2003). En general, el contenido de fósforo y nitrógeno en el suelo se incrementa en el corto plazo, sin embargo, la práctica repetida de la roza y quema incrementa la fijación del fósforo (Ketterings et al., 2002) y disminuye el contenido de nitrógeno (Ellingson et al., 2000), de manera que la fertilidad del suelo declina. La disminución de la fertilidad y la baja precipitación en los bosques tropicales caducifolios hace que se reduzcan las oportunidades de regeneración del bosque (Ellingson et al., op cit).

Reforestación y conservación del suelo.

La reforestación se define como el proceso natural o artificial mediante el cual se regeneran los bosques. La reforestación natural no es más que la regeneración del bosque después de un disturbio, y que se da a través del proceso de sucesión. En tanto que la reforestación artificial es realizada por el hombre cuando se quiere recuperar más rápido la cubierta vegetal, y se lleva a cabo en áreas donde existen limitaciones importantes para su recuperación natural.

Estas limitaciones pueden ser: una baja o nula disponibilidad de propágulos (banco y lluvia de semillas, plántulas) y, además el ambiente se encuentra alterado, ya sea por la baja disponibilidad de recursos, microclima adverso, presencia de especies dominantes, disminución de la diversidad y sucesión lenta, o bien, también se justifica cuando se trata de formar bosques con fines industriales (Cony, 1995).

Existen dos tipos de reforestación artificial: siembra directa y plantación de plántulas o brinzales de árboles. En la primera es necesario atender la suficiencia de semilla y su calidad, así como implementar estrategias que impidan la destrucción de las mismas por parte de depredadores o por

condiciones ambientales adversas. En la plantación se emplea planta producida en viveros o de transplante con cepellón aprovechando la regeneración natural (Arriaga et al., 1994).

Cuando se decide reforestar con plántulas o brinzales, existen cuatro tipos de plantaciones según su objetivo y son: a) Plantaciones de restauración.- se utiliza para recuperar la cubierta forestal pérdida por incendios, plagas, erosión, cambio de uso de suelo y, tala clandestina; b) Plantaciones agroforestales.- involucra una combinación de árboles con cultivos agrícolas, con frutales o pastizales, o grupos forrajeros, donde se aprovechan tanto los beneficios económicos como los ecológicos; c) Plantaciones comerciales.- se siembran con fines de satisfacer la demanda de productos forestales que el mercado demanda; y d) Plantaciones urbanas.- que tienen el propósito de mejorar las áreas verdes de los centros de población humana.

Antes de realizar cualquier programa de reforestación es necesario tomar en cuenta las condiciones ecológicas de la zona a restaurar, principalmente la latitud y altitud del sitio, su exposición con relación al sol, la calidad del suelo y, el clima predominante. Basándose en ello, se deben seleccionar las especies adecuadas, tomando en cuenta las características de crecimiento, capacidad de desarrollo radical, vigor, compatibilidad de asociación con otras especies y su resistencia a plagas y enfermedades (Cony, 1995).

Las técnicas de reforestación deben combinarse con las prácticas de conservación de suelos para tener mayor probabilidad de éxito en la recuperación de la masa forestal dentro de los ecosistemas. Las terrazas son consideradas como una práctica de conservación de suelos con grandes

posibilidades de ser utilizada en ambientes susceptibles a la erosión, pero existen otras opciones que podrían estar más acordes con las condiciones climáticas, físicas y biológicas de cada región ecológica de México (Montaño y Monroy, 2000).

De acuerdo con Maass y García-Oliva (1990), las prácticas de control de la erosión pueden agruparse en cuatro tipos:

- a) Aquellas orientadas a reducir la fuerza erosiva del viento y de la lluvia por medio del mantenimiento de una cobertura máxima del suelo: i) coberturas vegetales vivas, ii) coberturas vegetales muertas.
- b) Las que reducen la fuerza erosiva por arrastre o efecto erodante del viento y las relacionadas con el escurrimiento, combinando las características de la pendiente y la superficie del terreno: i) labranza mínima, ii) cercas vivas en contorno, iii) terrazas.
- c) Aquéllas orientadas a favorecer las características del suelo, reduciendo la susceptibilidad a ser erosionado, tanto por el viento como por la lluvia: i) tiempo de descanso del suelo.
- d) Las planteadas para el manejo de los sedimentos erosionados: i) retención y acumulación de sedimentos.

De estas prácticas de conservación de suelos, el uso de acolchados, en particular las coberturas vegetales muertas, podrían ser una buena opción junto con la plantación de árboles para restaurar zonas degradadas en áreas donde antes existía BTC. La razón de esto es porque al proteger la capa superficial del suelo, además de reducir la erosión, disminuyen la evaporación del suelo, incrementando con esto el agua disponible para las plantas (Montaño y

Monroy, 2000), lo cual probablemente repercutiría de manera positiva en la supervivencia y crecimiento de las plantas durante la reforestación.

Los acolchados y sus efectos en el suelo.

Los acolchados son una técnica agrícola que podría favorecer el éxito en el establecimiento, supervivencia y crecimiento de las plantas durante la reforestación. Ésta consiste en la protección de la capa superficial del suelo por cualquier cubierta (materia orgánica, plásticos o papel), consiguiendo así proteger la estructura superficial del suelo frente al impacto de la gota de agua (Price et al., 1998), se evitan los cambios bruscos de temperatura, disminuye la evapotranspiración y aumenta la humedad del suelo (Rathore et al., 1998; Barajas-Guzmán et al., 2006), disminuyen las pérdidas por escorrentía y la erosión (Grantz et al., 1998), se reduce el crecimiento de las arvenses (Smith et al., 1997), y se protege y provee de nutrimentos a las raíces (esto último si el acolchado es de materia orgánica) (Paris et al., 1998; Barajas-Guzmán et al., 2006). El resultado es un suelo en mejores condiciones para el desarrollo vegetal.

De 1300 trabajos realizados con acolchados sólo 15 fueron realizados en reforestación y agroforestería (menos del 2%) evaluando principalmente la supervivencia de las plantas en la reforestación y, el rendimiento de los cultivos que recibían la hojarasca de los árboles como acolchado en la agroforestería.

Los resultados de estos trabajos son diversos debido al tipo de acolchado utilizado: paja de diferentes cultivos, heno, hojas, corteza, composta, plástico negro o blanco, hierbas silvestres, a la calidad y cantidad de la materia orgánica utilizada, a la cantidad e intensidad de los riegos a que son sometidas las plantaciones, a las condiciones edáficas del sistema, a la fisiología propia

de las plantas utilizadas, y al proceso de competencia que se da entre las especies.

Los resultados más interesantes son: un aumento en la humedad, y una disminución en la temperatura, del aire y del suelo. La fertilidad también mejora, y todo esto favorece la supervivencia y el rendimiento de las plantas.

De manera que estas características de los acolchados hacen interesante su uso durante la reforestación de zonas con baja precipitación y una alta radiación, ya que se sabe muy poco acerca de la influencia de los acolchados en este tipo de sistemas.

Las plantas en el Bosque Tropical Caducifolio.

En el ciclo fenológico de las plantas de los BTC, las semillas (o frutos) se encuentran en el piso de la selva hacia el final de la época seca esperando la llegada de las lluvias para iniciar la germinación (Bullock y Solís, 1990).

Son varios los factores que afectan la germinación de las semillas en ambientes estacionarios. Las condiciones ambientales adversas a las que se enfrentan son uno de ellos, por ejemplo, falta de agua, de luz y, los cambios bruscos de temperatura a nivel microambiental. También existen mecanismos internos (fisiológicos) de la semilla que impiden su germinación, o bien, algunas propiedades físicas de la cubierta de la semilla o del fruto que también la impiden, y ambos factores mantienen a la semilla en estado de latencia (Bradbeer, 1988).

Baskin y Baskin (1988) mencionan que las semillas de la mayoría de los árboles en los BTC presentan latencia, siendo las más comunes la fisiológica y la física, aunque esta última es la más frecuente. La latencia fisiológica se rompe con períodos relativamente cortos de estratificación en frío, o bien,

exponiendo a las semillas a altas temperaturas por un período que puede abarcar de unas cuantas semanas a varios meses. También puede romperse con algunas sustancias químicas, o con la luz (Watkins y Cantliffe, 1983).

En cuanto a la latencia física, la que la causa es la impermeabilidad de las cubiertas de la semilla o del fruto al agua. Esta impermeabilidad usualmente está asociada con la presencia de una o más capas de células en empalizada impermeables. Este tipo de latencia se rompe mecánicamente o mediante la escarificación de la semilla con ácido sulfúrico (Watkins y Cantliffe, 1983).

La entrada de agua al BTC desencadena el proceso de germinación de manera directa en las semillas sin latencia y de forma indirecta en las semillas con latencia. Posterior a la germinación sigue el establecimiento y, para ello deben darse dos procesos importantes. El primero es el crecimiento de la raíz para garantizar el suministro de agua a la planta, lo que implica que la raíz de la plántula deberá tener el vigor necesario para penetrar la superficie del suelo; el segundo proceso es iniciar la fotosíntesis. Una vez que se dan estos dos procesos prácticamente puede hablarse del éxito en el establecimiento.

Así pues, el suelo es un factor importante para el establecimiento de las plantas y una de sus características se vuelve esencial en el éxito del establecimiento: la compactación. Afortunadamente la llegada de las lluvias disminuye la compactación del suelo y, con ello su resistencia a la penetración de las raíces.

Una vez que las plantas se han establecido deberán enfrentarse a una de las condiciones más estresantes en los BTC: el déficit hídrico. Las respuestas más comunes ante esta característica son: la inhibición del crecimiento de las hojas, el aumento de la densidad específica foliar (peso de

la hoja por unidad de área) y cambios en el ángulo de las hojas con respecto a la luz solar (Ludlow, 1980). El crecimiento extensivo de las raíces es también otra respuesta de la planta ante la escasez de agua. Así pues, son diversas las respuestas que las plantas tienen para tratar de establecerse en los bosques tropicales caducifolios.

Justificación.

Debido a la tasa elevada de deforestación en los BTC, al escaso trabajo de investigación sobre la recuperación de las zonas degradadas de estos ecosistemas y al éxito bajo que los programas de reforestación han tenido en el país es necesario examinar otras alternativas que pudieran permitir una mayor eficacia en las estrategias de reforestación, siendo una de ellas la utilización de los acolchados.

ACOLCHADOS UTILIZADOS EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se decidió trabajar con tres tipos de acolchado:

Polietileno blanco.- el cual tiene una vida media de seis meses, su cara superior es blanca y por tanto refleja una gran cantidad de radiación, lo que evita que se caliente demasiado el suelo.

Hojarasca.- la cual se obtuvo del bosque tropical caducifolio que se encuentra en los terrenos de la Estación de Biología de Chamela que pertenece a la UNAM. Se eligió este tipo de material porque es de los que más se han utilizado en los pocos trabajos de reforestación y agroforestería, de manera que ello permitirá tener un punto de comparación con esas

investigaciones. Su color es oscuro, así que probablemente absorberá una gran cantidad de radiación.

Alfalfa seca (paja).- es un material de fácil adquisición, muy utilizado en estudios de acolchados y cultivos comerciales, su color es claro por lo que probablemente impedirá el excesivo calentamiento del suelo.

Este trabajo de investigación, tiene como **hipótesis central:**

La supervivencia y el crecimiento de las plantas de especies nativas en las parcelas acolchadas serán mayores que en el suelo desnudo, debido a los efectos combinados de la conservación de agua de todos los acolchados y de la liberación de nutrimentos de los acolchados orgánicos.

