



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

**EFFECTO DEL ENDURECIMIENTO NATURAL,
PREACONDICIONAMIENTO HÍDRICO Y ACOLCHADOS
EN LA SUPERVIVENCIA Y ESTABLECIMIENTO
DE *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. EN EL AJUSCO
CON FINES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACÁDEMICO DE

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

P R E S E N T A

ERÉNDIRA ARAIZA RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. VÍCTOR L. BARRADAS MIRANDA

MÉXICO, D.F.

MARZO, 2007.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

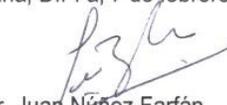
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

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 22 de enero del 2007, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) de la alumna **Araiza Ramírez Erendira** con número de cuenta **505017497** con la tesis titulada: "**Efecto del endurecimiento natural, preacondicionamiento hídrico y acolchados en la supervivencia y establecimiento de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. en el Ajusco con fines de restauración ecológica**" bajo la dirección del **Dr. Víctor Luis Barradas Miranda**.

Presidente:	Dra. Alma Delfina Lucia Orozco Segovia
Vocal:	Dr. Zenón Cano Santana
Secretario:	Dr. Víctor Luis Barradas Miranda
Suplente:	Dra. María del Pilar Huante Pérez
Suplente:	Dr. Christine Desiree Siebe Grabach

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a, 7 de febrero del 2007


Dr. Juan Núñez Farfán
Coordinador del Programa

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT, por su apoyo con la beca otorgada para lograr el grado de Maestra en Ciencias.

A la Fundación Packard, por el apoyo económico para la realización de este proyecto, así como para las practicas de campo.

A los miembros del Comité Tutoral por la guía certera para el desarrollo de está tesis y sus aportaciones en este escrito:

Dr. Víctor L. Barradas Miranda,
Dra. Alma Delfina L. Orozco Segovia y
Dra. Christina Désireé Siebe Grabach.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Ecología, UNAM, por permitir el uso de sus instalaciones.

Al Comité Administrativo y Académico de la Maestría en Ciencias Biológicas orientado a la Restauración Ecológica, por las facilidades e impulso de actividades complementarias de carácter académico y científico, así como por su trato siempre respetuoso.

A los Miembros del Jurado:

Dr. Víctor Barradas Miranda por su asesoramiento técnico, académico y personal;
Dra. Alma Orozco Segovia por su instrucción en diferentes aspectos del área científica a través de su experiencia y por ser un ejemplo a seguir;

Dra. Christina Siebe Grabach por darle un enfoque más amplio a este proyecto, por su calidad como persona, maestra e investigadora;

Dr. Zenón Cano Santana por sus atenciones, interés en el perfeccionamiento de este escrito y disponibilidad de su tiempo y a la

Dra. Pilar Huante Pérez por la formación dentro de la ecofisiología y su buena disposición.

Al Ing. Jesús Micelli por apoyar el desarrollo del proyecto en el Parque Ecológico de la Ciudad de México.

A los integrantes del Departamento de Ecología Funcional:

por su apoyo en la parte estadística: María Esther Sánchez y Guadalupe Barajas,
por su colaboración en las actividades de laboratorio y campo: Leopoldo Benítez, Saraí Montes y José Luís Landa.

A mi mamá, Mireya Ramírez. R. por contribuir en el trabajo de campo y apoyarme a lo largo de mi vida.

A Juan Carlos Peña, por su ayuda en campo, sus recomendaciones a este trabajo y su agradable compañía.

A mis compañeros de la maestría y amigos, por recorrer conmigo un tramo de este camino durante estos dos últimos años.

ÍNDICE

RESUMEN/ ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	4
2.1. Restauración ecológica	
2.2. Estado de referencia	5
2.3. Sucesión ecológica	6
2.4. Estrategias de restauración	8
2.5. Desarrollo de estrategias	9
2.6. Germinación	10
2.7. Endurecimiento de semillas	11
2.8. Importancia del agua en las plantas	13
2.9. Estrés y preacondicionamiento hídrico	14
2.10. Acolchados	16
3. HIPÓTESIS	18
3.1. Hipótesis general	
3.2. Hipótesis particulares	
4. OBJETIVOS	19
4.1. Objetivo general	
4.2. Objetivos particulares	
5. MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1. Zona de estudio	
5.1.1. Localización geográfica	
5.1.2. Suelo	21
5.1.3. Clima	
5.1.4. Vegetación	23
5.1.5. Hidrología	24
5.2. Sitio de estudio	
5.3. Características de la especie	25
5.4. Descripción del método	27
5.4.1. Recolección, limpieza y selección de semillas	
5.4.2. Endurecimiento natural	
5.4.3. Escarificación	28
5.4.4. Germinación y emergencia	29
5.4.5. Preacondicionamiento hídrico	
5.4.6. Transplante al PECM	31
5.4.7. Acolchados	
5.4.8. Análisis estadísticos	33
5.4.9. Análisis económico	

6. RESULTADOS	34
6.1. Endurecimiento natural de semillas	
6.2. Preacondicionamiento hídrico	
6.2.1. <i>Supervivencia</i>	
6.2.2. <i>Crecimiento</i>	
6.2.3. <i>Variables fisiológicas</i>	35
6.3. Acolchados	40
6.3.1. <i>Temperatura</i>	
6.3.2. <i>Supervivencia</i>	
6.3.3. <i>Crecimiento</i>	43
6.3.4. <i>Variables fisiológicas</i>	48
6.4. Costos	54
7. DISCUSION	57
7.1. Endurecimiento de semillas	
7.2. Preacondicionamiento hídrico	58
7.3. Transplante al PECM	60
7.4. Acolchados en el PECM	
7.5. Análisis socioeconómico	64
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
LITERATURA CITADA	68
ANEXO 1. Descripción de perfiles de suelo en el sitio de estudio	73
ANEXO 2. Tablas de análisis estadísticos	76

Araiza-Ramírez E. 2007. Efecto del endurecimiento natural, preacondicionamiento hídrico y acolchados en la supervivencia y establecimiento de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. en el Ajusco con fines de restauración ecológica. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 78 pp.

RESUMEN

Se ha observado que las plantas de vivero transplantadas a condiciones naturales tienen una alta tasa de mortalidad siendo este el caso de *Dodonaea viscosa* en el Ajusco Medio, por lo cual se planteó el mejoramiento de las semillas y las plantas a través del endurecimiento natural de las semillas, el preacondicionamiento hídrico y el uso de acolchados para incrementar la supervivencia y el establecimiento de las plantas al sembrarlas en un matorral xerófilo perturbado en el Parque Ecológico de la Ciudad de México. La interacción entre estos tratamientos no se había realizado anteriormente, además se consideró la parte biológica y económica del proyecto.

En primer lugar el endurecimiento natural consistió en enterrar las semillas en el suelo del parque ecológico durante tres meses. Después, se germinaron y crecieron en una casa de sombra. Posteriormente, las plantas se preacondicionaron hídricamente regándolas con la mínima cantidad de agua necesaria para sobrevivir y finalmente se transplantaron al campo y se acolcharon con paja y polietileno blanco/negro. Las variables determinadas fueron: supervivencia, altura, diámetro a la base del tallo, conductividad estomática, transpiración, potencial hídrico, eficiencia del uso del agua y los costos.

Los resultados mostraron que la germinación de semillas endurecidas y no endurecidas fue similar. Las plantas regadas a capacidad de campo tuvieron mayor crecimiento que las estresadas hídricamente sin diferenciarse por el endurecimiento de las semillas. La interacción entre el endurecimiento natural de las semillas, el riego de las plantas a capacidad de campo y el acolchado de polietileno es lo más recomendable para acelerar la sucesión ecológica en una zona degradada sujeta a restauración lográndose aumentar la supervivencia de un 15 % a un 50 %.

Araiza-Ramírez E. 2007. Effect of natural priming, water stress precondition and mulches on the survival and establishment of *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. in the Ajusco with the end to ecological restoration. Master Thesis. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico. 78 pp.

ABSTRACT

Common transplantation from the plant nursery to the field has generally presented a very high rate of mortality. This is the case for *Dodonaea viscosa* a native plant in the middle Ajusco Mountain in Mexico. For this reason, seed and plant improvement through natural priming, water stress precondition and mulches is necessary to increase the survival and establishment of this specie in a disturbed xerophilous shrubland in the Ecological Park of Mexico City. It is the first time to make the interaction between these treatments and considered the biological and economics parts.

In first place, for the natural priming, the seed were buried in the ground of the park during three months. After that, seeds were germinated and grown in a nursery. Subsequently, seedlings were water preconditioned by watering with the minimal quantity of water. Finally, after the transplantation to the field, mulches of straw and black and white polyethylene were applied. Survival, height, base stem diameter, stomatal conductance, transpiration rate, water potential and water use efficiency were measured and cost consireded.

The results showed that the priming and non priming seeds had a similar germination percentage. The irrigated to soil capacity plants were taller than water stressed plants; however, there were not differences between priming and none priming seeds. Plants with polyethylene mulch, presented the highest survival percentages and the highest value of height and stem diameter were. The better treatment was the interaction between natural priming, irrigation to soil capacity and polyethylene mulch, and it is advisable to accelerate the ecology succession on a disturb area to restore, enhancement the percent of survival of 15 to 50%.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano en el sur de la Ciudad de México originó en los 80's asentamientos irregulares que incrementaron la demanda de servicios públicos y disminuyeron las áreas verdes en el área del Ajusco Medio. Eso tuvo como consecuencia la disminución de servicios ambientales como: la captación del agua, la generación de aire limpio, el reciclamiento de nutrientes y la reserva de vida silvestre y germoplasma (Diario Oficial de la Federación, 1989). Además, el Ajusco es una zona de gran importancia por tener el mayor porcentaje de precipitación de la cuenca del valle de México y por su formación rocosa que le permite recargar los mantos acuíferos (Toscana, 1998).

Por estos motivos, el 28 de junio de 1989 se decretó como área natural protegida al Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), convirtiéndolo en una zona prioritaria para la preservación y restauración del equilibrio ecológico. Fue entonces necesario mejorar las técnicas que aumenten el éxito en los programas de restauración ecológica, como son el incremento de la supervivencia de las plantas que se introducen, ya que se ha observado una alta tasa de mortalidad en los trasplantes de individuos de vivero a condiciones naturales.

Con el propósito de restaurar un sitio altamente degradado por asentamientos humanos, el cual se caracteriza por tener una cobertura vegetal mínima, alta incidencia solar y formación mínima de suelo, se planteó el uso de *Dodonaea viscosa* (L) Jacq., una especie nativa del Ajusco Medio, que tiene características ecológicas y socioeconómicas que la hacen recomendable para estos fines. Asimismo, se pusieron en práctica tres técnicas diferentes que permitieran aumentar la supervivencia en campo. Dos de éstas fueron a través del mejoramiento funcional como el endurecimiento natural de las semillas y al preacondicionamiento hídrico de plántulas y finalmente la tercera, que fue la manipulación del microambiente mediante la aplicación de acolchados en el suelo (paja y polietileno), los cuales se han utilizado mayoritariamente en agricultura y ocasionalmente en agroforestería (Barradas¹, 2000; Barajas-Guzmán, datos no pub.) con el fin de aumentar la disponibilidad de agua en el suelo.

2. ANTECEDENTES

2.1. Restauración ecológica

Un ecosistema degradado puede iniciar o acelerar su recuperación a través de la restauración ecológica, siendo de gran importancia la reversión de los daños causados de forma natural y más frecuentemente por las actividades humanas, ya sea de forma directa o indirecta. Los sitios impactados responden de diferentes maneras dependiendo de la intensidad, duración y escala del impacto (Hobbs y Norton, 1996).

La restauración ecológica es el proceso de ayudar al reestablecimiento del ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido. La degradación se relaciona con cambios graduales o sutiles que reducen la integridad y la salud ecológica. El daño se refiere a cambios obvios y agudos en el ecosistema y un ecosistema queda destruido cuando se elimina la vida macroscópica y en general el ambiente físico (SER International, 2004).

Para lograr una restauración ecológica exitosa, Higgs (1997) propone un esquema donde se trata de llegar a las características más cercanas del estado anterior al daño del sitio, que lo denomina fidelidad ecológica y que consta de tres principios: estructura/réplica de la composición, éxito funcional y durabilidad. Hobbs y Norton (1996) y SER International (2004) incluyen otros aspectos como la heterogeneidad (complejidad de varios componentes), la dinámica (procesos de sucesión e interacción entre factores bióticos y abióticos) y la resiliencia, que es la capacidad de un ecosistema de regresar por sí solo a su estado anterior.

El esquema de Higgs (1997) contempla la parte económica, es decir los recursos con que cuenta el proyecto, también la relación entre la gente y el ecosistema en el que vive, considerando los aspectos históricos, culturales, sociales, políticos, morales y estéticos que son parte integral de la problemática a resolver.

La forma de conseguir que se logren los objetivos de la restauración es construir un plan en el cual deben implementarse algunos elementos para

maximizar el éxito de su desarrollo desde el inicio hasta después del término del proyecto como se describen a continuación.

1. Descripción ecológica del sitio y los procesos en degradación (Hobbs y Norton, 1996; van Diggelen *et al.*, 2001; SER International, 2004).
2. Descripción del estado de referencia para planear la trayectoria deseada (SER International, 2004).
3. Declaración de las metas, objetivos y limitaciones del proyecto (Hobbs y Norton, 1996; SER International, 2004).
4. Evaluación y desarrollo de las estrategias de restauración (Hobbs y Norton, 1996).
5. Planeación de los recursos como: presupuesto, duración y recursos humanos (van Diggelen *et al.*, 2001; SER International, 2004).
6. Estrategias de protección y mantenimiento (SER International, 2004).
7. Monitoreo y desempeño del protocolo (SER International, 2004).
8. Documentación y divulgación (Hobbs y Norton, 1996).

2.2. Estado de referencia

Un ecosistema de referencia sirve de modelo para planear un proyecto de restauración y, más adelante, su evaluación. La referencia representa un punto avanzado de desarrollo que se encuentra a lo largo de la trayectoria de la restauración deseable, puede ser un sitio conservado, el cual describa los atributos del ambiente abiótico y biótico con aspectos importantes como diversidad, composición y estructura de la comunidad (SER International, 2004).

La ecología de la restauración es un apoyo para llevar a la práctica la restauración ecológica, ya que es la ciencia que proporciona conceptos claros, modelos, metodologías y herramientas que utilizan los tomadores de decisiones. Los ecólogos de la restauración pueden avanzar en la teoría ecológica usando sitios de proyectos de restauración como zonas experimentales (SER International, 2004) como es en este caso el desarrollo de estrategias de la restauración en un área natural protegida.

2.3. Sucesión ecológica

La restauración ecológica pretende aumentar la velocidad de recuperación de un sitio, llegando al estado de referencia que se desarrolla por medio de una trayectoria que imita los procesos naturales como lo plantea la sucesión a través de diferentes modelos (SER Internacional, 2004).

Connell y Slatyer (1977) describen un modelo de sucesión cualitativo, basado en interacciones directas entre especies y modificaciones del ambiente. Estos investigadores proponen tres mecanismos básicos que pueden determinar un proceso sucesional: facilitación, tolerancia e inhibición.

En la facilitación las especies pioneras mejoran la condición ambiental aumentando la disponibilidad de recursos, lo que favorece el establecimiento de otras especies de sucesión tardía. El crecimiento de las especies tardías provoca que con el tiempo las pioneras sean eliminadas. Esta secuencia continúa hasta que se dé la tolerancia o la inhibición. En la tolerancia las pioneras modifican el ambiente disminuyendo el reclutamiento de especies de sucesión temprana sin afectar el establecimiento de las especies tardías capaces de tolerar las condiciones ambientales existentes. En la inhibición una especie impide el establecimiento y el desarrollo de otra evitando la colonización de otras especies o promoviendo su desaparición local, mientras que la primera especie continúa regenerándose. También se pueden dar las combinaciones entre los tres mecanismos, actuar simultáneamente o cambiar a través del tiempo porque las condiciones van siendo diferentes.

Cano-Santana y Meave (1996) han reconstruido hipotéticamente la sucesión ecológica en el Ajusco por medio de las observaciones en el volcán del Parícutín, el cual pertenece al eje neovolcánico al igual que el Xitle, las diferencias entre estos volcanes son, que el Parícutín tiene condiciones de mayor precipitación, temperatura y humedad, tuvo una menor fluidez de lava y ha tenido una menor presión demográfica menor que el Xitle. Los remanentes de vegetación aportaron en los primeros años de colonización líquenes, musgos, hierbas, arbustos y árboles, elementos dispersados por el viento y los animales, los cuales se distribuyeron conforme a la topografía existente.

Se encontraron 20 especies de las 30 especies registradas en los primeros años del Paricutín, tales como *Pinus* sp., *Baccharis glutinosa*, *Buddleia cordata*, *Eupatorium mairetianum*, *E. patzcuence*, *Wigandia urens*, *Aegopogon cenchroides*, *Aster exilis*, *Conyza coronopifolia*, *Cyperus aggregatus*, *Erigeron scaposus*, *Eryngium* sp., *Gnaphalium* sp., *Phytolacca icosandra*, *Cheilantes angustifolia*, *C. farinosa*, *Pellaea ternifolia*, *Pteridium aquilinum* y líquenes costrosos.

En 1954 Rzedowski realizó un estudio ecológico de las comunidades vegetales, distinguiendo nueve de éstas, principalmente distribuidas por el gradiente altitudinal, proponiendo un modelo hipotético de sucesión. Con base a este diseño, Cano-Santana y Meave (1996) modificaron el modelo dadas las condiciones actuales (Figura 1).

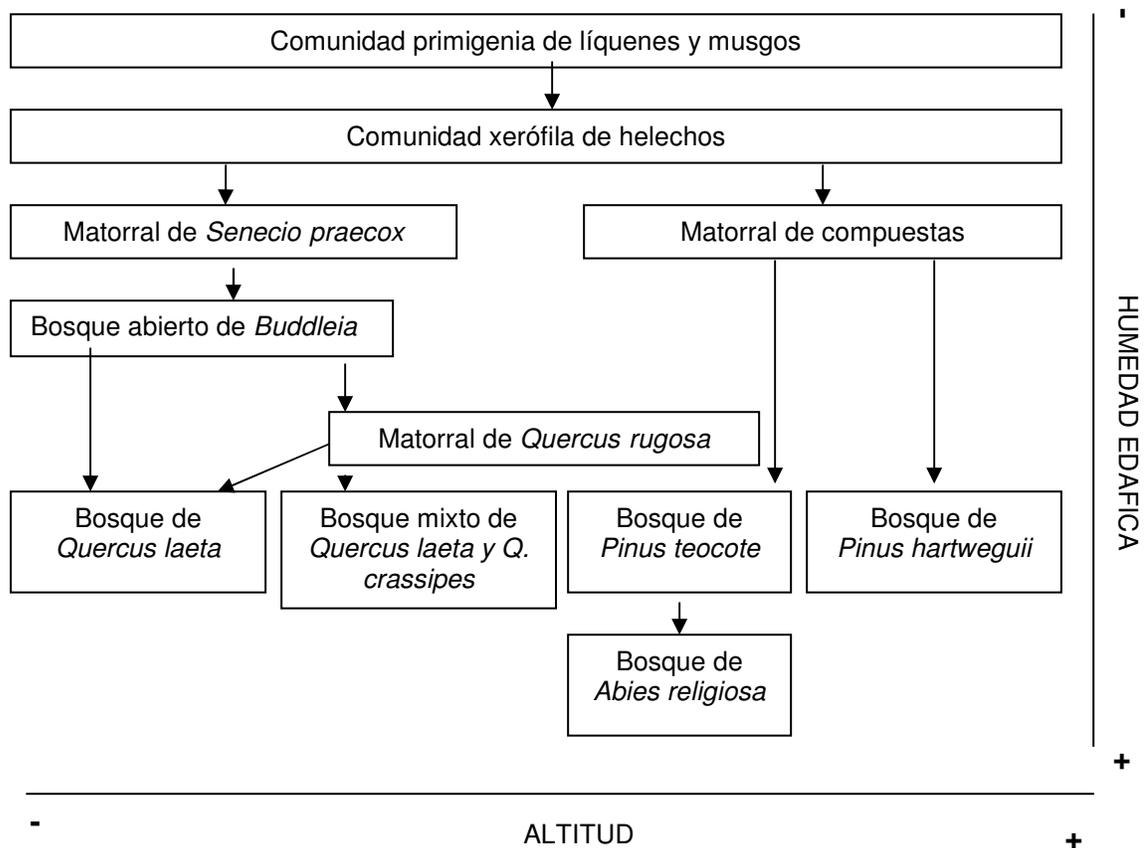


Figura 1. Modelo de la sucesión ecológica en el Ajusco Medio (Cano-Santana y Meave 1996, corregido por Cano-Santana, com. pers. 2007).

Observaron que la población de *Senecio praecox* no cubrió todo el gradiente altitudinal como sugirió Rzedowski ya que la especie sólo se estableció en la parte baja por su afinidad térmofila y en las partes altas se formó un matorral de especies más resistentes a las temperaturas bajas, el cual puede derivar a un bosque de pinos. Ellos eliminaron de su modelo a la comunidad del pirul (*Schinus molle*) ya que ha disminuido notablemente en los últimos cuarenta años y agregaron al modelo a los tepozanes, *Buddleia cordata* y *B. parviflora*, ya que su población se ha incrementado y podría ser la etapa intermedia de un matorral de encinos o bosque de encinos (Cano-Santana y Meave, 1996)

2.4. Estrategias de restauración

Las estrategias de restauración pueden ser diferentes dependiendo de las características del sitio y los objetivos planteados. Algunas acciones que se han puesto en práctica son la introducción de plantas y animales que aumenten la biodiversidad (Dobson *et al.*, 1997) y el funcionamiento de un ecosistema como las micorrizas, organismos detritófagos, polinizadores y dispersores de semilla, el control de especies invasoras, alelopáticas y la herbivoría (Hobbs y Norton, 1996); la selección de especies vegetales; la determinación de métodos de propagación; la determinación de condiciones favorables de establecimiento y crecimiento; la recolección, caracterización, evaluación, diversificación, mejoramiento y conservación de germoplasma disponible de las especies; la clonación de individuos con características óptimas y la adecuación de las plantas a condiciones particulares (Vázquez-Yáñez y Batis, 1996). También se pueden emplear obras de ingeniería como cortinas rompevientos, corredores, aljibes, cisternas y trampas de agua.

Desde el punto de vista de comunidades vegetales, se deben considerar algunas características de las plantas para la restauración, que pueden mejorar con el tiempo la calidad de los suelos degradados como: a) ser de fácil propagación, b) resistir a condiciones limitantes, como baja fertilidad, sequía, suelos compactados, salinidad o potenciales de hidrógeno ácidos o básicos; c) tener rápido crecimiento y producción de materia orgánica abundante; d) tener

alguna utilidad adicional a su efecto restaurador por ejemplo producir leña, carbón, forraje nutritivo, vainas comestibles, madera y néctar; e) tendencia nula a adquirir propagación malezoide invasora, incontrolable; f) presencia de nódulos fijadores de nitrógeno o micorrizas que compensen el bajo nivel de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes en el suelo y g) favorecer el restablecimiento de las poblaciones de elementos de la flora y fauna nativas proporcionándoles hábitat y alimento (Vázquez-Yáñez y Batis, 1996).

