

00377



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

POSGRADO EN CIENCIAS
BIOLOGICAS
INSTITUTO DE ECOLOGIA

ESTUDIO ECOFISIOLOGICO DE GERMINACION Y
CRECIMIENTO DE *Dodonaea viscosa* (L.) JACQ. CON
FINES DE RESTAURACION EN ZONAS
PERTURBADAS DEL VALLE DE MEXICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLOGICAS
(BIOLOGIA AMBIENTAL CON ORIENTACION
EN RESTAURACION ECOLOGICA)
P R E S E N T A
JOSE LEOPOLDO BENITEZ RODRIGUEZ

DIRECTOR DE TESIS: DRA. ALMA DELFINA LUCIA OROZCO SEGOVIA

MEXICO, D. F.,



JUNIO 2005

COORDINACIÓN

m 345655



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS COORDINACIÓN

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: José Leopoldo Benítez Rodríguez

FECHA: 17 JUNIO 2005

FIRMA: [Firma]

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

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 1ro. de abril del 2005, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) del(a) alumno(a) **Benítez Rodríguez José Leopoldo** con número de cuenta **93549930** con la tesis titulada: **"Estudio Ecofisiológico de Germinación y Crecimiento de Dodonaea viscosa (L.) Jacq. con fines de Restauración en Zonas Perturbadas del Valle de México"**, bajo la dirección del(a) Dra. Alma Delfina Lucía Orozco Segovia.

Presidente:	M. en C. Julia Carabias Lillo
Vocal:	Dr. Víctor Luis Barradas Miranda
Secretario:	Dra. Alma Delfina Lucía Orozco Segovia
Suplente:	Dra. Margarita Collazo Ortega
Suplente:	Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a, 13 de junio del 2005

Dr. Juan José Morrone Lupi
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Alma Delfina Lucía Orozco Segovia por haber dirigido este trabajo. Principalmente por su paciencia, disponibilidad de tiempo y su incondicional disposición de transmitir sus conocimientos.

Al comité tutorial y demás miembros del jurado M. en C. Julia Carabias Lilo, Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa, Dr. Víctor Luis Barradas Miranda y la Dra. Margarita Collazo Ortega por los comentarios acertados sobre el trabajo de investigación.

A la Dirección de Ecología y Desarrollo Sustentable de Tlalpan por todos los apoyos brindados, principalmente a Jesús Aristeo Miceli encargado del Parque Ecológico de la Ciudad de México, Geog. Víctor Hugo Serrano Fernández Jefe de Unidad Departamental de Protección de Ecosistemas y muy especialmente a Erasto Arias Martínez, Simitrio Castañeda Cervantes y Sergio Iturbide García por la ayuda brindada en el experimento de campo.

A CONACYT, DGAPAPAPIIT y al Posgrado de Biología por las becas otorgadas y apoyos económicos para realizar el proyecto de investigación, así como al Instituto de Ecología a través de la Maestría en Restauración Ecológica por el apoyo financiero en el pago de peones y salidas al campo.

Muy especialmente a mi mamá María Teresa ya que fue reclamada por Dios y no tuvo la oportunidad de ver titulado a su hijo, pero en pago mamá va por ti el segundo título, gracias por brindarme la vida espero no decepcionarte jamás.

A mi papá Leopoldo por seguir apoyándome no solo como hijo si no como un verdadero amigo en las buenas y las malas a la Sra. Lourdes y mis hermanos Jonathan, Edgar, Gisela y Josefina por ser parte fundamental de mi formación como ser humano, gracias familia.

A la familia Franco Morales por el apoyo que siempre me han brindado gracias, Manolo, Víctor y Carlos.

A todos los compañeros de la Segunda Generación de la Maestría en Restauración Ecológica, especialmente a los Profesores Francisco Medrano y Vicente.

A mi compañera de toda la vida

**Dicen que las mujeres saben más del amor que los hombres,
talvez por piensan más en ello, pero desde que Dios me hizo
voltrear y enamorarme de mi esposa empecé a comprender como
ella más del amor, gracias por enseñarme a sentir y
enamorarme de la vida de nuevo.**

Te amo Ana María

ÍNDICE

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS PARTICULARES.....	4
III. HIPÓTEIS.....	5
IV. ANTECEDENTES.....	6
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.....	6
ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN.....	7
REFORESTACIÓN.....	8
LA SEMILLA.....	9
GERMINACIÓN.....	10
PRIMING O ENDURECIMIENTO.....	12
V. METODOLOGÍA.....	15
SITIO DE ESTUDIO.....	15
DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE.....	17
RECOLECCIÓN DE FRUTOS.....	19
ENDURECIMIENTO NATURAL.....	20
PRUEBAS DE GERMINACIÓN.....	20

a) SEMILLAS CONTROL.....	21
b) SEMILLAS ENDURECIDAS-----.....	21
EMERGENCIA EN LA CASA DE SOMBRA.....	22
TRANSPLANTE AL AJUSCO MEDIO.....	22
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	23
VI. RESULTADOS.....	25
GERMINACIÓN.....	25
SEMILLAS CONTROL (SIN ENTERRAR).....	25
SEMILLAS ENDURECIDAS SIN PRETRATAMIENTO DE ESCARIFICACIÓN.....	28
SEMILLAS ENDURECIDAS CON PRETRATAMIENTO DE ESCARIFICACIÓN.....	28
SUPERVIVENCIA EN LA CASA DE SOMBRA.....	31
SUPERVIVENCIA EN EL AJUSCO MEDIO.....	32
VARIABLES DE CRECIMIENTO.....	33
ALTURA.....	33
COBERTURA.....	33
ÁREA FOLIAR.....	36
NÚMERO DE HOJAS.....	36
VII. DISCUSIÓN.....	39
VIII. CONCLUSIONES.....	51

IX. RECOMENDACIONES.....52

X. LITERATURA CITADA.....53

RESUMEN

En el Ajusco Medio, D. F., en los años ochenta un asentamiento irregular perturbó 727 hectáreas, por lo que es necesario implementar su restauración con especies nativas y desarrollar técnicas que incrementen la supervivencia de las plántulas en el campo.

En este marco, el objetivo de este trabajo fue evaluar si el periodo en que las semillas permanecen en el suelo, entre la producción y el inicio de la época de lluvias (endurecimiento natural), incrementa el vigor de las semillas de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. e incrementa el éxito del establecimiento y crecimiento de sus plántulas.

Semillas previamente enterradas durante 75 días en el Ajusco medio se desenterraron y se estudió su germinación. Las plantas derivadas tanto de semillas enterradas como no enterradas, se establecieron durante 75 días en una casa de sombra y se evaluó su supervivencia y crecimiento. Posteriormente, estas mismas plantas se introdujeron en zonas perturbadas del Ajusco medio y cada 15 días se evaluó la supervivencia y el crecimiento durante un año.

Las semillas de *Dodonaea viscosa* no requieren un tiempo de postmaduración pero su permanencia en el suelo modifica la impermeabilidad de su testa. Las plantas derivadas de semillas previamente enterradas, tuvieron alta supervivencia, tanto en la casa de sombra como en el campo, mientras que en las derivadas de semillas control la supervivencia fue baja en la casa de sombra, pero fué mayor en el campo. En tres de las variables de crecimiento también se observaron ventajas derivadas del tratamiento, obteniéndose mayor cobertura, área foliar total y número de hojas respecto al tratamiento control (semillas sin enterrar).

ABSTRACT

On the Ajusco, in the decade of 1980, an irregular human establishment deteriorated 727 hectares, for this reason it is necessary to restore the natural environment with native species and to develop techniques to increase the survival of seedling in the field.

The aim of this work was to evaluate if the time in which the seeds stay in the soil, between their production and the beginning of the rainy season (natural priming), increases the vigor of seeds produced by *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. and if this period increases the seedling establishment and growth.

After collection, seeds were buried in the Ajusco and after two months and a half they were exhumed, then the germination was studied. The plants from exhumed and control seeds were established in a shade house during 75 days and there were assessed their survival and growth. Then, these plants were introduced in a disturbed zone of the Ajusco and every 15 days there were evaluated their survival and growth during a year.

The seeds of *Dodonaea viscosa* did not request an after-ripening period, but their stay in the soil changes the impermeability of the hard coat. The plants from the buried seeds, had high survival in the shade house as in the field, while the plants from control seeds had low survival in the field and the lowest at the shade house. Also, in three growth variables there were observed advantages by burial treatment, it was obtained more plant cover, total foliar area and number of leaves, with respect to the control treatment (seed unburied).

I. INTRODUCCIÓN

La deforestación en la Cuenca del Valle de México se inició desde la época precolombina; sin embargo, en las últimas décadas el crecimiento de la mancha urbana de la Ciudad de México ha incrementado la tasa de deterioro en forma alarmante, incluso ha afectado la zona llamada de "transición" que es una de las más importantes para la biodiversidad ecológica y la recarga de acuíferos (Mendoza-Hernández, 2002).

Algunos lugares de importancia para la diversidad biológica y para la recarga de acuíferos en el Distrito Federal, son los siguientes: el Parque Ecológico de la Ciudad de México del Ajusco Medio, Parque Ecológico de Xochimilco, Parque Nacional Cumbres del Ajusco, y Parque Nacional Desierto de los Leones (Bonfil y col., 1993).

Mucha de la presión generada por la demanda de vivienda en la Ciudad de México se extendió en los últimos años a la zona del Ajusco Medio en la Delegación Tlalpan (González-Hidalgo, 1998). En la década de los ochenta se originó un asentamiento irregular denominado "Lomas del Seminario" que invadió y perturbó una extensión de 727 hectáreas (Bonfil y col., 1993). Con el propósito de frenar esta expansión urbana y recuperar la zona, se expropió, en noviembre de 1987, la zona denominada Lomas del Seminario que actualmente se conoce como Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), publicándose el decreto correspondiente el día 28 de julio de 1989, en el Diario Oficial de la Federación (Mendoza-Hernández, 2002).

Este asentamiento provocó una perturbación que, dañó fuertemente la vegetación y alteró el incipiente suelo de origen volcánico. La flora de esta zona estaba originalmente compuesta por un bosque de encinos inmerso en un

matorral xerófilo bien establecido (Soberón y col., 1991). Actualmente esta vegetación está profundamente alterada y en gran parte del área se desarrollan matorrales secundarios de *Sedum oxypetalum*.

Con el propósito de aumentar las posibilidades de éxito en la restauración ecológica de zonas perturbadas, González-Zertuche y col., (2000), plantearon la necesidad de aplicar métodos de endurecimiento en semillas de especies nativas para incrementar la supervivencia de las plántulas en condiciones adversas para el establecimiento. El endurecimiento consiste en una imbibición controlada de las semillas, en la cual el proceso de hidratación se detiene antes de la elongación de la radícula, con lo que se logra una germinación simultánea y un aumento en la supervivencia de las plántulas (Karseen y col., 1990). Sin embargo, se ha encontrado que, durante el enterramiento en condiciones naturales, las semillas pasan por un proceso similar al que ocurre en el endurecimiento en el laboratorio, el cual incrementa el vigor de las semillas y plántulas en forma tan efectiva o más que éste (González-Zertuche y col., 2001).

Con base en estudios realizados en el Proyecto de Restauración del Instituto de Ecología y la Facultad de Ciencias de la UNAM, se han propuesto varias especies de árboles que pueden ser apropiadas para la restauración del Parque Ecológico de la Ciudad de México del Ajusco Medio, como *Buddleja cordata* (Dirección de Ecología y Desarrollo Sustentable, 2003). Otra especie nativa de la zona que puede ser apropiada es *Dodonaea viscosa*, cuya importancia radica en que crece en suelos con alta erosión, así como limitación de agua (Camacho y col., 1991). La Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENA) dentro del Programa Integral de la Recuperación de Bosques y Áreas Verdes del D. F., proponen a esta especie como una alternativa para la

reforestación de parques y jardines dentro del área metropolitana (Plata-Álvarez, 2002). El trabajo realizado por Degollado (2000) con *Dodonaea viscosa* permite sugerir que esta especie es capaz de soportar condiciones de sequía y por tanto, ser considerada como una especie con potencial restaurador en áreas perturbadas y de baja disponibilidad de agua.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar si el endurecimiento natural de las semillas es una alternativa que incremente el éxito del establecimiento de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq., en matorrales secundarios del Parque Ecológico de la Ciudad de México.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar si el periodo en el que las semillas permanecen en el suelo, entre la producción y el inicio de la época de lluvias, o (priming natural) incrementa la germinación de las semillas de *Dodonaea viscosa*.
- Evaluar si las semillas de *Dodonaea viscosa* presentan latencia fisiológica.
- Evaluar si el periodo en el que las semillas permanecen en el suelo, entre la producción y el inicio de la época de lluvias, incrementa la supervivencia de las plántulas de *Dodonaea viscosa* en el campo.

III. HIPÓTESIS

Con base en los estudios realizados en especies del Ajusco Medio, se ha observado que las semillas previamente enterradas germinan más rápido y en forma más homogénea que aquellas que no han recibido este tratamiento, aumentando los porcentajes de germinación y supervivencia, por lo que suponemos que la técnica de endurecimiento natural pudiera incrementar la capacidad germinativa, crecimiento y supervivencia de *Dodonaea viscosa*.

IV. ANTECEDENTES

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La restauración ecológica tiene la finalidad de recuperar especies y hábitats que se han ido perdiendo, con lo que se intenta recuperar las zonas dañadas o perturbadas preservando su composición, estructura y función con los mismos elementos que fueron extraídos (Jordan y col., 1987), por lo que las especies nativas juegan un papel fundamental (Vázquez-Yanes y Batis, 1996).

Es importante considerar que para la restauración se deben utilizar especies que cumplan con ciertas características que faciliten su propagación y supervivencia en las condiciones de los terrenos a restaurar, por lo que las especies restauradoras deberán tener las siguientes cualidades: 1) rápida propagación por vía sexual o vegetativa, 2) resistir condiciones limitantes como baja fertilidad del suelo, sequía, suelos compactados, con pH alto o bajo, 3) rápido crecimiento y alta producción de materia orgánica (hojarasca), 4) tener alguna utilidad adicional a su efecto restaurador como la producción de leña, forraje, vainas comestibles, madera, néctar, etc., 5) sin tendencia a adquirir una propagación malezoide, invasora e incontrolable 6) presencia de nódulos fijadores de nitrógeno o micorrizas que compensen el bajo nivel de nitrógeno y otros nutrientes del suelo, 7) que favorezcan el restablecimiento de las poblaciones de flora y fauna nativas, proporcionándoles hábitat y alimento (Gómez-Pompa y del Amo, 1985; Vázquez-Yanes y col., 1997). Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores podemos tener plántulas y plantas que ayuden al establecimiento de una comunidad ecológica sólida que pueda continuar con el proceso de sucesión de manera natural. La elección de

especies nativas para la restauración de zonas perturbadas es importante, ya que son el resultado de los procesos de evolución y forman parte de poblaciones que han habitado la región por largos periodos de tiempo y, por lo tanto, están adaptadas a las condiciones ambientales que imperan en la zona a restaurar.

ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN

Durante las últimas tres décadas varios estudios han mostrado que los problemas en torno al deterioro de la cubierta vegetal y del gran número de hectáreas de suelos degradados que hoy en día existen, son el resultado del fomento de políticas inadecuadas que han propiciado su sobreexplotación (Cervantes y col., 2001). Los procesos de desarrollo industriales, culturales y socioeconómicos, son factores que han promovido el deterioro de grandes áreas. La restauración no fue un tema de interés en la comunidad científica, sino hasta después de los años ochenta (Cervantes y col., *op. cit.*).

Es hasta los años ochenta que algunos científicos empiezan a interesarse y generar un nuevo enfoque de los estudios ecológicos en materia de restauración. Así, por ejemplo, Bradshaw (1987) y Turner (1987) proponen que para que se lleve a cabo un proceso de restauración la estrategia a seguir es la de generar comunidades simples, introduciendo especies pioneras, con el fin de simular las primeras etapas de la sucesión, para que así la comunidad continúe de manera natural con las etapas subsecuentes. La sucesión secundaria es un proceso que ocurre cuando la comunidad madura se perturba ó destruye por causas naturales o por acción del hombre. En este proceso se establecen

plantas pioneras nativas, que aceleren el proceso de restauración y estabilizan el ecosistema.

La sucesión ecológica es un proceso de cambios no estacionales en la estructura y en la composición específica de una región perturbada (Ricklefs, 1990), y se dice que la sucesión culmina cuando el ecosistema es relativamente estable (Kozlowski, 1997). El enfoque que se ha hecho sobre la reconstrucción de los ecosistemas, basado en los cambios sucesionales ha permitido la rehabilitación o restauración de diversos ambientes ecológicos en varios países (Berger, 1990; Anderson, 1995; Pywell y Putwain, 1996 en Cervantes y col., 2001). No obstante, no basta con conocer los ecosistemas, ya que para que las propuestas que se desprendan de estas investigaciones sean reproducidas, es necesario que se encuentren inmersas en un marco multidisciplinario de restauración, donde tanto las ciencias ambientales como las sociales y las económicas sean piezas fundamentales para aplicar este nuevo concepto sobre restauración ecológica.

REFORESTACIÓN

Es una herramienta utilizada para recuperar zonas deterioradas, es un proceso donde el hombre interviene, en un intento por recuperar comunidades vegetales. El principal problema de las reforestaciones, es que las especies arbóreas utilizadas, la mayoría de las veces son exóticas y solo unos cuantos géneros (pinos, eucaliptos, casuarinas), lo cual puede tener el efecto de desplazar a las especies nativas de la región, reducir la biodiversidad y no restituir las interacciones bióticas del ecosistema original (Vázquez-Yanes y col., 1997). Dado lo anterior, hay que tomar en cuenta que cada región tiene

características ecológicas propias, por lo que las técnicas de reforestación tratadas en cada caso se deben hacer con base en estudios e investigaciones propias de la región que se desea recuperar.

LA SEMILLA

En las plantas superiores, el órgano de reproducción, diseminación y establecimiento de nuevos individuos, es la semilla. Ésta presenta características fisiológicas muy variadas dependiendo de las especies y de las condiciones ambientales donde crecen las plantas (Vázquez-Yanes, 1990). La semilla es producto de la fecundación del óvulo con el gameto masculino y es una estructura en reposo en la cual los procesos metabólicos se encuentran suspendidos, debido principalmente a la ausencia de agua (Taiz y Zeiger, 2002). La semilla es el principal órgano reproductivo de la mayoría de las plantas superiores (terrestres y acuáticas). Desempeña un papel importante en la renovación, persistencia y dispersión de poblaciones de plantas. En la naturaleza, la semilla es fuente importante de alimento para muchos animales y mediante la producción agrícola la semilla es esencial para el ser humano (Vázquez-Yanes y col., 1997).

Como producto de su evolución y diversificación, al momento de ser diseminadas al medio ambiente, las semillas presentan una enorme diversidad de tamaños y estructuras, de medios de transporte, y características fisiológicas que determinan el tiempo de germinación y la resistencia a los medios externos (Vázquez-Yanes, 1999). La diversidad morfológica y funcional presente en las semillas es tan grande, que existen muchas diferencias entre las especies en características como: tamaño, organización de tejidos, tipos de

reservas, grado de deshidratación al momento de la diseminación, complejidad de los mecanismos de latencia y longevidad potencial y ecológica (Vázquez-Yanes, 1999).

Por lo regular, la semilla se encuentra sumamente deshidratada y está compuesta principalmente de tejidos de reserva y en algunos casos está rodeada por una cubierta dura y/o impermeable (testa). Para que se inicie el proceso de germinación, la semilla debe estar expuesta a una serie de factores ambientales que influyen en el estado de latencia de la semilla y favorecen que se inicie la emergencia de la radícula (Taiz y Zeiger, 2002). Generalmente estos factores ambientales son: temperatura, humedad y luz (Bewley y Black, 1985; Fenner, 1985; Bradbeer, 1994; Baskin y Baskin, 1998), otros factores son ciertos gases y sustancias químicas. También existen factores propios de la semilla, como son la viabilidad y la latencia que aunque están determinados genéticamente pueden ser modificados por los factores ambientales (Bewley y Black, *op. cit.*). Bradbeer (1994) menciona que los requerimientos de las semillas para poder germinar varían de especie a especie y que en ellos pueden influir en dicha respuesta la edad de la semilla y el efecto materno.

GERMINACIÓN

Las etapas de la germinación que conducen a la emergencia de la radícula se inician con la absorción del agua y la activación metabólica del embrión (Taiz y Zeiger, 2002), y es importante que estén presentes las condiciones favorables para que se desencadene dicho proceso.

De esta manera, la germinación de las semillas comprende tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente. En una primera etapa se realiza una absorción de agua por imbibición causando el hinchamiento de la semilla; la segunda etapa se caracteriza por un inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, traslocación y asimilación de las reservas alimenticias en las regiones de crecimiento del embrión para que, finalmente, en la tercera etapa se inicie el crecimiento y la división celular que provoca la ruptura final de la testa, la emergencia de la radícula y posteriormente de la plúmula (Vázquez-Yanes y col., 1997).

Durante la germinación se dan una serie de eventos como la hidratación de proteínas, cambios estructurales celulares, aumento en la tasa de respiración, síntesis de ácidos nucleicos y de enzimas, alargamiento celular y posterior división celular, activación de organelos (ribosomas) y síntesis de proteínas (Bewley y Black, 1985).

Vázquez-Yanes (1999) menciona que para entender los problemas fisiológicos y comprender el comportamiento ecológico de las semillas es importante conocer los aspectos que determinan el destino y el comportamiento de éstas cuando son diseminadas a su medio natural. Así pues, las estructuras y fisiología al momento de la diseminación, mecanismos de latencia, longevidad potencial y ecológica así como el almacenamiento de semillas, son puntos importantes a tomarse en cuenta en la ecofisiología de la germinación de semillas.

El número de investigaciones referentes al estudio de los factores que inducen la germinación de semillas es muy extenso en la literatura y se han propuesto numerosas alternativas para romper la latencia de las semillas, abreviar e inducir su germinación. Pero si se desconoce la fisiología de las

semillas se debe efectuar en un primer intento una simple prueba de germinación a una temperatura favorable para la mayoría de las especies (20-27 °C), en un sustrato húmedo y con luz blanca que puede dar indicios sobre el diseño de protocolos para su estudio (Vázquez-Yanes y col., 1997). En estos protocolos se pueden incluir escarificación mecánica, con ácidos (sulfúrico y clorhídrico), térmica y calentamiento en seco; termoperíodo en seco; pruebas de germinación en diversas condiciones de luz (tratamientos de luz blanca, roja, roja lejana y oscuridad); estímulos químicos (aplicación de hormonas); interacciones bióticas como el tránsito por el tracto digestivo de ciertos dispersores (Vázquez-Yanes y col., 1997).

PRIMING O ENDURECIMIENTO

Una de las técnicas que se utiliza para incrementar el vigor y la tolerancia al estrés de plantas cultivadas es la conocida como "priming" (Bray, 1995). Esta técnica consiste en permitir que ocurran los procesos metabólicos previos a la germinación, sin que ocurra la emergencia de la radícula, por medio de una hidratación regulada con el fin de estimular y uniformar la respuesta germinativa, o bien, obtener mayor tolerancia a la desecación en las plántulas resultantes (Brocklehurst y Deaman, 1983 en Montes de Oca, 2002).

Existen principalmente dos tipos de priming: si las soluciones utilizadas para embeber las semillas son agua o vapor de agua al procedimiento se le denomina "Hidropriming" y, si las semillas se embeben en soluciones osmóticas de Poli-etilen-glicol (PEG) y NaCl se denomina "Osmopriming" (González-Zertuche y col., 2000).

Respecto a los eventos moleculares y celulares que ocurren en estos tratamientos se conoce muy poco. Estudios detallados con algunas especies muestran apenas una idea de lo que podría estar ocurriendo (Bray, 1995). Sin embargo, no se ha podido explicar del todo cómo esta actividad metabólica y celular se relaciona con el comportamiento de la germinación de las semillas tratadas y el vigor de las plantas (González-Zertuche y col., 2000). Algunos investigadores encontraron que durante los tratamientos de endurecimiento se sintetiza ácido abscísico (ABA) y moléculas de alto peso molecular (Blackman y col., 1992; Bruggink y Van Der Toorn, 1995) muy similar al de proteínas de expresión tardía durante la embriogénesis (LEA), las cuales están relacionadas con la resistencia de las plantas a la desecación y las altas temperaturas (Taiz y Zeiger, 2002).

La hidratación regulada es un proceso que debe estar ocurriendo en las semillas que están en contacto con la solución del suelo, cuando el potencial hídrico es relativamente bajo para la germinación. Por lo tanto, el endurecimiento natural de semillas en el campo, podría ser otra técnica muy importante para especies con potencial restaurador, donde se estarían dando, de manera natural, las condiciones necesarias para que la semilla acelerara los procesos metabólicos de la germinación sin que se dé la emergencia de la radícula. De esta manera se obtendrían semillas y posteriormente plántulas de mayor resistencia a las condiciones adversas que les presenta el medio donde habitan. Se ha visto que las semillas de dos especies del Ajusco, *Buddleja cordata* y *Wigandia urens*, previamente enterradas también germinan más rápido y en forma más sincrónica que aquellas que no han recibido este tratamiento (González-Zertuche y col., 2000).

Si bien hasta el momento la práctica de esta técnica es poco empleada con especies silvestres, González-Zertuche y col., (2000) mencionan que esta técnica podría ser utilizada con éxito con especies silvestres, útiles para la restauración ecológica. Por lo tanto, en este trabajo nos hemos propuesto explorar esta técnica en una especie útil para la restauración ecológica, *Dodonaea viscosa*.

V. METODOLOGÍA

SITIO DE ESTUDIO

La zona de Conservación Ecológica del Parque Ecológico de la Ciudad de México se ubica en Distrito Federal, Delegación Tlalpan, al SO de la Ciudad de México, entre los paralelos (19°10'00" y 19°14'30" de latitud norte, 99°16'40" y 99°13'00" de longitud oeste, con una superficie total de 727 ha (Fig. 1).

El Parque Ecológico de la Ciudad de México se localiza al sur de la cuenca de México, en la vertiente boreal de la Sierra Chichinautzin, sobre la porción central de los derrames lávicos del volcán Xitle. La secuencia de derrames volcánicos dio como resultado la formación de una superficie extensa e irregular, constituida principalmente por lomeríos que exhiben una topografía que va de abrupta a ligeramente ondulada. El área presenta una ligera inclinación con pendiente sur-norte que oscila entre los 15° en la parte alta y menos de 5° por debajo de la cota 2600 m snm. En el extremo sur hay laderas pronunciadas hasta de 30°, que corresponden a las laderas de un antiguo cono volcánico que fue parcialmente cubierto por los derrames del Xitle (Cano-Santana y Meave, 1996).

El tipo de clima en el área es Cb'(w2)(w)ig, templado húmedo, con una temperatura media anual del mes más frío de 9.1 °C y del mes más caliente 13.9 °C, la precipitación del mes más seco es de 8.9 mm y en el mes más húmedo es de 229.5 mm (González-Hidalgo y col., 2002). La vía de acceso es por la carretera Picacho-Ajusco, Kilómetro 5.5 y por la carretera federal México-Cuernavaca, parada Tlalmille (Fig. 1). Soberón y col., (1991) reconocen cuatro

unidades de vegetación en el Parque Ecológico de la Ciudad de México. Modificando su clasificación se proponen los siguientes tipos de vegetación (Dirección de Ecología y Desarrollo Sustentable, 2003):

Bosque de Pino

Bosque de Pino-Encino

Bosque de Encino

Matorral Xerófilo

En el Parque, la vegetación natural rebasa el 90% de la superficie y las comunidades mejor establecidas son el Matorral Xerófilo, sobresaliente al desarrollarse en condiciones de humedad más alta que el resto de los matorrales xerófilos del país, y que contribuye a una gran riqueza florística. Otras comunidades son los bosques de encino, de pino-encino e importantes zonas de transición de composición mixta entre estas comunidades, con una gran diversidad de especies asociadas. En el D. F., las áreas naturales protegidas que actualmente resguardan los bosques de encino y pino-encino en buen estado de conservación son el Parque Ecológico de la Ciudad de México y el Parque Nacional Desierto de los Leones (Dirección de Ecología y Desarrollo Sustentable, *op. cit.*).

Otro de los aspectos relevantes del Parque es su importancia hidrológica. La estructura de los derrames de lava, su composición geológica y edafológica, propician que la zona sea sumamente permeable y cuenta con una de las precipitaciones pluviales más altas del Valle de México (Dirección de Ecología y Desarrollo Sustentable, *op. cit.*). En esta región, el agua de lluvia se infiltra rápidamente convirtiéndose en uno de los sitios de mayor importancia en la recarga del manto acuífero subterráneo de la zona y del Valle de México,

aunado a otros servicios ambientales, como la captación de CO₂ y de partículas suspendidas.