Las **hipótesis específicas** son:

- 1) Si los acolchados son una barrera entre la radiación solar y el suelo, la temperatura del suelo y del aire (< 1 m altura) serán menores en las parcelas acolchadas con respecto al control en el siguiente orden: polietileno < paja < hojarasca < suelo desnudo.
- 2) Si los acolchados reducen la evaporación del agua, entonces habrá un gradiente de humedad en el suelo en el siguiente orden: polietileno > paja > hojarasca > suelo desnudo.
- 3) Dado que existen diferencias en la calidad del material utilizado como acolchado, habrá un gradiente de aportación de nutrientes al suelo: paja > hojarasca > polietileno > suelo desnudo.

- 4) La supervivencia y crecimiento de las plantas serán diferentes en los distintos tratamientos de acolchado, presentando sus valores más altos en los acolchados orgánicos.
- 5) La conductividad estomática de las plantas será mayor en los lotes con mayor humedad en el suelo.

Los **objetivos** de este trabajo son:

- a) Evaluar la supervivencia y crecimiento de plantas de especies nativas con diferentes acolchados.
- b) Conocer los cambios microclimáticos y edáficos que generan los diferentes tipos de acolchados utilizados.
- c) Describir los patrones de cambio en las características químicas y biológicas del suelo en los diferentes tratamientos.

LITERATURA CITADA

Arriaga V, Cervantes V y Vargas-Mena A 1994 Manual de reforestación con especies nativas. INE y Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Anónimo 1991 Informe de avances del Programa de Reforestación, Región Montaña. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Distrito de Desarrollo 05 y Organización de las Naciones Unidas. (mimeografiado). p. 4.

Barajas-Guzmán G, Campo J y Barradas V L 2006 Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Plant and Soil* 287, 347 - 357.

Baskin C y Baskin J 1998 *Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. California.

Bradbeer W 1988 Seed dormancy and germination. Chapman & Hall. New York.

Bullock S y Solis-Magallanes J 1990 Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in México. *Biotropica* 22, 22 - 35.

Campo J, Maass M, Jaramillo V, Martínez-Yrizar A y Sarukhán J 2001 Phosphorus cycling in a Mexican tropical dry forest ecosystem. *Biogeochemistry* 53, 161 – 179.

Conafor 2005 Programa forestal y de suelos. México.

Cony M 1995 Reforestación racional de zonas áridas y semiáridas con árboles de múltiples propósitos. *Interciencia* 20, 249 - 252.

Eaton W 2001 Microbial and nutrient activity in soils from three different subtropical forest habitats in Belize, Central America before and during the transition from dry to wet season. *Appl. Soil Ecol.* 16, 219 - 227.

Ellingson L, Kauffman J, Cummings D, Sanford R y Jaramillo V 2000 Soil N dynamics associated with deforestation, biomass burning, and pasture conversion in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecol. Manag.* 137, 41 - 51.

Fernández M y Tarrío M 1988 Ganadería y crisis agroalimentaria. *Revista Mexicana de Sociología.* 50, 51 - 95.

Flores O y Geréz P 1994 Biodiversidad y Conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. CONABIO, UNAM, México.

Grantz A, Vaughn L, Farber R, Kim B y Ashbaugh L 1998 Transplanting native plants to revegetate abandoned farmland in the western Mojave desert. *Journal of Environmental Quality.* 27, 960 - 967.

Heineman A, Otieno H, Mengich E y Amadalo B 1997 Growth and yield of eight agroforestry tree species in line plantings in Western Kenya and their effect on maize yields and soil properties. *For. Ecol. Manag.* 91, 103 - 135.

Kauffman J, Steele M, Cummings D y Jaramillo V 2003 Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecol. Manag.* 176, 1 - 12.

Ketterings Q, Noordwijk M y Bigham J 2002 Soil phosphorus availability after slash-and-burn fires of different intensities in rubber agroforests in Sumatra, Indonesia. *Agr. Ecosyst. Environ.* 92, 37 - 48.

Ludlow M 1980 Adaptive significance of stomatal response to water stress. Wiley Pub. New York.

Maass M y García-Oliva F 1990 La investigación sobre la erosión de suelos en México. Un análisis de la literatura existente. *Ciencia* 41, 209 - 228.

Maass M, Jordan C y Sarukhan J 1988 Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. *Jour. Appl. Ecol.* 25, 595 – 607.

Martínez-Yrizar A 1995 Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forest. In: *Seasonally Dry Tropical Forests*. Eds. H Bullock, H A Mooney and E Medina. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Martínez-Yrizar A y Sarukhán J 1990 Litterfall patterns in a tropical deciduous forest in México over a five year period. *J. Trop. Ecol.* 6, 433 - 444.

Masera O, Ordóñez J y Dirzo R 1997 Carbon emissions from Mexican Forest: Current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35, 265 - 295.

Montaño M y Monroy A 2000 Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas en México. *Ciencia y Desarrollo* 26, 26 - 37.

Murphy P y Lugo A 1986 Ecology of Tropical dry forest. Annual Review of Ecology and Systematics 17, 67 - 88.

Paris P, Olimpieri G, Todaro L, Pisanelli A y Cannata F 1998 Leaf-water potential and soil-water depletion of walnut mulched with polyethylene and intercropped with alfalfa in central Italy. Agroforestry Systems. 40, 69 - 81.

Price J, Rochefort L y Quinty F 1998 Energy and moisture considerations on cutover peatlands. Ecological Engineering 10, 293 - 312.

Rathore A, Pal A y Sahu K 1998 Tillage and mulching effects on water use, root growth and yield of rainfed mustard and chickpea grown after lowland rice. Journal of the Science of Food and Agriculture. 78, 149 - 161.

Rzedowski J 1988 Vegetación de México. Limusa. México.

SEMARNAT 2005 Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. D. F. México.

Singh J, Raghubanshi A, Singh R y Srivastava S 1989 Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. Nature 338, 498 -500.

Smith D, Gilliam C, Edwards J, Eakes D y Williams J 1997 Recycled waste paper as a landscape mulch. Journal of Environmental Horticulture. 15, 191 - 196.

Trejo I y Dirzo R 2000 Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local análisis in México. Biol. Conserv. 94, 133 -142.

Velázquez A, Mas F, Bocco G y Ecurra E 2002 Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica 62, 21-37.

Watkins T y Cantliffe D 1983 Hormonal control of pepper seed germination. HortScience 18: 342 - 343.

MICROCLIMATE UNDER ORGANIC AND POLYETHYLENE MULCH IN A TROPICAL DRY DECIDUOUS FOREST

M. G. Barajas-Guzmán and Víctor L. Barradas

ABSTRACT

We examine the effect of mulches on the net radiation, air and soil temperatures, vapour pressure deficit (VPD), soil gravimetric water content (SGWC), and on the stomatal conductance of three species, *Ipomea wolcottiana* Rose, *Lonchocarpus eriocarinalis* Micheli and *Caesalpinia eriostachys* Benth, in a degraded seasonally dry tropical forest (SDTF) area. Our study year was unusually dry, with only half of the mean annual rainfall. Sixteen plots (5 × 6 m) were used for each of our four treatments: mulches with alfalfa (*Medicago sativa*, L.) alfalfa straw, forest litter (SDTF forest litter), polyethylene and bare soil (control). In each plot, 20 tree saplings were planted of each species.

Net radiation was higher in plots mulched with forest litter than in other treatments, air and soil temperature and VPD were higher in bare soil plots than in mulched plots, and SGWC was higher in plots mulched than in bare soil plots. *Ipomea wolcottiana* and *C. eriostachys* had the highest stomatal conductance, whilst *L. eriocarinalis* had the lowest.

The use of mulches is recommended to mitigate extreme microclimate conditions during the restoring of seasonally dry tropical areas.

Key words: microclimate mitigation, native plants, reforestation, low precipitation, Mexico

INTRODUCTION

Deforestation is one of the most serious environmental problems in the world, mainly throughout the tropics. Deforestation is estimated in tropical areas between 11 and 24×10^6 ha year⁻¹; however reforestation only includes 1.1×10^6 ha year⁻¹ (Anónimo, 1991).

The demands made on forest resources by the human populations, further accentuated by climatic fluctuations, have lead not only to the deterioration of the ecosystems in which they are found but also to genetic exhaustion of many plant species (Cony, 1995).

In addition the destruction and fragmentation of the natural habitat and the acceleration of soil loss due to hydric and aeolian erosion. These processes provoke climate change on a micro and intermediate level (Barradas and Fanjul, 1986) and a loss of soil fertility (Maass and Garcia-Oliva, 1990), thus generating a more extreme microenvironment, which limits reforestation, reduces land productivity and leads to the degradation of natural resources.

In Mexico the deforestation rate is approximately $668,000$ ha year⁻¹ (Masera et al., 1997) and reforestation is only 30% (Semarnat, 2005), and survival of plants is as much as 35% . The tropical dry forests constitute approximately 60% of Mexico's tropical vegetation (Rzedowski, 1988) and they have not been studied as much as rainforests despite the fact that $302,000$ of the $668,000$ hectares annually deforested belong to this category (Masera et al., 1997).

When the tropical forests are deforested the microclimate is extremely severe (high incoming radiation, high evaporation, high and strong seasonally and daily variations in temperature, low air humidity) (Barradas and Fanjul,

1986), and these conditions affect stomatal conductance, a physiological key for the growth and survival of plants.

In general, stomatal closure occur in response to decreasing light can be potentiated by water stress, or in response to increased leaf-to-air vapour pressure difference, also stomatal aperture is also dependent on many other factors such as leaf age, nutrition and disease (Jones, 1992).

All these concerns have lead to the need to explore techniques for ensuring the successful survival of the plants used in reforestation programs and the restoration of ecosystems. One of these is mulching, an agricultural technique which could favour the success of the planting, survival and growth of plants during reforestation, because they protect the soil structure from the impact of raindrops; reduce changes in temperature (Price et al., 1998), the rate of evaporation decreases, while infiltration rates increase, losses due to erosion and water running off the surface are reduced (Rathore, 1998).

However, in areas with water stress, very little is known about the influence of mulches on the physical variables of the soil, as well as the changes in the air microclimate and stomatal conductance.

In this study, we investigated the effects of mulching on survival saplings of seasonally dry tropical forest (SDTF) trees and on air and soil microclimate in a perturbed SDTF area of the Pacific coast of Mexico. Our aim was to determine the effects of different mulches (polyethylene, alfalfa straw, and forest litter of a mature SDTF) on sapling stomatal conductance, soil water content, and the air and soil temperature, the deficit pressure vapor and net radiation.

We expect significant effects of mulching on microclimate and stomatal conductance, and that the type of mulch would be significant.

MATERIALS AND METHODS

Site description.

The study was carried out in the village of San Mateo, on the Pacific coast of Mexico in the state of Jalisco (19° 34' N, 105 ° 04' W), in a lowland cattle raising area where SDTF was the original vegetation, removed approximately 15 -yr ago. The area had previously been used for maize plantations, as is common in these seasonally dry areas. This area is presently covered by *Acacia farnesiana* (L.) Wild (500 ind per ha) and some *Caesalpinia eriostachys* Benth (one ind per ha), with plants of the Compositae family dominating the herbaceous stratus.

The climate in the region is characterized by a seasonal rainfall pattern, with a rainy season June to October that provides 90% of the total annual rainfall (mean annual rainfall average 740 mm; García-Oliva et al., 1991). Monthly air temperatures are in the range 22-27 °C, with a diurnal variation of 9 °C in summer and 14 °C in winter (de Ita-Martínez and Barradas, 1986). During the study year the cumulative precipitation was 391.6 mm (i.e., approximately 50% of the long-term mean annual rainfall), and the annual average temperature minimum was 17.2 °C and the maximum 28.8 °C.

The study area is characterized by hillside located 80 masl facing south; its slope ranges from 5 to 25°. The soil (Haplic Ustarents) is shallow (generally less than 0.6 m in depth), fine and kaolinitic; the parent material is rhyolitic volcanic rock (Campo et al., 2001). The proportions of clay, silt, and sand in the

soil to a depth of 10 cm were respectively 25 ± 3 , 24 ± 3 , and $51 \pm 3\%$ (mean \pm 1 SE).