2.5. Desarrollo de estrategias

Considerando las estrategias ya mencionadas se planteó el uso de la especie *Dodonaea viscosa*, que es un arbusto nativo del Ajusco el cual cuenta con atributos ecológicos que la hacen factible para la restauración ecológica como son: fácil propagación, alto porcentaje de germinación, resistencia a la sequía, capacidad de crecer en suelos poco desarrollados, favorecer la regeneración natural por el aporte de caída abundante de hojarasca. Además, se le pueden dar varios usos como: leña, carbón, planta ornamental y medicinal (Camacho *et al.*, 1993) (véase punto 5.3).

Se ha reportado que la reforestación tiene deficiencias que producen que la supervivencia de las plantas introducidas no sea mayor del 35 % (Salas, 1990 en Barradas², 2000). Otras evaluaciones más recientes a nivel nacional de los porcentajes de supervivencia de plantas de zonas reforestadas revelaron que fueron del 40 % al 60 % en 2003 y de 53 % en 2004. (SEMARNAT, 2006). Encontrándose avances alentadores a los que generalmente se obtienen.

En sitios como el PECM se ha reportado supervivencias de 20%, por lo que se ha optado por introducir otras especies más resistentes y el planteamiento de estrategias para resolver la baja supervivencia de las plántulas cuando éstas son transplantadas del vivero al campo. En este sentido la ecofisiología vegetal, nos orienta en cuanto a la germinación, el endurecimiento de semillas, la importancia del agua en las plantas y el estrés hídrico.

2.6. Germinación

La germinación se define como la emergencia del embrión de la semilla, por el inicio de una variedad de actividades anabólicas y catabólicas, incluyendo la respiración, la síntesis de proteínas y la movilización de reservas después de absorber el agua (Desai *et al.*, 1997), es decir, la germinación se inicia con la toma de agua de la semilla (imbibición) y termina con el comienzo de la elongación de la radícula (Bewley y Black, 1994) lo cual está determinada por la permeabilidad de la cubierta y las condiciones del sustrato, temperatura, respuesta a la luz, disponibilidad de agua, aireación, las características químicas del suelo y la duración de la imbibición (Fenner y Thompson, 2005). Las semillas maduras muestran un patrón trifásico de absorción que se correlaciona con las variaciones en los componentes del potencial hídrico (ψ) de las células durante los procesos fisiológicos y bioquímicos preparativos de la emergencia del embrión tal como se muestra en la figura 2.

En la **fase I**, debido a las fuerzas osmóticas, se da una imbibición rápida, lo cual en las semillas vivas permite la activación de la respiración de un 40 a un 45 %; se inicia la movilización de los carbohidratos y proteínas de las reservas del embrión en un 4.5 % y se inicia la síntesis de proteínas. En la **fase II** o estacionaria el potencial osmótico de la semilla entra en equilibrio con el ambiente que la rodea. Durante esta fase se realizan los principales cambios metabólicos que preparan al embrión para la emergencia de la radícula por medio de varios mecanismos: la acumulación de sustancias osmóticamente activas en las células que incrementarán el contenido de humedad hasta un 65 %, la activación de la bomba de protones que aumenta la plasticidad estructural de las paredes celulares incrementando la humedad en un 73 %, la síntesis de ARN m, el inicio de la vacuolización y el crecimiento celular. En la **fase III** al emerger la radícula, el embrión absorbe rápidamente agua del sustrato y comienza a elongarse, durante esta fase se inicia la movilización de las sustancias de reserva de los cotiledones que aseguran el establecimiento de la nueva plántula (Bewley y Black, 1994; Sánchez *et al.*, 2001).

Las semillas que entran en la fase III son las que germinan, ya que las semillas no viables pueden presentar las dos fases anteriores. La semilla conserva su tolerancia a la desecación mientras se encuentra en la fase II y puede permanecer así debido a la presencia de algún mecanismo de latencia (Sánchez *et al.*, 2001). El avance en el conocimiento de la germinación ha permitido que se desarrollen técnicas que implican el manejo de las semillas antes de que germinen, como el almacenamiento y el mejoramiento de las semillas, por medio del endurecimiento (Hartmann *et al.*, 1997).

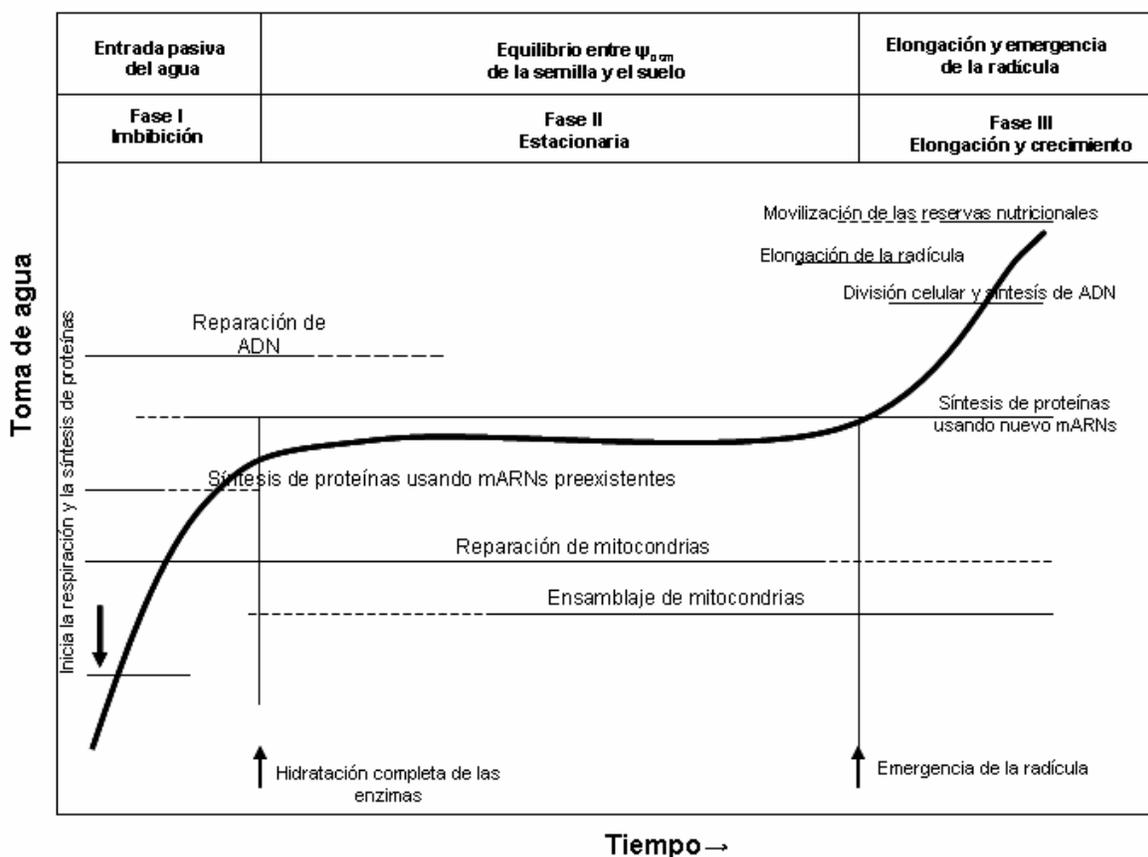


Figura 2. Esquema de los eventos metabólicos que ocurren en las semillas durante la germinación (Bewley 1994, modificado por Orozco-Segovia com. pers.)

2.7. Endurecimiento de semillas

El endurecimiento de semillas, más conocido como (priming) o (seed hardening), es un pretratamiento de la semilla, que puede aumentar la eficiencia de la germinación en un grupo diverso de plantas cultivadas vegetales y

ornamentales (Hartmann, 1997), consiste en la hidratación regulada de las semillas, la cual permite que se lleven a cabo los procesos metabólicos pregerminativos, antes de la emergencia de la radícula, es decir, solo se completa la fase I y II de imbibición, tiempo durante el cual se reparan los daños en las macromoléculas y las estructuras celulares (Bray, 1995)

Sánchez y col. (2001) mencionan que los métodos de endurecimiento se dividen en dos grupos los que controlan la imbibición de agua y los que no. Los primeros limitan la cantidad del agua a través de soluciones osmóticas, partículas sólidas o colocando el volumen exacto de agua. Las soluciones osmóticas permiten la hidratación en función del equilibrio del potencial hídrico en el sistema solución-semilla utilizando compuestos como: a) polímeros de alto peso molecular (100 a 20,000) como el polietilenglicol (PEG), b) soluciones salinas de K_2PO_4 , KNO_3 , $NaCl$, $MgSO_4$, NH_4NO_4 , $Ca(NO_4)$, KH_2PO_4 o c) soluciones azucaradas como la sacarosa y el manitol. En las partículas sólidas se usan medios de soporte como puede ser la vermiculita, Micro-Cel E, agar, silica de diatomeas, arcilla calcinada o cualquier otro que permita el control de la hidratación (Hartmann, 1997). Finalmente, el volumen exacto de agua se calcula por medio de la fórmula $MH_2O = MS(CH_f - CH_i)(100 - CH_i)^{-1}$ MH_2O es la masa de agua adicional a la masa seca inicial de la semilla (MS), CH_i es el contenido inicial de humedad de la muestra de la semilla y CH_f es el contenido final de humedad que se desea alcanzar.

Los segundos, en los que no se controla el agua, la imbibición está dada por la afinidad que se establece entre los tejidos seminales y el agua. Este mecanismo se basa en el tiempo que la semilla permanece con la suficiente cantidad de agua, como en el endurecimiento natural, en donde varía la cantidad de agua en el sustrato y fluctúa la temperatura de acuerdo a las condiciones ambientales del sitio donde son enterradas, dejando una memoria natural en la semilla (Bray, 1995).

Los antecedentes históricos del endurecimiento de semillas son muy antiguos ya que se ha usado en la agricultura de forma tradicional. Los primeros estudios los realizó Theophrastus (372-287 AC) quien hizo observaciones de

imbibición con semillas de pepino; posteriormente se revisaron los trabajos del siglo pasado, en donde se encontró que las semillas remojadas en agua y después secadas lentamente a temperatura ambiente, se imbiben y germinan más rápido que las no tratadas (Sánchez *et al.*, 2001).

En 1943 Levitt y Hamm usaron por primera vez una solución salina que permitió la imbibición activa, las reacciones fisiológicas, pero no la germinación por la limitación hídrica. Años más tarde, en 1973 Heydecker usó como agente osmótico el PEG (Sánchez *et al.*, 2001).

Las semillas endurecidas reciben un mejoramiento en al menos tres de las siguientes características (González–Zertuche, 1999; Sánchez *et al.*, 2001):

- 1) Incrementan la velocidad y uniformidad de la germinación,
- 2) sincronizan la germinación de un lote de semillas,
- 3) promueven la germinación en un mayor porcentaje,
- 4) mejoran el vigor de los lotes de semillas deterioradas,
- 5) incrementan el vigor de la plántula,
- 6) resisten mejor la desecación y las altas temperaturas,
- 7) incrementan la germinación en temperaturas subóptimas y supraóptimas,
- 8) incrementan la tolerancia de las plantas en condiciones de estrés biótico y abiótico, y
- 9) aumentan la producción de las cosechas.

La única desventaja es que los resultados del tratamiento no puede generalizarse entre lotes de semillas de la misma especie, ni entre semillas de especies cercanas.

2.8. Importancia del agua en las plantas

El agua es un elemento importante en las plantas a nivel ecológico, fisiológico, individual, celular y molecular. En primer lugar los ecosistemas están distribuidos por la cantidad de agua disponible y la temperatura; en segundo lugar los procesos fisiológicos regulan diferentes etapas de vida como: la germinación, la floración y el crecimiento; en tercer lugar a escala individual funciona como un fluido que difunde, transporta, combina y disuelve las sustancias; interviene en las

reacciones metabólicas, tales como la fotosíntesis y la respiración; en cuarto lugar a nivel celular el agua compone el 95 % del protoplasma, llena espacios y mantiene la turgencia; en quinto lugar a nivel molecular provee asociaciones hidrofílicas e hidrofóbicas, controla la distancia intermolecular que determina la conformación de proteínas, lípidos polares y la participación de moléculas entre organelos; la presencia del agua impide que las superficies reactivas de metales o moléculas reaccionen e influye en la viscosidad de la matriz dándole movilidad o suspensión a las moléculas (Walters *et al.*, 2002)

El agua en las plantas se mueve en un flujo que va del suelo, pasa a través de la raíz al tallo y las hojas liberándose de estas a la atmósfera, para volver a comenzar el ciclo, la continuidad de este ciclo depende de la generación del potencial hídrico, es decir, de la energía libre del agua para realizar un trabajo, la cual puede mover el agua en la planta, a su vez influenciada por la radiación solar, la transferencia de calor sensible y la disponibilidad de agua en el suelo (Taiz y Zeiger, 2002).

La primera etapa comienza con la absorción del agua, cuando el potencial hídrico de la raíz es menor que la del suelo, de modo que los pelos radiculares absorben osmóticamente el agua (Hale y Orcutt, 1987). Posteriormente, el agua se distribuye por el xilema ascendiendo por la presión negativa generada por la transpiración (Taiz y Zeiger, 2002). En la transpiración la planta pierde agua a través de la cutícula y los estomas, en estos últimos se regula la apertura para evitar la pérdida de agua pero también se lleva a cabo el intercambio gaseoso de O₂ y CO₂, así como la evaporación de agua que regula la temperatura de la planta (Rojas, 1972). Las altas temperaturas y los niveles bajos de humedad relativa aumentan la tasa de transpiración (Hale y Orcutt, 1987)

2.9. Estrés y preacondicionamiento hídrico

Como se ha mencionado anteriormente, el agua es un recurso limitante para las plantas, quedando expuestas al estrés hídrico, condición donde la transpiración excede la tasa de absorción del agua (Hale y Orcutt, 1987). Considerando que la intensidad del estrés en las plantas tienen diferentes efectos,

Hsiao (1973) propuso tres niveles: estrés bajo, al que es ocasional, con una mínima disminución en el ψ y un contenido relativo de agua (*CRA*) del 90 %, mientras estrés moderado si va en un rango de -0.5 a -1.2 o a -1.5 MPa, o un *CRA* entre 90 y 80 %, por otro lado es, severo si el ψ es menor de -1.5 MPa o con un *CRA* mayor de 80 %; y finalmente, definió a la desecación cuando la mitad del tejido vivo de la planta se desecó, el autor aclara que propuso un rango general, sin embargo este varía mucho entre especies.

El estrés hídrico afecta el crecimiento y los procesos metabólicos. Cuando éste es bajo, las plantas pierden turgencia, reducen su tasa de expansión celular, reducen la síntesis de pared celular, proteínas y clorofila, incrementan el ácido absídico, mientras al aumentar el estrés siendo este moderado se cierran los estomas disminuyendo la asimilación de bióxido de carbono y la transpiración, aumenta la respiración y se acumulan solutos, finalmente cuando es más severo se produce la cavitación, se reducen los nutrientes disponibles y se secan las hojas (Fitter *et al.*, 2002)

La adaptación de las plantas para sobrevivir y mantener su productividad en condiciones de sequía ha dado lugar a varios mecanismos descritos por Jones (1992), los cuales se pueden clasificar en tres tipos: evasión, tolerancia y mecanismos de eficiencia. Los que evaden minimizan la ocurrencia del daño a) escapando a la sequía con ciclos cortos de crecimiento o periodos de dormancia, b) conservando el agua a través de la reducción del área foliar o cierre estomático, con cutículas resistentes y/o limitando la absorción de la radiación o c) con la toma efectiva por medio de sistemas de raíces extensas, profundas o densas. Los tolerantes tienen adaptaciones fisiológicas que son capaces de continuar con sus funciones a pesar del estrés hídrico a) manteniendo la turgencia a través de adaptaciones osmóticas o modulando la elasticidad y b) con solutos de protección y enzimas tolerantes a la desecación. Los mecanismos de eficiencia en la optimización de recursos especialmente el agua a) uso eficiente del agua y b) almacenamiento máximo.

El preacondicionamiento hídrico es la aclimatación de las plantas por medio del estrés hídrico, el cual modifica su metabolismo confiriéndole cambios

anatómicos o fisiológicos benéficos que incrementan la resistencia o tolerancia a un estrés ambiental subsecuente (Salisbury, 1996). Este proceso puede expresarse reduciendo el umbral del ψ para inducir la síntesis del ácido abscísico (Morh y Schopfer, 1995), relajando la pared elástica de las células, aumentando la eficiencia en el control del estoma, reducción de la transpiración e iniciando la elongación de las raíces (Guarnaschelli *et al.*, 2003) o cambios producidos en el protoplasma (Kramer y Kozlowski, 1979) cambios en el potencial hídrico de la planta (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2000).

2.10. Acolchados

Los acolchados se utilizan en diversos cultivos pero son poco empleados en silvicultura y menos aún con fines de restauración ecológica (Barajas-Guzmán, 2007). Los acolchados constituyen una técnica agrícola que favorece la supervivencia, establecimiento y crecimiento de cultivos y consiste en la protección de la capa superficial del suelo por cualquier tipo de cubierta polietileno, hojarasca, paja, cortezas, entre otras (Orduña, 1994). Éstos mantienen el vapor del agua debajo de la cubierta aumentando la humedad del suelo lo cual disminuye la evaporación de un 10 a un 50 %. También impiden que se sobrecalienten las capas superiores del suelo y reducen la fluctuación de la temperatura del suelo. Otra cualidad es que favorecen la concentración de dióxido de carbono y la oxidación del nitrógeno por la actividad de los microorganismos induciendo a una mayor disponibilidad y absorción de nutrientes por las raíces de la planta. También eliminan las malas hierbas y reducen la pérdida de elementos nutritivos por lavado evitando la erosión del suelo (encostramiento, agrietamiento, compactación) y permiten que la descomposición de la materia orgánica sea más rápida (Ramírez, 1996; Monks *et al.*, 1997; Soldelvilla, 1997; Tilander y Bonzi, 1997; Montague *et al.*, 1998; Prince *et al.*, 1998; Barajas-Guzmán *et al.*, 2006).

En el mercado existe películas de polietileno de diferentes características en: color, tamaño, grosor, opacidad, textura (aluminizado) o bicapa (blanco/negro), este último está compuesto de una cubierta de polietileno que de un lado es negro y del otro lado es blanco. Streck y col. (1995) reportaron que las temperaturas más

altas se registran debajo de los acolchados transparentes y se reducen en los opacos en el siguiente orden: blanco > negro > blanco/negro. El acolchado blanco/negro provee mayores ventajas que otros colores especialmente en climas templados, porque disminuye la temperatura del suelo y evita la pérdida de calor en las horas frías, no aumentar las poblaciones de patógenos ni cambia el pH del suelo (Soldelvilla, 1997).

Los acolchados orgánicos como el de la paja, amortiguan la temperatura mínima y máxima y por lo tanto minimizan la evaporación (Orduña, 1994), aportan nutrientes, disminuyen el pH del suelo, incrementan el porcentaje de agregados estables, aumentan el contenido de bióxido de carbono, reducen la infiltración del agua en el suelo, reducen la resistencia mecánica (Soldelvilla, 1997), aportan materia orgánica, nutrientes y actividad biológica cerca de la superficie (Orduña, 1994).

3. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

El endurecimiento natural de semillas, el preacondicionamiento hídrico de las plantas y el uso de acolchados favorecen la supervivencia, el crecimiento y el establecimiento de las plantas en áreas perturbadas.

3.2. Hipótesis particulares

1. El endurecimiento natural de la semilla aumenta la supervivencia y crecimiento de las plantas en condiciones adversas en el campo, por los cambios metabólicos dados previamente en la semilla.

2. El preacondicionamiento hídrico incrementa la supervivencia de las plantas en condiciones naturales, por la aclimatación a una menor disponibilidad de agua en el suelo.

3. Los acolchados favorecen el establecimiento y supervivencia de las plántulas, a través de la protección de la superficie del suelo, siendo más eficientes los acolchados de polietileno.

4. Los tres tratamientos actuarán de forma sinérgica en el establecimiento y crecimiento de las plantas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Determinar si el endurecimiento natural de las semillas, el preacondicionamiento hídrico de plantas y el uso de acolchados garantizan el establecimiento y la supervivencia de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. en un matorral xerófilo perturbado por asentamientos humanos en el Ajusco Medio.

4.2. Objetivos particulares

1. Evaluar la supervivencia, el crecimiento y el establecimiento de *D. viscosa* en los diferentes tratamientos de endurecimiento natural, preacondicionamiento hídrico y acolchados.

2. Determinar la transpiración, la conductividad estomática, el potencial hídrico y la eficiencia del uso del agua de las plantas en los diferentes tratamientos.

3. Comparar los tres métodos y sus combinaciones (endurecimiento, preacondicionamiento hídrico y acolchados) para determinar cuál de ellos es más viable biológica y económicamente en la restauración ecológica.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Zona de estudio

5.1.1. *Localización geográfica.* La zona de estudio se ubica en el Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), (19° 16'-19° 14' norte; 99° 13'- 99° 10' oeste) a 2,400-2,900 m snm; pertenece a la delegación Tlalpan, Distrito Federal. (INEGI, 2000) (Fig. 3)

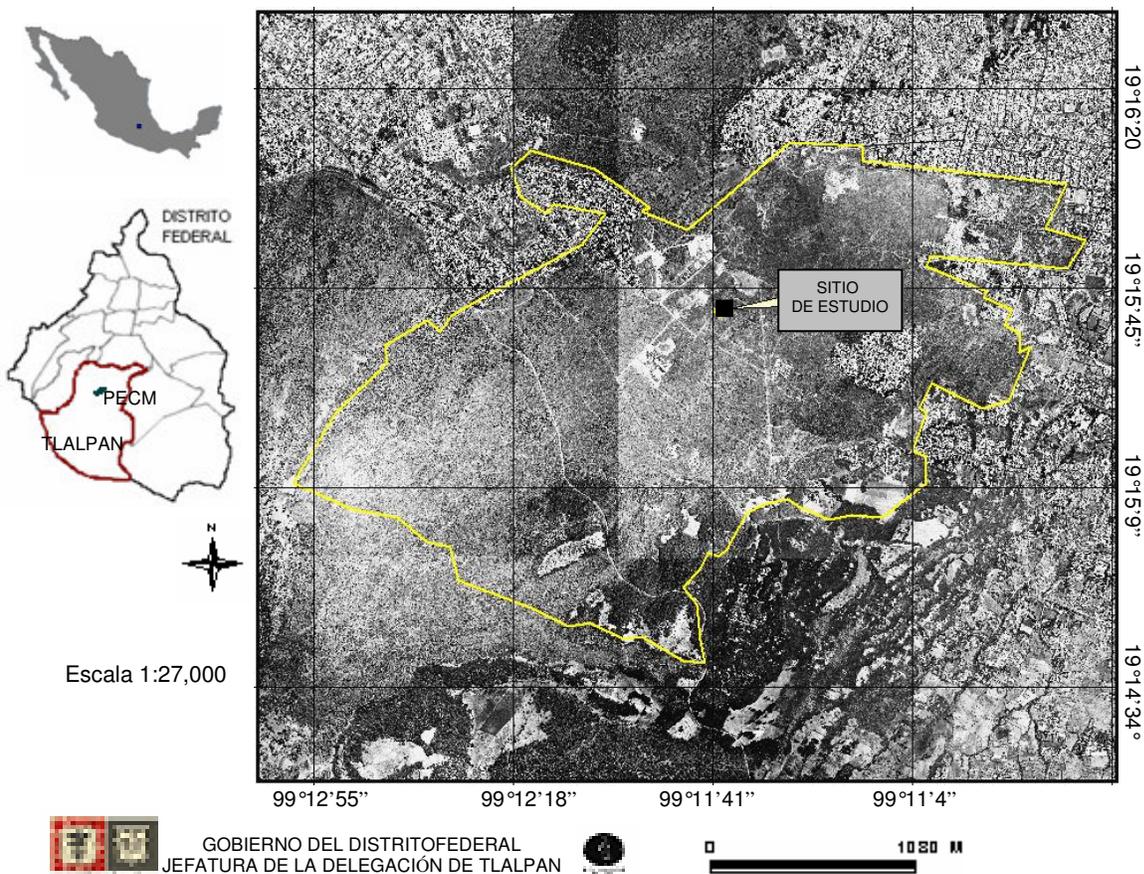


Figura 3. Ubicación del Parque Ecológico de la Ciudad de México (Delegación de Tlalpan)

La urbanización acelerada de la Ciudad de México en la década de los 80's provocó la reducción de áreas con cubierta vegetal, por lo que este parque está inmerso en la ciudad colindando al noroeste con el Centro de Ecoguardas, al sureste con la carretera federal México-Cuernavaca y el poblado de San Andrés Toltepec; al noreste con la delegación Magdalena Contreras y al norte con la

carretera Picacho-Ajusco y el poblado Lomas de Belvedere (González-Hidalgo, 2002).