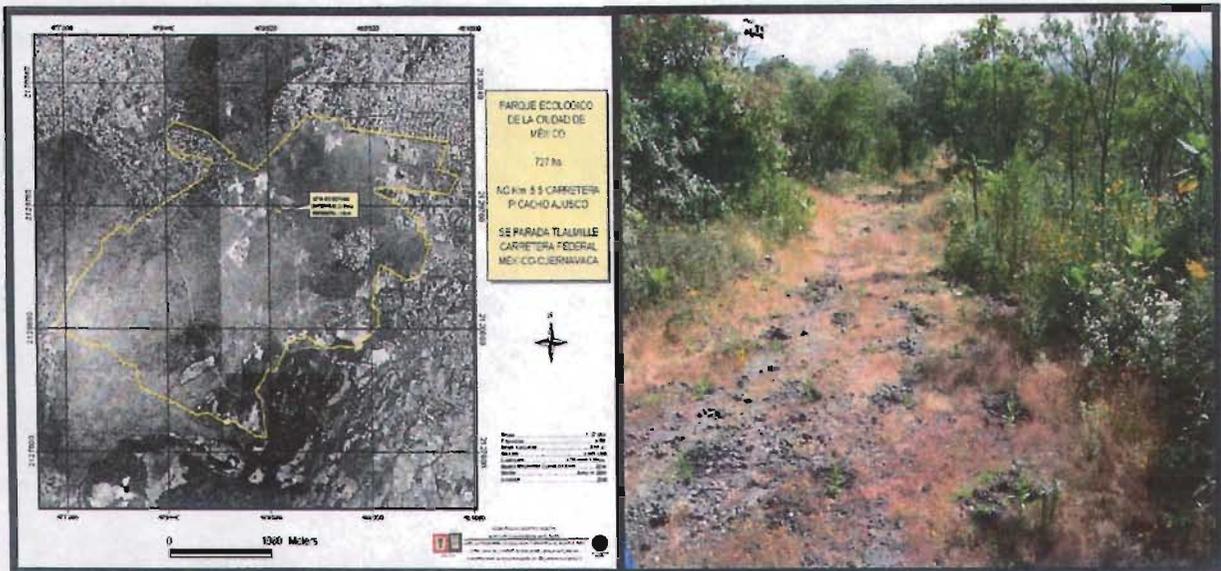


Figura 1. Localización del área de estudio (Parque Ecológico de la Ciudad de México)

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Dodonaea viscosa (L.) Jacq. - Sapindaceae

Esta especie se seleccionó con base en los estudios realizados en diferentes instituciones académicas de la UNAM y gubernamentales, tales estudios mencionan a *Dodonaea viscosa*, como una especie que crece en suelos con alta erosión así como limitación de agua, además, por ser una especie nativa y ser considerada como una especie con potencial restaurador (Plata-Álvarez, 2002; Degollado, 2000; PRONARE, 1998).

Es un arbusto de 1 a 5 m de alto, perennifolio, hojas alternas, sésiles o cortamente pecioladas, láminas simples, linear-oblancoeladas u oblongo-

lanceoladas, más o menos angostas, brillantes y viscosas de 5 a 12 cm de largo, agudas o redondeadas en el ápice, glabras y resinosas en el haz, pubescentes a glabras en el envés, flores amarillentas unisexuales, dispuestas en cortos corimbos laterales; tépalos de 3 mm de largo; cápsula samaroide trivalada, trilocular, glabras, de 1.5 a 2.5 cm de ancho (Fig. 2). Fruto capsuloso y membranoso, rojizo con 3 divisiones y 3 alas, y su floración se presenta de septiembre a octubre. Semillas esferoides de 2.4 mm de diámetro, de color negro o café oscuro brillante (Plata-Álvarez, 2002). La fructificación se presenta de diciembre a enero (Marroquín, 1985).

Dodonaea viscosa es una planta cosmopolita, se distribuye de manera natural en casi todo México. Se le encuentra en zonas templadas, subtropicales y tropicales, crece en una amplia variedad de suelos que incluye a los someros, rocosos y con fuertes pendientes. En el Valle de México se encuentra con frecuencia en zonas bajas, como es el caso del Pedregal de San Ángel en la Ciudad de México.

Se asocia con comunidades secundarias, etapas sucesionales de bosques perturbados, especialmente de los encinares y tipos de vegetación mesófila, bordes de arroyos, barrancos y taludes, claros de bosques, lugares expuestos, pastizales deteriorados, terrenos erosionados y matorrales (Rzedowski, 1954).

Sin embargo, Rzedowski (1988) menciona que esta especie no se debe considerar como parte de las etapas sucesionales de encinares, aunque se trata de una especie pionera de vegetación secundaria en zonas perturbadas.

Esta especie también se localiza a altitudes que varían desde los 2300-2600 m snm. (Marroquín, 1985). A altitudes de 2600 m snm., Camacho y col., (1991) encontraron ejemplares creciendo sobre tepetate compacto con alturas promedio de 1.7 m, mientras que en toba removida alcanzaban tallas de 4 m.

Asimismo se observó deposición de hojarasca hasta 4 cm de espesor, abundante emergencia de plántulas provenientes de semilla y rebrote en plantas dañadas por incendios como una de las características importantes para su supervivencia.

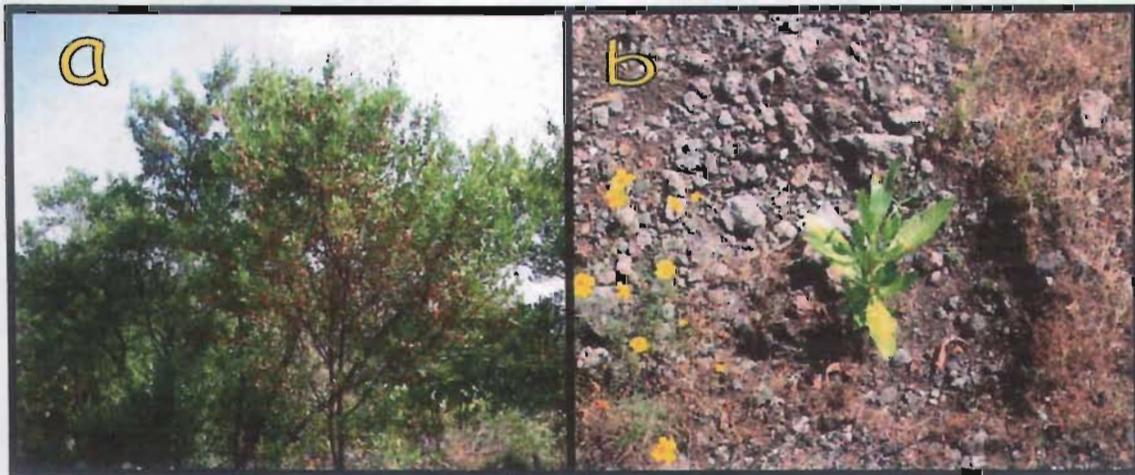


Figura 2. Ejemplar de *Dodonaea viscosa*, a) Planta adulta; b) Planta juvenil.

RECOLECCIÓN DE FRUTOS

Se colectaron frutos maduros de por lo menos 20 individuos de *Dodonaea viscosa* en el Parque Ecológico de la Ciudad de México. Las colectas se realizaron de diciembre a enero del 2003, de acuerdo con su época de fructificación. En el laboratorio se extrajeron las semillas de los frutos y posteriormente se almacenaron en frasco de vidrio hasta la siembra.

ENDURECIMIENTO NATURAL

Para los tratamientos de endurecimiento en el campo por enterramiento, se empaquetaron semillas en bolsas de tela de organza y se enterraron a 5 cm de profundidad, en el lapso comprendido entre la producción y la época de lluvias (de marzo a junio del 2003) en 3 sitios diferentes del Ajusco tomando en cuenta la densidad del dosel (abierto, claro y bosque); se enterraron 300 gr de semillas por sitio). Pevio al enterramiento, un lote de semillas tuvo un pretratamiento, el cual consistió en escarificar por 3 minutos con H_2SO_4 y un lote control (sin pretratamiento). Dos meses y medio después se desenterraron las bolsas y las semillas se secaron en un cuarto oscuro (1 semana) hasta su siembra.

PRUEBAS DE GERMINACIÓN

Se aplicaron 2 tratamientos:

- a) Semillas control (sin enterrar): las pruebas de germinación se realizaron sin y con giberelinas (GA_3 a 500 ppm) a diferentes tiempos de escarificación con H_2SO_4 (0, 2, 6, 10 min.).
- b) Endurecidas (semillas enterradas sin pretratamiento y con pretratamiento de 3 min. de H_2SO_4): las pruebas de germinación se realizaron sin y con giberelinas (GA_3 a 500 ppm) a diferentes tiempos de escarificación con H_2SO_4 (0, 2, 6, 10 min.) con 3 sitios de enterramiento de las semillas (abierto, claro, bosque).

Las semillas se sembraron en cajas de petri con agar al 1% en agua destilada, las cajas de petri se introdujeron en bolsas de plástico transparente para evitar la pérdida de humedad. Estuvieron bajo luz fluorescente (General Electric, 20 W) e incandescente (Solar, 25 W). Posteriormente las cajas se colocaron dentro de una cámara de germinación (Lab-Line Instruments, Inc., 844. Melrose Park, Illinois, U. S. A.), con un fotoperiodo de 12 h., a una temperatura constante de 25° C.

El conteo de las semillas germinadas se realizó cada tercer día y se consideró que la semilla había germinado al aparecer la radícula. Se registró la germinación durante 30 días para los tratamientos con giberelinas en semillas control, y 120 días para los tratamientos de semillas enterradas sin y con pretratamiento.

a) SEMILLAS CONTROL

El diseño experimental empleado para evaluar la germinación bajo el tratamiento de semillas enterradas fue un factorial de 2 x 4. El primer factor con 2 niveles corresponde a los tratamientos (sin y con GA_3) el segundo factor con 4 niveles corresponde a los diferentes tiempos de escarificación química de las semillas con H_2SO_4 concentrado (0, 2, 6, 10 minutos). Se hicieron 5 réplicas y cada una consistió de 30 semillas.

b) SEMILLAS ENDURECIDAS

El diseño experimental empleado para evaluar la germinación de semillas enterradas previamente fue un factorial de 2 x 3 x 4. El primer factor con 2

niveles corresponde a los tratamientos (sin y con GA_3), el segundo factor con 3 niveles corresponde a los sitios de enterramiento de las semillas (abierto, claro, bosque), el tercer factor con 4 niveles corresponde a los diferentes tiempos de escarificación química de las semillas con H_2SO_4 concentrado (0, 2, 6, 10 minutos). Se hicieron 5 réplicas y cada una consistió de 30 semillas.

EMERGENCIA EN LA CASA DE SOMBRA

Con base en los resultados de germinación, previo a la siembra, se aplicó un tratamiento de escarificación con H_2SO_4 durante 10 minutos. Tanto las semillas endurecidas como las semillas control se sembraron en bolsas de plástico negro de 14 X 25 cm (250 semillas por tratamiento), en una casa de sombra que se localiza en el Instituto de Ecología de la UNAM cerca de la Reserva del Pedregal de San Ángel registrándose la emergencia. Las semillas tuvieron riego continuo hasta su germinación. Las plántulas estuvieron en la casa de sombra 2.5 meses recibiendo riego cada tercer día, al final de este tiempo se evaluó el porcentaje de supervivencia.

TRASPLANTE AL AJUSCO MEDIO

Previo al trasplante las plántulas se aclimataron durante 15 días (fuera de la casa de sombra) y posteriormente se trasladaron a áreas de matorrales secundarios del Ajusco Medio (Parque Ecológico de la Ciudad de México). Se evaluaron variables de crecimiento (altura, cobertura, área foliar y número de hojas) y supervivencia. Se trasladaron 160 plántulas de tres meses de edad.

En el campo las plántulas se colocaron en cuadrículas siguiendo el método de bloques al azar (Zar, 1984; Sokal y Rohlf, 1995). Las condiciones físicas del sitio de estudio (pendientes no muy pronunciadas) permiten implementar este tipo de diseño.

El diseño experimental empleado para evaluar el crecimiento y la supervivencia fue un factorial de 2 X 8. El primer factor con 2 niveles correspondió a los tratamientos (enterradas y sin enterrar), el segundo factor con 8 niveles correspondió a los bloques (réplicas en el campo). Se hicieron 4 réplicas y cada una consistió de 20 plántulas.

En el campo las mediciones de las variables de crecimiento y supervivencia se realizaron cada 15 días durante un año (septiembre del 2003 al 2004). Los datos se ajustaron a funciones (exponenciales) y de este ajuste se tomó la pendiente para hacer un análisis de varianza, y observar si había diferencias significativas entre los tratamientos y de esta manera evaluar el crecimiento.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las hipótesis nulas planteadas para los experimentos consideran que el número total de las semillas germinadas no varía entre los tratamientos.

A los valores obtenidos como porcentajes se les hizo la transformación arcoseno. Para demostrar la validez de las hipótesis nulas, en todos los casos se hicieron análisis de varianza de dos y una vía (Zar, 1984), con un nivel de probabilidad $P \leq 0.01$, utilizando un programa estadístico (Statistica, versión 6.1. StatSoft, Inc. 1984-2003. Tulsa, Ok. U. S. A.). En los casos donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó un

análisis de comparaciones múltiples por el método de la mínima diferencia significativa (LSD).

Cada réplica de la germinación acumulada en el tiempo se ajustó a un modelo exponencial sigmoide, con un programa computacional (Table Curve 2D windows, versión 3.00. AISN Software, Chicago, Illinois, U. S. A.). Para todos los ajustes se obtuvo una r^2 mayor a 0.90.

De igual manera las réplicas de las variables de crecimiento se ajustaron a un modelo exponencial, con el programa antes citado, obteniendo para todos los ajustes una r^2 mayor a 0.90.

De este ajuste se obtuvieron varios parámetros, entre ellos se utilizó la pendiente en el punto de inflexión (primera derivada máxima de la curva) para determinar si había diferencias significativas en la tasa de cambio para cada una de las variables de crecimiento. Para este análisis se consideró la curva de crecimiento a lo largo de un año.

Se comparó la pendiente de la curva potencial sigmoide, en su punto de inflexión (primera derivada máxima de la curva). Para la comparación se consideraron los intervalos de error del ajuste.

Para demostrar si había diferencias significativas entre los tratamientos, en ambos casos se hicieron análisis mediante una prueba de t de student (Zar, 1984), con un nivel de probabilidad $P \leq 0.05$, utilizando el programa computacional estadístico (Statgraphics Plus, versión 2.0. 1/5/96. SGWIN Software. U.S.A), para demostrar si había diferencias entre los tratamientos.

VI. RESULTADOS

GERMINACIÓN

SEMILLAS CONTROL (SIN ENTERRAR)

El análisis de varianza de dos vías realizado entre tratamientos en las semillas, indica que no hubo un efecto significativo de las giberelinas (GA_3) en el porcentaje final de la germinación ($F_{(1,32)} = 0.381$; $p = 0.54$), pero los tratamientos de escarificación con H_2SO_4 si tuvieron un efecto significativo ($F_{(3,32)} = 101.270$; $p < 0.01$) así como la interacción entre estos dos factores ($F_{(3,32)} = 10.705$ $p < 0.01$) (Fig. 3). La Figura 4 muestra los porcentajes finales de germinación acumulada en el tiempo, ajustados a un modelo exponencial sigmoide. El análisis de comparaciones múltiples indicó que en semillas escarificadas durante 2 minutos las GA_s si tuvieron un efecto significativo favorable, mientras que en semillas escarificadas 10 minutos su efecto fue significativamente desfavorable, en ambos casos la diferencia en los porcentajes de germinación fue del 20 %.