The vegetation in the region is SDTF (Rzedowski, 1988). The forest is diverse in species composition, with approximately 750 species grouped in 108 families. Leguminosae is the most important family, accounting for 15% of species (Lott et al., 1987). The more common species are *Caesalpinia eriostachys*, *Lonchocarpus eriocarinalis*, *Ipomoea wolcottiana*, *Bursera instabilis* Mc Vaugh & Rzedowski, *Jatropha malacophylla* Standl., *Croton chamelensis* Lott, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken and *Spondias purpurea* L.

Experimental design.

The experiment was carried out from July to December of 2001, in a 90×50 m area on a slope facing south (the slope angle ranges from 5 to 25°). Three blocks were chosen, each block contained 16 plots of size 5×6 m in which three types of mulch were placed (alfalfa straw, forest litter and white polyethylene) as well as control plots of bare soil. The blocks were spaced 2 m apart, and the plots were spaced 1.5 m apart, and set out lengthwise at 4 m intervals along the slope. To prevent possible leaching effects and water running from one plot into another, canals were dug (85 m long, 0.75 m wide and 0.60 m deep) running perpendicular to the slope.

Each plot with organic mulch was covered with 900 g dry matter per m^2 (forest litter or alfalfa straw; the leguminous *Medicago sativa*, L.). This amount of mulch covered between 70 and 75% of the soil area. *Medicago sativa* is abundant in the region from cattle raising. The forest litter was a mixture of the SDTF plant species and was collected from the soil of the forest in the dry season at the end of May 2001. The forest litter consisted of all dead plant

material lying on the forest floor, including freshly fallen forest litter and the more finely decomposed forest litter fraction.

Saplings of three native species were used: *Ipomea wolcottiana* Rose (Convolvulaceae), *Lonchocarpus eriocarinalis* Micheli (Leguminosae) and *Caesalpinia eriostachys* Benth (Leguminosae). *Ipomea wolcottiana* is a deciduous early successional species with fast growth rate; *L. eriocarinalis* a deciduous intermediate successional and with an intermediate growth rate, and *C. eriostachys* is a facultatively deciduous, late successional species with a slow growth rate (Huante et al., 1995).

Twenty plants (0.66 plant m⁻²), all one year old, were transplanted into each plot with mulch or bare soil. A total of 720 plants were transplanted on July 22-25 2001, with 1.6 m distance between them. Each plot contained a single plant species. The experimental design was therefore a combination of 4 (3 mulches and bare soil) × 4 (3 species and without plants) factors with three replicates (3 blocks), for a total of 48 plots. The selection of species was based on their high abundance in SDTF (Lott et al., 1987) and, high production of seeds and germination fraction (I. Acosta, pers. comm., 2000).

Mulch characteristics.

The mulches differed in their color, polyethylene was white, alfalfa straw (*Medicago sativa*) was yellow light and SDTF forest litter was brown dark. The polyethylene in addition was impermeable and the mean time of utility was of six months.

Net radiation, air temperature and humidity.

All measurements were made in three periods of ten days each one, on September, October, and November of 2001 year. In the first period of

measurements, net radiation was measured every hour from 7:00 to 17:00 local standard time (LST) with a net radiometer (Q7_1, REBS, Campbell Scientific, Logan, Utah) just in three different mulches and bare soil plots.

Net radiation, air temperature and relative humidity were measured from 11:00 to 13:00 LST (period when maximum net radiation was registered) in all mulches and bare soil plots in all three periods of measurements at 35-40 cm above the soil surface with a net radiometer (Q7_1, REBS, Campbell Scientific, Logan, USA) and a temperature and humidity probe (HMP 35C, Vaisala, Helsinki) connected to a data logger (21X, Campbell Scientific, Logan, USA). Vapour pressure deficit (VPD) was calculated from air temperature (T_a) and relative humidity (RH) from the relationship $VPD = e_s (1 - RH)$, where e_s is vapour pressure at saturation and RH is given from 0 to 1.

Soil temperature and soil gravimetric water content (SGWC).

Soil temperature at surface (T_{s_0}) and at 10 cm depth ($T_{s_{10}}$) were measured between 11:00 and 13:00 LST, with a temperature probe (HMP 107, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) connected to a data logger (21X Campbell Scientific, Logan Utah) in mulches and bare soil plots.

For the evaluation of SGWC three soil samples (5-10 cm depth) were randomly collected from within each plot, combined in the field, and stored at 4°C for up to 48 h until processing. The upper 5-10 cm of the soil profile in this region concentrates root biomass (~40% of total root biomass in the upper 0.6 m of the soil profile, or until rock contact; G. Barajas-Guzmán, unpublished data). In the laboratory, soils were hand homogenized and sieved (to 2-mm) for measurement of SGWC, determined by the differential weight between field moist and dried samples to 105 °C by 48 h.

Saplings stomatal conductance.

Stomatal conductance was measured every hour from 7:00 to 17:00 LST in the first period of measurements in at least three leaves of three saplings of the study species in each one plots with a steady state porometer (LI-1600, LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA). Afterwards, stomatal conductance (gs) was only measured between 11:00 and 13:00 LST when maximum stomatal conductance (gs_{MAX}) was recorded.

Statistical analysis.

A non-parametric statistical analysis (Kruskal-Wallis and Friedman test) was used to analyse daily net radiation. A two-way (mulch and time) analysis of variance (ANOVA) was applied to the microclimate variables, and a three-way (mulch, time and species) analysis of variance was applied to stomatal conductance. Each plot included the slope as a co-variable. When the ANOVA analysis indicated significant differences among treatments, the Tukey Honest Difference Test was also applied. Finally, correlation analysis was applied between stomatal conductance and microclimate variables. All statistical analyses were performed at a 95 % confidence level.

RESULTS

Microclimate.

Daily net radiation was different between mulch treatments ($P < 0.01$) with the most difference showed up between 11:00 and 13:00 LST. Cumulative values of net radiation from 7:00 to 17:00 LST indicate that the mulch with the lowest net radiation value was polyethylene (3.28 MWm^{-2}), followed by bare soil

(3.74 MWm⁻²) and alfalfa straw (3.96 MWm⁻²). The forest litter showed the highest value of net radiation (4.29 MWm⁻²).

The net radiation registered between 11:00 and 13:00 LST was different between mulches ($P < 0.0001$). All treatments were different between them, and again polyethylene showed the lowest ($478.8 \pm 16.4 \text{ W m}^{-2}$) value, followed by bare soil ($566.4 \pm 12.9 \text{ W m}^{-2}$) and alfalfa straw ($584.8 \pm 13.5 \text{ W m}^{-2}$), with the highest value on forest litter ($601.2 \pm 15.2 \text{ W m}^{-2}$). Differences in net radiation were also found at different periods of measurements ($P < 0.0001$). The highest radiation level was found in September ($671.0 \pm 6.3 \text{ W m}^{-2}$), and was different of October ($524.0 \pm 10.9 \text{ W m}^{-2}$) and November ($478.3 \pm 5.3 \text{ W m}^{-2}$). The interaction between mulches and different periods of measurement was significant ($P < 0.001$), and in this the lowest net radiation values was observed in soils under polyethylene mulch in October and November and the highest in soils under forest litter and alfalfa straw in September.

The air temperature differed among mulches ($P < 0.0001$) (Figure 1). Plots with polyethylene registered the lowest temperature and was different of the others treatments, alfalfa straw and forest litter were similar, and the highest temperature was registered on bare soil, this treatment and forest litter were not different. Significant differences were also registered over time ($P < 0.00001$). September was the hottest period ($43.7 \pm 0.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$), and was different of October ($40.7 \pm 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) and November ($40.6 \pm 0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$). The interaction between mulches and different periods of measurement was significant ($P < 0.01$), and in this case the lowest air temperature values was observed in soils under polyethylene mulch in November and the highest in bare soil in September.

Significant differences of VPD were found between mulches ($P < 0.0001$); polyethylene mulch had the lowest VPD (4.45 ± 0.11 kPa), and was different of bare soil plots (5.67 ± 0.15 kPa). Forest litter (5.36 ± 0.09 kPa) and alfalfa straw (5.14 ± 0.11 kPa) were not different. All periods of measurements were different ($P < 0.0001$), the highest VPD (5.62 ± 0.15 kPa) was registered in September, followed by November (5.22 ± 0.08 kPa) and the lowest VPD was registered in October (4.64 ± 0.07 kPa). The interaction between mulches and different periods of measurement was significant ($P < 0.001$), and in this case the lowest VPD values was observed in soils under polyethylene mulch in October and November and the highest in bare soil in September.

Soil temperature between 11:00 and 13:00 at the soil surface T_{s_0} , was different among mulches ($P < 0.0001$) (Figure 1) and between periods ($P < 0.05$). The greatest difference on T_{s_0} (8.3 °C) was found between polyethylene mulch, with the lowest temperatures, and bare soil, with the highest temperature. Forest litter and alfalfa straw plots presented medium values. October showed the highest T_{s_0} (51.8 ± 0.6 °C), and September and November (50.5 ± 0.5 °C and 50.5 ± 0.7 °C, respectively) were similar. The interaction between mulches and different periods of measurement was significant ($P < 0.05$), and the lowest soil surface temperature was observed in soils under polyethylene mulch in November and the highest in bare soil in October and November.

Soil temperature at 10 cm depth ($T_{s_{10}}$) between 11:00 and 13:00 was different among mulches ($P < 0.00001$) (Figure 1), and periods ($P < 0.00001$). $T_{s_{10}}$ greatest difference (8.0 °C) again was found between polyethylene and bare soil, whereas alfalfa straw was similar to polyethylene and forest litter was

different from others treatments. October and November showed the highest temperatures (41.3 ± 0.5 °C and 42.6 ± 0.6 °C, respectively) whereas September registered the lowest (35.5 ± 0.5 °C). The interaction between mulches and different periods of measurement was significant ($P < 0.01$), and the lowest soil temperature at depth of 10 cm was observed in soils under polyethylene mulch in September and the highest in bare soil in October and November.

Soil gravimetric water content (SGWC $\text{g H}_2\text{O g}^{-1}$ soil) registered differences among mulches ($P < 0.00001$) and between periods ($P < 0.00001$) (Figure 2). The mulch that retained more water in the soil was polyethylene, followed by forest litter, whereas alfalfa straw mulch retained as much water in the soil as forest litter, and bare soil showed the lowest values. With regard to the periods, SGWC was higher in September than October and November. The interaction between mulches and different periods of measurement was significant ($P < 0.01$), and in this case the highest SGWC was observed in soils under polyethylene mulch in September and the lowest in bare soil in November.

Saplings.

The mulches affected maximum stomatal conductance ($g_{\text{S}_{\text{MAX}}}$) ($P < 0.01$) (Figure 3), plants with forest litter and polyethylene mulches, were able to open more their stomata than plants on bare soil and with the less opening in plants with alfalfa straw mulch. The statistical analysis also showed that $g_{\text{S}_{\text{MAX}}}$ was different among periods ($P < 0.00001$) (Figure 3), the highest values were registered on September to decrease on October and November. The $g_{\text{S}_{\text{MAX}}}$ also was different among species ($P < 0.0001$) (Figure 3), *C. eriostachys*

registered the highest value of g_{MAX} , followed by *I. wolcottiana*, and *L. eriocarinalis*.

Multiple regression analysis showed that g_{MAX} was controlled mainly by air temperature, vapour pressure deficit, and SGWC in *C. eriostachys* ($R^2 = 84.46.2$; $P < 0.00001$) and in *L. eriocarinalis* ($R^2 = 71.16$; $P < 0.00001$), and the stomatal conductance in *I. wolcottiana* was related with vapour pressure deficit, SGWC and net radiation ($R^2 = 84.2$; $P < 0.00001$).