Esta área también conocida como Ajusco Medio pertenece a la cordillera montañosa del Eje Neovolcánico Transversal que se extiende del Pacífico al Golfo de México. Su origen es la subducción de la placa de Cocos, que da lugar a una zona volcánica. Tiene dos formaciones geológicas recientes: la primera es la Sierra de las Cruces del Plioceno temprano, formada por una secuencia de lavas y depósitos piroclásticos dácíticos y la segunda es la Sierra Chichinautzin que está formada por un centenar de conos volcánicos monogénéticos (Toscana, 1998). El cono del Xitle fue el último en hacer erupción hace $1,670 \pm 35$ años, la característica morfológica es de una lava joven y muestra suelos muy pobremente desarrollados, los cuales cubren un área de 70 km^2 de lavas grises oscuras basálticas que contienen plagioclasa y olivino (Siebe, 2000).

5.1.2. Suelo. Los tipos de suelo más frecuentes en la zona según la clasificación FAO, ISRIC y SICS (1999) son el andosol y el litosol (CETENAL, 1979). El andosol se presenta en áreas de acumulación de material piroclástico fino y se caracteriza por tener una capa superficial de color negro o muy oscuro, por material muy suelto con alto contenido de fósforo no disponible para las plantas. Es susceptible a la erosión y en condiciones naturales tiene una relación con los bosques de pino y encino. Los tipos de andosoles presentes son el mólico y húmico, el andosol mólico tiene en la superficie una capa de color oscuro o negra, rica en materia orgánica, muy ácida y pobre en nutrientes y el andosol mólico presenta una capa oscura rica en materia orgánica. El litosol, por su parte es un suelo poco evolucionado, se caracteriza por una profundidad menor de 10 cm hasta la roca madre, debe su formación a la intemperización de la lava, aunque está sea muy lenta y sólo soporta vegetación natural. El tipo de litosol presente es de textura media (Toscana, 1998).

5.1.3. Clima. El tipo de clima en esta área es $Cb'(w2)(w)ig$, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, es el más húmedo de los subhúmedos, la lluvia invernal es

menor del 5 % de la anual, el verano es fresco y largo, es isotermal (oscilación menor de 5 °C) y la marcha tipo Ganges (mes más caliente antes de junio) (García, 2005) (Cruz, 1983). El área se encuentra ubicada entre dos estaciones meteorológicas Ajusco y Tlalpan de las cuales se obtuvieron los datos climatológicos (Fig. 4). La estación Tlalpan está ubicada 4 km del sitio de estudio a 19° 17' y 99° 10', a 2,260 m snm y la estación Ajusco está ubicada a 4.8 km del sitio de estudio a 19° 13' norte y 99° 12' oeste, a 2,839 m snm.

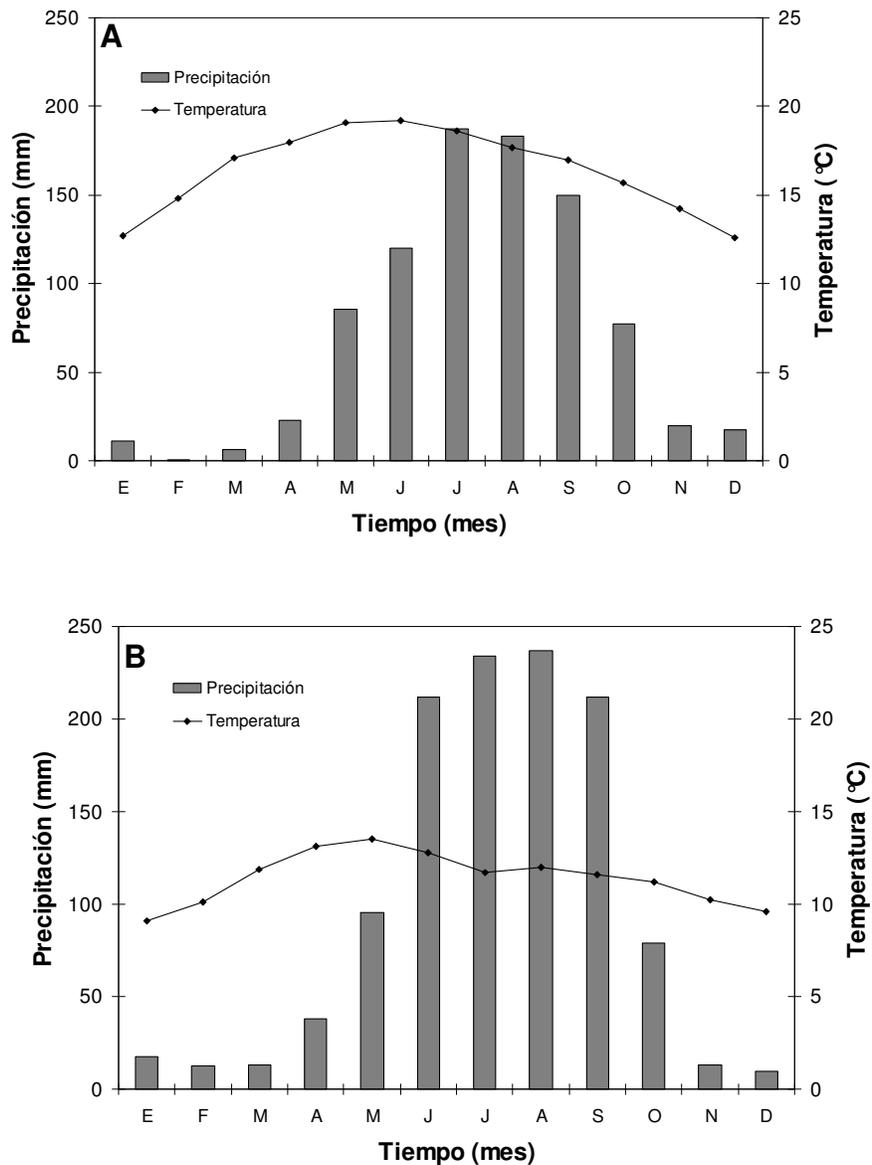


Figura 4. Temperatura y precipitación media mensual de las estaciones Tlalpan (2,260 msnm) (A) y Ajusco (2,839 m snm) (B) según INEGI (2000).

El promedio de la temperatura media anual es 16.4 y 11.4 °C (Tlalpan y Ajusco, respectivamente), el promedio de la precipitación total anual es 881.7 y 1,174.2 mm (Tlalpan y Ajusco, respectivamente). Diciembre y enero son los meses más fríos y los más secos están entre diciembre y marzo (INEGI, 2000). La dirección del viento varía: en verano es del noroeste y en diciembre es del noreste, con una velocidad de 10 km h⁻¹ (González-Hidalgo, 1996).

5.1.4. Vegetación. González-Hidalgo y col. (2001) describieron dos tipos de vegetación primaria: matorral xerófilo y bosque de encino o *Quercus*. No obstante y debido a los cambios originados por las perturbaciones antropogénicas en el matorral xerófilo, hay dos tipos de vegetación secundaria: el matorral xerófilo asociado a *Sedum* y el matorral de *Quercus* asociado a *Sedum*.

El matorral xerófilo constituye un 68.8 % del área total y cuenta con 309 especies. Se caracteriza por tener un sustrato rocoso y se encuentra entre 2,440 y 2,850 m snm. Las especies de esta comunidad son xeromórficas, particularmente suculentas, con hojas arrosetadas, gregarias o coloniales, algunas provistas con tomento blanco y otras adaptaciones a la sequía (*op. cit.*) (Fig. 5). Cuenta con tres estratos: el arbóreo, el arbustivo y el herbáceo. El arbóreo es de una altura menor de 5 m y fisonómicamente dominan especies como *Buddleia cordata*, *B. parviflora*, *Eucalyptus resinifera*, *Quercus laurina* y *Q. rugosa*. El estrato arbustivo es de 2 m con especies como *Ageratina glabrata*, *A. petiolaris*, *Senecio praecox* y *Stevia subpubescens*; el estrato herbáceo está constituido por *Begonia gracilis*, *Bouvardia ternifolia*, *Calochortus barbatus*, *Castilleja arvensis*, *Castilleja tenuiflora*, *Dahlia coccinea*, *Muhlenbergia macroura*, *Penstemon roseus*, *Physalis orizabae*, *Piqueria trinervia* y *Poa annua* (González-Hidalgo *et al.*, 2001).

En el matorral xerófilo asociado a *Sedum*, se encuentra dominado por la parte arbustiva, sin embargo en el estrato arbóreo se encuentra *Buddleia parviflora*, *B. cordata*, *Dodonaea viscosa* y *Quercus rugosa*. Y en la parte herbácea dominan plantas anuales (*op cit.*).



Figura 5. Matorral xerófilo en el Parque Ecológico de la Ciudad de México durante la época de lluvias.

5.1.5. *Hidrología.* El PECM pertenece a la región hidrológica RH 26 Pánuco, que a su vez es parte de la cuenca del río Moctezuma y de la subcuenca Texcoco-Zumpango (INEGI, 2000). Desde el punto de vista hidrológico el Ajusco Medio es una zona de importancia por tener el mayor porcentaje de precipitación de la cuenca del valle de México así como por su formación rocosa lo que le permite recargar los mantos acuíferos (Toscana, 1998).

5.2. Sitio de estudio

Dentro del Parque Ecológico de la Ciudad de México se encuentra el sitio de estudio que se ubica en la parte central del parque, entre los 19° 16' y los 19° 14' norte y de 99° 13' a 99° 10' oeste a 2,600 m snm, tiene una superficie de 1,900 m². Pertenece a las faldas de la Sierra del Ajusco, el microrelieve se caracteriza por ser un terreno cóncavo siendo en la parte baja un área plana, la parte cóncava tiene una pendiente moderada de 4° con una exposición noroeste.

Se realizaron dos perfiles de suelo (Anexo 1) en los cuales se encontró que el suelo es muy somero con alta pedregosidad, drenaje y aireación excesivos, muy baja capacidad de retención de agua; muy bajo contenido de materia orgánica y

por lo tanto también una mínima reserva de nitrógeno y fósforo. La penetrabilidad de las raíces está limitada a una profundidad de 10 cm por la roca consolidada. La clasificación del suelo según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo es leptosol lítico (FAO, ISRIC y SICS, 1999).

La historia del uso del suelo después de la erupción del Xitle, que cubrió el actual sitio de estudio, comienza con la sucesión primaria hasta que se desarrolló el matorral xerófilo. Sin embargo, el aumento de la población en los ochentas promovió la construcción de nuevos cimientos para casas, la cual fue frenada por la expropiación del parque en 1989. Es así como en este sitio quedaron abandonados algunos cimientos de construcción, quedando remanentes de matorral xerófilo. En el sitio de estudio el suelo está casi desnudo con algunas plantas pioneras, herbáceas, no hay pastos y en los últimos cinco años se han realizado algunas reforestaciones con *Sedum*, *Agave* sp., *Senecio praecox* y *D. viscosa* (com. pers. Víctor Peña). En el caso de *D. viscosa* se obtuvo un porcentaje 20 % de supervivencia (com. pers. J. Micelli).

El estado de referencia al cual se pretende llevar al sitio, es el de matorral xerófilo descrito en el punto 5.2.1., iniciando la sucesión ecológica con una especie pionera la cual suponemos que si logra sobrevivir en esas condiciones desfavorables lo hará con mayor éxito en otras áreas.

5.3. Características de la especie

Dodonaea viscosa (L.) Jacq. Familia (Sapindaceae) comúnmente se conoce como: chapulixtle, ocotillo, jirimu, granadina, jarilla, hierba de la cucaracha, cuerno de cabra, varal, munditos y aria, entre otros (Camacho *et al.*, 1993). Es un arbusto o arbolito de 1 a 5 m, resinoso, perennifolio, viscido; hojas simples, lineares u oblongas/lanceoladas de 6 a 15.5 cm de largo por 0.8 a 1.8 cm de ancho, sésiles o levemente pecioladas, atenuadas en la base, agudas o redondeadas en el ápice, glabras y resinosas en el haz, pubescentes o glabras en el envés. Su floración es de septiembre a octubre (Rojo y Rodríguez, 2002), sus flores son amarillentas unisexuales, actinomorfas, en corimbos cortos laterales, perianto de 2 a 5 tépalos; tépalos de 3 mm de largo; androceo de 5 a 8 estambres con filamentos cortos y

anteras oblongo-lineares. La fructificación es todo el año y se recomienda que se recolecte de diciembre a abril, los frutos se desarrollan en cápsulas samaroides rosadas con tres alas, triloculares, glabras, de 1.5 a 2.5 cm de ancho (Marroquín, 1985), se dispersan con el viento (Rojo y Rodríguez, 2002), contiene semillas negras esferoides de 2.4 mm de diámetro, con un embrión bien diferenciado y cotiledones en espiral (Camacho *et al.*, 1993); presenta latencia física o primaria por la impermeabilidad de su cubierta (SIRE, 2005).

D. viscosa es una especie cosmopolita que se distribuye en zonas tropicales y subtropicales, se encuentra en regiones de Sudamérica, Australia, Sudáfrica del Este, Sur de Asia, Madagascar, Java, Hawai e India (Stephen *et al.*, 2001; SIRE, 2005) y en casi todo México (Villaseñor y Espinosa, 1998) a una altitud que va de los 0 a los 2,500 m snm (SIRE, 2005). Se encuentra asociada a comunidades secundarias como bosque de encino, bosque tropical caducifolio, bosque de coníferas, vegetación mesófila, matorrales, pastizales, barrancas, taludes, sitios abiertos y deteriorados (Rzedowski y Rzedowski, 1979; Camacho *et al.*, 1993; SIRE, 2005; Stephens y Raychelle, 2005).

Esta especie requiere de mínimas condiciones ambientales, estableciéndose en suelos someros o profundos de textura areno-arcillosa, arenosa y franca o con alta pedregosidad como es la toba removida y los flujos de lava (Rzedowski y Rzedowski, 1979; Stephens y Raychelle, 2005); necesita de suelos bien drenados sin inundaciones y tolera ligeramente la salinidad (Camacho *et al.*, 1993). Se encuentra en climas templados, semiáridos y subhúmedos, preferentemente con una temporada seca bien marcada, con precipitaciones de 120 a 1,000 mm y temperaturas que pueden fluctuar diaria o estacionalmente, tolerando ligeras heladas de corta duración. Son plantas demandantes de luz y son atacadas por hongos en sitios sombreados y húmedos. Cuando son ramoneadas o quemadas tienden a rebrotar (Camacho *et al.*, 1993; SIRE, 2005).

Los atributos ecológicos que presenta la especie son recomendables para la restauración ecológica por ser una especie nativa (González-Hidalgo *et al.*, 2001), tiene altos porcentajes de germinación, se establece en suelos erosionados y con pendientes, tolerar la sequía, aportar abundante hojarasca. Ha

servido como estabilizador de arenas movedizas, cortina rompevientos, tutor para cultivos hortícolas, formación de setos, y recreación del paisaje (Camacho *et al.*, 1993). Experimentalmente se probó que puede resultar tóxica para el forrajeo del ganado (Stecanella, 2004) y se debe tener un manejo adecuado ya que puede llegar a comportarse como una maleza (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Otros usos han sido: generador de leña, carbón, mangos de herramientas, ornamento (Camacho *et al.*, 1993) o medicina; esta última función es debido a que contiene diterpenoides, ácido dodónico y flavonoides, por lo que es empleada para combatir el dolor, fiebre, cólicos, gota, males venéreos, cortaduras, amibiasis, dermatosis y elefantiasis (Metafro Infosys, 2006).

5.4. Descripción del método

En el siguiente diagrama se encuentran los pasos seguidos durante el trabajo realizado los cuales se dividen en tres partes principalmente, el endurecimiento de las semillas, el preacondicionamiento hídrico y el acolchado de las plantas después del trasplante a campo (Fig. 6).

5.4.1. Recolección, limpieza y selección de semillas. Se recolectaron frutos maduros de 20 individuos de *D. viscosa* en el PECM en el mes de marzo del 2004. Para limpiarlas se separaron las cápsulas de las semillas en un tamiz; las semillas no endurecidas se guardaron en un frasco a temperatura ambiente, y al resto de las semillas se les preparó para el endurecimiento natural (Fig. 6)

5.4.2. Endurecimiento natural. Se empaquetaron 250 g de semillas en bolsas de tela de organza y se enterraron a 5 cm de profundidad en el suelo en un sitio abierto del PECM, por lo cual las semillas tuvieron condiciones de luz, temperatura y humedad dadas por las variaciones diurnas en el suelo, durante tres meses en la época seca de marzo a junio del 2004 inicio de las lluvias. Posteriormente, se desenterraron, se envolvieron en papel estaño y se llevaron a un cuarto oscuro a $25^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$ donde se extendieron y dejaron secar durante una semana para

después elegir las semillas que no germinaron durante el endurecimiento y escarificarlas.

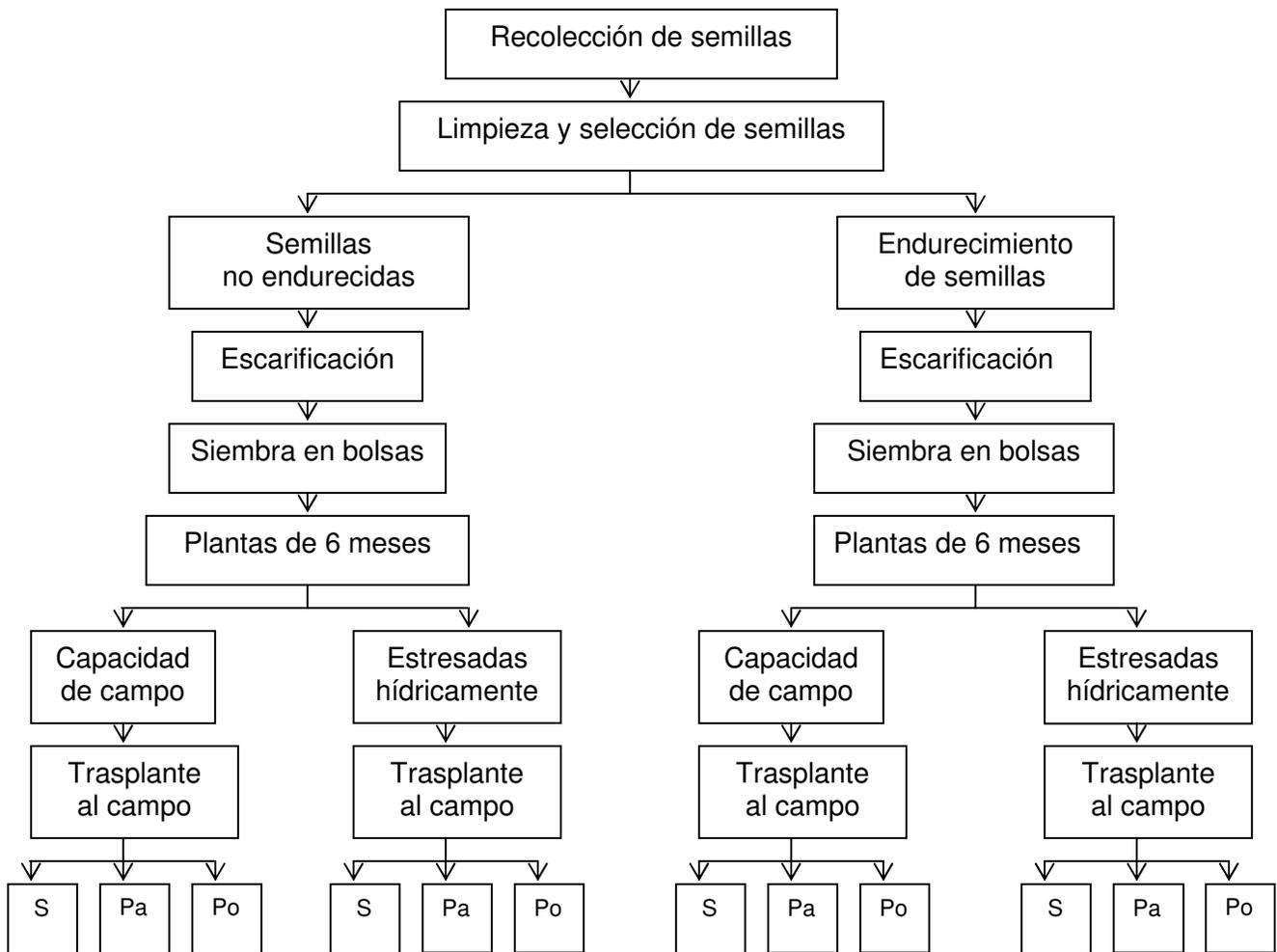


Figura 6. Diagrama de flujo del método. Suelo desnudo (S), acolchado de paja (Pa), acolchado de polietileno (Po).

5.4.3. Escarificación. En el laboratorio del Instituto de Ecología UNAM, las semillas endurecidas (E) y no endurecidas (NE) se escarificaron por separado en H_2SO_4 durante diez minutos agitándolas con una varilla de cristal durante un minuto y dejándolas reposar otro minuto de manera alterna. Posteriormente se enjuagaron en un colador con suficiente agua durante tres minutos y se dejaron secar en toallas de papel durante dos días (Benítez, 2005).