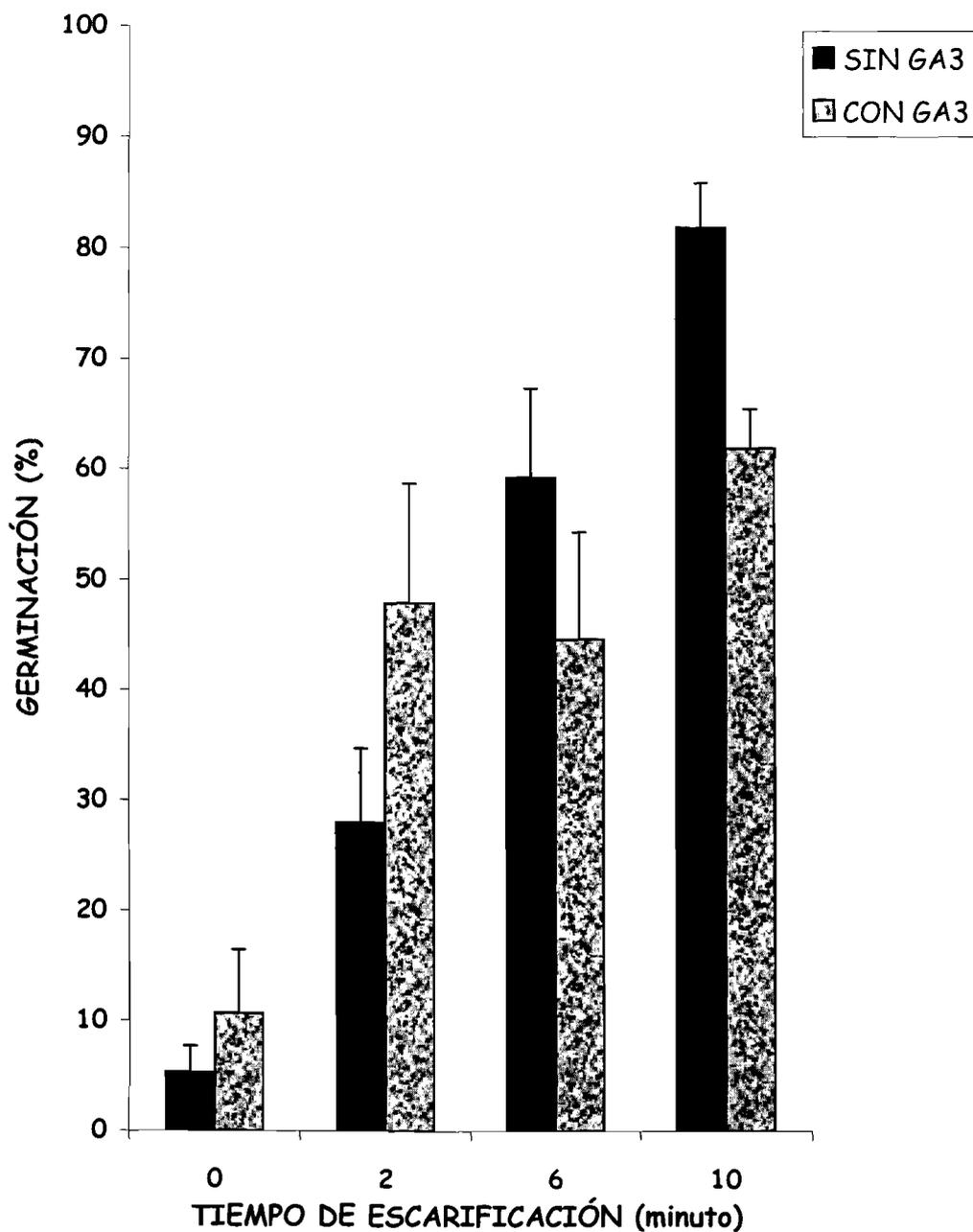


Figura 3. Porcentaje final de germinación de semillas control (sin enterramiento), sin y con GA_3 con diferentes tiempos de escarificación a una temperatura constante de $25^{\circ}C$, con fotoperiodo de 12 h en *Dodonaea viscosa* (se muestran las medias y los errores estándar).

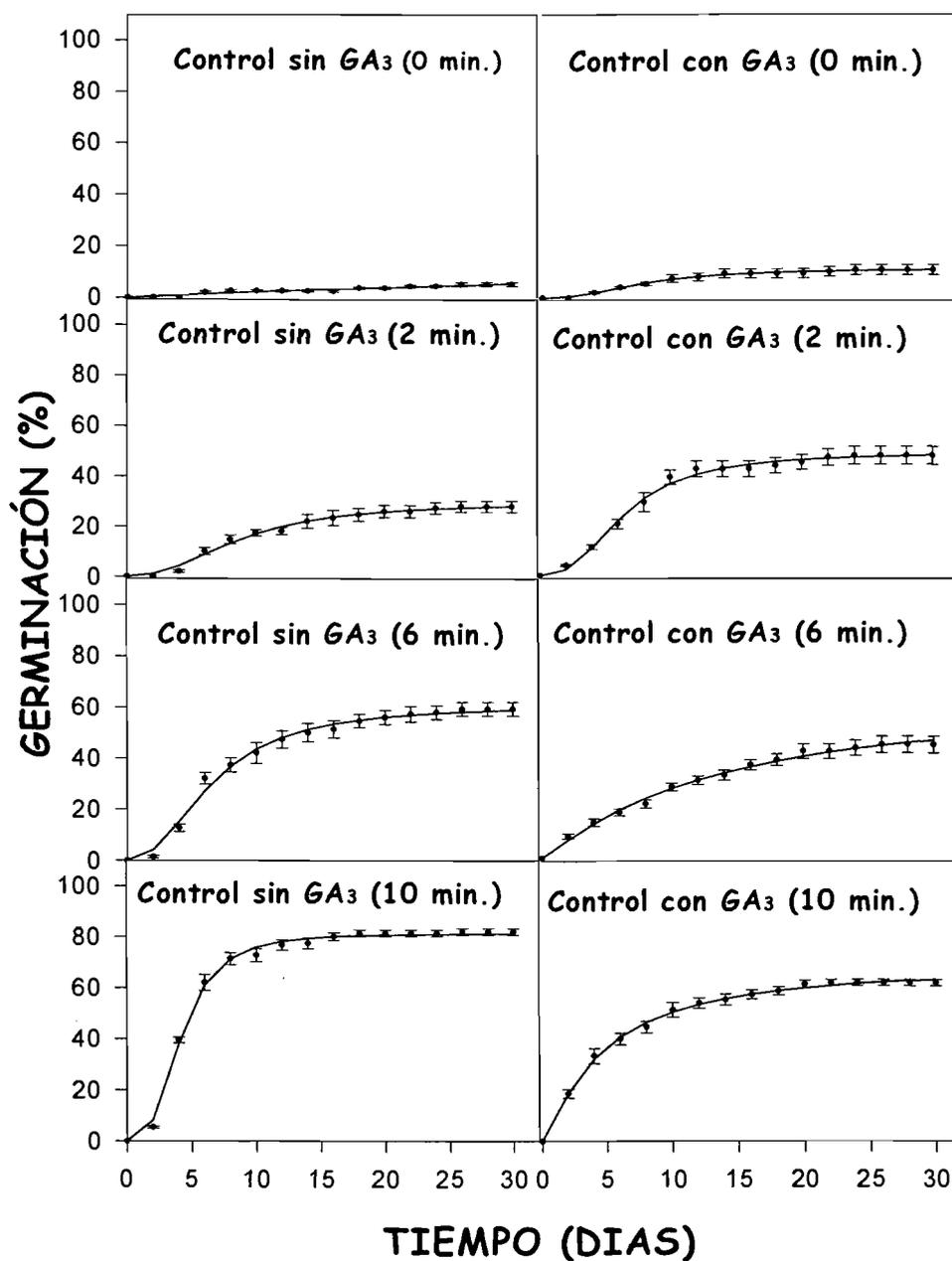


Figura 4. Porcentaje final de germinación acumulada en el tiempo de semillas control (sin enterrar) sin y con GA₃ a diferentes tiempos de escarificación a una temperatura constante de 25° C con fotoperiodo de 12 h en *Dodonaea viscosa* (se muestran las medias y los errores estándar).

SEMILLAS ENDURECIDAS SIN PRETRATAMIENTO DE ESCARIFICACIÓN

El análisis de varianza de tres vías realizado entre tratamientos indica que no hubo diferencias significativas en la germinación debidas a GA_3 ($F_{(1,96)} = 0.482$; $p = 0.489168$). Pero si hubo diferencias significativas entre los sitios de enterramiento, la mayor capacidad germinativa se dio en las semillas que estuvieron previamente enterradas en el sitio abierto y en el claro ($F_{(2,96)} = 7.217$; $p < 0.01$); así como entre los tiempos de escarificación con H_2SO_4 aplicados a las semillas enterradas previamente en el bosque ($F_{(3,96)} = 308.222$; $p < 0.01$). La interacción entre estos tres factores no fue significativa ($F_{(6,96)} = 0.347$ $p = 0.909798$) (Fig. 5). No hubo diferencias en la capacidad germinativa con las semillas control.

SEMILLAS ENDURECIDAS CON PRETRATAMIENTO DE ESCARIFICACIÓN

El análisis de varianza de tres vías realizado para los tratamientos de semillas sin y con GA_3 indica que éste no produjo diferencias significativas ($F_{(1,96)} = 0.38$; $p = 0.541103$), tampoco hubo diferencias debidas a los sitios de enterramiento ($F_{(2,96)} = 0.50$; $p = 0.608371$). Entre los tiempos de escarificación con H_2SO_4 a 0, 2, 6 y 10 minutos si hubo diferencias significativas ($F_{(3,96)} = 160.85$; $p < 0.01$). La interacción entre estos tres factores no fue significativa ($F_{(6,96)} = 0.40$ $p = 0.879388$) (Fig. 6). Con relación a las respuestas de las semillas enterradas sin pretratamiento si hubo diferencias en la capacidad germinativa.

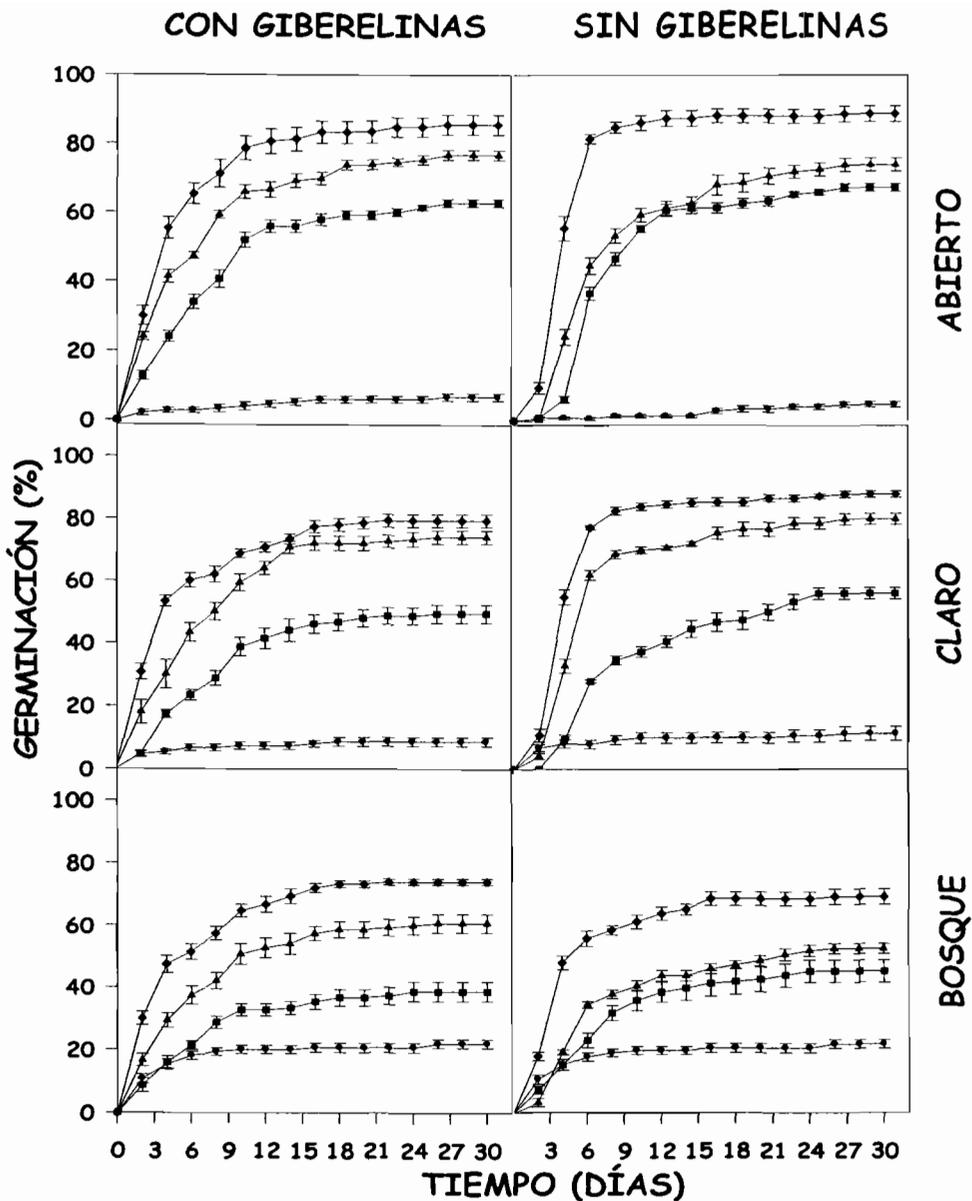


Figura 5. Porcentaje final de germinación de semillas previamente enterradas, sin pretratamiento de escarificación, en diferentes sitios y con diferentes tiempos de escarificación con H_2SO_4 aplicados después de haber sido desenterradas. La germinación ocurrió a una temperatura constante de $25^\circ C$ con fotoperiodo de 12 h en *Dodonaea viscosa* (se muestran las medias y los errores estándar). (◆ 0 minutos; ▲ 2 minutos, ■ 6 minutos, ● 10 minutos).