DISCUSSION

Bare soil plots showed a high amount of net radiation and the highest values of VPD, and air and soil temperature, and the lowest of SGWC, these conditions may be unfavorable to sapling survival (See chapter 2). *C. eriostachys*, *L. eriocarinalis* and *I. wolcottiana* presented a range survival of 0 to 10 % in this treatment, this range is very low (3-4 times less) in contrast to reported by Kennard and collaborators (2002) and Liberman and Li (1992) in mature forest of SDTF (Barajas-Guzmán et al., 2006). This fact may be explained the importance of the extreme temperatures and low content of soil water in the sapling establishment and survival in dry areas. In this treatment the highest air and soil temperatures decreased the SGWC, and these events increased the saplings mortality.

When the soil was mulched is evident the mitigation of the microenvironment surrounding transplanted plants, this mitigation could be mainly due to the reduction of net radiation and the physical barrier to heat to and from the soil.

Differences among net radiation levels of used mulches could be due to the different reflective power of the materials used, according to the results, polyethylene possibly reflected the highest level of radiation and, therefore, showed the lowest net radiation values, whilst forest litter, which was dark brown in colour, absorbed a great amount of radiation, reflecting a little and, therefore, showed the highest net radiation values. Alfalfa straw mulch showed intermediate values because it was yellow in colour. Therefore, it is possible to conclude that the mulch colour had a direct effect on the quantity of net radiation they showed (Price et al., 1998; Montague et al., 2000; Iziomon and Mayer, 2002).

The amount of net radiation has an effect on the temperature and humidity of the air and of the soil (Rosset et al., 2001). The lowest air temperature was registered in the polyethylene mulch and this could be due to the fact that this mulch showed the lowest net radiation readings as well as the fact that this material heats up a great deal and cools down slowly. Consequently, the two organic mulches tended to heat up less energy than polyethylene and cool down more quickly, releasing their energy (in the form of heat) into the air immediately surrounding them. These temperature readings and the availability of water influenced the VPD because higher temperatures and/or low air humidity lead to greater VPDs, so the plots containing polyethylene mulch had the lowest VPD, followed by those containing alfalfa straw, and after that, those containing the forest litter.

Differences in soil temperature also could have an effect on SGWC because higher temperatures lead to greater evaporation and transpiration (Acharya et al., 1998; Novak et al., 2000) and, indeed, there is a low SGWC in

plots with high temperatures. Soil beneath polyethylene mulch retained the greatest amount of water because soil temperatures were lower and polyethylene prevented water from evaporating quickly (Rathore et al., 1998; Mathews et al., 2002). In the case of the organic mulches, the values of the three parameters described above fall between those shown by polyethylene mulch and bare soil, because, although they absorbed energy and showed a greater SGWC than bare soil, they still lacked the ability of the polyethylene to reduce water loss.

The analysis of the microenvironmental variables which was carried out over time, shows that the reduction in net radiation and air temperature could be due to the time of year because, as winter approaches, the angle at which the sun rays hit the surface of the earth is more oblique and, therefore, the earth heats up less (Woodward, 1987). SGWC was also reduced as time advanced because the rainy season finished at the end of October and consequently there was no more water being added to the system (Monks et al., 1997; Price et al., 1998).

Although stomatal conductance was the highest in September, VPD showed the highest recordings in this month probably due to air temperature effect was more markedly than that effect of stomatal conductance. A multiple regression analysis showed that stomatal conductance was controlled mainly by VPD, SGWC, air temperature and net radiation (Montague et al., 2000; Lagergren and Lindroth 2002; Cochard et al., 2002). Actually there is a great concern to determinate the response of stomata to environmental variables (e. g. Meinzer et al., 1997), and in general the studies showed that the decrease of stomatal conductance has been attributed to an increasing VPD and air

Temperature (Schulze, 1986). In this study is interesting that *C. eriostachys* and *L. eriocarinalis* showed values contrasting of gsMAX, and has been affected by the same microclimate variables, air temperature, VPD and SGWC. However, stomatal conductance of *I wolcottiana* was not affected significantly by air temperature.

The mitigation of the extreme microenvironment by the mulches, has repercussions on stomatal conductance and therefore on gas exchange with a direct effect on plant growth (Barajas-Guzmán et al, 2006) and indirectly on plant establishment and survival.

In conclusion, our results show that mulches absorbed and reflected radiation differentially, reduced evaporation from the soil, reduced soil temperature at the surface and at 10 cm depth. The use of mulches is recommended to restore highly perturbed zones and special those areas with high water deficit as they mitigate extreme microclimate conditions and limit direct evaporation from the soil.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank to L. Hernández, G. Prado, R. León and D. Juárez for technical assistance. The research was supported by a grant from Dirección General de Asuntos del Personal Académico, UNAM (IN204599) and CONACyT with a scholarship to M Sc. Maria Guadalupe Barajas Guzmán.

REFERENCES

Acharya C, Capur O and Dixit S 1998 Moisture conservation for rainfed wheat production with alternative mulches and conservation tillage in the hills of north-west India. *Soil and Tillage Research* 46, 153-163.

Anónimo 1991 Informe de avances del Programa de Reforestación, Región Montaña. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Distrito de Desarrollo 05 y Organización de las Naciones Unidas. México.

Barajas-Guzmán G, Campo J y Barradas V L 2006 Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Plant and Soil* 287, 347 - 357.

Barradas V L y Fanjul L 1986 Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in México. *Agric. For. Meteorol.* 38, 101-112.

Campo J, Maass M and de Pablo L 2001 Weathering in a Mexican tropical dry forest. *Agrociencia* 35, 245 – 254.

Cochard H, Coll L, Le-Roux X and Ameglio T 2002 Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure during water stress in walnut. *Plant Physiology* 128, 282-290.

Cony M 1995 Reforestación racional de zonas áridas y semiáridas con árboles de múltiples propósitos. *Interciencia* 20, 249-252.

De Ita-Martínez C and Barradas VL 1986 El clima y los patrones de producción agrícola en una selva baja caducifolia de la costa de Jalisco, México. *Biotica* 11, 237-245.

García-Oliva F, Ecurra E and Galicia L 1991 Pattern of rainfall distribution in the Central Pacific Coast of México. *Geogr. Ann.* 73A, 179-186.

Huante P, Rincón E and Acosta I 1995 Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduous forest in Mexico. *Funct. Ecol.* 9, 849 – 858.

Iziomon M and Mayer H 2002 On the variability and modelling of surface albedo and long-wave radiation components. *Agricultural and Forest Meteorology* 111, 141-152.

Jones G 1992 *Plants and microclimate*. Cambridge University Press. Cambridge.

Kennard D, Gould K, Putz F, Fredericksen T and Morales F 2002 Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. *Forest Ecol. Manag.* 102, 197 – 208.

Lagergren F and Lindroth A 2002. Transpiration response to soil moisture in pine and spruce trees in Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology* 112, 67-85.

Lieberman D and Li M 1992 Seedling recruitment patterns in a tropical dry forest in Ghana. *J. Veg. Sci.* 3, 375 – 382.

Lott E, Bullock H and Solís-Magallanes A 1987 Floristic diversity and structure of upland and arroyo forest of coastal Jalisco. *Biotropica* 19, 228-235.

Maass M and García-Oliva F 1990 La investigación sobre la erosión de suelos en México. Un análisis de la literatura existente. *Ciencia* 41, 209-228.

Masera O, Ordóñez J and Dirzo R 1997 Carbon emissions from Mexican Forest: Current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35, 265 – 295.

Mathews C, Bottrell D and Brown M 2002 A comparison of conventional and alternative understory management practices for apple production: Multi-trophic effects. *Applied Soil Ecology* 21, 221 – 231.

Meinzer F, Hinckley T and Ceulemans R 1997 Apparent responses of stomata to transpiration and humidity in a hybrid poplar canopy. *Plant, Cell and Environment* 20, 1301 – 1308.

Monks C, Monks D, Basden T, Selders A, Poland S and Rayburn E 1997 Soil temperature, soil moisture, weed control and tomato (*Lycopersicon esculentum*) response to mulching. *Weed Technology* 11, 561 – 566.

Montague T, Kjelgren R and Rupp L 2000 Surface energy balance affects gas exchange and growth of two irrigated landscape tree species in an arid climate. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125, 299 – 309.

Novak M, Wenjun Ch and Mohammad H 2000 Simulating the radiation distribution within a barley alfalfa straw mulch. *Agricultural and Forest Meteorology* 102, 173 – 186.

Price J, Rochefort L and Quinty F 1998 Energy and moisture considerations on cutover peatlands. *Ecological Engineering* 10, 293 – 312.

Rathore A, Pal A and Sahu K 1998 Tillage and mulching effects on water use, root growth and yield of rainfed mustard and chickpea grown after lowland rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 78, 149 – 161.

Rosset M, Montani M, Tanner M and Fuhrer J 2001 Effects of abandonment on the energy balance and evapotranspiration of wet subalpine grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 86, 277 – 286.

Rzedowski J 1988 *La vegetación de México*. Limusa, México. D. F.

Schulze E 1986 Carbon dioxide and water vapour exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Annual Review of Plant Physiology* 37, 247 – 274.

SEMARNAT 2005 Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.

Compendio de estadísticas ambientales. D. F. México.

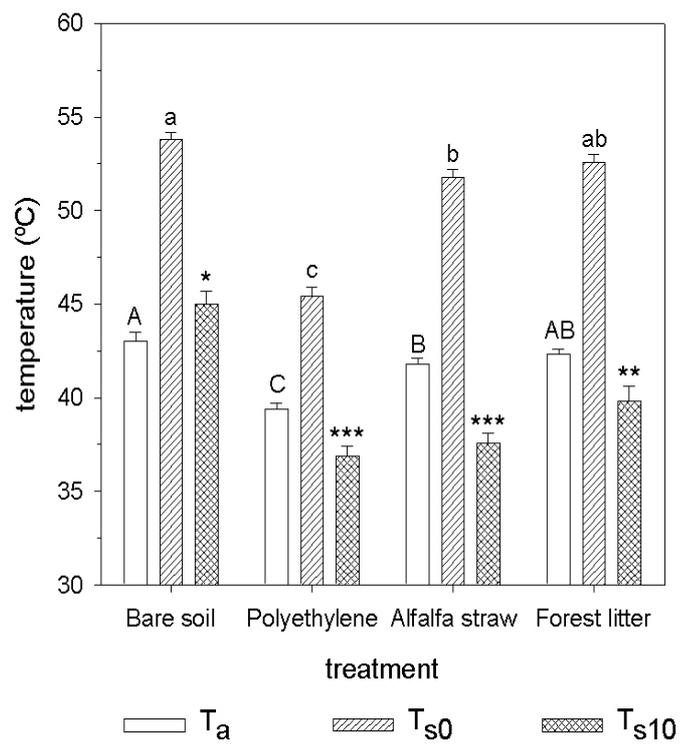
Woodward F 1987 Climate and plant distribution. Cambridge University Press. Cambridge.