5.4.4. *Germinación y emergencia.* En el laboratorio se realizó una prueba de germinación con 90 semillas endurecidas y 90 no endurecidas en seis cajas Petri con agar dextrosa, en una cámara de crecimiento a 25 °C con un fotoperíodo de 12 h (455 Labline Instruments, Inc. Melrose Park I.I, EUA). Consecutivamente en una casa de sombra se sembraron 388 semillas endurecidas y 388 no endurecidas en bolsas de plástico negro (17 x 9 cm) en tierra negra, introduciéndose una semilla por bolsa a pocos milímetros del sustrato y manteniendo un riego constante cada tercer día a capacidad de campo. Después de cuatro meses se registró la supervivencia de las plantas.

5.4.5. *Preacondicionamiento hídrico.* Se prosiguió con el preacondicionamiento hídrico. En la casa de sombra del Instituto de Ecología, UNAM, la mitad de las plantas se regaron a capacidad de campo (CC) y la otra mitad se estresaron hídricamente (EH). Considerando que provienen de semillas no endurecidas (NE) y endurecidas (E), se tuvieron cuatro tratamientos: plantas endurecida y no endurecidas a capacidad de campo (E/CC, NE/CC) y plantas endurecidas y no endurecidas estresadas hídricamente (E/EH y NE/EH). En cada tratamiento hubo 120 plantas (Figs. 6 y 7).

Para determinar el estrés hídrico se realizó una curva de pérdida de humedad del suelo en el tiempo, por lo que se registró el peso inicial de cada maceta a capacidad de campo incluyendo la planta, el sustrato y el agua contenida, lo cual duró dos meses. Durante la realización de la curva se observó si las plantas presentaban signos de estrés pérdida de hojas o amarillamiento de estas y se consideró que las plantas de esta especie se estresan entre -2.3 y -3.0 MPa, se verificó el estrés midiendo el potencial hídrico en las plantas con una cámara de presión (PMS, Corvallis, Oregon, EUA). Con ello se encontró que la mínima cantidad de agua para que una planta de *D. viscosa* sobreviva en las condiciones antes mencionadas fue de 50 ml cada cuatro días.



Figura 7. Plantas con precondicionamiento hídrico de izquierda a derecha plantas NE/CC, E/CC, NE/EH, E/EH, derivadas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; irrigadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH.

El tratamiento se realizó durante tres meses y medio en la casa de sombra. En el primer mes se dejó que se adaptaran las plantas al estrés hídrico y en el segundo se comenzó a determinar la supervivencia, el crecimiento y las variables fisiológicas. El crecimiento se determinó midiendo la altura y el diámetro a la base del tallo (*DBT*) a doce plantas de cada tratamiento escogidas al azar. Estas mediciones se realizaron cada quince días con un flexómetro y un vernier, respectivamente. Las tasas relativas de crecimiento se calcularon con la fórmula (Hunt, 1978): $TRC = (\ln A_f - \ln A_i) / (t_f - t_i)$ donde A_f es la altura final, A_i la altura inicial, t_f el tiempo final y t_i el tiempo inicial.

Las variables fisiológicas que se determinadas fueron la transpiración (*TRP*), la conductividad estomática (g_s), y el potencial hídrico (ψ). La *TRP* y g_s se midieron con un porómetro de difusión (LI-1600, LI-COR, Inc, Lincoln, EUA). y el potencial hídrico foliar se determinó con una cámara de presión (PMS, Corvallis, Oregon, EUA). Las mediciones se realizaron durante un mes cada siete días,

entre las 13:00 y las 15:00 hora local (hl), bajo condiciones controladas de laboratorio. Las plantas se aclimataron previamente durante una hora a una radiación de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y no fueron regadas; se midieron dos hojas maduras y sanas de dos individuos en los cuatro tratamientos. Posteriormente, se determinó la eficiencia del uso del agua (*EUA*) mediante la fórmula $EUA = ACO_2/TRP$, con unidades de $(\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ donde ACO_2 es la asimilación de bióxido de carbono y TRP es la transpiración de la planta (Jones, 1992). Se transformaron los datos de g_s en ACO_2 en base a los de Morales-Guerrero (2005).

5.4.6. Trasplante al PECM. Después de once meses en la casa de sombra, en agosto del 2005 se realizó el trasplante al campo con el inicio de las primeras lluvias de esa temporada. Se transplantaron al azar cuatro bloques de 10 plantas para cada tratamiento, sembrando así un total de 480 plantas (4 réplicas x 10 plantas x 12 tratamientos). Las plantas se sembraron y se esperó durante un mes a que se adaptaran a las condiciones del campo antes de colocar el acolchado.

5.4.7. Acolchados. Dados los tratamientos anteriores de endurecimiento de semillas y preacondicionamiento hídrico se formaron grupos de plantas provenientes de semillas no endurecidas y regadas a capacidad de campo, NE/CC; semillas endurecidas y regadas a capacidad de campo, E/CC; semillas no endurecidas con estrés hídrico, NE/EH; y semillas endurecidas estresadas hídricamente, E/EH. Además, cada uno de estos tratamientos se dividió en tres a los que se les dio distinto acolchado: suelo desnudo (Control, S), acolchado de paja (Pa) y acolchado de polietileno (Po) (Fig. 6). El acolchado de paja consistió de una capa de 2 cm de espesor o 1500 g/m^2 de paja de trigo seco y para el acolchado de polietileno una película bicapa blanco/negro, con la cara blanca hacia arriba y la negra hacia abajo, cada 5 plantas se colocaron en una tira de polietileno de 60 cm de ancho x 175 cm de largo, en donde cada planta salió por un agujero de 6 cm de diámetro (Fig. 8).



Figura 8. Acolchado de polietileno en plantas procedentes de semillas endurecidas y estresadas hídricamente durante el preacondicionamiento hídrico en la casa de sombra.

Se determinó la supervivencia, las variables de crecimiento, las variables fisiológicas y la temperatura del suelo. La supervivencia se registró cada mes durante once meses (septiembre del 2005 a julio del 2006). Las variables de crecimiento, altura y diámetro de la base del tallo se midieron cada mes durante cinco meses (noviembre 2005 a marzo 2006) en todos los individuos con un flexómetro y un vernier electrónico respectivamente. El diámetro a la base del tallo se consideró hasta el mes de diciembre, ya que en enero con la escasez de agua disminuyó el grosor del tallo provocando la caída de la corteza.

Las variables fisiológicas de TRP y g_s se midieron con el porómetro de difusión y el Ψ con la cámara de presión. Las mediciones fisiológicas se realizaron cada mes durante tres meses en al menos dos hojas maduras de dos individuos de cada tratamiento entre las 12:00 y las 15:00 h cuando se presentaron los valores máximos de TRP , g_s y el mínimo del potencial hídrico.

La temperatura del suelo se midió durante el mes de enero del 2006, cada hora con micro *data loggers* (HOBO, Onset Corporation, EUA) enterrados a 5 cm de profundidad de la superficie del suelo desnudo y de los acolchados.

La asimilación de CO₂ en el campo se estimó con una regresión lineal en función de g_s con la ecuación $ACO_2 = 0.047(g_s) - 1.135$, que fue realizada para esta especie con anterioridad (Morales-Guerrero, 2005). Posteriormente, con los datos de ACO₂ y TRP se estimó la eficiencia del uso del agua.

Así mismo, se realizaron dos perfiles de suelo, los cuales se llevaron a cabo de acuerdo al *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelo en el campo* Siebe y col. (1996) y se clasificaron con base a la referencial mundial del recurso suelo (FAO, ISRIC y SICS, 1999) (Anexo 1).

5.4.8 Análisis estadístico. Se realizaron análisis de varianza a los distintos tratamientos de una o varias vías según correspondió. A las variables que presentaron diferencias significativas se les aplicó un análisis de rango múltiple, prueba de Tukey, con una probabilidad de $p < 0.05$. Así mismo, los porcentajes de supervivencia de la casa de sombra se analizaron con pruebas χ^2 y el porcentaje de supervivencia en campo se transformaron con la función arcoseno y se realizó un análisis de varianza con el programa estadístico (STATISTICA, versión 6.1, StatSoft, Inc, EUA), (véase Anexo 2, Tabla 4 y 5).

5.4.9 Análisis económico. Se estimó el costo de cada uno de los tratamientos, considerando el precio para 500 plantas, incluyendo todos los materiales necesarios para cada uno en su precio devaluado por el uso, la mano de obra y el transporte (Anexo 3).

6. RESULTADOS

6.1. Endurecimiento natural de semillas

Los resultados en la supervivencia en la germinación y emergencia son los siguientes: La prueba de germinación en la cámara de crecimiento dio como resultado que las plantas no endurecidas tuvieron el 96.6 % de supervivencia y las endurecidas un 88.8 %, no encontrándose diferencias significativas en el endurecimiento de semillas. En la casa de sombra, las plantas emergidas después de cuatro meses tampoco mostraron diferencias en la supervivencia entre las plantas derivadas de semillas no endurecidas y endurecidas (74.4 % y 72.2 % respectivamente) (véase Anexo 2).

6.2. Preacondicionamiento hídrico

6.2.1. Supervivencia. Las plantas de los cuatro tratamientos tuvieron una tasa alta de supervivencia, siendo de 99.4 %, 100 %, 99.4 % y 98.4 % en las NE/CC, E/CC, NE/EH y E/EH, respectivamente, no habiendo diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 2).

6.2.2. Crecimiento. Las plantas regadas a capacidad de campo se diferenciaron de las que crecieron bajo estrés hídrico tanto en la altura como en el *DBT*, ($F_{3,52} = 106.9$, $p < 0.0001$; $F_{3,52} = 83$, $p < 0.0001$, respectivamente) siendo las regadas a capacidad de campo más altas y de mayor grosor que las estresadas hídricamente (Fig. 9). Y no se encontraron diferencias entre los tratamientos de endurecimiento.

En la tasa relativa de crecimiento en altura no se encontraron diferencias significativas en el endurecimiento de las semillas, pero si se observó una tendencia hacia una mayor altura en las plantas derivadas de semillas endurecidas. En el preacondicionamiento hídrico se encontraron diferencias significativas ($F_{3,43} = 71.61$, $p < 0.0001$). Las plantas regadas a capacidad de campo obtuvieron valores más altos que las estresadas hídricamente, siendo el tratamiento de plantas derivadas de semillas endurecidas y regadas a capacidad

de campo (E/CC) el valor más alto. En la tasa relativa del DBT no se encontraron diferencias entre los cuatro tratamientos, aunque se observó que las plantas endurecidas tuvieron una tendencia a tener DBT menores que las no endurecidas (Fig. 10). Encontrándose que las plantas procedentes de semillas endurecidas crecieron más rápido en la altura y engrosaron menos su tallo y por el contrario las no endurecidas crecieron menos en altura pero engrosaron más su tallo.

6.2.3. Variables fisiológicas. La conductividad estomática (g_s) y la transpiración (TRP) mostraron valores mayores en las plantas regadas a capacidad de campo que en las preacondicionadas hídricamente ($F_{3,12} = 33.84$, $p < 0.0001$; $F_{3,12} = 25.7$, $p < 0.0001$, respectivamente)(Anexo 2). Las plantas provenientes de semillas endurecidas y no endurecidas fueron semejantes en las dos variables (Fig. 11).

El uso eficiente del agua tuvo valores altos en las plantas regadas a capacidad de campo y bajos en las estresadas hídricamente, encontraron diferencias por el preacondicionamiento hídrico, siendo las primeras regadas a capacidad de campo las que tuvieron un mejor uso del agua ($F_{3, 12} = 16.86$, $p < 0.001$)(Fig. 12 A).

El potencial hídrico en las plantas con preacondicionamiento hídrico presentaron los valores más altos (-2.0 y -2.7 MPa; E/EH, NE/EH, respectivamente). Las plantas regadas a capacidad de campo (E/CC y NE/CC) no presentaron ningún signo de estrés (Fig. 12 B). No se encontraron diferencias de ψ entre las plantas provenientes de semillas endurecidas de las no endurecidas.

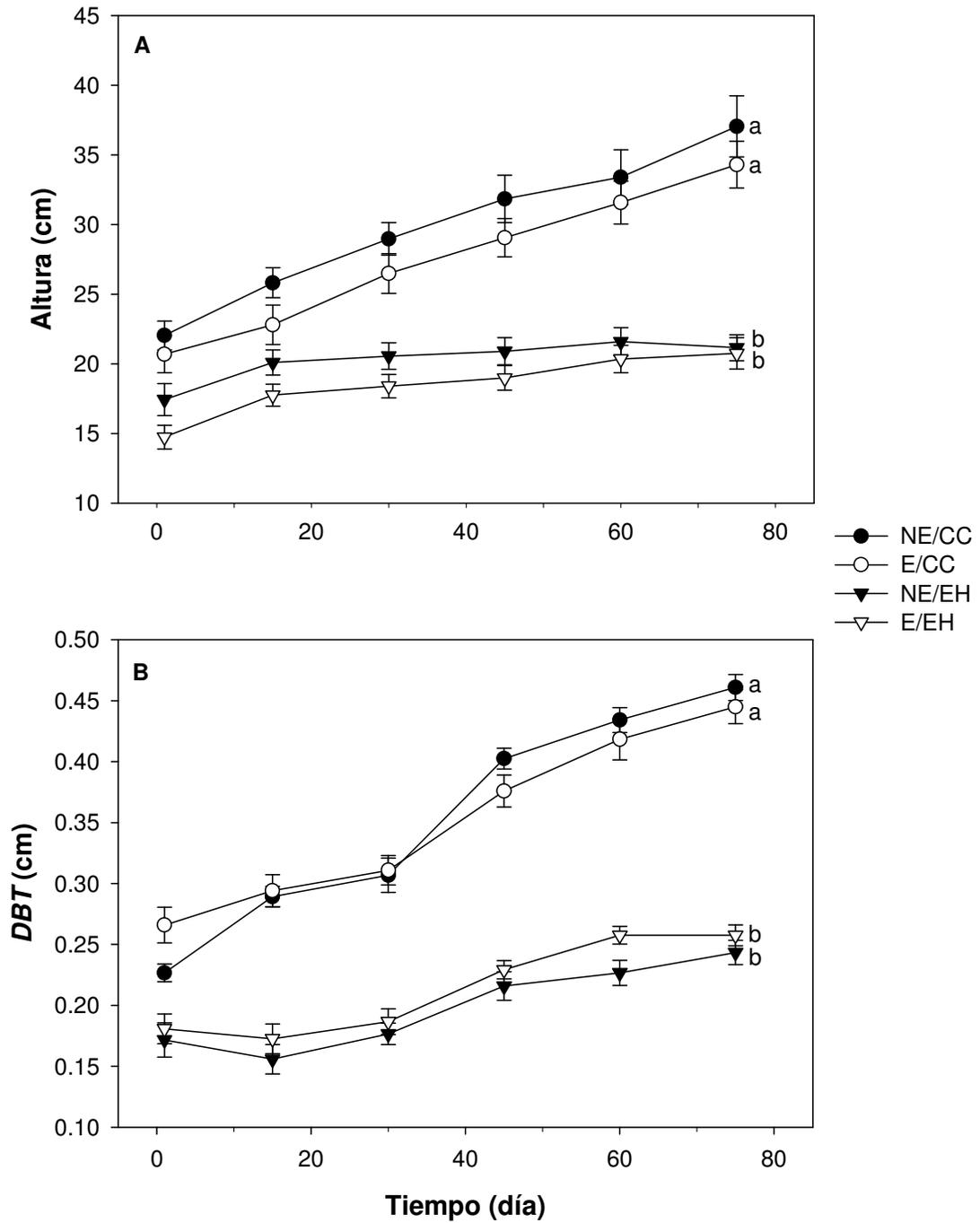


Figura 9. Crecimiento en altura (A) y diámetro a la base del tallo (*DBT*) (B) durante el preacondicionamiento hídrico en plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

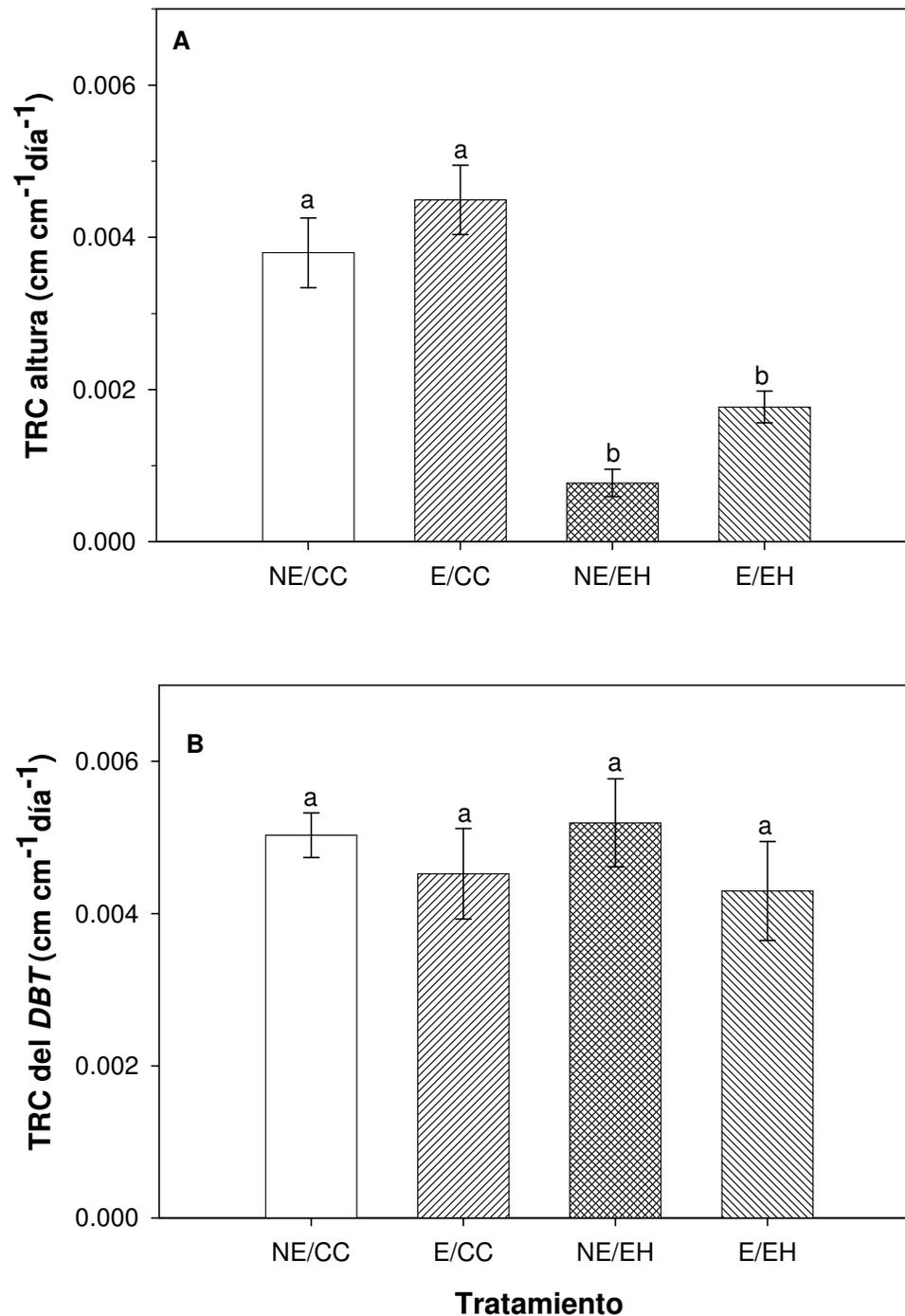


Figura 10. Tasa relativa de crecimiento de la altura (A) y del diámetro a la base del tallo (B) durante el precondicionamiento hídrico en plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

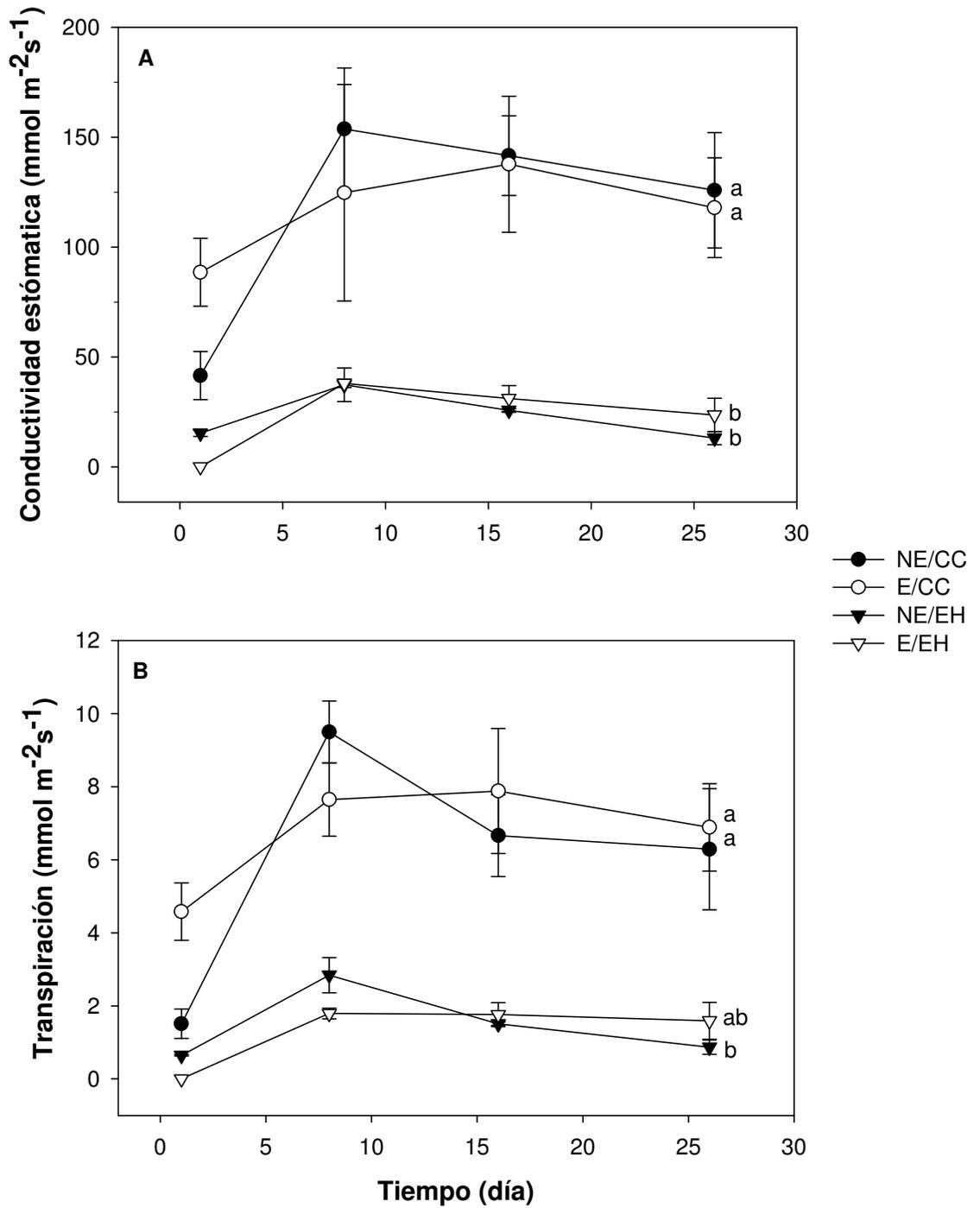


Figura 11. Conductividad estomática (A) y transpiración (B) durante el preacondicionamiento hídrico en plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