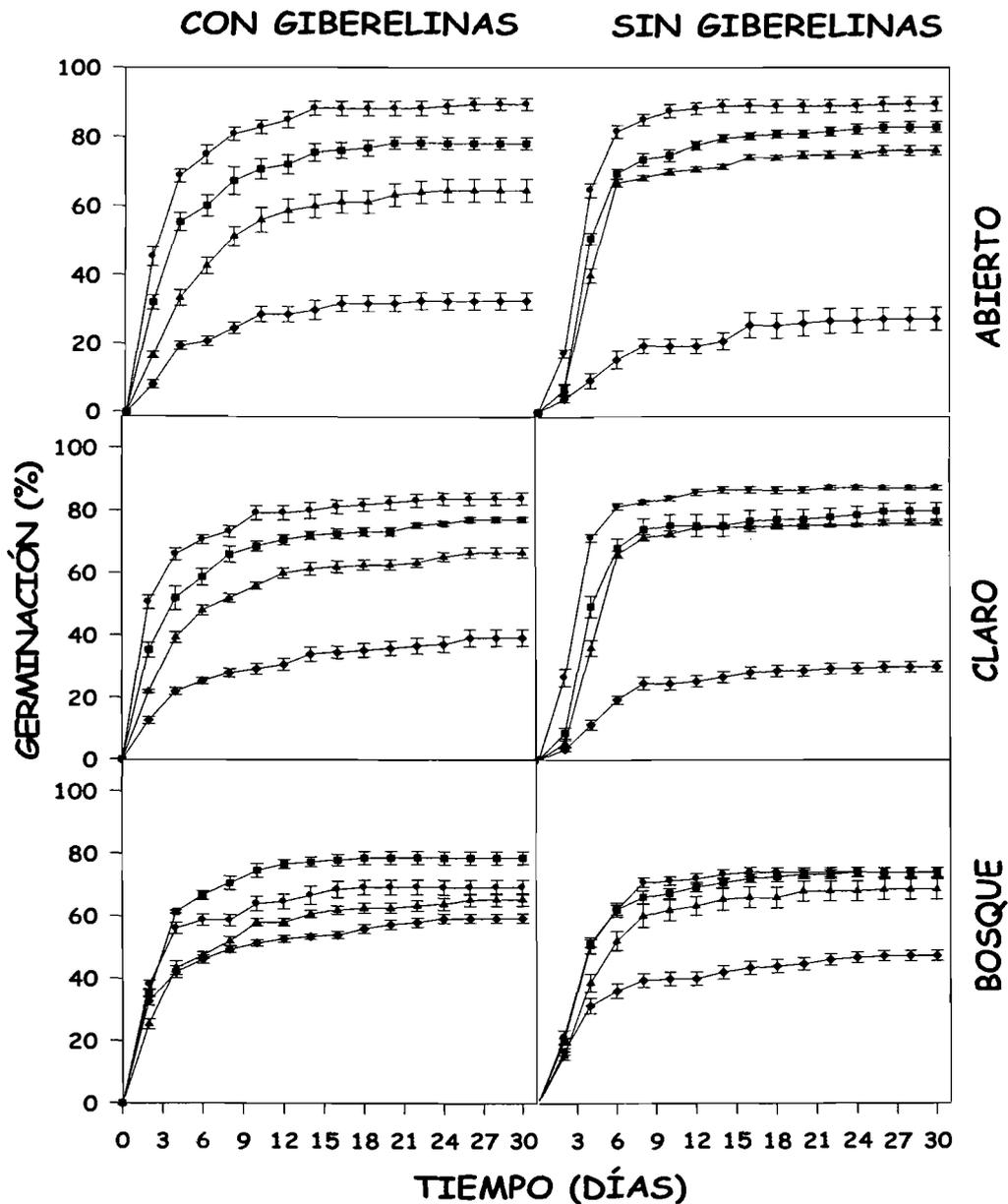


Figura 6. Porcentaje final de germinación de semillas previamente enterradas, con pretratamiento de escarificación, en diferentes sitios y con diferentes tiempos de escarificación con H_2SO_4 aplicados después de haber sido desenterradas. La germinación ocurrió a una temperatura constante de $25^\circ C$ con fotoperiodo de 12 h en *Dodonaea viscosa* (se muestran las medias y los errores estándar). (◆ 0 minutos; ▲ 2 minutos, ■ 6 minutos, ● 10 minutos).

SUPERVIVENCIA EN LA CASA DE SOMBRA

Se observó en la casa de sombra que si existe un efecto del endurecimiento de las semillas en el campo sobre la supervivencia de plántulas de *Dodonaea viscosa*. Para el caso de las plántulas que sus semillas no fueron enterradas la supervivencia fue del 32 %, mientras que la supervivencia de las plántulas que sus semillas fueron enterradas fue del 98 % (Fig. 7).

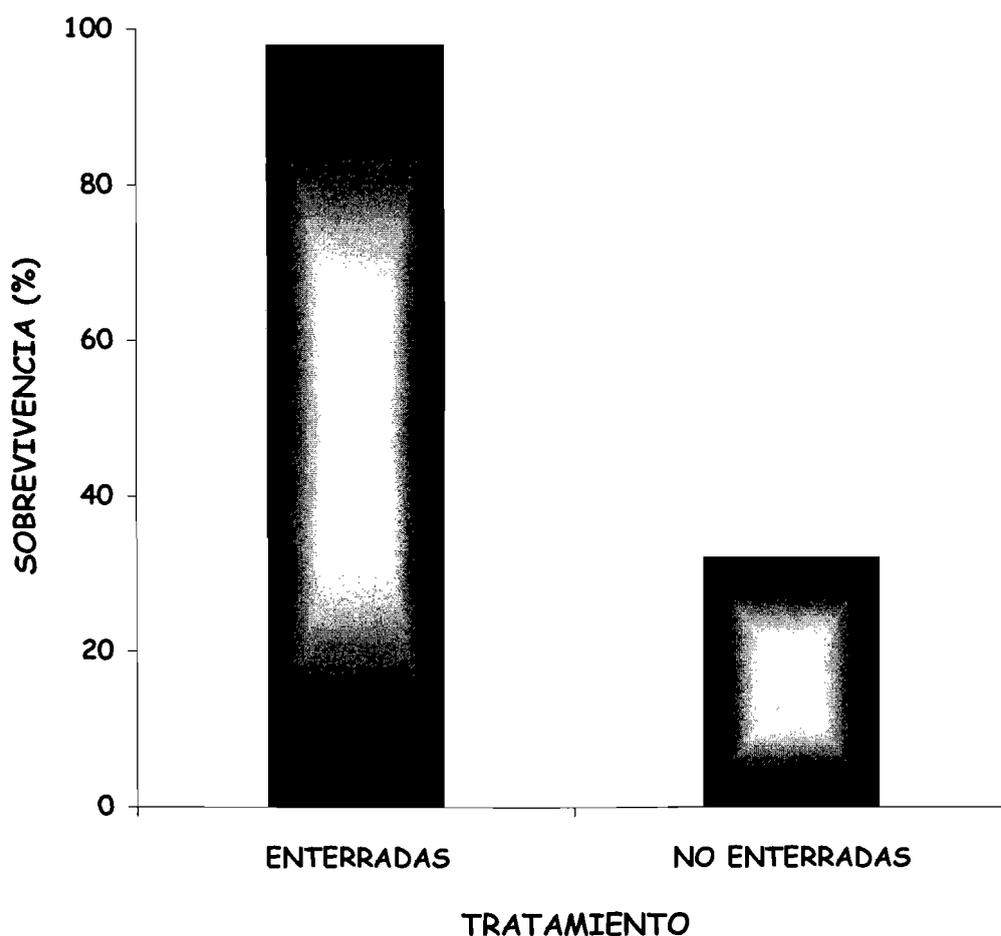


Figura 7. Porcentaje de supervivencia de plántulas germinadas de *Dodonaea viscosa* en una casa de sombra localizada cerca de la Reserva del Pedregal de San Ángel con dos tratamientos a su semilla (n = 250 plántulas).

SUPERVIVENCIA EN EL AJUSCO MEDIO

Al igual que los resultados obtenidos en la casa de sombra, las plantas derivadas de semillas enterradas tuvieron un porcentaje mayor de supervivencia con un 50% contra un 32% de plantas derivadas de semillas sin enterrar, después de completarse un año de haber sido transplantadas en matorrales secundarios del Ajusco Medio (Parque Ecológico de la Ciudad de México) (Fig. 8).

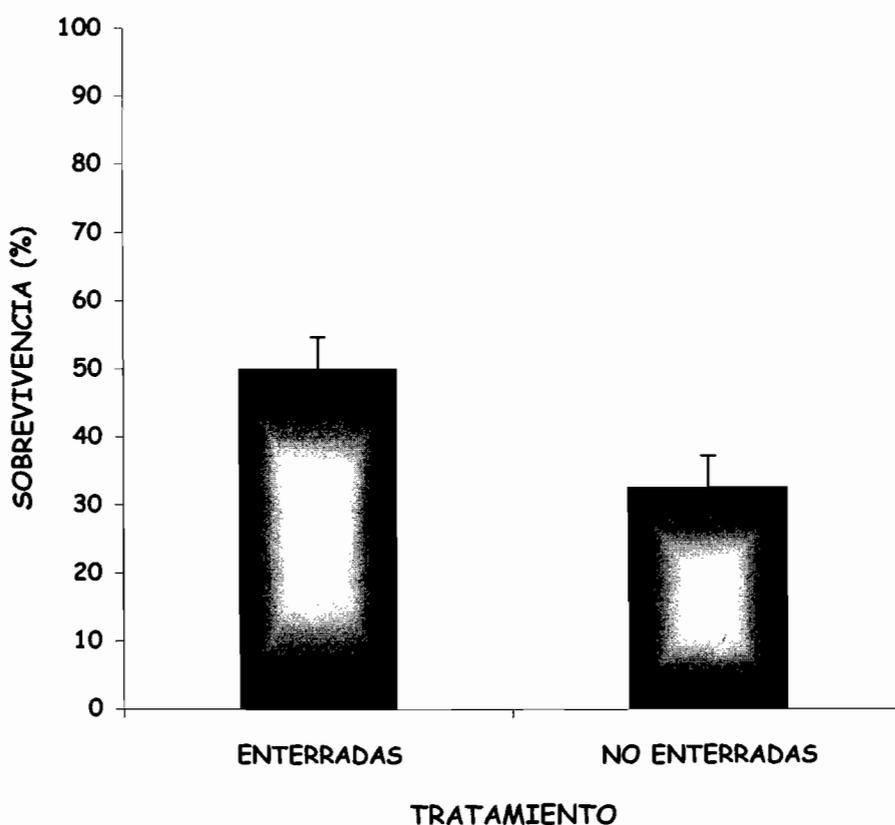


Figura 8. Porcentaje final de supervivencia de plantas transplantadas en matorrales secundarios del Ajusco Medio (Parque Ecológico de la Ciudad de México) con dos tratamientos para *Dodonaea viscosa* (se muestran las medias y los errores estándar).

VARIABLES DE CRECIMIENTO

ALTURA

La altura promedio de las plantas derivadas de semillas no enterradas (51.52 cm) fue mayor a la altura de las plantas derivadas de las semillas enterradas (50.95 cm); (Fig. 9). Sin embargo, la prueba de t no indicó diferencias significativas entre ambos tratamientos ($t = -0.04$; $P = 0.96$), asimismo la tasa de crecimiento absoluto en altura de *Dodonaea viscosa* no difirió significativamente entre ambos tratamientos ($t = 0.21$; $P = 0.83$). La mayor pendiente (tasa de cambio) se obtuvo para las plantas derivadas de semillas enterradas ($P \leq 0.05$).

COBERTURA

La cobertura promedio de las plantas derivadas de semillas enterradas (617.08 cm²) fue mayor que el de las plantas derivadas de semillas no enterradas (489.30 cm², Fig. 10). Sin embargo, debido a la dispersión de los datos, la diferencia no fue significativa ($t = 0.63$; $P = 0.53$). La tasa de cambio de la cobertura de *Dodonaea viscosa* evaluada de la misma forma que en el caso de la altura, no fue significativamente mayor en las plantas derivadas de semillas enterradas, que en las no enterradas ($t = 0.52$; $P = 0.60$).

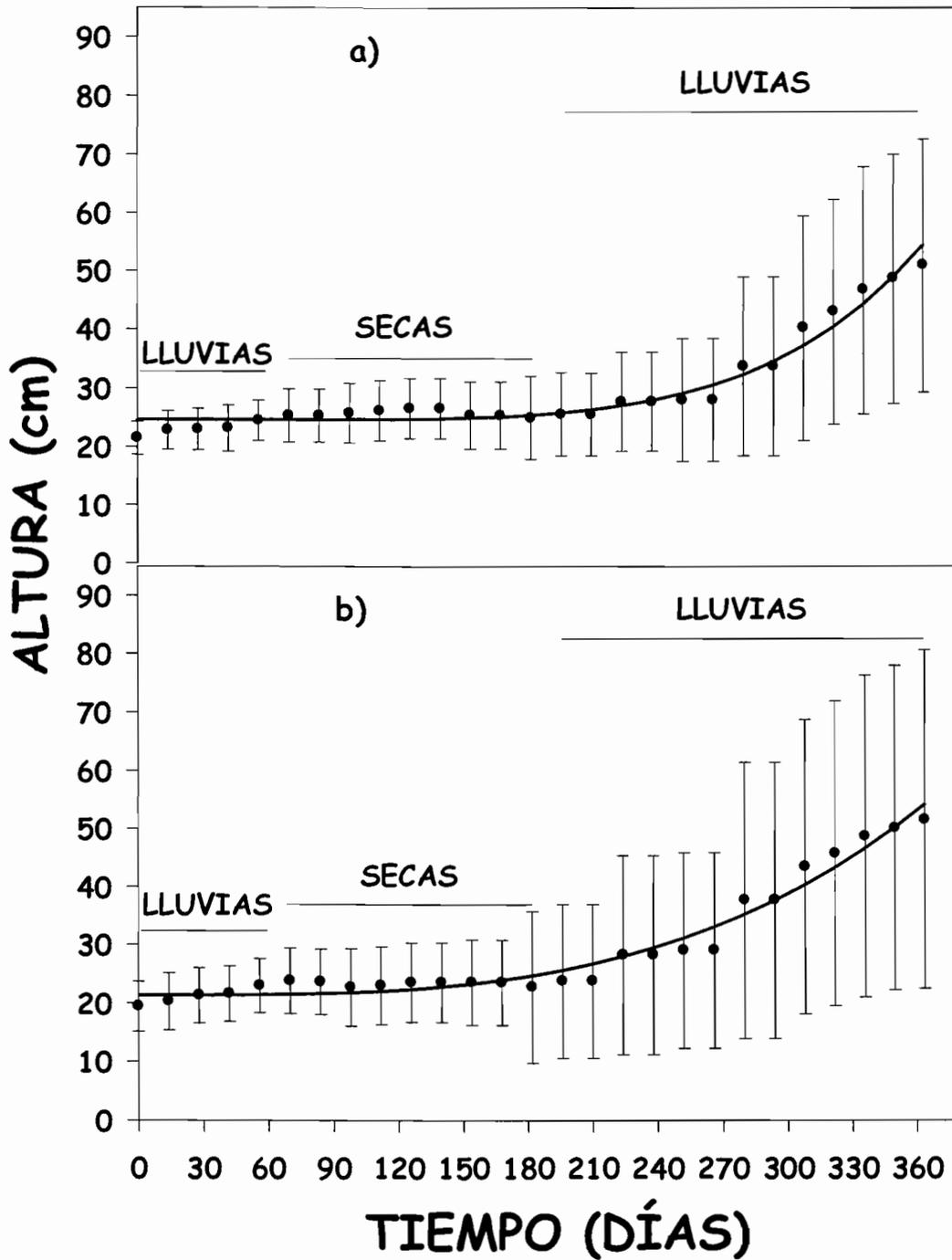


Figura 9. Altura promedio acumulada en el tiempo de *Dodonaea viscosa*, en dos tratamientos, semillas enterradas (a) y semillas no enterradas (b) (se muestran las medias y los errores estándar).