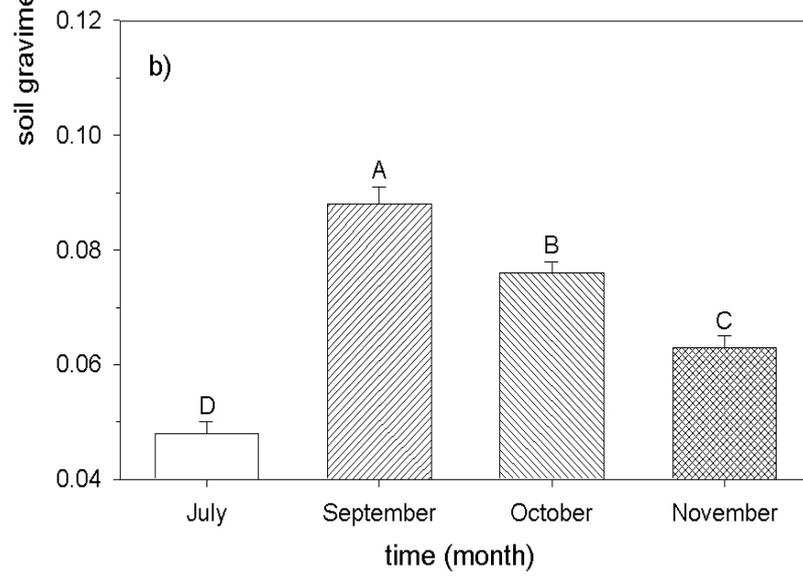
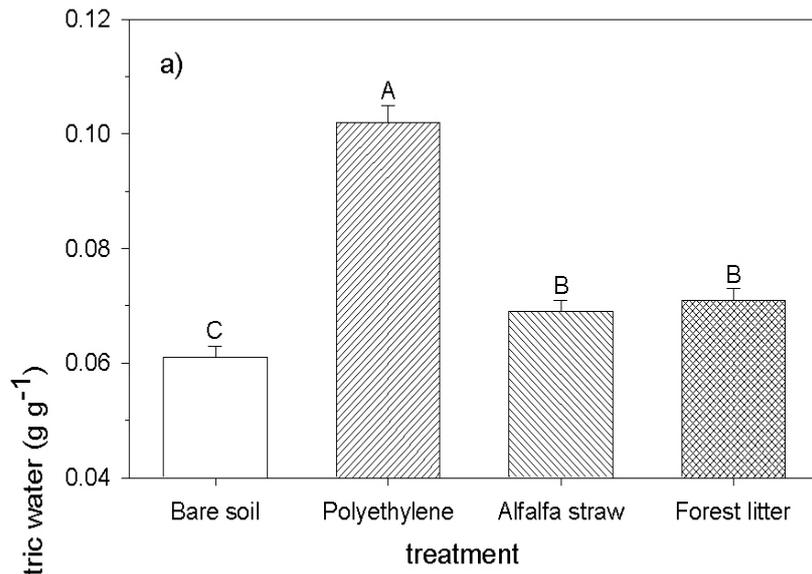
FIGURE CAPTIONS

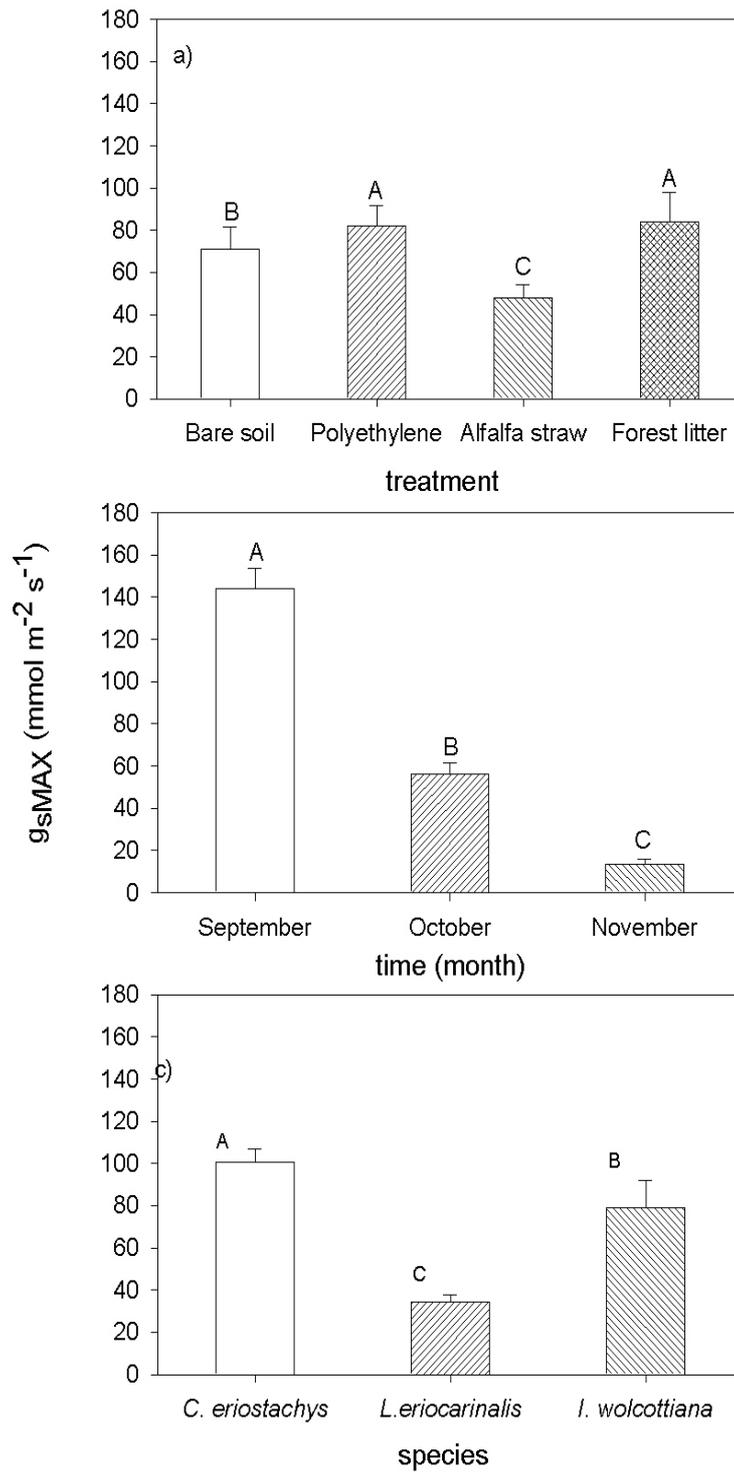
Figure 1. Air and soil (0 and 10 cm depth) temperature in bare soil and mulches. Lower case letters above columns indicate significant differences ($P < 0.05$). Error bars show ± 1 SE.

Figure 2. Soil gravimetric water content (a) bare soil and mulches, (b) in the different months in rainy season. Lower case letters above columns indicate significant differences ($P < 0.05$). Error bars show ± 1 SE.

Figure 3. Maximum stomatal conductance (a) bare soil and mulches, (b) in the different months in rainy season (c) in *C. eriostachys*, *L. eriocarinalis* and *I. wolcottiana*. Lower case letters above columns indicate significant differences ($P < 0.05$). Error bars show ± 1 SE.







ESTRATEGIAS DE REFORESTACIÓN EN BOSQUES TROPICALES

CADUCIFOLIOS

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales caducifolios (BTC) se caracterizan porque su vegetación pierde sus hojas hacia el inicio de la época de secas, debido a la sequedad atmosférica y a la edáfica. La primera se caracteriza por una temperatura elevada y una baja humedad relativa del aire (10 a 20 %) (Salisbury y Ross, 1978), y afecta al organismo vegetal pues al acrecentarse excesivamente el proceso transpiratorio, perturba la coordinación entre la intensidad de la absorción del agua y su gasto, con lo que la planta se marchita (Baker, 1987).

La sequedad del suelo es un fenómeno mucho más perjudicial. Por lo común, ocurre hacia el comienzo de la estación seca, cuando se agotan las reservas de agua. El suelo seco limita la capacidad de las plantas de obtener agua, de manera que los tejidos se deshidratan y el crecimiento se retarda o paraliza del todo (Santos y Ochoa, 1990).

Además de las plántulas, los juveniles y los árboles que están expuestos a las condiciones adversas que resultan de la radiación elevada y la escasez de agua en los BTC, también las semillas enfrentan estas condiciones. Baskin y Baskin (1988) mencionan que las semillas de la mayoría de los árboles en los BTC presentan latencia, siendo las más comunes la fisiológica y la física. La latencia fisiológica se rompe con períodos de estratificación en frío, o exponiendo a las semillas a altas temperaturas, o a diferentes intensidades de luz (Baskin y Baskin, op. cit.). También puede romperse con nitrato de potasio, kinetina, etileno y giberelinas (Watkins y Cantliffe, 1983). En cuanto a la latencia física, lo que la causa es la impermeabilidad de las cubiertas de la

semilla o del fruto al agua. Este tipo de latencia se rompe mecánicamente o mediante la escarificación de la semilla con ácido sulfúrico (Watkins y Cantliffe, op. cit.).

La entrada de agua al sistema desencadena el proceso de germinación de manera directa en las semillas sin latencia y de forma indirecta (cambiando otros factores climáticos y edáficos) en las semillas con latencia.

De manera que la primera pregunta que se abre para la reforestación en los BTC es: *¿Debe reforestarse con semillas o plantas de vivero?*

Sin embargo, no todo se reduce al agua, ya que debe considerarse que las condiciones y recursos de que dependen las plantas para realizar la fotosíntesis se encuentran en el suelo y en la atmósfera. De manera que las relaciones que se establece entre suelo-planta-atmósfera, además de las interacciones biológicas, se reflejan en la supervivencia y crecimiento de las plantas (Jones, 1992).

Así, la temperatura, la luz, el agua disponible, los nutrientes, los recursos maternos y la herbivoría son los principales factores que influyen en el establecimiento y el crecimiento de las plantas (Nobel, 1991). En condiciones naturales todos estos factores presentan una gran heterogeneidad, y cuando la masa vegetal de cualquier ecosistema terrestre es removida por efecto de la deforestación, se crea un ambiente poco favorable para el establecimiento de las plantas (Ellingson et al., 2000).

Para cambiar el uso del suelo se realiza frecuentemente la roza-tumba-quema y el fuego utilizado en este procedimiento cambia el contenido de nutrientes en el suelo, además de reducir la biomasa de las plantas (Kauffman et al., 2003). En general el contenido de fósforo y nitrógeno en el suelo se

incrementa en el corto plazo, sin embargo, la práctica repetida de la roza y quema incrementa la fijación del fósforo (Ketterings et al., 2002) y disminuye el contenido de nitrógeno (Ellingson et al., 2000), de manera que la fertilidad del suelo a mediano plazo declina.

El movimiento del N a través del sistema en los BTC es rápido y poco conservativo, lo cual sugiere que no es una limitante en el funcionamiento del bosque. En contraparte, el ciclo del P se caracteriza por una tasa elevada de retraslocación antes de la abscisión de las hojas y, una lenta liberación a través de la descomposición de la materia orgánica muerta. Estas propiedades del ciclo sugieren que el P podría ser limitante en estos bosques (Lugo y Murphy, 1986).

De manera que otra de las consideraciones importantes para la reforestación de los BTC es el utilizar alguna técnica que permita retener mayor humedad en el suelo y que además sea fuente de nutrientes. Así la segunda pregunta que se abre es:

¿Qué es más importante para que las plantas puedan tener éxito en su supervivencia y crecimiento, el agua o los nutrientes?

Una de las técnicas agrícolas que podría ayudarnos a contestar esta pregunta, es la de las coberturas del suelo, también llamadas acolchados. Éstos son utilizados para modificar las condiciones físicas del medio y, en general, se ha visto un efecto positivo en el rendimiento de los cultivos cuando se han utilizado (Tilander y Bonzi, 1997; Montague et al., 1998). Los acolchados protegen al suelo de la erosión, reducen el crecimiento de las malas hierbas, cuando es orgánico liberan nutrimentos al suelo a través de su descomposición, disminuyen la pérdida de humedad del suelo y reducen las

fluctuaciones de temperatura (Grantz et al., 1998; Barajas-Guzmán et al., 2006).

Por lo que respecta al uso de acolchados en la reforestación de zonas degradadas y con escasez de agua, se ha dicho que el transplante sin una irrigación intensiva no garantiza la supervivencia y éxito de las plantas (Grantz et al., 1998).