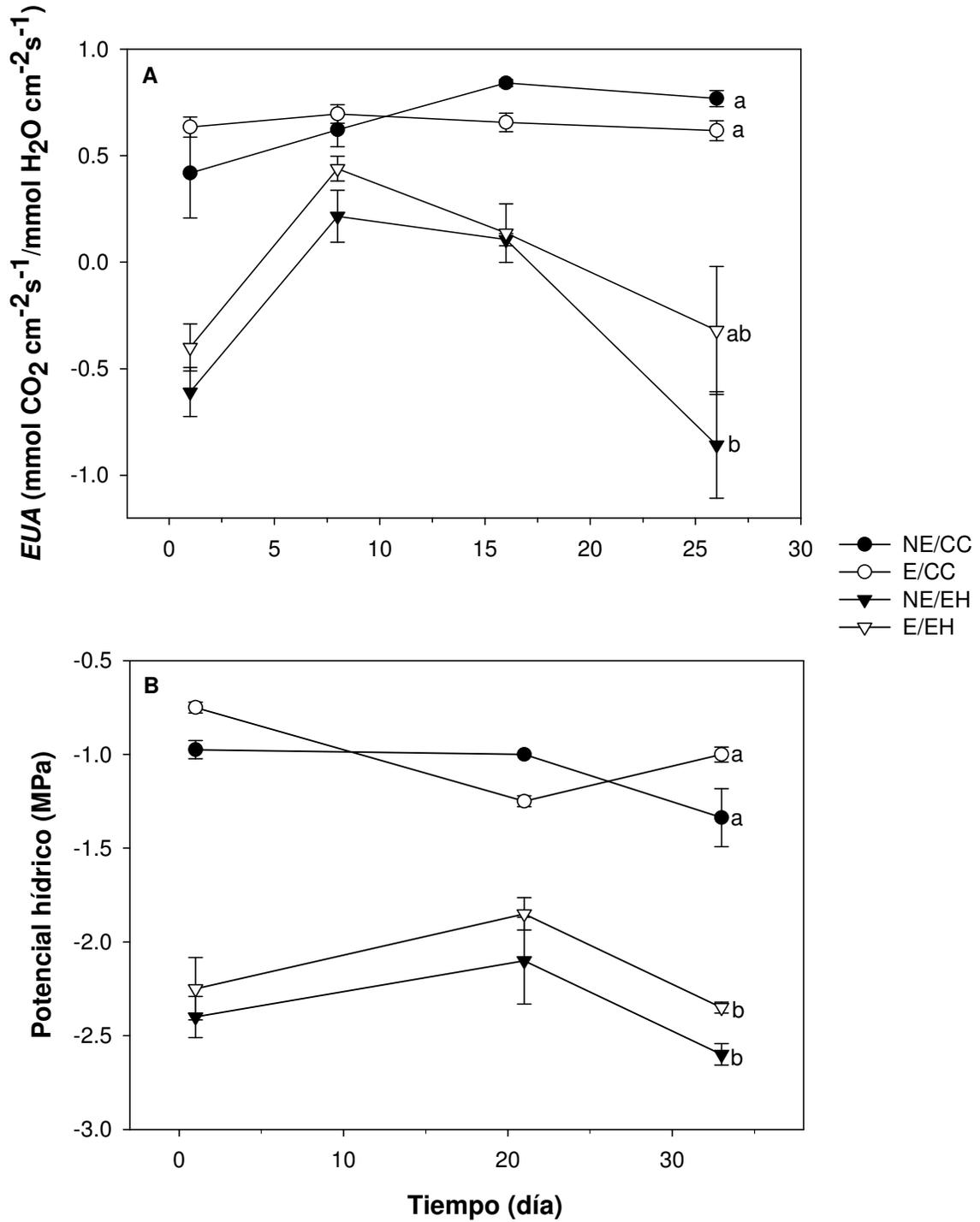


Figura 12. Eficiencia del uso del agua (A) y potencial hídrico (B) durante el preacondicionamiento hídrico en plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; irrigadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

6.3. Acolchados

6.3.1. *Temperatura.* La temperatura del suelo con acolchados mostró que los acolchados de paja y de polietileno disminuyeron la temperatura del sustrato, obteniéndose la mayor diferencia en el acolchado de polietileno ya que la temperatura máxima promedio disminuyó 6.5 °C con respecto al suelo desnudo (Tabla 1).

Tabla 1. Temperatura del suelo (°C) a 5 cm de profundidad en los diferentes tratamientos. Se muestra el promedio \pm error estándar entre paréntesis.

Tratamiento	T prom	T max prom	T mín prom	T máx	T mín
Suelo	19.0 (± 0.15)	30.1 (± 0.49)	10.9 (± 0.33)	37	7
Paja	17.6 (± 0.15)	27.8 (± 0.49)	8.6 (± 0.38)	33	5
Polietileno	14.6 (± 0.15)	23.5 (± 0.49)	7.4 (± 0.37)	31	4

6.3.2. *Supervivencia.* La mortalidad de las plantas se registró durante la época de lluvias y seca (septiembre del 2005 a julio del 2006). Se observó que durante la época de lluvias, desde septiembre a las últimas lluvias de diciembre, el porcentaje de mortalidad fue nulo. No obstante, la mortalidad aumentó de enero a marzo hasta estabilizarse en el mes de abril (Fig. 13). En el mes de julio las plantas endurecidas y regadas a capacidad de campo presentaron los mayores porcentajes de supervivencia en el suelo desnudo, paja y polietileno, siendo el polietileno en el que se obtuvieron los valores más altos de supervivencia, 50 % en las plantas E/CC, 32 % en las NE/CC, 34 % en las E/EH y 32 % en las NE/EH (Fig. 14).

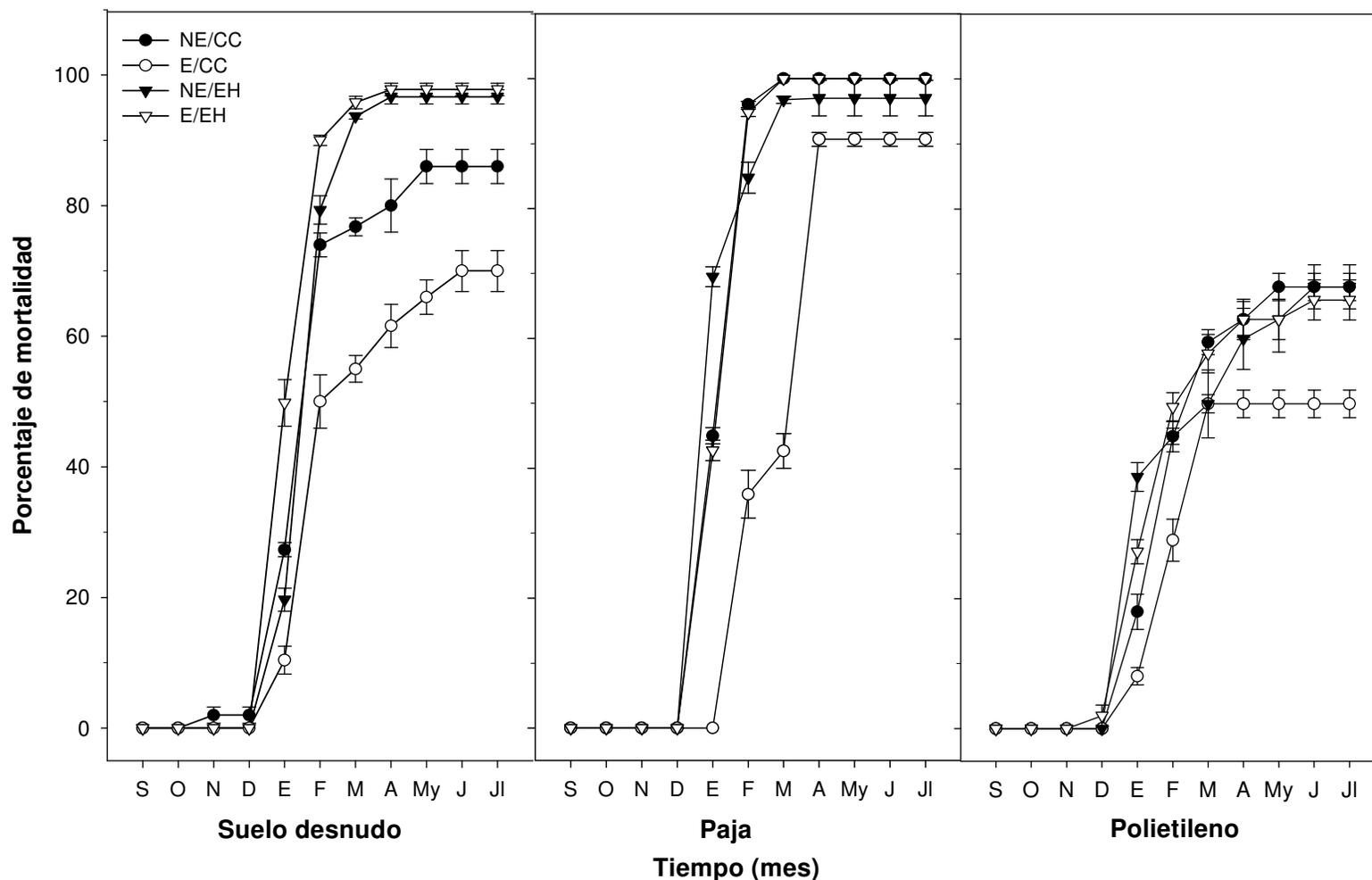


Figura 13. Porcentaje de mortalidad en campo en los distintos tratamientos durante once meses. En plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

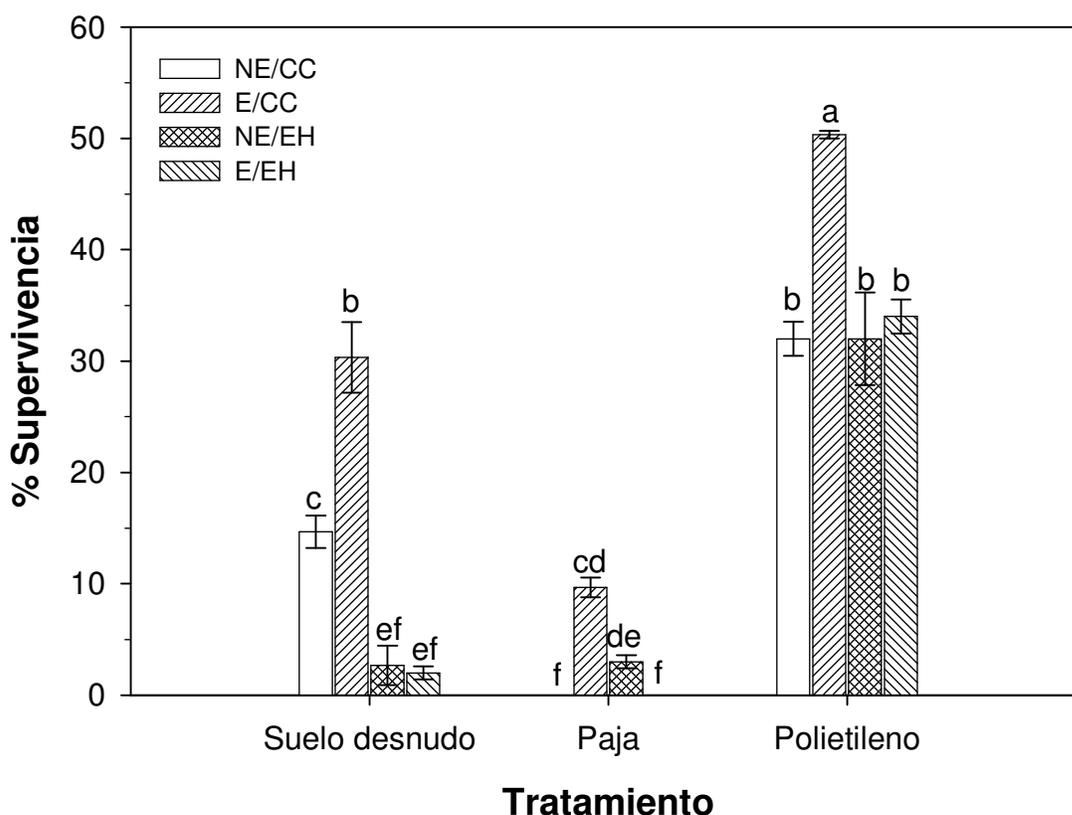


Figura 14. Supervivencia de las plantas en campo en el último mes de mediciones (julio 2006) después de once meses del transplante al PECM. En plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

En el suelo desnudo las plantas E/CC mostraron un 30 % de supervivencia a diferencia de las NE/CC que exhibieron sólo el 15 %. Los tratamientos con el preacondicionamiento hídrico (NE/EH y E/EH) presentaron las más bajas supervivencias (3 y 2 %, respectivamente), así como el acolchado de paja, el cual no fue favorable obteniendo 10 % E/CC y 5 % en las NE/EH.

Durante la época seca en campo, las plantas de *D. viscosa* de los distintos tratamientos, tuvieron como mecanismo de supervivencia la desecación de las hojas superiores, conforme avanzó la escasez de agua, se fue secando el resto de las hojas, ramas y parte del tallo; no obstante, en la época de lluvias las plantas

volvieron a retoñar, siendo un 41 % las que se comportaron de esta forma y un 59 % de las plantas permanecieron siempre verdes.

6.3.3. Crecimiento. Las plantas en los acolchados de polietileno tuvieron un mayor crecimiento en altura que las del suelo desnudo y las del acolchado de paja, siendo estas dos últimas semejantes, excepto en el tratamiento E/EH, las cuales crecieron más con el acolchado de paja. La altura inicial de la plantas se vio modificada por el preacondicionamiento hídrico realizado en la casa de sombra por lo que las plantas regadas a capacidad de campo crecieron más en altura que las estresadas hídricamente (Fig. 15).

Las plantas regadas a capacidad de campo mostraron valores similares en las semillas endurecidas y en las no endurecidas, caso contrario en las estresadas hídricamente cuando el endurecimiento sí tuvo importancia, las endurecidas crecieron más que las no endurecidas, situación que se observó en el acolchado de paja y de polietileno. En el mes de enero, último mes de medición se observaron valores más altos en las plantas regadas a capacidad de campo que en las estresadas hídricamente ($F_{1,347} = 284.2$, $p < 0.001$); también fueron mayores los valores en el acolchado de polietileno que en el suelo desnudo o en el acolchado de paja ($F_{2,347} = 13.94$, $p < 0.001$). Y la interacción entre semillas endurecidas, preacondicionamiento hídrico y acolchados fue significativa ($F_{2,347} = 2.94$, $p < 0.01$) (Anexo 2).

El diámetro en la base del tallo presentó el mayor valor en el acolchado de polietileno, en la paja tuvo valores medios y en el suelo desnudo se registraron los valores más bajos ($F_{2,347} = 46.51$, $p < 0.0001$). Además se encontró diferencia entre el *DBT* entre las plantas regadas a CC y las EH ($F_{1,347} = 150.43$, $p < 0.0001$). Las plantas regadas a capacidad de campo con acolchado de polietileno crecieron más que las del acolchado de paja y las del suelo desnudo, pero no hubo diferencias entre las endurecidas y las no endurecidas. No obstante, entre las plantas preacondicionadas hídricamente con acolchado de paja crecieron más las plantas provenientes de semillas endurecidas que las no endurecidas, lo cual muestra la interacción entre endurecimiento, preacondicionamiento hídrico y acolchado ($F_{2,347} = 4.29$, $p < 0.01$); (Fig. 16).

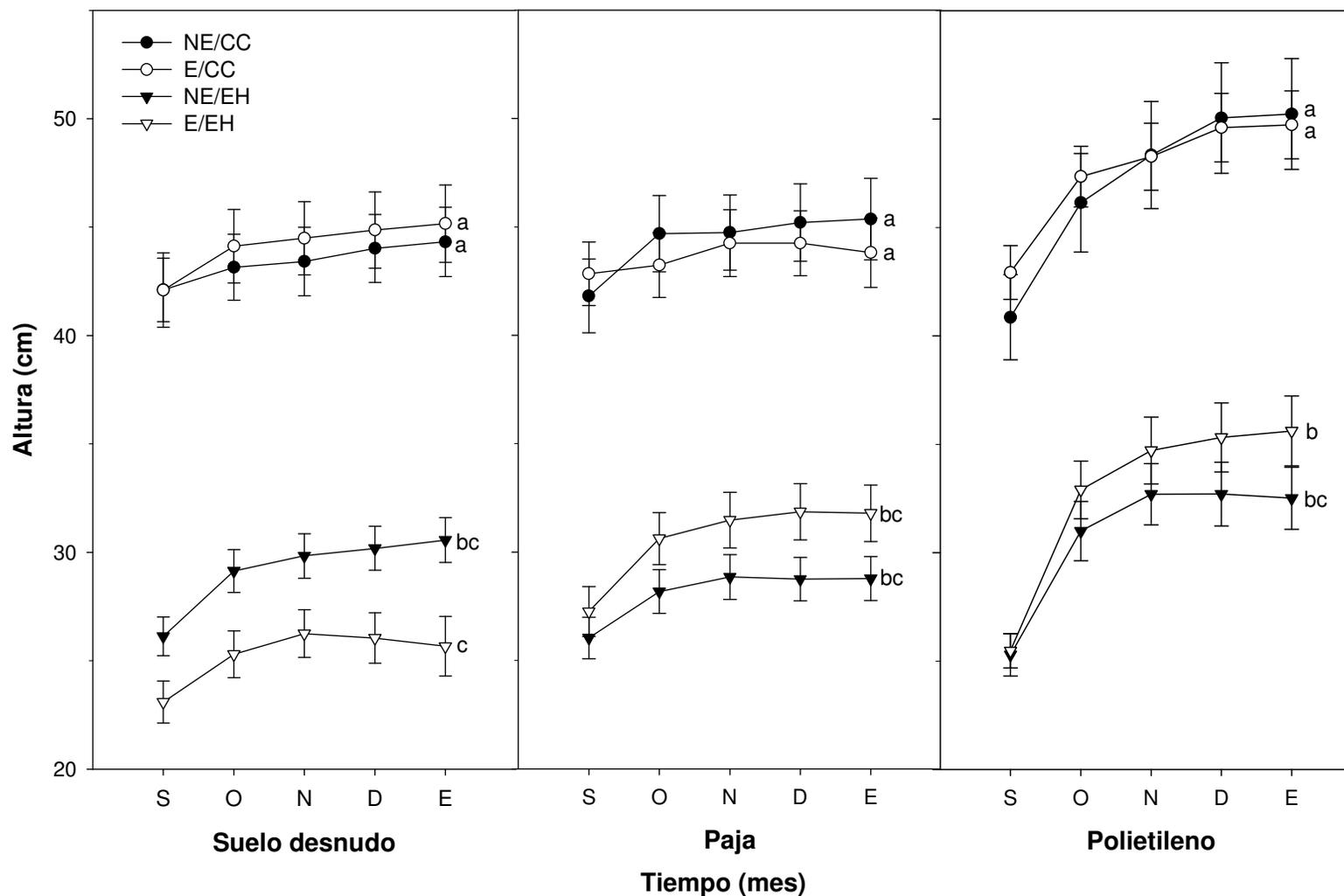


Figura 15. Altura de *D. viscosa* en campo para los distintos tratamientos durante cinco meses. En plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

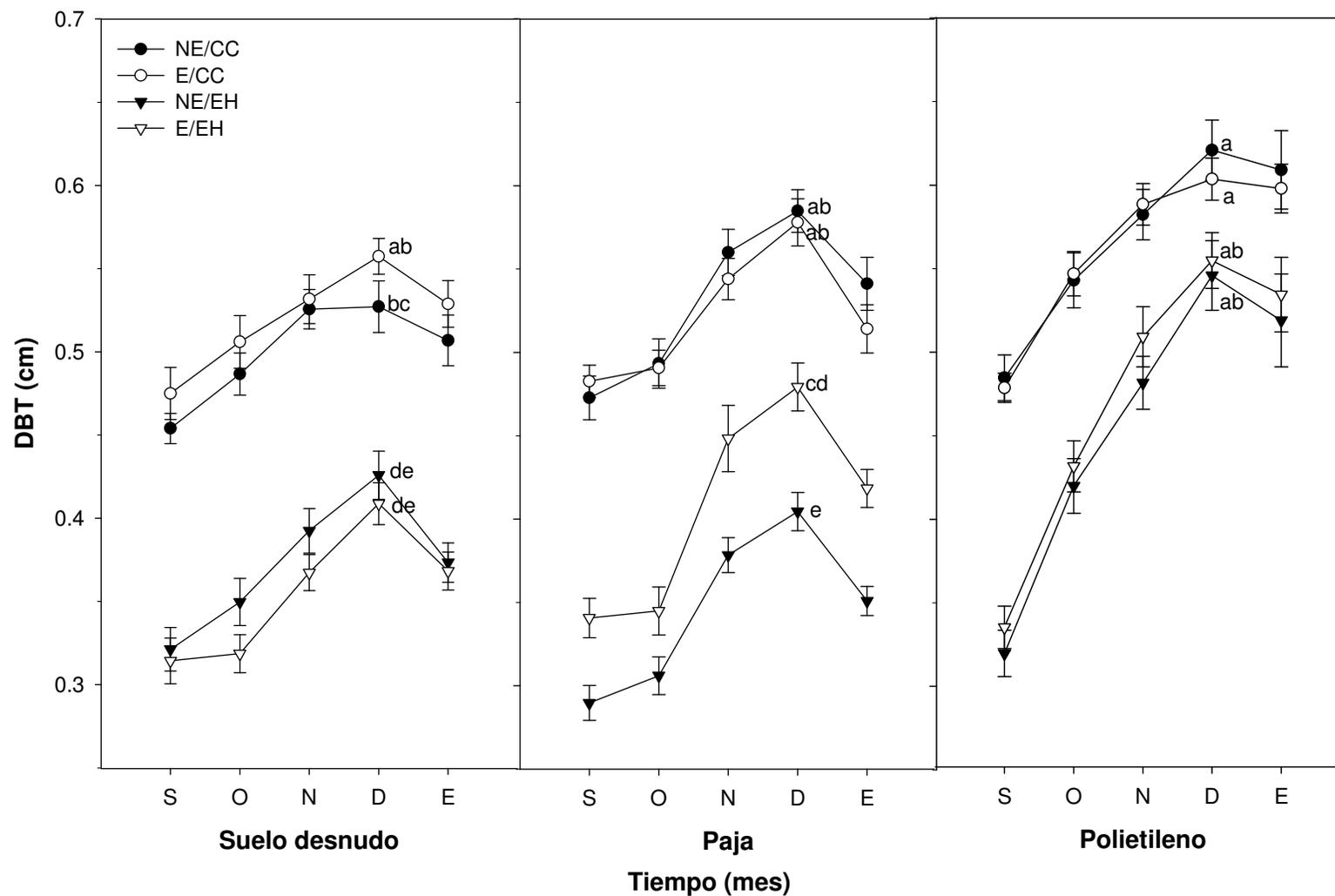


Figura 16. Diámetro a la base del tallo (DBT) de *Dodonaea viscosa* en campo. En plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Los valores más altos de *TRC* en altura y *DBT* lo presentaron los tratamientos con acolchado de polietileno, valores medios con el acolchado de paja y valores bajos con el suelo desnudo ($F_{2,394} = 45.3$, $p < 0.0001$; $F_{2,394} = 28.03$, $p < 0.001$), respectivamente para altura y *DBT* (Anexo 2).