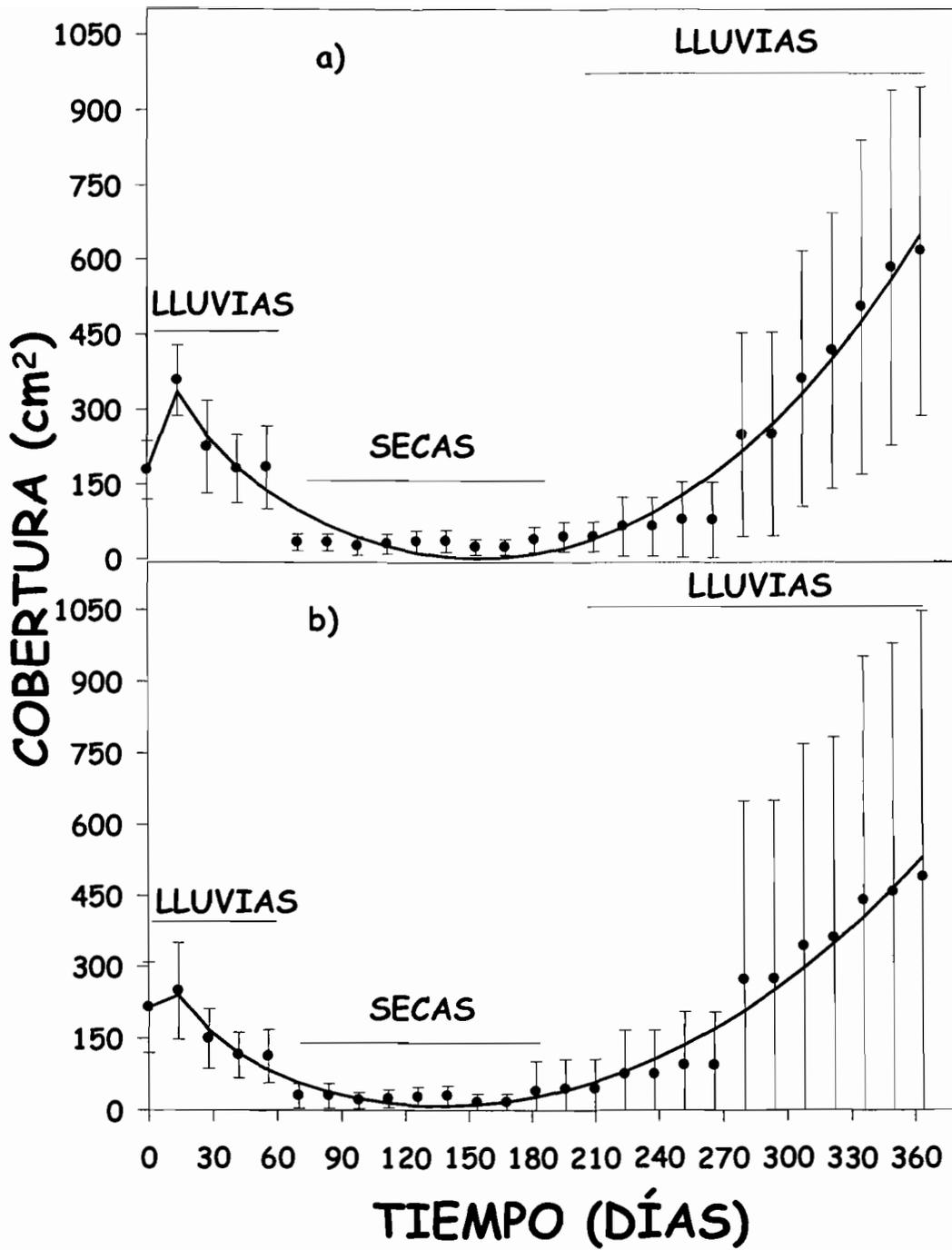


Figura 10. Cobertura promedio acumulada en el tiempo de *Dodonaea viscosa*, en dos tratamientos, semillas enterradas (a) y semillas no enterradas (b) (se muestran las medias y los errores estándar).

ÁREA FOLIAR

El promedio del área foliar total de las plantas derivadas de semillas enterradas (4076.82 cm²) fue mayor que el de las plantas derivadas de semillas no enterradas (2625.51 cm²); (Fig. 11). Sin embargo, debido a la dispersión de los datos, la diferencia no fue significativa ($t = 0.76$; $P = 0.45$). La tasa de cambio del área foliar de *Dodonaea viscosa* evaluada de la misma forma que en el caso de la altura, no fue significativamente mayor en las plantas derivadas de semillas enterradas, que en las derivadas de semillas no enterradas ($t = 0.70$; $P = 0.48$).

NÚMERO DE HOJAS

El número promedio de hojas en plantas derivadas de semillas enterradas (136.16) fue mayor que el de las plantas derivadas de semillas no enterradas (122.42, Fig. 12). Sin embargo debido a la dispersión de los datos la diferencia no fue significativa ($t = 0.2621$; $P = 0.79$). La tasa de cambio del número promedio de hojas de *Dodonaea viscosa* evaluada de la misma forma que en el caso de la altura no fue significativamente mayor en las plantas derivadas de semillas enterradas que en las derivadas de semillas no enterradas ($t = 0.88$; $P = 0.38$).

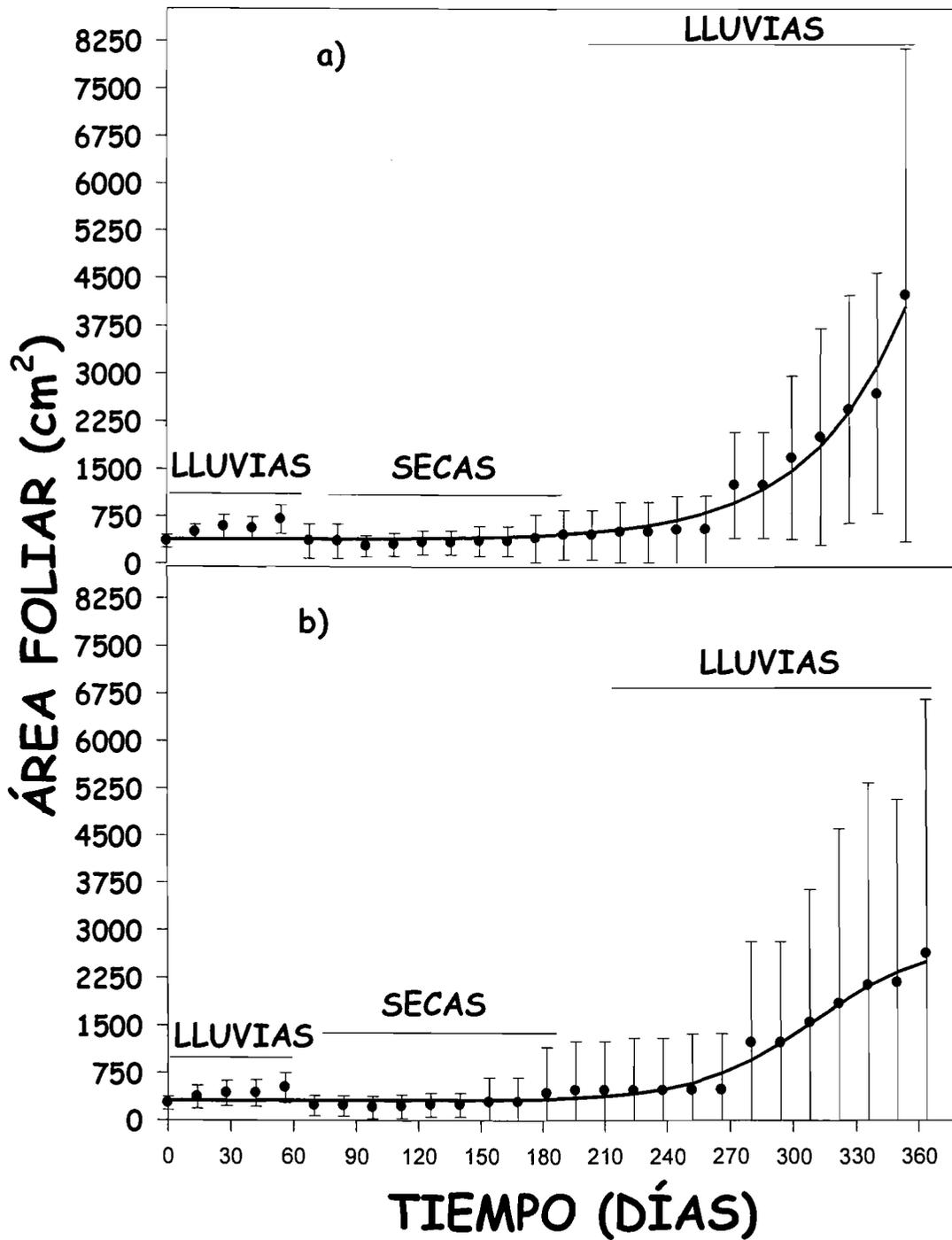


Figura 11. Área foliar promedio acumulada en el tiempo de *Dodonaea viscosa*, en dos tratamientos, semillas enterradas (a) y semillas no enterradas (b) (se muestran las medias y los errores estándar).

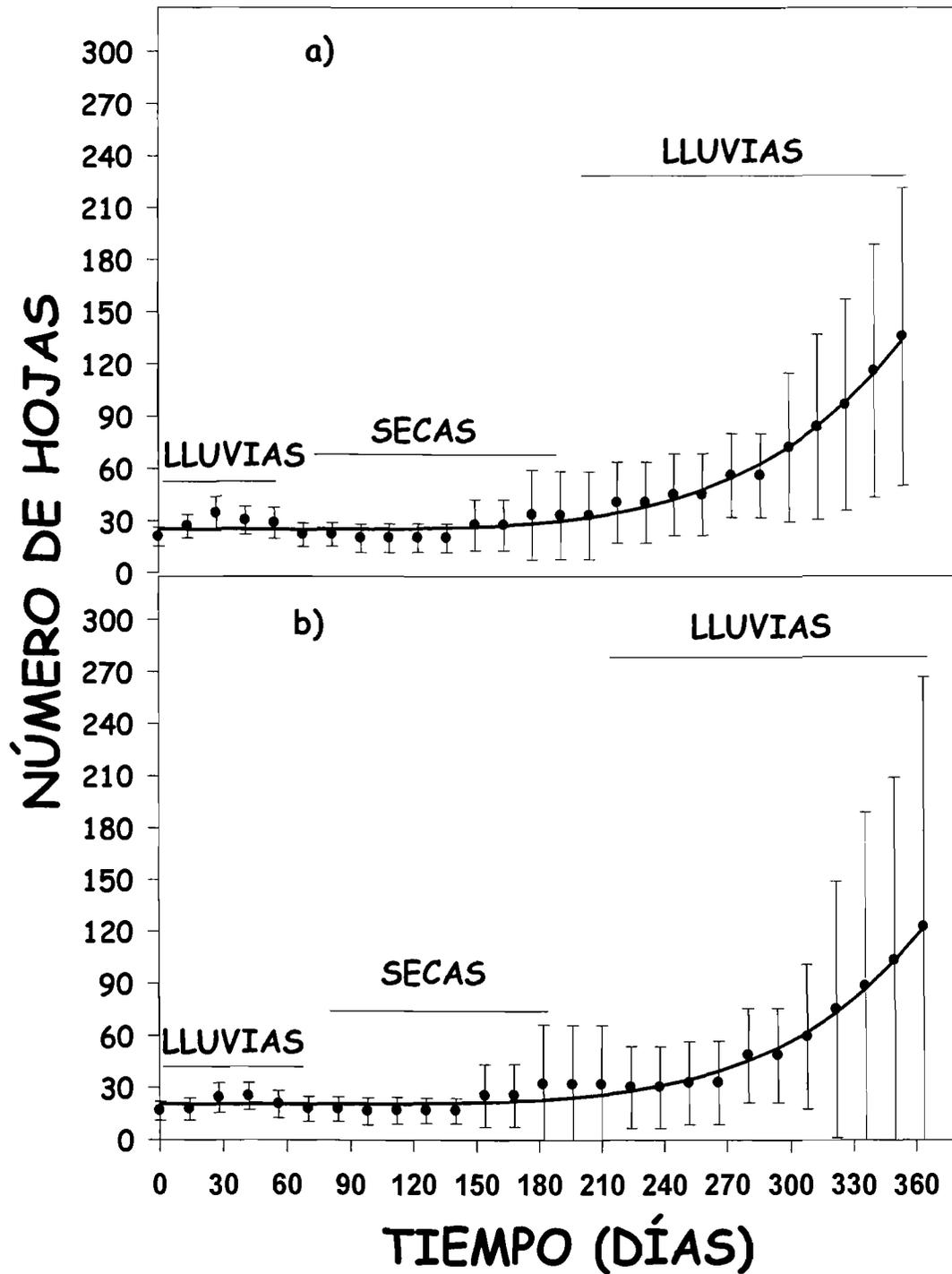


Figura 12. Número de hojas promedio acumulada en el tiempo de *Dodonaea viscosa*, en dos tratamientos, semillas enterradas (a) y semillas no enterradas (b) (se muestran las medias y los errores estándar).

VII. DISCUSIÓN

GERMINACIÓN

SEMILLAS CONTROL (NO ENTERRADAS) CON GIBERELINAS

Aún cuando las giberelinas (GA_3) están involucradas en el rompimiento de la latencia y el mantenimiento de la germinación de las semillas (Bewley, 1997), en especial de zonas templadas (Baskin & Baskin, 1998), las respuestas obtenidas en semillas de *Dodonaea viscosa* escarificadas por 2 minutos con adición de GA_3 , sugieren que hay una latencia fisiológica que puede romperse con giberelinas. En esta especie, además de una latencia física reportada ya con anterioridad (Plata-Álvarez, 2002), hay una latencia fisiológica que impide que el embrión, poco vigoroso debido a su inmadurez pueda romper la cubierta seminal (Baskin y Baskin, 2004). La inmadurez del embrión puede estar relacionada con un desequilibrio hormonal. En las semillas control GA_3 no tuvo efecto en la germinación porque no pudo penetrar, junto con el agua, debido a la cubierta impermeable que las rodea. Una vez que la cubierta (del total de la población) de las semillas se adelgazó lo suficiente por el ácido sulfúrico, las giberelinas tuvieron un efecto tóxico en parte de la población; sin embargo, este efecto no se mantuvo en las semillas enterradas. En estas semillas la latencia fisiológica pudo haberse perdido durante el enterramiento.

Muchas especies presentan semillas con periodos largos de latencia inducida por la dureza e impermeabilidad de la cubierta al agua y a los gases como el oxígeno, lo que previene la germinación (Baskin y Baskin, 1998, 2004; Baskin y col., 2000). Esto es común en especies de las familias de las

leguminosas que tienden a presentar cubiertas duras e impermeables (Quinlivan, 1971). Baskin y col., (2004) señalan que la presencia de latencia física parece ser común a todas las especies de *Dodonaea*, este es un hecho interesante porque tanto en una misma familia, como en un solo género de plantas, puede haber especies con semillas permeables y especies con semillas impermeables.