Así, el objetivo fundamental de esta investigación fue determinar si las plantas (de un año de edad) de especies nativas de un bosque tropical caducifolio podrían llegar a sobrevivir y crecer en zonas perturbadas y con pendientes pronunciadas, aplicando la técnica de acolchados. Esta técnica podría favorecer cambios en el microambiente atmosférico y edáfico, y en la disponibilidad de nutrientes en el suelo beneficiando a las plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio.

El estudio se llevó a cabo en el municipio de San Mateo, en la Costa del Pacífico del estado de Jalisco, México (19° 34' N, 105 ° 04' W) en una área dedicada a la ganadería y en donde la vegetación original fue bosque tropical caducifolio, ésta fue removida hace aproximadamente 15 años. El paisaje en la zona se encuentra dominado principalmente por *Acacia farnesiana* (L.) Wild (500 ind ha⁻¹) con algunos árboles remanentes de *Caesalpinia eriostachys* Benth (1 ind ha⁻¹), en el estrato herbáceo dominan plantas de la familia Asteraceae.

El clima en la región se caracteriza por un patrón estacional en la precipitación, con una estación lluviosa (Junio a Octubre) en la cual cae el 90 %

de la lluvia total anual, el promedio anual de precipitación es de 740 mm; (García-Oliva et al., 1991). La temperatura media anual es de 24.9° C, con una variación diurna de 9 ° C in verano y 14 ° C en invierno (de Ita-Martínez y Barradas, 1986). Durante el año de estudio la precipitación total anual fue de 391.6 mm (aproximadamente el 50% del promedio anual), mientras que el promedio anual de la temperatura mínima fue de 17.2 °C y la máxima de 28.8 °C.

El área de estudio está caracterizada por una ladera convexa localizada a 80 m snm orientada hacia el sur, y con pendientes que van de 5 a 25°. El suelo (Haplic Ustarents) es poco profundo (en promedio 0.6 m de profundidad). Las proporciones de arcilla, limo y arena en el suelo a una profundidad de 10 cm fueron 25 ± 3 , 24 ± 3 , y 51 ± 3 % (promedio ± 1 EE), respectivamente.

La vegetación en la región es el bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1988). El bosque es diverso en composición de especies, con aproximadamente 750 especies agrupadas en 108 familias. Leguminosae es la familia más importante, contabilizando el 15% de las especies (Lott et al., 1987). Las especies mas comunes son *Caesalpinia eriostachys* Benth, *Lonchocarpus eriocarinalis* Micheli, *Ipomoea wolcottiana* Rose, *Bursera instabilis* Mc Vaugh & Rzedowski, *Jatropha malacophylla* Standl., *Croton chamelensis* Lott, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken y *Spondias purpurea* L.

Diseño experimental.

Los criterios para la selección de especies fueron: abundancia alta a moderada en el bosque maduro, tasa de crecimiento alta o intermedia, alta producción de semillas y, porcentajes altos de germinación. Las especies que al menos cumplieron con tres de las cuatro características mencionadas fueron:

Caesalpinia eriostachys (Leguminosae). *Lonchocarpus eriocarinalis* (Leguminosae), e *Ipomea wolcottiana* (Convolvulaceae).

Caesalpinia eriostachys es una especie caducifolia facultativa que pertenece a etapas muy avanzadas en la sucesión y tiene una tasa de crecimiento lenta. *Lonchocarpus eriocarinalis* es caducifolia y se presenta en zonas perturbadas y dentro del bosque maduro y es una especie con una tasa de crecimiento intermedia. *Ipomea wolcottiana* es una especie caducifolia que se presenta en etapas tempranas de la sucesión y tiene una tasa de crecimiento alta.

Las semillas de estas especies se recolectaron de varios progenitores dentro del BTC en Chamela, Jalisco. En el laboratorio de ecofisiología tropical del Instituto de Ecología, se pusieron a germinar 100 semillas de cada una de las especies en cajas de petri con agar y, en condiciones controladas (25 °C con un período de luz-oscuridad 12-12 horas, respectivamente) para obtener información de la latencia y los porcentajes de germinación. Posteriormente, se pusieron a germinar 500 semillas de cada especie en un invernadero en la Estación de Biología Chamela, para obtener las plántulas para el experimento con acolchados.

El experimento se llevo a cabo de Julio del 2001 a Julio del 2003, en un área de 90 × 50 m orientada principalmente hacia el sur (pendientes de 5 a 25°). Se colocaron tres bloques al azar, cada bloque contenía 16 parcelas de 5 × 6 m en las cuales se ubicaron tres tipos de acolchado (polietileno blanco, paja de *Medicago sativa* L. y, hojarasca del bosque tropical caducifolio), y el suelo desnudo como control. La separación entre bloques fue de 2 m, entre parcelas 1.5 m, y entre cada hilera de parcelas 4 m a lo largo de la pendiente. Para

prevenir un posible efecto de lixiviación y de escorrentía entre una parcela y otra se construyeron canales perpendiculares a la pendiente (85 m largo, 0.75 m ancho y 0.60 m profundo).

Cada parcela con acolchado orgánico fue cubierta con 900 g m⁻² de hojarasca o de paja. La hojarasca fue una mezcla de las especies del bosque tropical caducifolio y se recolectó del suelo del bosque en la estación seca, a finales de mayo del 2001. En tanto que, la paja de alfalfa (*M. sativa*) es abundante en la región debido a que es parte del alimento del ganado.

El polietileno utilizado para acolchar fue de color blanco y su vida media de seis meses. Los costos de cada material utilizado se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Costos de los materiales utilizados en el experimento de reforestación con acolchados.

Material	Costo de la superficie acolchada	
Polietileno	\$450.00	
Paja (<i>Medicago sativa</i>)	\$1200.00	
Hojarasca del bosque	\$1400.00	El calculo se realizo basándose en lo que se cobra por día de trabajo, y no por el valor de la hojarasca.

Entre el 22 y el 25 de julio del 2001 veinte plantas de un año de edad, se transplantaron a cada una de las parcelas (0.66 plantas m⁻²), haciendo un total de 240 plantas por especie, con 1.6 m de distancia entre ellas. En la periferia del cuadro se colocaron 14 plantas y, dentro del mismo 6, éstas últimas fueron las que se tomaron en cuenta para el registro de las medidas de crecimiento de las plantas.

Cada parcela contenía a una sola especie. El diseño fue un factorial de 4 (3 acolchados y el suelo desnudo) X 4 (3 especies y el control sin plantas) con tres réplicas (3 bloques) = 48 parcelas.

Supervivencia y crecimiento.

La supervivencia de las plantas (medida como un porcentaje respecto del número inicial de individuos) se registró después de transcurridos uno y dos años del trasplante. El crecimiento se evaluó a través de las tasas relativas de crecimiento (TRC) del diámetro (a la altura de la base) y la cobertura foliar (con dos diámetros).

La TRC se calculó de acuerdo a Hunt (1978):

$$TRC = (\ln A_F - \ln A_I) / (t_F - t_I)$$

donde A_F and A_I son los diámetros o coberturas finales e iniciales de las plantas; t_F es el tiempo final y t_I es el tiempo inicial (en días).

Análisis de resultados.

Se aplicó un análisis de varianza de una vía (acolchado) a los datos de supervivencia de las tres especies estudiadas (estos últimos fueron transformados al arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje de supervivencia) (Zar, 1999).

También se aplicó un análisis de split-plot para determinar si había diferencias en la supervivencia entre los dos años en los diferentes acolchados. Se aplicó un análisis de varianza de una vía (acolchado) a los datos de las tasas relativas de crecimiento (TRC): diámetro y cobertura.

Cuando el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los factores, se aplicó la prueba de Tukey. Todos los análisis se realizaron con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS

Germinación.

Los porcentajes de germinación de las pruebas hechas en el laboratorio con las semillas de *Caesalpinia eriostachys*, *Lonchocarpus eriocarinalis* e *Ipomea wolcottiana* fueron altos (tabla 2), ya que se registraron porcentajes que van del 90 al 100% para las tres especies.

Tabla 2. Tiempos de germinación y condiciones a las que se sometieron las semillas de las tres especies nativas en el laboratorio.

Especie	Tiempo de germinación (días)	Porcentaje de germinación	T ° C	Periodo de Luz-oscuridad	Pre tratamiento
<i>C. eriostachys</i>	3-4	100	25	12-12	Embebidas en agua durante 1 día
<i>L. eriocarinalis</i>	7-8	95	25	12-12	Embebidas en agua durante 1 día
<i>I. wolcottiana</i>	7-8	90	25	12-12	Escarificar 20-25 min. en H ₂ SO ₄

Supervivencia.

Se registraron diferencias significativas en la supervivencia de las plantas de *C. eriostachys* entre acolchados ($p < 0.0001$), pero no en el tiempo. Después de un año, la supervivencia de esta especie fue del 52 % en el acolchado de polietileno, en los acolchados de paja y hojarasca presentaron un 18 y 15 % de supervivencia, respectivamente, mientras que el valor más bajo se encontró en el suelo desnudo con un 10 %. Dos años después del transplante, la supervivencia prácticamente no cambió. Polietileno 50 %, paja 15 %, hojarasca 14 % y, suelo desnudo 8 % (Fig. 1).

La supervivencia de *L. eriocarinalis* solo mostró diferencias significativas entre acolchados ($p < 0.0001$). La disminución más drástica se presentó en el

suelo desnudo y en los acolchados orgánicos, ya que después de un año ninguna planta sobrevivió. Mientras que en acolchado de polietileno la supervivencia fue del 30% a un año del transplante y de 28% a los dos años (Fig.1).

I. wolcottiana presentó diferencias significativas en la supervivencia entre acolchados ($p < 0.00001$), con los mayores porcentajes de supervivencia en el acolchado de polietileno al año y a los dos años (76 y 74 %, respectivamente). En el suelo desnudo solo el 8 % de las plantas lograron sobrevivir después de dos años, en tanto que, en los acolchados con paja y con hojarasca los porcentajes se mantuvieron alrededor del 25 y del 28 % en el primer y segundo año (Fig.1).