Las plantas estresadas hídricamente presentaron valores más altos de *TRC* de la altura ($F_{1,394} = 35.05$, $p < 0.001$) y del *DBT* ($F_{1,394} = 104.84$, $p < 0.001$) que las regadas a capacidad de campo (Fig. 17). Mientras que la *TRC* de la altura de las plantas preacondicionadas hídricamente en los acolchados de polietileno y paja fue mayor en las plantas endurecidas, caso contrario para las plantas regadas a capacidad de campo en que las no endurecidas presentaron valores más altos. También hubo diferencias significativas en la interacción de los tratamientos de endurecimiento, preacondicionamiento hídrico y acolchados ($F_{2,394} = 5.17$, $p < 0.001$). El tratamiento con el valor más alto en la *TRC* de altura fueron las plantas endurecidas, estresadas hídricamente y con acolchado de polietileno. En el suelo desnudo no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre plantas derivadas de semillas endurecidas de las no endurecidas, aunque se encontró cierta tendencia de las plantas E/CC a tener una *TRC* mayor que las NE/CC, caso contrario a los acolchados de paja y polietileno.

Los valores de la *TRC* en *DBT* fueron semejantes en las plantas derivadas de semillas endurecidas de las no endurecidas. En el acolchado de polietileno las plantas estresadas hídricamente no endurecidas mostraron un valor mayor que las endurecidas mientras que en el suelo desnudo las E/EH tuvieron un valor ligeramente mayor que las NE/EH. En la interacción de los factores de preacondicionamiento y acolchados se encontraron diferencias significativas. ($F_{2,394} = 8.23$, $p < 0.0001$) (Fig. 17).

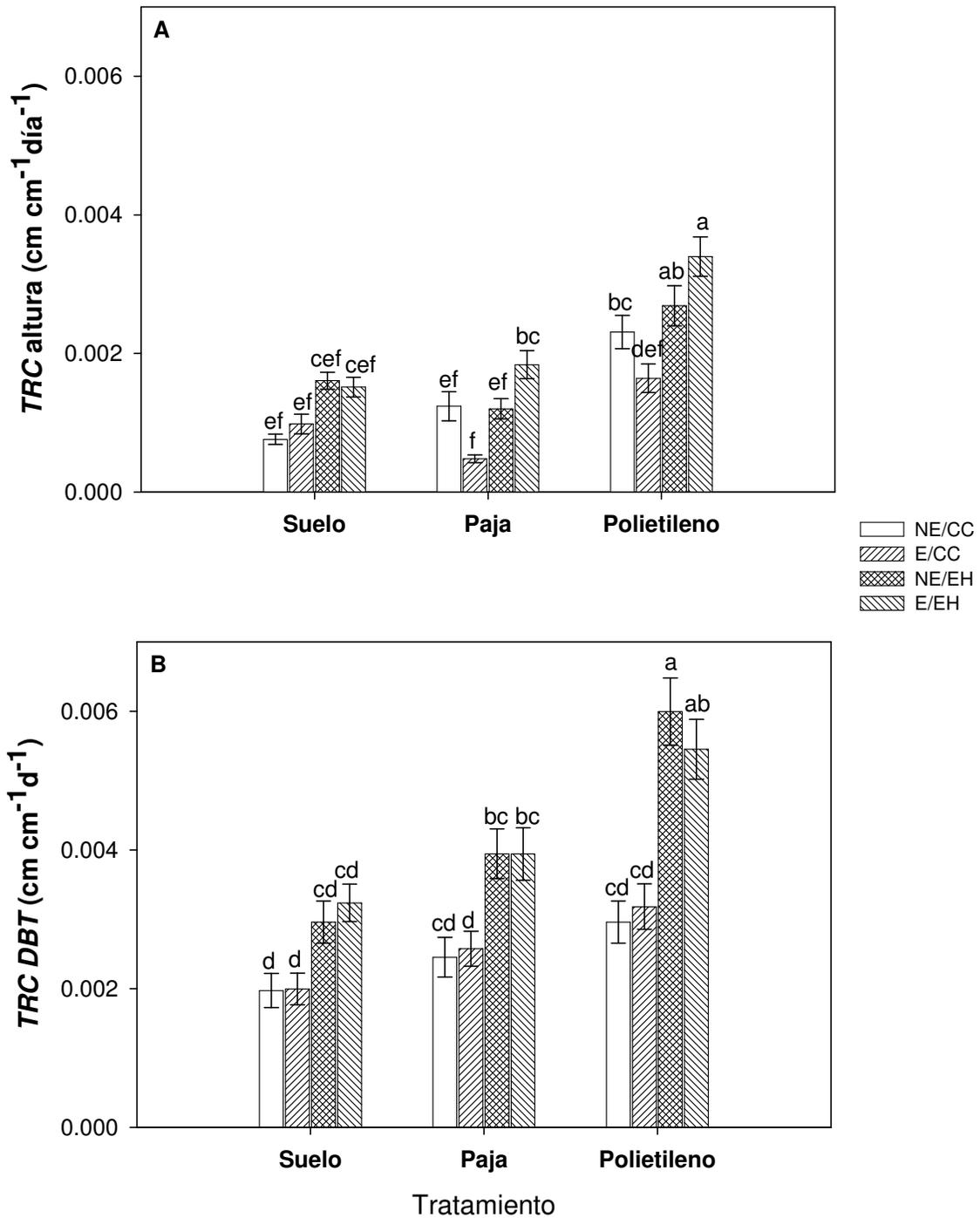


Figura 17. Tasa relativa de crecimiento de la altura (A) y del diámetro de la base del tallo (B) en plantas de *D. viscosa* en campo durante cuatro meses. En plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

6.3.4. *Variables fisiológicas.* Durante el mes de octubre (final de la época húmeda) los valores de g_s fueron los más altos en comparación con los meses de noviembre y diciembre (principio de la sequía). En octubre se tuvieron valores altos de g_s en las plantas que se encontraban en suelo desnudo, valores medios en paja y valores bajos en polietileno, siendo contrario en noviembre y diciembre en los que se presentaron valores altos de g_s en las plantas con acolchado de polietileno (Fig. 18).

En el mes de octubre, las plantas endurecidas y regadas a capacidad de campo en suelo desnudo y paja mostraron una mayor conductividad estomática que las no endurecidas, siendo lo opuesto en acolchado de polietileno ya que las plantas no endurecidas presentaron un valor más alto que las endurecidas. En el mes de diciembre, las plantas de los acolchados de paja y polietileno regadas a capacidad de campo y de semillas no endurecidas tuvieron valores más altos de g_s que las endurecidas ($F_{1,36} = 7.94$, $p < 0.001$).

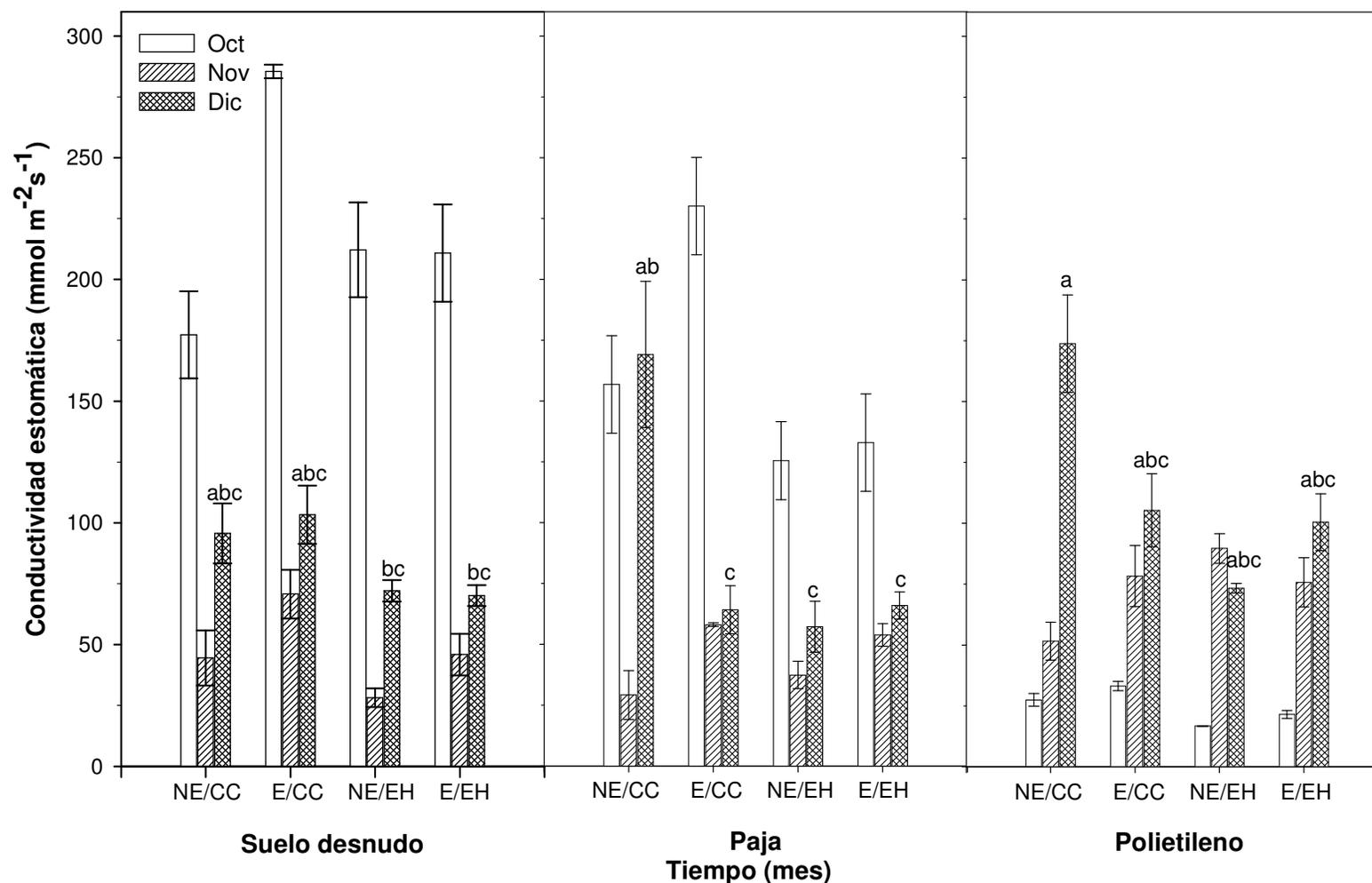


Figura 18. Conductividad estomática en plantas de *D. viscosa* en el campo. En plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

En octubre los valores más altos de transpiración se encontraron en las plantas con acolchado de paja, valores medios en el suelo desnudo y valores bajos en el polietileno. Para noviembre, los valores más altos de *TRP* lo mostraron las plantas en el suelo desnudo, los valores medios con paja y los valores bajos con polietileno. En diciembre los valores más altos de *TRP* lo obtuvieron las plantas con acolchado de polietileno, los valores medios en el suelo desnudo y los valores bajos en la paja, ($F_{2,36} = 3.64, p < 0.01$); (Fig. 19).

En octubre el valor más alto de *TRP* lo presentaron las plantas E/CC en los acolchados de paja y el valor más bajo en NE/CC y E/CC con polietileno. Mientras que en noviembre el valor más altos fue en las plantas del tratamiento E/CC en suelo desnudo y el más bajo en NE/CC en paja; para finalmente en diciembre los valores más altos registrados fueron en plantas NE/CC con acolchado de paja y de polietileno y el valor más bajo el NE/EH en paja. En el mes diciembre se encontraron diferencias significativas en la interacción del endurecimiento, preacondicionamiento hídrico y acolchado ($F_{2,36} = 4.13, p < 0.01$); (Anexo 2).

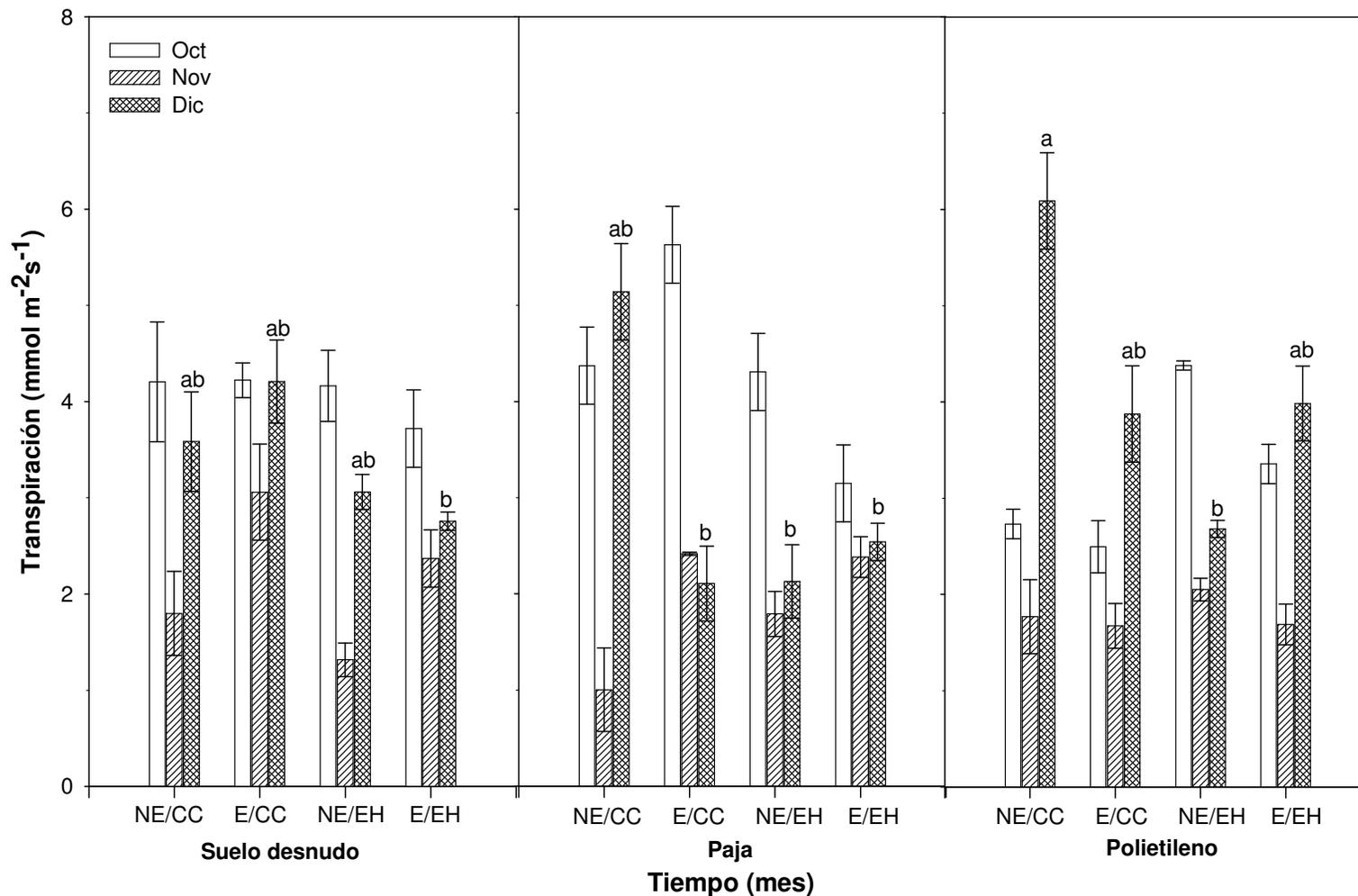


Figura 19. Transpiración en plantas de *D. viscosa* en el campo. En plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Durante los tres meses en los que se determinó la eficiencia del uso del agua, se registraron en octubre los valores más altos en las plantas en el suelo desnudo y medios en el acolchado de paja. Para noviembre se encontraron valores medios de uso eficiente del agua en el acolchado de polietileno, con valores bajos en el suelo desnudo y la paja, mientras que en diciembre se presentaron valores medios en el suelo desnudo y los dos acolchados.

En los tres meses se encontraron diferencias de uso eficiente del agua en las plantas con preacondicionamiento hídrico aunque éstas no fueron tan evidentes como en las otras variables. En la figura 20 se muestra que en el mes de diciembre la *EUA* de plantas acolchadas con paja hubo diferencias entre las plantas regadas a capacidad de campo y las preacondicionadas hídricamente ($F_{1,36} = 24.68, p < 0.001$).

Los valores del potencial hídrico de las plantas en el suelo desnudo fueron más negativos que con paja o con polietileno. Las plantas NE/CC, las NE/EH y las E/EH mostraron valores más negativos en el suelo desnudo que en la paja y en el polietileno. Solo se encontraron diferencias por el preacondicionamiento hídrico entre las plantas con acolchado de paja, las cuales estadísticamente no fueron significativas. La interacción entre el endurecimiento y los acolchados ($F_{2,36} = 3.54, p < 0.01$) fue significativa, así como con el preacondicionamiento hídrico y los acolchados ($F_{1,36} = 4.73, p < 0.01$) (véase Anexo 2). El valor más negativo de ψ fue en las plantas NE/EH en el suelo desnudo (Fig. 21).

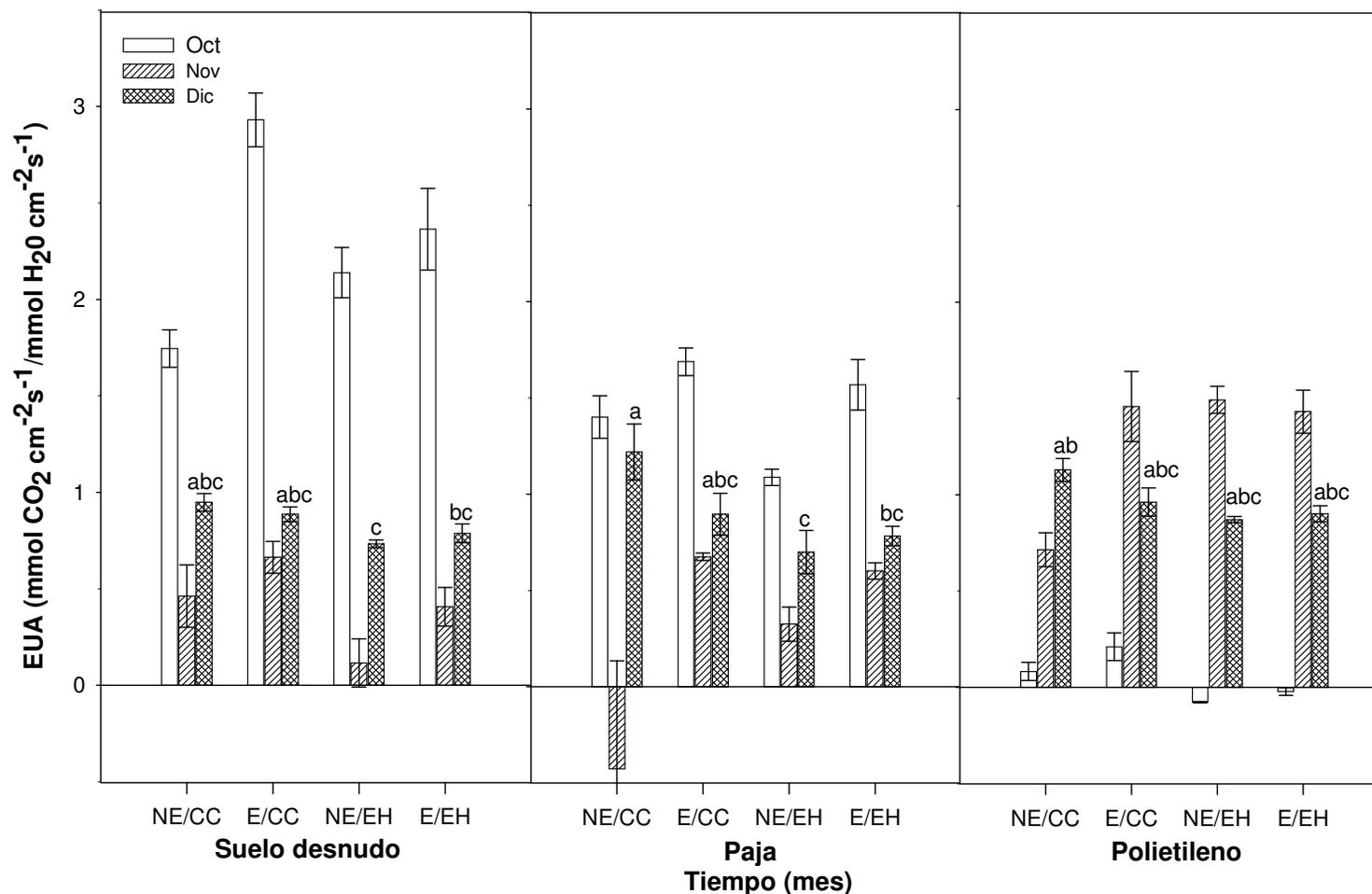


Figura 20. Eficiencia del uso del agua en plantas de *D. viscosa* en el campo. En plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; regadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

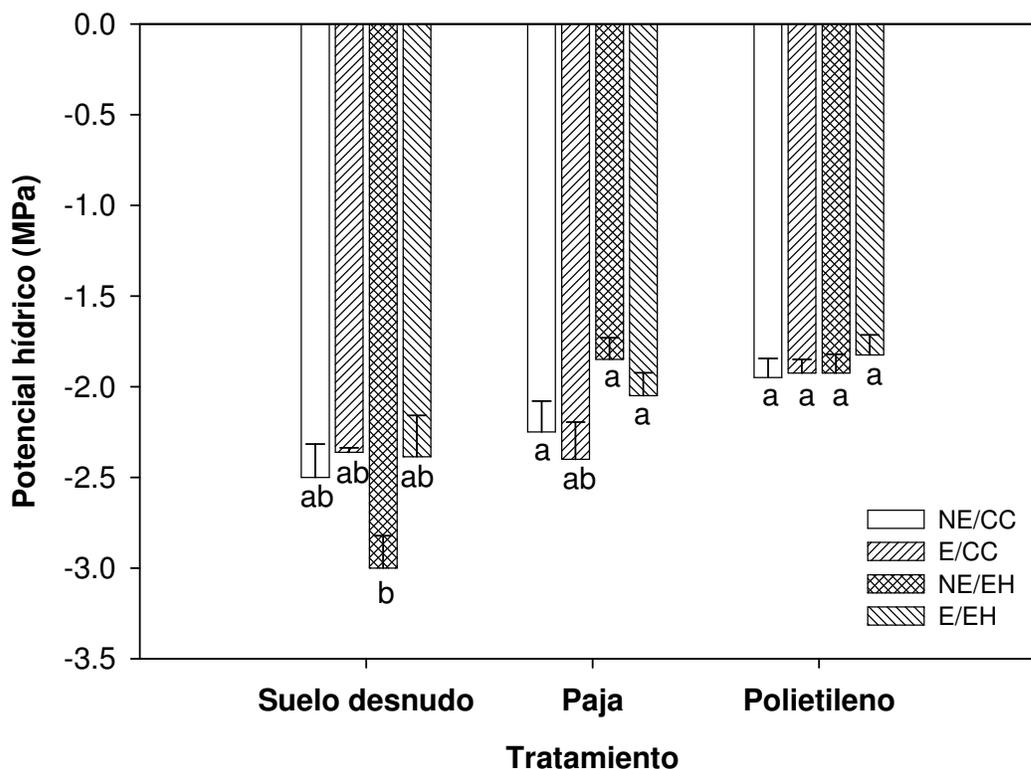


Figura 21. Potencial hídrico de *D. viscosa* en el campo durante noviembre. En plantas de semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; irrigadas a capacidad de campo, CC y estresadas hídricamente, EH. Se muestra el promedio \pm el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

6.4. Costos

Los costos calculados en este proyecto no consideran el precio de inversión que se realizaría para un proyecto de restauración ya que en este último se considera un mayor número de individuos, la compra de materiales y la infraestructura. En este análisis se tomó en cuenta la depreciación de los materiales, la renta de las instalaciones como: la casa de sombra y el cuarto oscuro; el sueldo de los trabajadores en base a tres salarios mínimos; plantas de siete meses de edad; la producción de 500 plantas desde la recolección de las semillas hasta la siembra de las plantas y la colocación del acolchado. Estos

costos serían similares a los del Parque Ecológico de la Ciudad de México ya que cuentan con las instalaciones necesarias para llevar a cabo todo el proceso.