El efecto de la escarificación mecánica o química en la naturaleza se ha evaluado ampliamente (Baskin y Baskin, 1998), como el que puede ocurrir cuando las semillas entran en contacto con fuertes ácidos que se encuentran en el tracto digestivo de algunos consumidores que ingieren los frutos (Janzen, 1981, Nolasco y col., 1996). Al respecto, varios autores mencionan que no está del todo claro que la acción de los ácidos digestivos de los animales sean los principales factores en el rompimiento de este tipo de latencia (Baskin y col., 2000; Ortega-Baes y col., 2001, 2002).

De igual manera, la mayoría de la literatura menciona que la cubierta seminal se daña por la abrasión natural causada por el arrastre de las semillas sobre la superficie del suelo, por efecto del correr del agua, y en algunos casos se menciona que son los microorganismos los que degradan la cubierta dura de las semillas (Fenner, 1985; Bewley y Black, 1994; Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1993; Vázquez-Yanes y col., 1997). No obstante, Baskin y Baskin (2000) mencionan que existe poca literatura científica que soporte estas suposiciones, argumentando para ambos casos que no existe un buen sentido evolutivo para relacionar estas dos cuestiones. Estos autores argumentan que estas estructuras, especializadas para impedir la entrada de agua a la semilla actúan como señales detectoras para poder reconocer cuándo las condiciones ambientales son favorables para el establecimiento de las plántulas, de tal

manera que, si el rompimiento de la testa de las semillas por abrasión o por acción de microorganismos ocurriera en estaciones o hábitats en los cuales las plántulas no pudieran sobrevivir, las posibilidades de supervivencia de la planta en cuestión se verían disminuidas drásticamente. En el laboratorio, con tratamientos artificiales, se intenta simular lo que ocurre en la naturaleza. Algunos de estos métodos son: la abrasión mecánica, el uso del agua caliente y ácido sulfúrico en diferentes concentraciones (Camacho, 1987; Vázquez-Yanes y col., 1997).

SEMILLAS ENDURECIDAS (SIN Y CON PRETRATAMIENTO DE ESCARIFICACIÓN)

Las semillas de *D. viscosa* enterradas incrementaron su capacidad germinativa después de escarificarse tan sólo dos minutos, independientemente del tratamiento previo al enterramiento, es decir se redujo la profundidad de la latencia física con el enterramiento. En las semillas enterradas sin escarificación previa, la latencia física se redujo menos que en las escarificadas previamente, por razones obvias (se degradó menos la cubierta dura de la semilla). Aparentemente las bajas temperaturas matutinas en el Ajusco también contribuyeron a liberar a las semillas de la latencia fisiológica. Por otra parte la respuesta germinativa de todas las semillas enterradas, previamente escarificadas, fue homogénea en todos los tratamientos de escarificación. Por último, hubo una notable diferencia entre las semillas previamente escarificadas y las que no lo fueron. En estas últimas el sitio de enterramiento fue importante, germinaron más después de que estuvieron enterradas en el sitio abierto y en el claro que cuando estuvieron

enterradas en el bosque. Esto probablemente se deba a que la fluctuación de temperatura en estos sitios rompió la latencia física, al menos parcialmente, como ocurre normalmente con otras especies que presentan latencia física (Thompson y col., 1977; Takaki y col., 1981; Fenner, 1985; Vázquez-Yanes y col., 1997).

Si bien los estudios relacionados con el priming o endurecimiento en el laboratorio nos aportan información relevante sobre los procesos de aclimatación de las semillas (Blackman y col., 1992; Brugging y Van Der Toorn, 1995). Estos procesos posiblemente han evolucionado de manera natural, durante la permanencia de las semillas en el suelo, como lo demuestran los estudios realizados con semillas enterradas de *Wigandia urens*, en el suelo dentro de bolsas de tela de organza, desenterradas, deshidratadas y posteriormente sembradas (González-Zertuche y col., 2001).

La diferencia entre la técnica de endurecimiento natural respecto al priming que se lleva a cabo en el laboratorio, radicó principalmente en que las semillas endurecidas en el campo, se embebieron de manera natural bajo las condiciones de fluctuación de temperatura que ocurren en el suelo. A pesar de que las semillas permanecieron en el suelo por un corto periodo, este fue más largo que el que duran los tratamientos de priming en el laboratorio. Además, en el suelo no solo fluctúa la temperatura sino también la humedad, por lo que el tiempo hidrotérmico acumulado difiere también del priming tradicional (Bradford y Haigh, 1994). Sin embargo, al igual que en éste se aceleran los procesos metabólicos de la germinación sin que ocurra la emergencia de la radícula.

Si bien hubo diferencias significativas entre los sitios de enterramiento en las semillas sin y con pretratamiento (escarificación con H_2SO_4 por 3

minutos antes del enterramiento), los porcentajes de germinación aumentaron tanto por el efecto del enterramiento en sí, como por el pretratamiento. Resultados similares fueron obtenidos con especies como *W. urens* y *Buddleja cordata*, previamente enterradas en el campo; también las semillas germinaron más rápido y en forma más sincrónica que aquellas que no fueron sometidas a ese tratamiento (González-Zertuche y col., 2001; Aguilera, 2003).

Las diferencias encontradas entre las semillas enterradas y escarificadas previamente y las enterradas que no lo fueron pueden tener relación con una mayor susceptibilidad de las primeras a los microorganismos y a las fluctuaciones de temperatura en el suelo. Algunos estudios arrojan información sobre el papel que desempeñan tales organismos para acelerar los procesos de germinación (Kremer y col., 1984; Morpeth y Hall, 2001). En estos estudios se obtuvieron porcentajes de germinación muy altos respecto al control.

Los resultados obtenidos al aplicar la técnica de endurecimiento natural en el campo en *Dodonaea viscosa* para incrementar el vigor de las semillas, nos permite sugerir que podría ser una técnica muy importante para favorecer la germinación de especies con potencial restaurador. Ya que en el suelo se estarían dando, de manera natural, las condiciones necesarias para que la semilla acelerara los procesos metabólicos de la germinación, sin que se diera la emergencia de la radícula, e incrementara la tolerancia de la plántula a factores adversos que se presentan en el medio donde habitan. Estos factores adversos serían el estrés hídrico, altas temperaturas, heladas, etc., (González-Zertuche y col., 2000).

No obstante, hay que tomar en cuenta que, si bien es una técnica sencilla y con resultados alentadores, falta mucho por investigar al respecto, como

sería determinar cuál es el tiempo adecuado de enterramiento y los factores adversos propios del enterramiento, asociado a que no todas las semillas poseen las mismas características funcionales y morfológicas para poder ser almacenadas en el suelo por tiempos iguales a las de *Dodonaea viscosa*.

SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO EN LA CASA DE SOMBRA

Se pudo observar un claro efecto del endurecimiento de las semillas en el campo sobre la supervivencia de las plántulas de *Dodonaea viscosa*. Para plántulas provenientes de semillas enterradas se obtuvo un 98% de supervivencia, mientras que para las plántulas resultantes de semillas que no fueron enterradas fue solo del 32%. Lo anterior muestra las bondades de esta técnica de endurecimiento natural. Resultados similares se han obtenido con semillas de *Gliricidia sepium*, cuyos porcentajes de supervivencia fueron mayores en plántulas derivadas de semillas tratadas con osmoprímung que en el control (De la Vega-Rivera, 2003). No obstante, en este caso los porcentajes de supervivencia fueron mucho más bajos que los registrados en este estudio. Para el caso de *Trichospermum grewifolium* e *Hibiscus elatus*, los tratamientos pregerminativos de hidratación parcial incrementaron la supervivencia de plántulas (Sánchez-Rendón, 2000).

Resultados similares se han obtenido también para semillas de *Buddleja cordata* y *Wigandia urens* cuando se les aplicaron tratamientos de osmoprímung y endurecimiento natural respecto a los lotes control (González-Zertuche y col., 1999, 2001). Sin embargo, los porcentajes de supervivencia de esas especies estuvieron muy por debajo de los obtenidos con *D. viscosa* en este estudio

Si bien es cierto que existe numerosa información acerca del efecto positivo del priming en la supervivencia de las plántulas, la mayoría de las investigaciones están enfocadas principalmente a especies agrícolas (Sánchez y col., 2001). Por lo tanto, dado los resultados alentadores del priming y endurecimiento natural en campo de las semillas, es necesario extender el estudio a otras especies arbóreas, arbustivas y de valor forestal.

Aguilera (2003), al evaluar en *B. cordata* el efecto del osmopriming y el enterramiento en el crecimiento de plántulas establecidas en una casa de sombra, encontró que el crecimiento de las plántulas fue más afectado por la frecuencia de riego que por el enterramiento o ausencia de éste en las semillas de las cuales se obtuvieron los individuos. Para el caso de nuestro estudio, la frecuencia de riego en las semillas tanto enterradas como no enterradas, no fue un factor que pudiera ser evaluado, ya que el riego fue igual para ambos tratamientos y se hizo cada tercer día hasta la emergencia de la radícula.

En especies en las que se han evaluado los efectos del priming de laboratorio sobre el crecimiento, se ha encontrado que este tiene una corta duración, y en las plántulas de una edad inferior a la de las plantas transplantadas al campo (75 días) o mayores (5 meses), generalmente no se encuentran diferencias significativas debido a los tratamientos de priming (Aguilera, 2003). Asimismo, Yamamoto y col., (1997) no encontraron diferencias entre plántulas de semillas endurecidas y no endurecidas en el laboratorio después de 28 días.

SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO EN EL AJUSCO MEDIO

El endurecimiento natural de semillas en el campo (durante su permanencia en el suelo) favoreció que en la semilla ocurrieran los procesos metabólicos que condujeran a la germinación sin que emergiera la radícula. Estos procesos dan lugar a semillas y posteriormente a plántulas con mayor resistencia a las condiciones adversas que se les presentan en el medio donde habitan (González-Zertuche y col., 1999, 2001).

Los resultados obtenidos en este estudio indican que esto pudo haber ocurrido en las semillas y posteriormente en las plántulas de *D. viscosa*, ya que al igual que en la casa de sombra, las plantas derivadas de semillas enterradas tuvieron un porcentaje mayor de supervivencia. A pesar de que en la casa de sombra hubo una alta mortalidad de las plántulas derivadas de semillas control (semillas no enterradas), después de un año del trasplante al Ajusco Medio (Parque Ecológico de la Ciudad de México) sólo sobrevivió el 32%, mientras que las plantas derivadas de semillas enterradas sobrevivieron el 50%.

Resultados similares se observaron en los experimentos realizados por González-Zertuche (com. pers.) con las especies de *B. cordata* y *W. urens*, en la emergencia en el campo. Las semillas tratadas con osmoprimering y enterradas presentaron altos porcentajes de geminación y las plántulas sobrevivieron más que las del control (González-Zertuche, 2000). Esto también ha sido reportado en especies hortícolas cuando se les aplica primering de laboratorio (Sánchez y col., 2001; Bray, 1995).

Si bien, debido a la dispersión de los datos, tres de las variables de crecimiento evaluadas a lo largo de un año (cobertura, área foliar total y número de hojas), no fueron estadísticamente diferentes, el enterramiento

favoreció los valores promedio de las plantas derivadas de semillas enterradas, respecto a las plantas derivadas de semillas no enterradas. Los resultados obtenidos por Aguilera (2003) en plantas de 5 meses de edad tampoco reflejaron un efecto claro del enterramiento; en este caso la mayor parte de las variables de crecimiento fueron más afectadas por la frecuencia del riego que por el pretratamiento (osmopriming y enterramiento) que recibieron las semillas. En el presente estudio, las plantas fueron trasplantadas a un ambiente heterogéneo, y no se controló ninguna variable ambiental, por lo que no se pudo identificar la variable que pudiera tener mayor peso en el crecimiento.

A pesar de, la amplia variabilidad en el crecimiento de los distintos individuos, es un reflejo de la heterogeneidad del ambiente, dado que el crecimiento y la tasa de crecimiento están dados por la interacción del genotipo con las condiciones ambientales (Argerich y col., 1997; Yamamoto y col., 1997). Sin embargo, la evaluación a microescala de las variables ambientales quizá pudiera explicar la causa principal de esta variabilidad y separar el efecto del enterramiento, el cual al parecer permitió alcanzar mayores valores promedio de crecimiento y significativamente mayores tasas de supervivencia.

Existen evidencias que respaldan el hecho de que el efecto del priming en el crecimiento se pierde rápidamente (Taylor y col., 1982; Stoffela y col., 1992; Yamamoto y col., 1997). No obstante, en plantas cultivadas, cuando se evalúa el efecto del priming al momento de la cosecha sí se registran diferencias. Se ha planteado que esta mayor productividad en plantas cultivadas a las que se aplica priming de laboratorio en la etapa de semilla, puede ser el resultado de una mayor sincronía en su crecimiento. González-

Zertuche (2000) considera que una mayor supervivencia de las plántulas derivadas de semillas pretratadas con priming natural también puede ser el reflejo de una mayor emergencia en el campo. Sin embargo, en este trabajo tanto el manejo de los individuos en la casa de sombra como en el campo y la estimación porcentual de la supervivencia, impide cualquier error derivado de una apreciación de este tipo.

Un dato que es fundamental mencionar, es que en el año 2003 se realizó un programa de reforestación con 10,000 plantas de *D. viscosa* en el Parque Ecológico de la Ciudad de México y menos del 5% sobrevivió al año siguiente (Dirección de Ecología y Desarrollo Sustentable, 2003). En contraste, en ese mismo año, aplicando la técnica de enterramiento con esta especie, los resultados obtenidos en este estudio arrojaron un 50% de supervivencia. La plantación de las 10,000 plantas, se hizo en las mismas condiciones que las plantas utilizadas para este presente estudio, se plantaron a una distancia de 1.5 X 1.5 m (tres bolillo), por lo que se descarta la alta mortalidad (95%) debido a la competencia entre ellas.

EL ENDURECIMIENTO NATURAL EN EL CAMPO DE *Dodonaea viscosa* APLICADO A RESTAURACIÓN

Tomando en cuenta lo anterior, es importante llevar a cabo más estudios sobre el efecto del priming natural en especies silvestres con potencial restaurador, con el propósito de aumentar el conocimiento del efecto del enterramiento de las semillas y poder tener una visión más clara del efecto fisiológico que tiene en distintas especies y su posible aplicación en materia de la restauración de sitios perturbados. Estos estudios deben hacerse teniendo

en cuenta las necesidades o planes de reforestación y restauración que manejan las diferentes entidades gubernamentales a cargo de tales proyectos.

D. viscosa proviene de una zona en la que existe una gran heterogeneidad ambiental (Rzedowsky y Rzedowsky, 1985); las semillas germinan en un ambiente con gran cantidad de microhabitats. Por lo tanto, el éxito de supervivencia depende de la historia previa de los individuos, es decir, las semillas previamente enterradas germinaron y sobrevivieron más que aquéllas que no lo fueron. Esto se debe posiblemente a que durante el enterramiento las semillas acumularon más información del ambiente González-Zertuche (com. pers.). No obstante, la selección de los individuos más vigorosos, en las plantas derivadas de ambos tratamientos, también se reflejó en el crecimiento, por lo que las diferencias en estas variables no fueron significativas. Sin embargo, en términos de eficiencia en la restauración, el priming natural puede significar un gran avance.