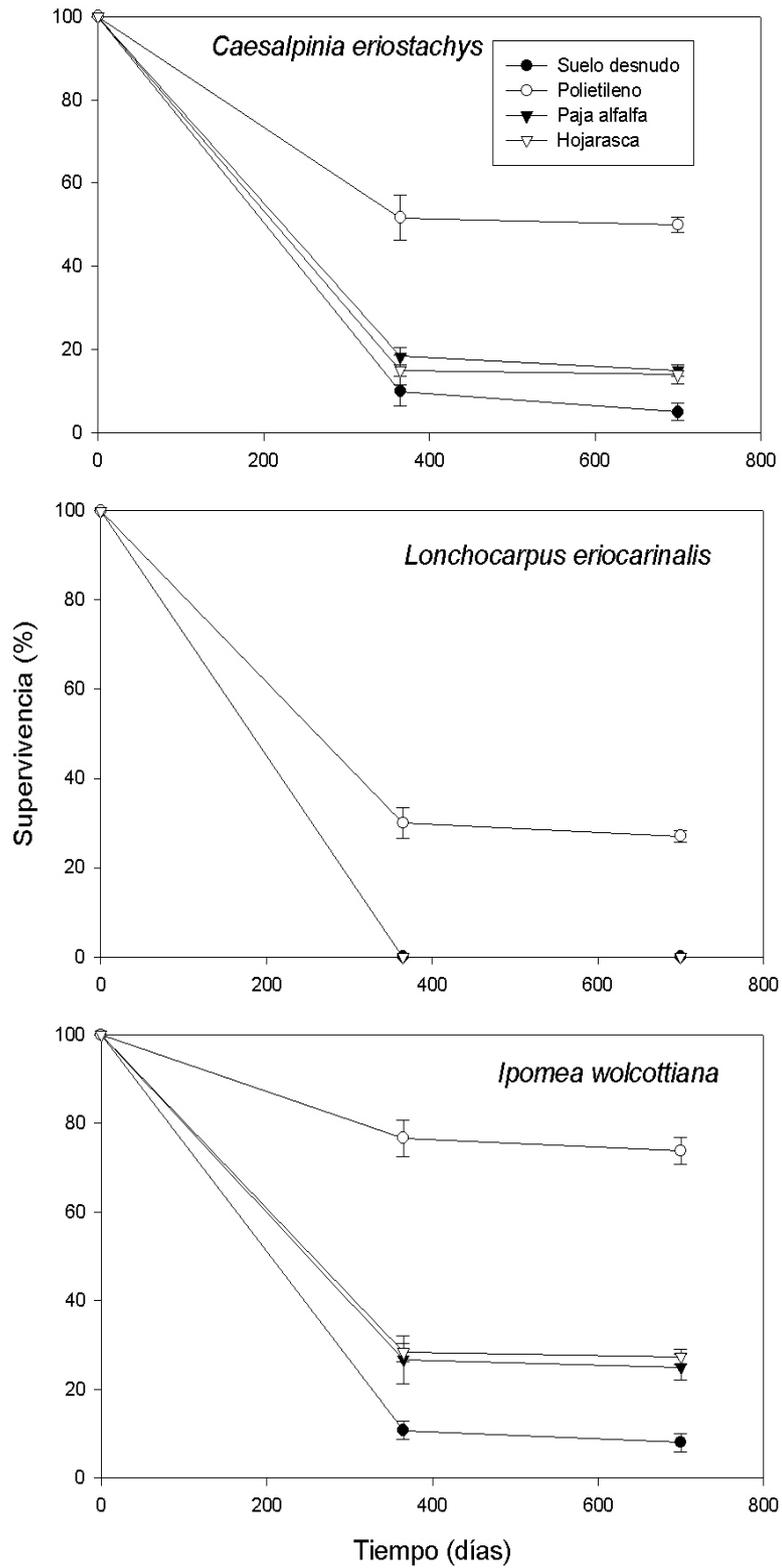


Figura 1. Porcentajes de supervivencia en las plantas de *L. eriocarinalis*, *C. eriostachys* e *Ipomea wolcottiana* después de dos años (promedio \pm 1 EE).

Crecimiento.

Las plantas de *C. eriostachys* presentaron diferencias significativas en la tasa relativa de crecimiento (TRC) en el diámetro ($p < 0.05$) y en la cobertura ($p < 0.01$) (Fig. 2), entre los tres acolchados y el control. Esta especie presentó las tasas de crecimiento más altas en el acolchado de polietileno, siguiendo en orden decreciente las parcelas con paja, con hojarasca y, los valores más bajos en el suelo desnudo.

Después de un año de crecimiento las plantas de *L. eriocarinalis* presentaron diferencias significativas en la TRC de las dos variables evaluadas (diámetro y cobertura) entre acolchados ($p < 0.0001$) (Fig. 2). Esta especie sólo sobrevivió en el acolchado de plástico, y por tanto es en este acolchado donde se presentan valores. El diámetro presentó una TRC baja pero positiva, mientras que los incrementos más altos se dieron en la cobertura.

La TRC de las plantas de *I. wolcottiana* fueron significativamente diferentes ($p < 0.0001$) entre tratamientos (Fig. 2), alcanzando los valores más altos en el acolchado de polietileno, siendo muy similares los valores alcanzados en los dos acolchados orgánicos (paja y hojarasca), y en el suelo desnudo se dieron tasas bajas de los dos parámetros.

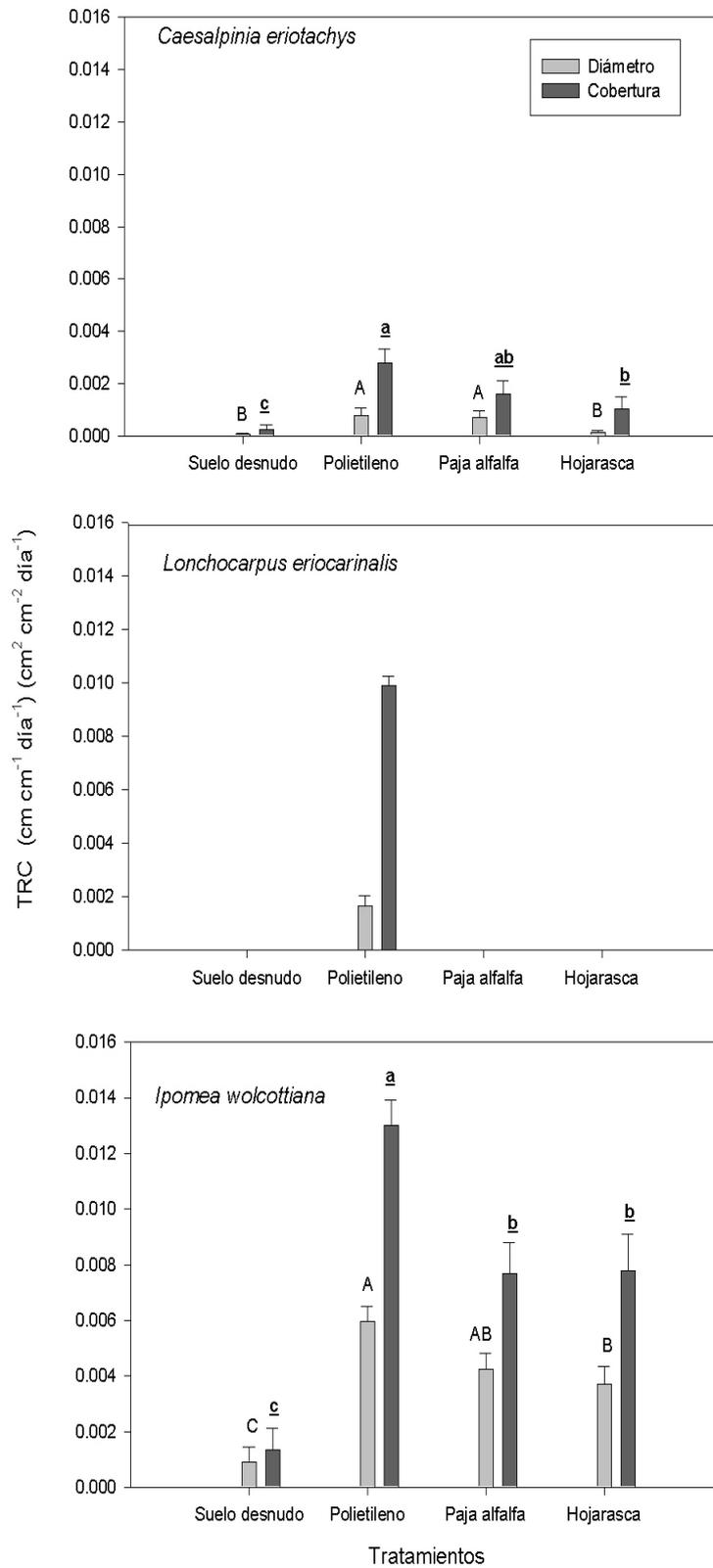


Figura 2. Tasas relativas de crecimiento para la altura, el diámetro a la altura de la base, y la cobertura en las plantas de *C. eriostachys*, *L. eriocarinalis* e *I. wolcottiana* (promedio \pm 1 E.E).

Los acolchados y sus efectos en el contenido de agua y nutrientes en el suelo.

Tabla 3. Efecto de los acolchados (sin presencia de plantas) sobre el contenido de agua en el suelo (Cas); la temperatura del suelo en superficie (T_{s_0}); y a 10 cm de profundidad ($T_{s_{10}}$); la temperatura del aire (T_a); y las concentraciones de las formas disponibles de N y P para las plantas en la época de lluvias en el año del transplante. Los datos fueron tomados de la figura 2 del capítulo 1 y, de la tabla 4 del capítulo 2.

Acolchado	Cas (g g ⁻¹)	$T_{s_0} - T_{s_{10}}$ (°C)	T_a (°C)	NH ₄ μg g ⁻¹	NO ₃ μg g ⁻¹	P lábil μg g ⁻¹
Suelo desnudo	0.06	54 - 45	43	2.19	8.4	10.1
Polietileno	0.11	45 - 36	38	2.67	11.9	15.7
Paja	0.07	51 - 37	40	3.31	4.67	11.5
Hojasca	0.07	52 - 39	41	5.8	8.16	12.1

Los acolchados tuvieron un efecto significativo e importante sobre el microclima y los nutrientes en el suelo. En especial puede observarse que el acolchado de polietileno redujo de manera importante la temperatura del aire y del suelo, lo cual seguramente disminuyó la evaporación en el suelo, ya que fue en este acolchado donde se registró el valor más alto de Cas. También es interesante observar que bajo este acolchado se alcanzan los valores más altos de nitratos y fósforo lábil.

DISCUSIÓN

Las semillas de *L. eriocarinalis* y *C. eriostachys* no presentaron latencia, de manera que el único requerimiento fue embeberlas durante 24 horas en agua. Sin embargo, para el año de estudio llovió menos de la mitad del promedio anual. Así que, es poco probable que en condiciones de campo las semillas de estas dos especies tuvieran suficiente humedad para germinar.

Las semillas de *I. wolcottiana* presentaron latencia física, que fue posible romperla escurificándolas con H₂SO₄ concentrado. De manera que su germinación en campo es todavía más difícil con respecto a las dos especies sin latencia. De manera que, las plantas de un año de edad fueron una buena elección para la reforestación.

Respecto al establecimiento las plantas de *C. eriostachys* fueron exitosas, ya que en todos los acolchados y en el suelo desnudo lograron sobrevivir. Aunque los valores más altos se dieron en el acolchado de polietileno. Sin embargo, debido a su tasa lenta de crecimiento es recomendable que para la recuperación de zonas degradadas, se combine con especies de rápido crecimiento. Ya que estas últimas podrían generar rápidamente un microambiente más favorable.

L. eriocarinalis fue la especie más sensible a las condiciones de estrés que prevalecieron durante el trasplante en las parcelas experimentales, ya que las plantas perdieron todas sus hojas y parte del tallo dos días después del trasplante. En general su crecimiento fue bastante bajo y, quizá lo más relevante e interesante de ella es que puede deshacerse de los órganos que la hacen perder agua y, aún así sobrevivir.

Las plantas de *I. wolcottiana* tienen tallos extremadamente suaves y flexibles y, presentan en sus raíces estructuras engrosadas que le permiten almacenar agua, esta característica junto con el hecho de que es una especie colonizadora de rápido crecimiento, seguramente influyeron en que fue la especie más exitosa de las tres utilizadas. Aunque su desarrollo fue bueno en los acolchados orgánicos, su mejor desempeño se dio nuevamente en el acolchado de polietileno. Lo cual nos indica que es importante el introducir

especies de rápido crecimiento al inicio de la recuperación de las áreas degradadas.

Por otro lado, resulta sumamente interesante ver que se presentaron cambios mínimos en el porcentaje de supervivencia de un año al otro, de manera que este hecho nos permite decir que sería suficiente con acolchar en una sola temporada de crecimiento (época de lluvias) para asegurar un incremento significativo en la supervivencia a un plazo mayor a un año.

Sin embargo, para efectos de una estrategia de reforestación todavía falta responder la pregunta: **¿Sería rentable reforestar con plantas combinadas con acolchados?**

La siguiente tabla nos facilitará el responder a la pregunta

Tabla 4. Costo por planta establecida y, por hectárea que quisiera reforestarse con acolchados en un bosque tropical caducifolio.