El ahorro de agua con el riego mínimo para las plantas con estrés hídrico es de cinco veces mayor que las plantas regadas a capacidad de campo (2 l y 10 l, respectivamente durante tres meses). El precio del agua no fue considerado ya que éste tiene un valor muy bajo por litro.

El endurecimiento natural de las semillas aumenta un peso el costo por planta, el cual es un precio muy accesible. Los costos de las plantas estresadas hídricamente son los más baratos ya que requieren de menor tiempo para su riego. También se observó que el acolchado de polietileno aumenta el precio de la planta en dos pesos (Tabla 3). En la tabla 2 se muestra el precio de cada tratamiento llevado a cabo siendo el más barato el de las plantas no endurecidas a capacidad de campo en el suelo y el tratamiento más caro el de las plantas endurecidas regadas a capacidad de campo y con acolchado de polietileno.

Tabla 2. Costo unitario por planta en pesos para la interacción entre tratamientos. Semillas no endurecidas, NE; semillas endurecidas, E; plantas regadas a capacidad de campo, CC y plantas estresadas hídricamente, EH. (Costos en pesos)

Tratamiento	Suelo desnudo	Acolchado de paja	Acolchado de polietileno
NE/CC	16.89	18.20	19.31
E/CC	17.99	19.3	20.41
NE/EH	15.5	16.83	17.94
E/EH	16.62	17.93	19.05

En la tabla 3 se presentan los costos de los materiales, la mano de obra y el transporte de la persona encargada y el traslado de las plantas al sitio de estudio desde el Distrito Federal. Así como el costo total por cada paso descrito en la metodología.

Tabla 3. Análisis económico del proyecto realizado considerando el costo de 500 plantas y tres salarios mínimos (\$145.8 pesos)

Actividades	Herramientas	Costo de uso	Materiales	Mano de Obra	Tra
Recolección de semillas	Tijeras de jardinero	\$2	1 Bolsa de plástico \$2	10 h \$182.2	
Limpieza y selección de semillas			Costal \$4	20 h \$364.5	
Endurecimiento			2 Bolsas de tela \$10 Aluminio \$5 Cuarto oscuro \$250	5 h \$91.1	
Semillas endurecidas no			Frasco de vidrio \$6		
Escarificar	Vaso de precipitados Agitador de vidrio Colador metálico	\$0.50 \$0.50 \$2.0	Acido sulfúrico 100% \$10 Toalla de papel \$10	1 h \$18.22	
Siembra y crecimiento de plantas 3 meses	Renta casa de sombra Pala de jardinero	\$1,500 \$1	100 Bolsas negras \$150 Costal de tierra \$250	20 h \$364.5	
Riego cada 3er día durante 4 meses	Renta de la casa de sombra	\$2,000		75 h \$1,365	
Riego cada 4 días durante 4 meses	Renta de la casa de sombra	\$2,000		37.5 h 682.5	
Transplante en campo	Carretilla Pico Pala	\$3 \$1 \$0.5		50 h \$910.0	
Acolchado de paja			1.5 Paca de paja \$190	20 h \$364.5	
Acolchado de polietileno	Cutter	\$1	Polietileno \$555	25 h \$455.5	

7. DISCUSION

7.1. Endurecimiento de semillas

El endurecimiento natural de semillas es un método en el cual no se controlan las variables de temperatura, humedad y luz, a diferencia de otros tipos de endurecimiento en los cuales se controla potencial osmótico, la temperatura y la cantidad de luz además de otros factores dado que se realizan en condiciones de laboratorio (Sánchez *et al.*, 2001). Sin embargo, el endurecimiento natural es una técnica que se puede realizar fácilmente a pequeña o gran escala, con una mínima capacitación y con un bajo costo ya que no se requieren equipos, ni tecnología sofisticada, además los materiales son reutilizables.

Los resultados en el porcentaje de germinación en la cámara de crecimiento mostraron similitud entre semillas endurecidas y las no endurecidas (96.6 y 88.8 % respectivamente), ambas tuvieron valores altos ya que se encontraban en condiciones controladas, cuando se realizó la siembra en bolsas con suelo en la casa de sombra el porcentaje de supervivencia disminuyó en un promedio de 73 % no siendo evidente el efecto del endurecimiento. Sin embargo, Benítez (2005) realizó experimentos con la misma especie, en las semillas no endurecidas obtuvo porcentajes de germinación altos mientras que en las endurecidas los porcentajes fueron bajos; sin embargo, en la supervivencia de las plantas en la casa de campo observó alta supervivencia en las plantas endurecidas y baja supervivencia en las no endurecidas. Esto implica que las semillas que este autor utilizó para la germinación tenían una cubierta seminal menos dura o que las condiciones ambientales durante el año de enterramiento favorecieron el debilitamiento de la cubierta seminal, lo que se reflejó en la disminución de la germinación con el uso de 10 minutos de escarificación.

Por otro lado, si se comparan los porcentajes de germinación sembrando las semillas en condiciones naturales, la supervivencia para *D. viscosa* sería de 16 % en un sitio abierto, 21% en oquedades y 28 % bajo la sombra (Plata, 2002). Por lo que notamos una gran ventaja en sembrar las plantas en una casa de sombra.

Aguilera (2003) encontró que el porcentaje de germinación de *Buddleia cordata* fue mejor en semillas con enterramiento natural que en las no endurecidas o que las osmocondicionadas. González-Zertuche y col. (1999) también reportaron un porcentaje de germinación mayor con el endurecimiento natural, siendo variable la respuesta entre especies y cosechas (Bray, 1995).

7.2. Preacondicionamiento hídrico

La tolerancia al estrés en *D. viscosa* se ha observado a nivel morfológico y fisiológico (Ramos, 1998). Los mecanismos morfológicos observados en la casa de sombra fueron la senescencia de la hoja y la pérdida de éstas y el cambio del ángulo de las hojas. Los mecanismos fisiológicos de esta especie son: un contenido alto de agua simplásmica, la cual le provee una mayor cantidad de retención de agua dentro de la célula; un ajuste osmótico verdadero con el fin de mantener la turgencia en sus hojas para que éstas puedan realizar sus funciones normales, la disminución de los potenciales de presión en el estoma, con valores cercanos a cero en las horas de mayor irradiación, provocando el cierre de los estomas y por lo tanto la reducción en la pérdida de agua (Degollado, 2000).

Es importante aclarar que la funcionalidad del preacondicionamiento sólo se puede conocer después del trasplante al campo cuando las plantas se expusieron a condiciones de estrés. Sin embargo primero se discutirá sobre los resultados del preacondicionamiento hídrico en la casa de sombra.

De manera general se observó que en todas las variables, el estrés hídrico influyó más en los tratamientos que el endurecimiento de las semillas. Aguilera (2003) concuerda con esta observación en variables de área foliar específica y la relación raíz/vástago. La supervivencia de las plantas fue la excepción; aquí el estrés hídrico no influyó tanto ya que los cuatro tratamientos presentaron valores muy altos de supervivencia

Las plantas regadas a capacidad de campo crecieron más en altura y *DBT* que las estresadas hídricamente, valores similares a los reportados por Morales-Guerrero (2005) con *D. viscosa* y Ohashi y col. (2006) con soya. La *TRC* de altura disminuyó en las plantas estresadas hídricamente, sin embargo, en la *TRC* de

DBT los valores entre las plantas estresadas y las regadas a capacidad de campo fueron similares, lo cual también reportó Arin y Kiyak (2003) en plantas estresadas hídricamente, las cuales tienen incremento de tamaño, peso fresco y *DBT*. No se presentaron diferencias entre las plantas endurecidas.

En las variables fisiológicas se observó que las plantas estresadas tuvieron menor conductividad estomática, menor transpiración, potenciales hídricos más negativos y menor eficiencia en el uso del agua que las regadas a capacidad de campo. Morales-Guerrero (2005) obtuvo valores similares en g_s , Ψ y *EUA* con la *D. viscosa*. Siendo una condición ya conocida que la deficiencia del agua en el suelo reduce la conductividad estomática, la transpiración, la tasa fotosintética y la acumulación de materia en peso seco (Saeed y El-Nadi, 1998; Ohashi *et al.*, 2006), estos resultados son debido a que las plantas con déficit hídrico tienen valores de potencial hídrico muy negativos, lo cual disminuye la turgencia de la hoja afectando el grado de apertura estomática reduciendo la fotosíntesis (Hsiao, 1973), es decir, hay una reducción en la toma de CO₂ y en la conductividad estomática (Kramer y Kozlowski, 1979).

Los resultados derivados del endurecimiento natural, no se observaron en la supervivencia, ni en el crecimiento en la casa de sombra, sin embargo efectos evidentes en el potencial hídrico disminuyendo el estrés hídrico en las plantas provenientes de semillas endurecidas (E/CC y E/EH) y en el mejor uso del agua en plantas E/EH, lo cual nos indica que el tratamiento de endurecimiento en la semilla favorece el desempeño de la planta tanto en condiciones favorables como bajo estrés hídrico. Arin y Kiyak (2003) no encontraron diferencias en las variables de crecimiento, ni en el porcentaje de emergencia en la interacción de endurecimiento con estrés hídrico aunque comparando las semillas endurecidas de las no endurecidas regadas a capacidad de campo encontraron que las endurecidas tuvieron mayor tamaño, peso fresco y diámetro que las no endurecidas. Aguilera (2003) obtuvo en plantas de tres meses una tasa relativa de crecimiento en peso seco y tasa de asimilación neta en el siguiente orden E/CC > NE/CC = E/EH > NE/EH, donde las plantas fueron beneficiadas por el endurecimiento de las semillas.

7.3. Transplante al PECM

La problemática a resolver en este trabajo fue aumentar la tasa de supervivencia de *D. viscosa* en un área degradada y fragmentada por la erupción del Xitle y por el hombre, teniendo como resultado la disminución en la biodiversidad, alta incidencia solar, suelo pobre en nutrientes, alta pedregosidad y alta infiltración del agua (Anexo 1). Estas circunstancias dificultan la colonización, supervivencia y establecimiento de las plantas, lo cual supone que al lograr que la especie logre sobrevivir en estas condiciones, aumentarán las posibilidades de éxito en otras áreas menos adversas.

Por lo que las acciones que se lleven en el sitio de estudio se deben enfocar a la recuperación del suelo, el aporte de materia orgánica, a la introducción de especies nativas (Arriaga *et al.*, 1995), al mejoramiento de las plantas acondicionándolas al estrés hídrico, al estrés térmico y el apoyo de técnicas como los acolchados.

7.4 Acolchados en el PECM

La magnitud del cambio en las respuestas morfológicas y fisiológicas varían dependiendo de la intensidad y frecuencia del estrés (Fitter *et al.*, 2002; Guarnaschelli *et al.*, 2003), siendo mayor en condiciones naturales, ya que los factores ambientales como la intensidad de la luz, el déficit en la presión de vapor del aire, la temperatura, el viento y la disponibilidad de agua en las raíces afectan la transpiración de la planta (Kramer y Kozlowaki, 1979). Esto explica que en las plantas de todos los tratamientos en campo el 41 % de las plantas presentaron marchitamiento de la hoja (sin senescencia) y parte superior del tallo en la época seca, para posteriormente en la época de lluvias volvieran a retoñar, adaptación de algunas especies perennes de ambientes con estaciones bien diferenciadas, otro efecto de la intensidad del estrés hídrico fue la disminución del grosor del tallo en las plantas. Saeed y El Nadi (1998) coinciden en que un estrés más severo induce esta respuesta.

Los acolchados se han utilizado con la intención de reducir el sobrecalentamiento de las capas superiores del suelo (Ramírez, 1996), en este trabajo se encontró que el acolchado de polietileno disminuyó la temperatura del suelo hasta en 5 °C, así como muy probablemente la evaporación, aumentando el contenido de humedad y la disponibilidad del agua para las plantas bajo este acolchado como se ha reportado previamente (Streck *et al.*, 1995; Parra *et al.*, 2002).

Es primordial mencionar que no se ha reportado otro trabajo que utilice la combinación de los tratamientos aquí expuestos. En orden de importancia el preacondicionamiento hídrico fue el que más influyó en los tratamientos, siguiéndole el tipo de acolchado y por último el endurecimiento de las semillas.

En general se obtuvo mayor supervivencia con el acolchado de polietileno, le siguió el suelo desnudo y por último el acolchado de paja. En cuanto a la supervivencia en el acolchado de polietileno Barajas-Guzmán y col. (2006) reportaron resultados similares para tres especies nativas de un bosque tropical seco. La disminución de la supervivencia en el acolchado de paja con respecto al suelo desnudo, puede deberse a que en la época seca cuando la precipitación fue más escasa, la paja absorbió parte del agua disminuyendo la cantidad de agua que llegó al suelo. Tilander y Bonzi (2002) reportan que no siempre se encuentra un incremento en la humedad del suelo o en la disminución de la temperatura del suelo con los acolchados de paja. Considerando la interacción entre tratamientos, las plantas que tuvieron los valores más altos de supervivencia fueron las plantas endurecidas regadas a capacidad de campo (E/CC), tanto para el suelo desnudo, la paja y el polietileno (30 %, 9 % y 50 % respectivamente). Benítez (2005) encontró diferencias en el porcentaje de supervivencia (50 % y 30 % en plantas derivadas de semillas endurecidas y no endurecidas, respectivamente) con *D. viscosa*, las diferencias entre el trabajo anterior y éste son que el primero: se desarrolló en un suelo más profundo, las plantas se encontraron menos expuestas ya que, tuvieron un poco de sombra, el lote de semillas respondió de manera diferente y hubo diferencias en las condiciones climáticas.

En las variables de crecimiento se encontró que las plantas de semillas endurecidas, estresadas hídricamente y de los acolchados de paja y de polietileno tuvieron mayor altura que las no endurecidas. También se observó que en las plantas endurecidas, estresadas hídricamente y con acolchado de paja los *DBT* fueron mayores que los de las plantas no endurecidas y estresadas hídricamente. Se ha reportado que los efectos del endurecimiento de semillas se expresan especialmente en condiciones adversas para el desarrollo en el campo (Kaur *et al.*, 2002).

Las TRC no dependen del tamaño inicial de las plantas modificado por el preacondicionamiento hídrico por lo que nos indica más claramente las diferencias entre los tratamientos. La *TRC* fue mayor en el acolchado de polietileno, medio en la paja y menor en el suelo desnudo, como también se reporta en el caso de *Ipomea wolcottiana* (Barajas-Guzmán *et al.*, 2006). Las plantas estresadas hídricamente presentaron una *TRC* en altura y un *DBT* mayores que las regadas a capacidad de campo, mostrando una buena adaptación a las condiciones naturales. Las tasas de crecimiento fueron mayores en el *DBT* que en la altura, ya que estas plantas tienen como estrategia ante el estrés hídrico dejar morir el meristemo apical por lo que posiblemente pueden invertir más en crecimiento en grosor del tallo que en altura. Las TRC más altas en altura las presentaron las plantas (E/EH) en los acolchados de paja y polietileno, así también Aguilera (2003) reporta que las plantas endurecidas tuvieron una TRC mayor que las no endurecidas en plantas de *B. cordata*.

En cuanto a la conductividad estomática, se encontraron valores similares en el suelo desnudo a los reportados por Ramírez (1997). La conductividad varía por los cambios en la temperatura del aire, la diferencia de presión del vapor del aire, el potencial hídrico, la radiación y la precipitación (Ramírez, 1997; Ramos, 1998). En noviembre y diciembre los valores de la conductividad estomática en orden descendente se obtuvieron en el acolchado de polietileno, el suelo desnudo y el acolchado de paja, lo cual indica indirectamente que bajo el acolchado de polietileno hubo una mayor retención de agua, que bajo el acolchado de paja y el suelo desnudo. Resultados similares han sido reportados con acolchados de

polietileno = hojarasca de bosque > suelo desnudo > paja de alfalfa (Barajas-Guzmán, en prensa). Los valores de transpiración están muy relacionados con los de la conductividad estomática. En la transpiración se observó una disminución de en las plantas estresadas hídricamente de las regadas a capacidad de campo en el mes de diciembre, también se obtuvieron valores más altos en el acolchado de polietileno. Parra y col. (2002) reportaron datos de mayor transpiración con acolchado de polietileno que en el suelo. El efecto del preacondicionamiento hídrico se observa en la reducción en la apertura estomática y en algunos casos de la transpiración.

Degollado (2000) reportó valores de potencial hídrico menores a los valores registrado en plantas en el suelo desnudo en este estudio, mientras que Ramírez (1997) registró valores más negativos en los meses de enero y febrero de hasta -3.9 MPa en individuos adultos, lo cual nos indica que *D. viscosa* tiene una gran tolerancia a la sequía comparado con otras plantas del mismo ecosistema como son *Cissus sicyoides*, *Senecio praecox* y *B. cordata*, (-0.5 a -1.2 MPa, -0.4 a -0.68 MPa y -0.68 a -1.33 MPa, respectivamente). Probablemente, los potenciales hídricos también estuvieron en función del contenido de humedad del suelo, mostrando que el acolchado de polietileno tiene mayor cantidad de agua. Estos resultados concuerdan con el trabajo de Parra y col. (2002).

La eficiencia en el uso del agua (*EUA*) estima la capacidad de la planta para asimilar el bióxido de carbono por unidad de agua transpirada. Los datos muestran que en el mes de octubre fue mejor aprovechada el agua en el suelo, pero en la época seca cuando el agua disponible empezó a escasear, la *EUA* siguió este orden polietileno > suelo desnudo > paja. Los resultados de esta variable nos indican que la disponibilidad de agua disminuye la capacidad de asimilar bióxido de carbono, lo que concuerda con Saeed y El-Nadi (1998) quienes encontraron que en el cultivo de sorgo el uso eficiente del agua disminuye cuando se tiene menor cantidad de agua disponible para las plantas.

La relación entre la supervivencia, el crecimiento y las variables fisiológicas en los meses de la época de lluvias donde se tuvo una mayor disponibilidad de agua, indican que aunque los valores de las variables fisiológicas hayan sido muy

variables permitieron una alta supervivencia de las plantas de todos los tratamientos. Sin embargo en la época seca se vieron los efectos del endurecimiento natural de las semillas, del preacondicionamiento hídrico y de los acolchados.

Aunque el preacondicionamiento no aumentó la supervivencia de las plantas al estrés hídrico, fue benéfico incrementando la *TRC* en altura y en *DBT*. En cuanto a la conductividad estomática, se observa una reducción en la apertura estomática en las plantas estresadas hídricamente, así como, la transpiración también se vio modificada y finalmente el potencial hídrico se redujo en tres tratamientos en las plantas endurecidas en el suelo desnudo durante el mes de octubre (datos no presentados) y en las plantas no endurecidas y endurecidas del acolchado de paja en el mes de noviembre. Guarnechelli y col. (2003) encontraron favorable la aclimatación dada por el preacondicionamiento en *Eucalyptus globulus* mostrando valores mayores en el contenido relativo de agua y la conductividad estomática y potencial hídrico menos negativo que en las plantas no estresadas, así como baja mortalidad. Ruiz-Sánchez y col. (2000) también encontraron una disminución en los parámetros de intercambio gaseoso y la reducción del potencial hídrico de la planta.

La funcionalidad del acolchado de polietileno bicapa blanco y negro, radica en que la parte que se instala hacia arriba, es decir, la blanca refleja la luz solar lo que permite regular la temperatura, mientras que la parte oscura inhibe la germinación de otras plántulas. En el caso de la restauración en algunas situaciones se quiere favorecer el crecimiento de algunas plantas y poder manejar las etapas sucesionales, por lo que puede ser aconsejable utilizar un acolchado de este tipo.

7.5. Análisis socioeconómico

La restauración ecológica en este sitio de estudio fue favorecida por el interés de las autoridades del Parque Ecológico de la Ciudad de México, las cuales llevan a cabo programas de reforestación y conservación de esta área natural protegida, aportando varios servicios ambientales a la Ciudad de México.

Con base en esto podemos considerar que la organización social está bien instituida para el mejoramiento de las condiciones del parque.

Los costos de los tratamientos nos indican que económicamente es factible de implementarlos en muchos sitios, porque son prácticos, baratos, sencillos y biológicamente amigables con el ambiente, además de poder aplicarse en zonas deterioradas o con suelo pobres como en el presente trabajo. El costo de las plantas para este proyecto puede resultar más elevado por ser a pequeña escala y aun así los costos son bajos, cabe mencionar que se consideró desde la recolección de semillas hasta la siembra y la colocación del acolchado. Si bien el tratamiento de plantas endurecidas, regadas a capacidad de campo y acolchadas con polietileno es que tiene el mayor precio, éste representa una supervivencia de 30 a 50 % y sólo se aumenta el costo en un 17 % de las plantas sin ningún tratamiento.