Dados los resultados obtenidos en el presente estudio se puede sugerir que una estancia prolongada en el suelo da lugar a un proceso de aclimatación mejor que el que podría lograrse después de un breve periodo durante la siembra directa, lo cual puede ser de gran relevancia para implementar el éxito de las plantas introducidas durante los programas de reforestación y/o restauración.

Aunque al respecto existe poca información y no conocemos del todo aquellos procesos que ocurren durante el enterramiento natural, como el tiempo conveniente de enterramiento para cada especie, los procesos metabólicos que ocurren, la interacción de la semilla con los microorganismos presentes en el suelo, ni los factores involucrados en el deterioro de la testa de la semilla. Los resultados obtenidos hacen que sea necesario profundizar en

estos diversos aspectos en distintas especies, al igual que en el efecto de tratamientos de priming de laboratorio en especies forestales o adecuadas para la restauración. Con la técnica "hermana" (priming de laboratorio), al menos en germinación, se han obtenido buenos resultados en especies de pinos y encinos (Struve, 1998; Wu, 2001).

La extensión de estos estudios a otras especies arbóreas, e incluso herbáceas o arbustivas, podría resultar de interés para diseñar las estrategias de remplazo sucesional utilizadas en la restauración. De manera que pueda acelerarse la conformación de grupos funcionales adecuados a los planes de reforestación y aplicar ecotecnologías de bajos insumos (endurecimiento natural, priming) que incrementen la germinación y el crecimiento de las plantas en condiciones de vivero y de campo.

VIII. CONCLUSIONES

- Las semillas de *Dodonaea viscosa* no requieren de un tiempo de postmaduración.
- La impermeabilidad de la testa en las semillas de *Dodonaea viscosa* es el principal factor que mantiene su latencia. La escarificación química con ácido sulfúrico concentrado permite romper la latencia física, obteniéndose altos porcentajes de germinación.
- Los resultados obtenidos con *Dodonaea viscosa* con la técnica de endurecimiento natural nos permite sugerir que podría ser una técnica muy importante para incrementar el vigor de las semillas y plántulas de especies con potencial restaurador.

RECOMENDACIONES

- Se requieren más estudios en especies silvestres para aumentar el conocimiento del endurecimiento natural.
- Es importante generar vínculos estrechos, con las dependencias de Gobierno correspondientes y de esta manera, intercambiar tecnologías e información para generar planes de manejo de restauración y reforestación, de áreas naturales protegidas y áreas verdes correspondientes.

LITERATURA CITADA

1. 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. Iztacala. UNAM. México. 63 pp.
2. Argerich, C. A., Bradford, K. J. y Tarquis, A. M. 1989. The effects of priming and aging on resistance to deterioration of tomato seed. *Journal of Experimental Botany*, 40: 593-598.
3. Baskin, C. C. y Baskin, J. M. 1998. *Seeds Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. U. S. A.: Academic Press. 665 pp.
4. Baskin, J. M. y Baskin, C. C. 2000. Evolutionary considerations of claims for physical dormancy-break by microbial action and abrasion by soil particles. *Seed Science Research*, 10: 409-413.
5. Baskin, J. M., Baskin, C. C., y Li, X. 2000. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seed. *Plant Species Biology*, 15: 139-152.
6. Baskin, J. M. y Baskin, C. C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 10: 409-413.
7. Baskin, J. M., Davis, B. H., Baskin, C. C., Gleason, S. M. y Corde, S. 2004. Physical dormancy in seeds of *Dodonaea viscosa* (Sapindales, Sapindaceae) from Hawaii. *Seed Science Research*, 14: 81-90.
8. Bewley, D. J. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, 9: 1055-1066.
9. Bewley, D. J. y Black, M. 1985. *Seeds-Physiology of development and germination*. U. S. A., New York: Plenum Press. 367 pp.

10. Bewley, D. J. y Black, M. 1994. *Seeds-Physiology of development and germination*. (2nd edition). New York: Plenum Press.
11. Bonfil, S. C., Hernández, A. y Cabrera, L. 1993. Restauración del Ajusco Medio. En: 1er Congreso sobre Parques Nacionales y Áreas Protegidas de México. México.
12. Blackman, S. A., Obendorf, R. L. y Leopold, A. C. 1992. Maturation proteins associated with desiccation tolerance in soybean. *Plant Physiology*. 96: 68-87.
13. Bradbeer, J. W. 1994. *Seed Dormancy and Germination*. Great Britain: Chapman and Hall. 146 pp.
14. Bradford, K. J. y Haigh, A. M. 1994. Relationships between accumulated hydrothermal time during seed priming and subsequent seed germination rates. *Seed Science Research*, 4: 63-69.
15. Bradshaw, A. D. 1987. Restoration: an acid test for ecology. En: *Restoration Ecology: A synthetic approach to ecological research*. Jordan II, W. R; M. E. Gilpin. y J. D. Aber (Eds.). Cambridge University Press; Gran Bretaña., pp. 25-29.
16. Bray, C. M. 1995. Biochemical processes during osmopriming of seeds. En: *Seed development and germination*. Kigel, J. & Galil, G. (Eds.). Marcel Decker. EUA. pp. 767-789.
17. Bruggink, Y. y Van Der Toorn, P. 1995. Induction of desiccation tolerance in germinated seeds. *Seed Science Research*. 5: 1-4.
18. Camacho, M. 1987. Germinación de semillas de palo dulce (*Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg.) en siembras densas. *Revista Ciencia Forestal*. 62 (12), 3-13.

19. Camacho, M., Bustillo, O. O. y González, K. V. 1991. Potencial del Chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) para la formación de setos en áreas sin riego. En: Memoria de la Segunda Reunión Nacional sobre Ecología y Reforestación Urbana. Academia Nacional de Ciencias Forestales. 20 pp.
20. Cano-Santana, Z. y Meave, J. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias*, 41: 58-68.
21. Cervantes, V., López, G. M., Salas, N. N. y Hernández, C. G. 2001. Técnicas para propagar especies nativas de selva baja caducifolia y criterios para establecer áreas de reforestación. UNAM. México.
22. De la Vega-Rivera, A. 2003. Estudio ecofisiológico de la germinación y establecimiento de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Esteud Papilionaceae con fines de restauración ecológica. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 87 pp.
23. Degollado, 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. UNAM. México.
24. Dirección de Ecología y desarrollo Sustentable. 2003. Informe Anual de Actividades. Delegación Tlalpan D. F.
25. Fenner, M. (1985). *Seed Ecology*. London: Chapman and Hall. 151 pp.
26. Gómez-Pompa, A. y S. del Amo (Eds.). 1985. Investigaciones sobre regeneración de selvas. Vol. II. Editorial Alambra. México, D. F.
27. González-Hidalgo, B. 1998. reporte técnico de la vegetación del Parque Ecológico Ecoguardas, Ajusco Medio. CORENA, D. F. México.
28. González-Zertuche, L., Orozco-Segovia, A. y Vázquez-Yanes, C. (2000). El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y en la

- supervivencia de la plántula. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 65: 73-81.
29. González-Zertuche, L., Vázquez-Yanes, C., (in memoriam), Gamboa, A., Sánchez-Coronado, M. E., Aguilera, P. y Orozco-Segovia, A. (2001). Natural priming of *Wigandia urens* during burial: effects on germination, growth and protein expression. *Seed Science Research*, 11: 27-34.
30. González-Zertuche, L., Baskin, C., Baskin, J. M. y Orozco-Segovia, A. (2002). Effects of priming on germination of *Buddleja cordata* ssp. *cordata* (Loganiaceae) seeds and possible ecological significance. *Seed Science & Technology*. 30: 535-548.
31. Janzen, D. H. 1981. *Enterolobium ciclocarpum* seed passage rate and survival in horses. Costa Rica pleistocene seed dispersal agents. *Ecology*, 62: 593-601.
32. Jordan, W., Gilpin, M. y Aber, J. D. 1987. Restoration ecology. A synthetic approach to ecology research. Cambridge University Press. Gram Bretaña.
33. Karseen, C. M., Haigh, A. H., Van der Toom, P. y Weges, R. 1990. Physiological mechanisms involved in seed priming. En: Taylorson, R. B. Ed. Recent advances in the development germination of seeds. Plenum Press, London, New York.
34. Kozłowski, T. T. y Pallardy, S. G. 1997. Physiology of woody plants. Academic Press. USA.
35. Marroquín, J. S. 1985. Sapindaceae. En: Rzedowski, J. y Rzedowski, G. C. (Ed.). Flora Fanerogámica del Valle de México. Vol I. Continental. México. pp. 44-46.

36. Mendoza-Hernández, P. E. 2002. Supervivencia y crecimiento de los estadios iniciales de *Buddleja cordata* (Tepozán) en ambientes contrastantes del Ajusco Medio, D. F. México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM. 89 pp.
37. Montes de Oca, A. E. C. 2002. Estudio ecofisiológico de la germinación de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.). Oken., con fines de restauración ecológica.
38. Nolasco, H., Vega-Villasante, F., Romero-Schmidt, H. L. y Díaz-Rondero, A. 1996. the effect of salinity, acidity, light and temperature of the germination of seed of cardon (*Pachycereus pringlei* (S. Wats.) Britton & Rose, Cactaceae). *Journal of Arid Environments*, 33: 87-94.
39. Ortega-Baes, P., De Viana, M. L., Larenas, G. y Saravia, M. 2001. Germinación de semillas de *Caesalpinia paragurensis* (Fabaceae): agentes escarificadores y efecto del ganado. *Rev. Biol. Trop.*, 49 (1): 301-304.
40. Ortega-Baes, P., De Viana, M. L. y Sühring, S. 2002. Germination in *Prosopis feroz* seeds: effects of mechanical, chemical and biological scarificators. *Journal of Arid Environments*, 50: 185-189.
41. Plata-Álvarez, M. A. 2002. Estudio ecofisiológico de la germinación de dos especies arbustivas del Pedregal de San Ángel *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. (Sapindaceae) y *Senna multiglandulosa* (Jacq.) Irwin & Barnaby (Caesalpinaceae). Tesis de Maestría en Ciencias. UNAM. 71 pp.
42. PRONARE. 1998. Red Mexicana de Germoplasma Forestal. SEMARNAP pp. 75-78.
43. Quinlivan, B. J. 1971. seed coat impermeability in legumes. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Sciences*, 37: 283-295.
44. Ricklefs, R. E. 1990. *Ecology*. Freedman and Company. USA.

45. Rzedowski, 1954. *Vegetación del Pedregal de San Ángel*. Ann. Esc. Nal. de Cien. Biol. Mex., 8: 59-139.
46. Rzedowski, 1988. *Vegetación de México*. Limusa. México. 203 pp.
47. Rzedowski, J. y Rzedowski, G. C. 1985. *Flora Fanerogámica del Valle de México*, Vol. II. Dicotiledoneae. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. Instituto de Ecología. A. C.
48. Sánchez-Rendón, J. A. 2000. *Estrategias regenerativas de las principales especies arbóreas pioneras de la Sierra Rosario, bajo condiciones ecológicas adversas*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente Instituto de Ecología y Sistemática. 47 pp.
49. Sánchez, J. A., Orta, R. y Muñoz, B. C. 2001. *Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en las plantas de interés agrícola*. *Agronomía Costarricense*, 25 (1): 67-92.
50. Secretaría del Medio Ambiente, 2003. *Programa de manejo: Parque Ecológico de la Ciudad de México*. México. 105 pp.
51. Soberón, M. J., De la Maza, R., Hernández, A., Bonfil, C., Careaga, S., Gamboa, J., García, H. y Espinosa, G. 1991. *Reporte técnico final del primer año del proyecto: Restauración ecológica de Lomas del Seminario Ajusco*. Instituto de Ecología. UNAM. México.
52. Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. 1995. *Biometry the principles and practice of statistics in biological research*. New York. W. H. Freeman and Company. 887 pp.
53. Stoffella, P. J., Di Paula, M. L., Pardossi, A. y Tagnoni, F. 1992. *Seedling root morphology and shoot growth after seed priming or pregermination of bell pepper*. *Hort Sci*, 27: 214-215.

54. Struve, D. K. 1998. Seed conditioning of red oak: a recalcitrant north American seed. *Sci. Agric. Piracicaba*, 55 (Número Especial): 67-73.
55. Taiz, L. y Zeiger, E. 2002. *Plant physiology*. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts. USA.
56. Takaki, M., Kendrick, R. E. y Dietrich, S. M. C. 1981. Interaction of light and temperature on the germination of *Rumex obtusifolius* L. *Planta*, 152: 209-214.
57. Taylor, A. G., Klein, D. E. y Whitlow, T. H. 1988. SMP: solid matrix priming of seed. *Scientia Horticulturae*, 37: 1-11.
58. Thompson, K., Grime, J. P. y Mason, G. 1977. Seed germination in response to diurnal fluctuations of temperature. *Nature*, 67: 147-149.
59. Tlalpan. 2003. Informe anual de actividades de la Dirección de Ecología y Desarrollo Sustentable. Delegación de Tlalpan, México. DF.
60. Turner, F. 1987. The self-effacing art: restoration as imitation of nature. En *restoration Ecology: A synthetic approach to ecological research*. Jordan III, W. R., M. E. Gilpin & J. D. Aber (Eds.). Cambridge University Press. Gran Bretaña.
61. Vázquez-Yanes, C. 1990. Ecología y conservación de semillas. *Ciencias*, No. Especial, 4: 30-33.
62. Vázquez-Yanes, C. y A. I. Batis. 1996. La restauración de la vegetación, árboles exóticos vs. Árboles nativos. *Ciencias*. 43: 16-23.
63. Vázquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia, A. 1993. Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24: 69-87.

64. Vázquez-Yanes, C., Orozco-Segovia, A., Rojas-Aréchiga, M., Sánchez-Coronado, M. E., y Cervantes, V. (1997). La Reproducción de las plantas: semillas y meristemos. México: Fondo de Cultura Económica. 167 pp.
65. Vázquez-Yanes, C. (1999). Ecología fisiológica de las semillas y su relación con la conservación. En: Orellana, R., Escamilla, J. A. y Larqué-Saavedra, A. (Eds.), *Ecofisiología Vegetal de la Conservación de Recursos Genéticos*, pp. 51-57. México. CICY. 222 pp.
66. Wu, L., Hallgren, S. W., Ferris, D. M. y Conway, K. 2001. Effects of moist chilling and soil matrix priming on germination of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seeds. *New Forest*, 21: 1-16.
67. Yamamoto, I., Turgeon, A. J. y Duich, J. M. 1997. Field emergence of solid matrix seed primed turfgrasses. *Crop Science*, 37: 220-225.
68. Zar, J. H. 1984. *Bioestadistical análisis*. New Jersey: Prentice may. 718 pp.