Acolchado	Costo de las plantas (\$)	Costo del material Utilizado (\$)	Número de plantas establecidas (incluyendo a las tres especies)	Costo por planta establecida (\$)	Costo por hectárea reforestada (\$)
Suelo desnudo	1500	0	10 de 180	150	60,000.00
Polietileno	1500	450	92 de 180	21.19	8,476.00
Paja	1500	1200	24 de 180	112.5	45,000.00
Hojarasca	1500	1400	24 de 180	120.83	48,332.00

Resulta evidente que lo más barato es reforestar con el acolchado de polietileno, y que ningún programa de reforestación se arriesgaría a reforestar en suelo desnudo, ya que cabe recordar que el vigor de las plantas (altura, cobertura, diámetro) en este tratamiento también fue el mas bajo.

Aunque, si se desglosan los costos por especie el panorama cambia (Tabla 2). Lo que se observa es que sale aún más barato el costo por planta si se utiliza el polietileno y a especies con rápido crecimiento. En contraparte, es

caro reforestar con paja u hojarasca y especies de lento crecimiento y, sigue siendo caro no utilizar acolchados, a pesar de la especie.

De manera que este trabajo demuestra, que una buena estrategia de reforestación para los BTC, es la utilización de plantas de vivero de rápido crecimiento combinadas con un acolchado de polietileno, el cual tendría que ser blanco, para disminuir la radiación neta y por ende disminuir la temperatura del suelo y del aire. Lo cual repercutiría de manera favorable en la humedad y la concentración de nutrientes en el suelo. De manera que, **no es suficiente el reducir solo el déficit hídrico**, ya que la temperatura parece jugar un papel determinante en estos eventos. Además de que los acolchados amplían la disponibilidad de nutrimentos.

Tabla 5. Costo por planta establecida de cada una de las especies y, por hectárea que quisiera reforestarse con acolchados en un bosque tropical caducifolio.

Acolchado	Especie	Costo de las plantas (\$)	Costo del material Utilizado por especie (\$)	Número de plantas supervivientes por especie	Costo por planta superviviente (\$)	Costo por hectárea reforestada (\$)
Suelo desnudo	<i>C.eriostachys</i>	475	0	5 de 60	95	38,000.00
	<i>L.eriocarinalis</i>	475	0	0 de 60	-	-
	<i>I. wolcottiana</i>	550	0	5 de 60	110	44,000.00
Polietileno	<i>C.eriostachys</i>	475	150	30 de 60	20.83	8,332.00
	<i>L.eriocarinalis</i>	475	150	17 de 60	36.76	14,704.00
	<i>I. wolcottiana</i>	550	150	45 de 60	15.55	6,220.00
Paja alfalfa	<i>C.eriostachys</i>	475	400	9 de 60	97.22	38,888.00
	<i>L.eriocarinalis</i>	475	400	0 de 60	-	-
	<i>I. wolcottiana</i>	550	400	15 de 60	63.33	25,332.00
Hojarasca	<i>C.eriostachys</i>	475	467	8 de 60	117.75	47,100.00
	<i>L.eriocarinalis</i>	475	467	0 de 60	-	-
	<i>I. wolcottiana</i>	550	467	16 de 60	63.56	25,424.00

Finalmente, es necesario recalcar que la reforestación artificial, tan costosa, como la natural (sucesión), tan valiosa, no tendrán el éxito deseado mientras subsistan las causas de la destrucción de los bosques, como son los desmontes para la agricultura, el pastoreo extensivo, las talas clandestinas, los incendios forestales y sobre todo el crecimiento acelerado de la población.

LITERATURA CITADA

Baker D 1987 Water Relations. In: Advanced Plant Physiology. M. Wilkins (Ed.). Pitman Publishing Limited, Londres. pp. 297 - 318.

Barajas-Guzmán G, Campo J y Barradas V L 2006 Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Plant and Soil* 287, 347 - 357.

Baskin C y Baskin J 1998 Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academic Press. California.

De Ita-Martínez C y Barradas VL 1986 El clima y los patrones de producción agrícola en una selva baja caducifolia de la costa de Jalisco, México. *Biotica* 11, 237 - 245.

Ellingson L, Kauffman J, Cummings D, Sanford R y Jaramillo V 2000 Soil N dynamics associated with deforestation, biomass burning, and pasture conversion in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecol. Manag.* 137, 41 - 51.

García-Oliva F, Ecurra E y Galicia L 1991 Pattern of rainfall distribution in the Central Pacific Coast of México. *Geogr. Ann.* 73, 179 - 186.

Grantz A, Vaughn L, Farber R, Kim B y Ashbaugh L 1998 Transplanting native plants to revegetate abandoned farmland in the western Mojave desert. *Journal of Environmental Quality.* 27, 960 - 967.

- Hunt R 1978 Plant Growth Analysis. Arnold, London, UK.
- Jones H 1992 Plants and Microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. 2nd. ed. Cambridge University Press. Cambridge.
- Kauffman J, Steele M, Cummings D y Jaramillo V 2003 Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecol. Manag.* 176, 1 - 12.
- Ketterings Q, Noordwijk M y Bigham J 2002 Soil phosphorus availability after slash-and-burn fires of different intensities in rubber agroforests in Sumatra, Indonesia. *Agr. Ecosyst. Environ.* 92, 37 - 48.
- Lott E, Bullock H y Solís-Magallanes A 1987 Floristic diversity and structure of upland and arroyo forest of coastal Jalisco. *Biotropica* 19, 228 - 235.
- Montague T, Kjelgren R y Rupp L 1998 Surface energy balance affects gas exchange of three shrub species. *Journal of Arboriculture.* 24, 254 - 22.
- Murphy P y Lugo A 1986 Ecology of Tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17, 67 - 88.
- Nobel P 1991 Physicochemical and Environmental Plant Physiology. Academic Press, San Diego.
- Rzedowski J 1988 Vegetación de México. LIMUSA, D. F., Mexico.
- Salisbury, F. y C. Ross. 1978. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont California.
- Santos S y Ochoa N 1990 Adaptación de las plantas al déficit hídrico. *Ciencia.* 41, 333 - 344.
- Tilander Y y Bonzi M 1997 Water and nutrient conservation through the use of agroforestry mulches, and sorghum yield response. *Plant and Soil.* 197, 219 - 232.

Watkins T y Cantliffe D 1983 Hormonal control of pepper seed germination. HortScience 18, 342 - 343.

Zar J 1999 Biostatistical Analysis. Prentice-Hall Upper Saddle River, New Jersey.

CONSIDERACIONES FINALES

Dos de los graves problemas que enfrentamos en la actualidad es el crecimiento demográfico y la obtención de recursos para la manutención de las poblaciones humanas. En la más reciente y más elevada proyección de la ONU, se esperan 11000 millones de habitantes para el año 2050 (UNITE, 1997; Lutz, 1998). Este aumento de la población seguirá acelerando el proceso de deforestación para expandir los terrenos agrícolas y pecuarios (Semarnat, 2005).

El sistema social siempre ha hecho uso del sistema natural, ya sea en la explotación misma de los recursos naturales, o mediante el aprovechamiento de la capacidad de adaptación y asimilación del medio natural. Sin embargo, lo que es alarmante es la escala en que éste se utiliza a través de una explotación de los recursos naturales cada vez más intensiva y de mayor magnitud.

La forma típica de explotación en los bosques tropicales es una operación altamente selectiva de especies comerciales con absoluto desinterés por el resto de las especies que se destruyen o se ven irremediamente dañadas (Morgan, 1995).

Asimismo, la cubierta vegetal del bosque tiene una función estratégica en el ciclo de nutrimentos, la exuberante vegetación es la que capta y almacena los nutrimentos esenciales para el crecimiento y buen desarrollo de la masa vegetal. Al contrario de los ecosistemas templados, los suelos de los ecosistemas tropicales tienen una capacidad baja de retención de los nutrimentos. Cuando éstos quedan en él, son rápidamente afectados por el

proceso de lixiviación y, por lo tanto, se pierden para los fines productivos de la biomasa.

En otras palabras, para que el ecosistema sea eficiente, es preciso que los nutrientes pasen rápidamente a la masa vegetal que se encarga de su uso y almacenamiento. La eficiencia del proceso se ve asegurada por la gran diversidad de especies del bosque tropical, y una de las características del mismo es la baja dominancia que presenta en oposición a una gran diversidad por hectárea.

El bosque tropical también desempeña un papel importantísimo en la regulación de los climas en el mundo. En las regiones tropicales –que son el 40% de la superficie terrestre- se efectúa el 58% de la evaporación en el ciclo global del agua. Así, mientras en Finlandia la evaporación promedio es de 20 cm por año, y en el sureste de Inglaterra de 50 cm, en el Congo y en Kenya es de 120 y 159 cm anuales, respectivamente; en tanto que en los pantanos del Nilo, alcanza los 240 cm por año (UNEP, 1987).

Por otro lado, los bosques tropicales son responsables en más del 25% de la fijación en la tierra del carbono a escala mundial. Estos bosques tienen además función reguladora térmica mundial (Nelly y Davidson, 2000). El proceso de deforestación, al eliminar la cubierta protectora, aumenta la reflectividad, con lo cual se incrementa la reflexión de calor solar y aumenta la temperatura de la atmósfera, con las consecuencias graves que ya estamos viviendo. Al retirarse la cubierta forestal no sólo se elimina directamente a varias especies, sino que las condiciones ambientales locales se modifican seriamente.

En México en 1995 se creó el Programa Nacional de Reforestación (Pronare) y, en el año 2004 la superficie sembrada ya había alcanzado 1.75 millones de hectáreas, para lo cual se produjeron y sembraron 2 mil 476 millones de plantas. Sin embargo, la diferencia entre la superficie deforestada y reforestada es aún grande y, los programas de reforestación están orientados básicamente hacia los bosques templados (Semarnat, 2005).

Así que, es importante seguir aumentando la superficie reforestada y, dar seguimiento a las plantas que se introducen. También es prioritario que se reforesten otros tipos de ecosistemas, además de los bosques templados. Ya que resulta paradójico que los ecosistemas más deforestados sean los menos reforestados.

El bosque tropical caducifolio se encuentra dentro de este grupo de ecosistemas y, este trabajo muestra evidencia de que la reforestación en zonas degradadas de estos bosques es posible y, que la falta de agua, el aumento de la temperatura del suelo y la del aire, además de la concentración de nutrientes disponibles son quienes condicionan el establecimiento y desarrollo de las plantas.

Termino señalando que en México los programas gubernamentales, aunque han avanzado, no terminan de resolver el problema grave que tenemos de deforestación y pérdida de suelo. El problema de la utilización de los recursos naturales, de su agotamiento y del deterioro del medio deben examinarse desde una perspectiva doble (Bifani, 1981).

Primero, la de la existencia de los recursos naturales conocidos y, de las leyes naturales que los gobiernan y regulan su proceso de reproducción. Así como, la capacidad del medio para regenerarse y absorber el impacto de la

actividad humana. Segundo por la forma en que el sistema social lleva a cabo sus actividades, que se traducen en formas específicas de gestión ambiental.

Evidentemente, a nosotros nos toca la primera perspectiva. Así que, es mucho lo que tenemos que investigar, pero más lo que tenemos que hacer en el terreno práctico en nuestro país.

LITERATURA CITADA

Bifani P 1981 Desarrollo y medio ambiente II. CIFCA. Madrid.

Lutz W 1998 Sólo toma unos 12 años para que la población aumente otros mil millones de habitantes. National Geographic 3, 4 – 5.

Neill C y Davidson A 2000 Soil carbon accumulation or loss following deforestation for pasture in the Brazilian Amazon. In: Global Climate Change and tropical Ecosystems. Lal R, Kimble M y Stewart A (Eds). CrC Press, Florida.

Morgan P 1995 Erosión y conservación del suelo. Mundi-Prensa. Madrid.

SEMARNAT 2005 Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.

Compendio de estadísticas ambientales. D. F. México.

UNITE 1997 Con cifras del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial (The World Bank Atlas, 1997).

UNEP 1987 Environmental data report. Blackwell, Oxford.