No se colocó una protección para evitar la herbivoría de los conejos, lo cual tuvo como ventaja: condiciones similares a las de una reforestación, no incremento el costo y ni el trabajo y se encontró que sólo el 5.3 % de las plantas fueron mordidas en el transcurso de un año.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que:

1. El enterramiento natural aumenta la capacidad de adaptación de las plantas a condiciones adversas, observándose este efecto en la tasa relativa de crecimiento en altura de plantas estresadas hídricamente, así también favoreció el desempeño de las plantas en condiciones favorables, es decir, regadas a capacidad de campo durante su permanencia en la casa de sombra.
2. El preacondicionamiento hídrico adaptó a las plantas a una menor disponibilidad de agua en el suelo, resultado que las plantas tuvieron una TRC en altura y diámetro mayor a las regadas a capacidad de campo aunque no aumentó la supervivencia en condiciones naturales.
3. Las plantas provenientes de semillas endurecidas y regadas a capacidad de campo tuvieron una mayor supervivencia en el campo.
4. El acolchado de polietileno favoreció la supervivencia, el establecimiento y el crecimiento de las plantas, disminuyendo la temperatura del suelo y aumentando la disponibilidad de agua en el sustrato.
5. El mejor resultado se obtiene de la interacción entre, el endurecimiento natural de las semillas, el riego a capacidad de campo y el uso de acolchados de polietileno. Esta combinación es la que obtiene porcentajes más altos de supervivencia, siendo así la más recomendable para iniciar la restauración con esta especie en zonas degradadas.
6. Se aumentó la supervivencia en campo de un 15 % en plantas sin ningún tratamiento a un 50%.

7. En la época seca *Dodonea viscosa* utilizó mejor el agua en el acolchado de polietileno.

8. *Dodonea viscosa*, es una especie tolerante al estrés hídrico, por lo que es útil en la reforestación de áreas verdes como parques y jardines o en la restauración de áreas naturales.

9. El endurecimiento, el estrés hídrico y el acolchado de polietileno son tratamientos baratos, sencillos y factibles en los programas de reforestación y de restauración ecológica.

Principalmente se recomienda endurecer las semillas, regar a capacidad de campo y usar de acolchados de polietileno blanco/negro. Adicionalmente se recomienda monitorear este proyecto después de cinco años y ver los avances en altura, diámetro y supervivencia. Así mismo es necesario realizar estudios sobre la interacción entre las hormigas y los acolchados de polietileno, debido a que debajo de éstos, se encontraron distintas especies de hormigas y no colocarles una protección a las plantas contra la herbivoría de los conejos. Finalmente, es recomendable investigar si los nutrientes del suelo constituyen un factor limitante en esta área.

LITERATURA CITADA

- Aguilera J. P. 2003. Efecto del endurecimiento de las semillas de *Buddleja cordata* H. B. K. en las etapas iniciales de su ciclo de vida. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 63 pp.
- Arin L., Kiyak Y. 2003. The effects of pre-sowing treatments on emergence and seedling growth of tomato seed (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under several stress conditions. *Pakistan Journal of Biological Science* 6:990-994.
- Arriaga V., Cervantes V., Vargas-Mena A. 1995. Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. INE/SEDESOL/ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, México. 186 pp.
- Barajas-Guzmán M. G., Campo J., Barradas V. L. 2006. Soil water nutrient availability and sampling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Plant and Soil* 287:347-357. DOI 10.1007/s11104-006-9082-7.
- Barajas-Guzmán M. G. (datos no pub). 2007. Estrategias de reforestación en selvas bajas caducifolias: influencia del uso de acolchados en el establecimiento, supervivencia y crecimiento de plantas de especies nativas. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 108 pp.
- Barradas¹ V. L. 2000. Ecofisiología Vegetal: Una herramienta para la conservación y la restauración ecológica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65:71-72.
- Barradas² V. L. 2000. Modificación del microclima con énfasis en la conservación y la restauración ecológica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 83-88.
- Benítez R. L. 2005. Estudio ecofisiológico de germinación y crecimiento de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. con fines de restauración en zonas perturbadas del Valle de México. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 60 pp.
- Bewley J. C., Back M. 1994. *Seeds physiology of development and germination*. 2da ed. Plenum Press, New York, 445 pp.
- Bray C. M. 1995. Biochemical processes during osmopriming of seeds. En: Kigel J., Galili G., Dekker M. (eds.) *Seed development and germination*. New York. pp. 767-789.
- Cano-Santana Z., Meave J. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias* 41: 58-68.
- Camacho M. F., González K. V., Mancera O. A. 1993. Guía tecnológica para el cultivo del chapulixtle *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. arbusto útil para la producción de tutores hortícolas, control de erosión y setos urbanos. Guía tecnológica No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. México. 33 pp.
- CETENAL (Centro de Estudios del Territorio Nacional). 1979. Carta edafológica E14 A49 escala 1:50,000.

- Connell J. H., Slatyer R. O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist* III: 1119-1144.
- Cruz C. R. 1983. Clave para determinar la fórmula climática de una estación meteorológica, según el sistema de Koppen modificado por E. García Instituto Politécnico Nacional. 15 pp.
- Degollado Z. D. 2000. Relaciones hídricas internas de *Cissus sicyoides* L. y *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. de la reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 74 pp.
- Desai B. B., Kotecha P. M., Salunkhe D. K. 1997. *Seeds handbook biology, production, processing, and storage*. Marcel Dekker Inc. New York. 627 pp.
- Diario Oficial de la Federación. Miércoles 28 de junio de 1989. Departamento del Distrito Federal, pp. 31-39.
- Dobson A. P., Bradshaw A. D., Baker A. J. M. 1997. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science* 277:515-522.
- FAO, ISRIC, SICS. 1999. Base referencial mundial del recurso suelo. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación), ISRIC (Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos), SICS (Sociedad Internacional de las Ciencias de l Suelo) 98 pp.
- Fenner M., Thompson K. 2005. *The ecology of seeds*. University Press, Cambridge. 250 pp.
- Fitter A.H., Hay R. K. M. 2002. *Environmental physiology of plants*. 3ra ed. Academic Press. London, 367 pp.
- García E. 2005. Los climas del Valle de México según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por la autora. En: Roger L. y Vidal Z. R. (eds.) *Enriqueta Garciae Antología*. CICY UNAM, México, pp. 41-58.
- González-Hidalgo B. 1996. Estudio florístico y de vegetación de la Reserva Ecológica Lomas del Seminario, Ajusco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 116 pp.
- González-Hidalgo B., Orozco-Segovia A., Diego-Pérez N. 2001). La vegetación de la Reserva Ecológica Lomas de Seminario, Ajusco, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 69: 77-99.
- González-Hidalgo B., Orozco-Segovia A., Diego-Pérez N. 2002. Florística y afinidades fitogeográficas de la Reserva Lomas del Seminario (Ajusco Medio, Distrito Federal). *Acta Botánica Hungarica* 44: 297-316.
- González-Zertuche L., Orozco-Segovia A., Vázquez Y. C. 1999. El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y en la sobrevivencia de la plántula. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 73-81.
- Guarnaschelli A. B., Lemcoff J. H., Prystupa P., Basci S. O. 2003. Responses to drought preconditioning in *Eucalyptus globulus* Labill. provenances. *Trees Structure and Function* 17:501-509.
- Hale M. G., Orcutt D. M. 1987. *The physiology of plants under stress*. Wiley J. and Sons. Inc. New York. 206 pp.
- Hartmann H. T., Kester D. E., Davies F.T., Geneve R.L. 1997. *Plant propagation. Principles and practices*. 6ta edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 770 pp.

- Higgs E. S. 1997. What is good ecological restoration?. *Conservation Biology* 11: 338-348.
- Hobbs R. J., Norton D. A. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4:93-110.
- Hunt Z. 1978. *Plant growth analysis*. Edward Arnold. Londres, 67 pp.
- Hsiao T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review Plant Physiology* 24:519-570.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) 2000. Cuaderno estadístico delegacional. Tlalpan, D. F. pp.3-23.
- Jones H. G. 1992. *Plant and Microclimates. A quantitative approach to environmental plant physiology*. Great Britain University Press, Cambridge. 482 pp.
- Kaur S., Gupta A. K., Kaur N. 2002. Effect of osmo- and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. *Plant Growth Regulation* 37:17-22.
- Kramer J. P., Kozlowski T. 1979. *Physiology of woody plants*. Academic Press, Inc. London, 811 pp.
- Metafro Infosys. modificado 12/2006. Metadata African Organization- Information System. Directorate General for Development Cooperation. En: [http:// www. Metafro.be/prelude/view_plant?pi=04990](http://www.Metafro.be/prelude/view_plant?pi=04990).
- Mohr H., Schopfer P. 1995. *Plant physiology*. Springer-Verlag, Berlin. 629 pp.
- Monks C. D., Monks D. W., Basden T., Selders A., Poland S., 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., Rupp L. 1998. Surface energy balance affects gas exchange of three shrub species. *Journal of Arboriculture* 24:254-262.
- Morales-Guerrero N. 2005. Estudio del uso del agua en etapas tempranas del crecimiento de dos especies nativas del Valle de México y su importancia en la restauración ecológica. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 64 pp.
- Ohashi Y., Nakayama N., Saneoka H., Fujita K. 2006. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia plantarum* 50:138-141.
- Orduña B. 1994. Evaluación del uso de acolchados orgánicos y aplicación de estiércol en el cultivo de maíz (*Zea mayz*) en Chapingo, México. Universidad Autónoma de Chapingo. México. pp. 21-25.
- Parra Q. R. A., Becerril R. E., López C. C. 2002. Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en manzano "golden delicious" injertado sobre portainjertos clonales. *Terra* 20:113-121.
- Plata A. M. 2002. Estudio ecofisiológico de la germinación de dos especies arbustivas del pedregal de San Ángel *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. (Sapindaceae) y *Senna ultiglandulosa* (Jacq.) Irwin & Barneby (Cesalpiniaceae). Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 71 pp.
- Price J. L., Rochefort, Quinty F. 1998. Energy and moisture considerations on cutover peatlands. *Ecological Engineering* 10: 293-312.

- Ramírez G. M. 1997. Comportamiento estomático en *Senecio praecox* D. C. (Compositae) y *Dodonaea viscosa* Jacq. (Sapindaceae) de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México México. 64 pp.
- Ramírez V. J. 1996. El uso de acolchados plásticos en horticultura, Sin. México. Universidad Autónoma de Sinaloa. 1era ed. México, pp. 16-23.
- Ramos V. A. 1998. Efecto de las condiciones microclimáticas sobre la respuesta estomática en tres especies vegetales de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 78 pp.
- Rojo A., Rodríguez J. 2002. La flora del Pedregal de San Ángel. SEMARNAT-INE. 76 pp.
- Rojas M. 1972. Fisiología vegetal aplicada. Ed Mc Graw Hill, México. 252 pp.
- Ruiz-Sánchez M. C., Domingo R., Torrecillas A., Pérez-Pastor A. 2000. Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants. *Plant Science* 156:245-251.
- Rzedowski J., Rzedowski G. C. 1979. Flora fanerogámica del Valle de México. Vol. 1. CECSA. México. 53 pp.
- Saeed I. A. M., El-Nadi A. H. 1998. Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation. *Irrigation Science* 18:67-71.
- Salisbury F. B. 1996. Units, symbols, and terminology for plants physiology. A Reference for presentation of research results in the plant science. Oxford University Press, Inc. New York. 234 pp.
- Sánchez J. A., Orta R., Muñoz B. C. 2001. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense* 25:67-93.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2006. Informe de rendición de cuentas de la administración 2001-2006. CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 61 pp.
- Siebe C. 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, Southwestern Basin of Mexico—City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 104:45-64.
- Siebe C., Jahn R., Stahr K. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 58 pp.
- SIRE. 2005. Paquetes tecnológicos. *Dodonaea viscosa* L. Jacq. <http://www.arboreaccess.com/wca/qryBotName.ASP?Botanical>. CONABIO-PRONARE Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), Programa Nacional de Reforestación (PRONARE).
- Society for Ecological Restoration (SER) internacional, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. En: www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International version 2.
- Soldelvilla C. S. 1997. Aplicación radial de CO₂, uso de acolchados plásticos y sistemas de manejo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 78 pp.

-
- Stecanella C. de O. C. 2004. Experimental poisoning by *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) in cattle. *Acta Scientiae Veterinarie* 32: 77-78.
- Stephen F. R., Johnson B., Wilson M. 2001. The trees of Sonora, México. Oxford University Press, New York. pp. 302-304.
- Stephens S., Raychelle D. 06/2005. Pacific island network vital sings monitoring plan: phase III report. Hawaii. En: [http:// science.nature.nps.gov/im/units /pacu /monitoring/plan](http://science.nature.nps.gov/im/units/pacu/monitoring/plan).
- Streck N. A., Schneider F. M., Buriol G. A., Heldwein A. B. 1995. Effect of polyethylene mulches on soil temperature and Tomato Yiel in plastic greenhouse. *Science agriculture Piracicaba* 52: 587-593.
- Taiz L., Zeiger E. 2002. Plant physiology. 2da ed. Sinauer Sunderland, Massachusetts Associates. 792 pp.
- Tilander Y., Bonzi M. 1997. Water and nutrients conservation through the use of agroforestry mulches and sorghum yield response. *Plant and Soil* 197:219-232.
- Toscana A. A. 1998. Análisis geomorfológico detallado del Volcán Ajusco y sus zonas adyacentes. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 97 pp.
- van Diggelen R., Grootjans A. P., Harris J. A. 2001. Ecological Restoration: state of the art or state of the science?. *Restoration Ecology* 9:115-118.
- Vázquez-Yanes C., Batis A. I. 1996. Adopción de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58:75-84.
- Villaseñor J. L., Espinosa G. F. J. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México. 448 pp.
- Walters C., Farrant J. M., Pammenter N. W., Berjak P. 2002. Desiccation stress and damage. En: Black M., Pritchard H. W. (eds.) *Desiccation and survival in plants drying without dying*. CABI, Londres. pp. 263-291.

Anexo 1. Descripción de perfiles de suelo en el sitio de estudio

1. Información acerca de la localidad

- 1.1. Nombre del sitio: Parque Ecológico de la Ciudad de México
- 1.2. Clasificación del suelo: WRB . Leptosol lítico
- 1.3. Fecha de la descripción: 20 de enero del 2006.
- 1.4. Autor: Eréndira Araiza R.
- 1.5. Localización: UTM horz 2130000- 2129000, UTM Ver 479000-481000
- 1.6. Altitud: 2,600 m snm
- 1.7. Forma del terreno: Es parte del Eje Volcánico Transversal, en la serranía del Ajusco en la parte baja de las faldas de la montaña, el pedregal esta formado por el derrame lávico del volcán Xitle.
Microrelieve: Es un terreno cóncavo siendo en la parte baja una planicie.
- 1.8. Pendiente moderada (4°); exposición: noroeste
- 1.9. Uso del suelo o vegetación: La vegetación de los alrededores es matorral xerófilo, En el sitio hay dos cimientos de construcción, suelo casi desnudo con algunas plantas pioneras, sin pastos.
- 1.10. Clima: Cb'(w2)(w)ig

2. Información general acerca del suelo

- 2.1. Material parental: derrame lávico
- 2.2. Drenaje natural: excesivo.
- 2.3. Condiciones de humedad en el perfil: seco (la parte cóncava orientación noroeste)
- 2.4. Profundidad al manto freático: desconocida, no influye en el perfil.
- 2.5. Presencia de rocas superficiales: piroclastos angulosos entre 2 a 30 cm, lava cortada por la obra de construcción.
- 2.6. Evidencia de erosión: erosión laminar.
- 2.7. Presencia de sales: no
- 2.8. Influencia humana: En el terreno se presentan cimientos de construcción en una esquina y al lado de un camino de terracería a las orillas del terreno se amontonaron fragmentos de roca.

0Perfil 1

3. *Descripción del perfil.* Suelo somero con un muy bajo contenido de materia orgánica. Con textura franco arenosa a arenosa, de color negro por los piroclastos, alta pedregosidad, sin estructura, grietas de pequeñas a un mayor tamaño, sin horizontes que lo definan, con raíces finas en los primeros 10 cm.

A(h) 0-1 cm. Color café negrusco en húmedo (10 YR 1.7/1) y en seco (N 2/0), textura franco arenosa (CA), contenido de materia orgánica 0.5 %, ligeramente ácido pH 5 (CaCl₂ 0.01 m), estructura de grano simple; pedregosidad de 40 % de gravas finas, pocos poros micro y grietas de 2 mm ex ped, densidad mediana de raíces finas, límite gradual y uniforme.

Cw1 1-10 cm. Color negro húmedo (N 1.5/0) y en seco (N 2/0), textura arenosa (A), pH 5 (CaCl₂ 0.01 m), estructura de grano simple; pedregosidad de 80 % bloques medios, grietas medianas 1 cm ex ped, densidad alta de raíces finas, límite gradual y uniforme, reacción alta al aluminio activo (NaF 1 n).

Cw2 10/21 cm. Color negro en húmedo (7.5 YR 3/3) y en seco, textura arenosa (A), pH 5 (CaCl₂ 0.01 m), estructura de grano simple; pedregosidad de 80 % en bloques, grietas gruesas comunes ex ped, no se observan raíces, no se observa límite, reacción moderada al aluminio activo (NaF 1 n).

R Lava basáltica fragmentada.

Perfil 2

Este perfil se realizó en la parte superior de la parte cóncava del sitio. Con una pendiente de 5°.

3. *Descripción del perfil* Suelo somero con un muy bajo contenido de materia orgánica. Con textura franco arenosa a arenosa, de color negro por los piroclastos, alta pedregosidad, sin estructura, grietas de pequeñas a un mayor tamaño, sin horizontes que lo definan, con raíces finas en la superficie.

- A 0-1 cm. Color café oscuro en húmedo (10 YR 4/2) y en seco (10 YR 2/1), textura franco arenosa (AC), contenido de materia orgánica 0.5 %, ligeramente ácido pH 5 (CaCl₂ 0.01 m), estructura masiva; pedregosidad de 60 % de cantos y gravas finas, pocos poros finos, comunes micro y grietas 2 mm ex ped , densidad mediana de raíces finas, límite gradual y uniforme, reacción alta al aluminio activo (NaF 1 n).
- Cw 1-39 cm. Color negro húmedo (10 YR 2/2) y en seco (4.5 YR 4/2), textura arenosa, pH 5 (CaCl₂ 0.01 m), estructura de grano simple; pedregosidad de 70 % bloques medios 5-10 cm, grietas mayor 5 mm ex ped, sin raíces, límite gradual y uniforme, reacción moderada al aluminio activo (NaF 1 n).
- R Lava basáltica fragmentada.

4. *Interpretación de las características del suelo.* Es un suelo reciente sin evidencias de procesos pedogenéticos, y alterado por los inicios de cimentación por unos pilotes de construcción con densidad aparente alta

5. *Características edafo-ecológicas del sitio.* El suelo es muy somero, la penetrabilidad de raíces está limitada a profundidad por roca consolidada y en los primeros centímetros también por alta pedregosidad. Está muy bien drenado y aireado, pero carece de capacidad de retención de agua, no cuenta con materia orgánica, por lo que su reserva de nitrógeno y fósforo es prácticamente nula.

Anexo 2. Tablas de análisis estadísticos

Tabla 4. Análisis estadísticos para los tratamientos de endurecimiento y preacondicionamiento hídrico de *D. viscosa* en la casa de sombra. Endurecimiento natural de las semillas End; Preacondicionamiento hídrico EH; Diámetro a la base del tallo DBT, conductividad estomática g_s ; transpiración *TRP*. Los números en negritas muestran diferencias significativas en las variables.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	F	p
Supervivencia germinación	End	1	55.38	0.00001
Supervivencia plantas	End	3	0.056	0.996
Altura	End	1	0.37	0.54
	EH	1	106.9	0.0001
	End x EH	1	2.01	0.16
	Error	52		
DBT	End	1	2	0.09
	EH	1	83	0.0001
	End x EH	1	0	0.99
	Error	52		
TRC altura	End	1	5.21	0.027
	EH	1	71.61	0.0001
	End x EH	1	0.61	0.805
	Error	43		
TRC DBT	End	1	1.43	0.23
	EH	1	0.025	0.87
	End x EH	1	0.05	0.81
	Error	43		
g_s	End	1	0.0052	0.943
	EH	1	33.84	0.00008
	End x EH	1	0.27	0.61
	Error	12		
<i>TRP</i>	End	1	0.39	0.54
	EH	1	25.7	0.00027
	End x EH	1	0.003	0.95
	Error	12		
<i>EUA</i>	End	1	0.016	0.68
	EH	1	16.86	0.0014
	End x EH	1	0.86	0.37
	Error	12		

Tabla 5. Análisis estadísticos para los acolchados realizados en campo. Endurecimiento natural de las semillas End; Preacondicionamiento hídrico EH; Acolchados Ac; Diámetro a la base del tallo DBT; conductividad estomática g_s ; transpiración TRP ; potencial hídrico ψ ; noviembre nov; diciembre dic. Los números en negritas muestran diferencias significativas en las variables.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	F	p
Temperatura de los acolchados	Ac	2	225.75	0.0001
	Error	5396		
Supervivencia	End	1	3.86	0.05
	EH	1	8.63	0.005
	Ac	2	26.71	0.001
	End x EH	1	5.47	0.025
	End x Ac	2	0.081	0.92
	EH x Ac	2	1.58	0.21
	End x EH x Ac	2	0.15	0.85
	Error	35		
Altura	End	1	0.008	0.92
	EH	1	284.2	0.001
	Ac	2	13.94	0.001
	End x EH	1	0.11	0.73
	End x Ac	2	1.15	0.31
	EH x Ac	2	0.42	0.65
	End x EH x Ac	2	2.94	0.05
	Error	347		
DBT	End	1	1.23	0.26
	EH	1	150.43	0.00001
	Ac	2	46.51	0.00001
	End x EH	1	1	0.31
	End x Ac	2	2.04	0.131
	EH x Ac	2	7.80	0.00048
	End x EH x Ac	2	4.29	0.014
	Error	347		
TRC altura	End	1	0.038	0.86
	EH	1	35.05	0.001
	Ac	2	45.3	0.001
	End x EH	1	10.32	0.001
	End x Ac	2	0.23	0.78
	EH x Ac	2	0.72	0.48
	End x EH x Ac	2	5.17	0.006
	Error	394		

Tabla 5. Continuación

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	F	p
TRC DBT	End	1	0.84	0.357
	EH	1	104.84	0.001
	Ac	2	28.03	0.001
	End x EH	1	0.003	0.95
	End x Ac	2	0.678	0.5
	EH x Ac	2	8.23	0.0031
	End x EH x Ac	2	0.069	0.93
	Error	398		
g_s dic	End	1	3.46	0.07
	EH	1	14.79	0.0004
	Ac	2	2.18	0.12
	End x EH	1	7.94	0.0077
	End x Ac	2	1.55	0.22
	EH x Ac	2	0.52	0.59
	End x EH x Ac	2	2.65	0.84
	Error	36		
TRP dic	End	1	2.19	0.14
	EH	1	13.13	0.0001
	Ac	2	3.64	0.036
	End x EH	1	7.75	0.0084
	End x Ac	2	1.39	0.26
	EH x Ac	2	0.27	0.75
	End x EH x Ac	2	4.13	0.024
	Error	36		
EUA dic	End	1	2.24	0.14
	EH	1	24.68	0.00001
	Ac	2	2.95	0.064
	End x EH	1	7.95	0.007
	End x Ac	2	0.62	0.53
	EH x Ac	2	1.56	0.22
	End x EH x Ac	2	1.03	0.36
	Error	36		
ψ nov	End	1	1.07	0.307
	EH	1	0.47	0.49
	Ac	2	20.64	0.00001
	End x EH	1	0.97	0.331
	End x Ac	2	3.54	0.039
	EH x Ac	2	4.73	0.014
	End x EH x Ac	2	0.87	0.425
	Error	36		