



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
INSTITUTO DE ECOLOGÍA

Endurecimiento de semillas y sus
consecuencias en el establecimiento y
crecimiento de plántulas de *Quercus rugosa*
Née con fines de restauración en zonas
perturbadas del Ajusco

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

(B I O L O G Í A A M B I E N T A L)

P R E S E N T A

LIBERTAD ROSALÍA CASTRO COLINA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ALMA DELFINA LUCÍA OROZCO SEGOVIA

MÉXICO, D.F.

ENERO 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.

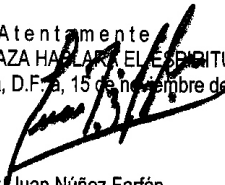
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

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 25 de septiembre del 2006, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) de la alumna **Castro Colina Libertad Rosalía** con número de cuenta **98529173** con la tesis titulada: **"Endurecimiento de semillas y sus consecuencias en el establecimiento y crecimiento de plántulas de *Quercus rugosa* Née con fines de restauración en zonas perturbadas del Ajusco"** bajo la dirección de la **Dra. Alma Delfina Lucia Orozco Segovia**.

Presidente:	Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa
Vocal:	Dr. Miguel Martínez Ramos
Secretario:	Dra. Alma Delfina Lucia Orozco Segovia
Suplente:	Dr. Horacio Armando Paz Hernández
Suplente:	Dra. María del Pilar Huante Pérez

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÉ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., 15 de noviembre del 2006


Dr. Juan Núñez Farfán
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) por el apoyo económico que me brindó durante el lapso de tiempo en el que realicé esta tesis. A la DGEP (Dirección General de Estudios de Posgrado, de la Universidad Nacional Autónoma de México) por la beca complementaria que me otorgó durante el mismo periodo.

Al proyecto de CONACYT 47859-Q y a la maestría en Restauración Ecológica de U.N.A.M. por el financiamiento para la realización de mi tesis.

A los integrantes de mi comité tutoral, conformado por la Dra. Alma Orozco Segovia, el Dr. Miguel Martínez Ramos, y la Dra. Pilar Huante Pérez sin cuya dirección, este trabajo simplemente no hubiera sido posible.

A la Dra. Ana Mendoza y al Dr. Horacio Paz por sus valiosos comentarios y sugerencias que profundizaron y mejoraron mi trabajo.

A la Dra. Alma Orozco Segovia por darme la oportunidad de formar parte de un proyecto aplicable a las necesidades de restauración ecológica que el país requiere.

A la M. en C. María Esther Sánchez Coronado por la continuidad en su apoyo desde el inicio de mi formación.

A José y a Kryzthyna por estar ahí, por el amor, por la paciencia, por los consejos, por la información y por la formación en la vida.

A Nicolas Decloedt que gracias al azar estuvo en una parte esencial de este trabajo, por hacerme comprender lo relativo del tiempo y la distancia. Por el cariño que me brindaste, por lo que compartimos, por lo que vivimos, por hacerme crecer. Por el apoyo y la ayuda de horas frente a excel y en el campo.

A Juan Cortés por su incondicional y puntual ayuda en el campo, por sacrificar sus rodillas por la ciencia, más específicamente por la ecología vegetal. Por tu amistad, por las largas pláticas acerca de la perspectiva de la ciencia en el país mirada desde la antropología. Muchas gracias hermano!!!.

A Andrea Gallardo, porque como dijo un cantor, chileno reconocido, que chiquito es lo bonito y que larga la comprensión de la compleja variable humana. Por tu

gran capacidad de anotar más de diez datos a la vez, por tus pláticas y por tu amistad. Gracias hermana!!!.

A Olga porque en su exploración al Ajusco ayudó de manera invaluable a la colecta de datos.

A Gimena Pérez Ortega por el apoyo en el campo en un momento esencial del proyecto. Por escucharte y escucharme.

A mis compañeros de la maestría Sara, Felix, Lolita, Gume, Juanita, Pacho, Bety, Jenny, Yamile, Rosa, Mario y Fernando. Por que sin ustedes la maestría no hubiera sido lo mismo.

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	5
4. OBJETIVOS	7
5. HIPÓTESIS	8
6. ANTECEDENTES	
6.1 El género <i>Quercus</i> en México	9
6.2 Bosques de encino en México	11
6.3 Problemática ecológica del Distrito Federal	13
6.4 Restauración ecológica en áreas urbanas y sus zonas periféricas	14
6.5 Regeneración natural y ecofisiología de los encinos	17
6.6 Tipos de semillas según su comportamiento en almacenamiento	19
6.7 Tolerancia de las semillas a la desecación	21
6.8 El endurecimiento de las semillas y su relación con la germinación	24
7. MÉTODO	
7.1 Zona de estudio	28
7.2 Descripción de la especie	31

7.3 MATERIALES Y MÉTODOS	
7.3.1 Determinación del contenido de humedad de las bellotas	
bellotas _____	38
7.3.2 Determinación de las tasas de hidratación y deshidratación de las bellotas	
_____	39
7.3.3 Pruebas iniciales de germinación y tratamientos de endurecimiento	
_____	41
7.3.4 Establecimiento, niveles de riego y análisis de crecimiento	
_____	44
8. RESULTADOS	
8.1 Tamaño y contenido de humedad de las bellotas	
_____	49
8.2 Tasas de hidratación y deshidratación de las bellotas	
_____	50
8.3 Germinación	
_____	53
8.4 Ciclos de hidratación-deshidratación en las bellotas	
_____	55
8.5 Crecimiento y supervivencia de las plántulas	
_____	60
9. DISCUSIÓN	
9.1 Tamaño y contenido de humedad de las bellotas	
_____	70
9.2 Tasas de hidratación y deshidratación de las bellotas	
_____	73
9.3 Germinación	
_____	74
9.4 Ciclos de hidratación-deshidratación en las bellotas	
_____	75
9.5 Crecimiento y supervivencia de las plántulas	
_____	79
9.6 Consideraciones finales	
_____	82
10. CONCLUSIONES	
_____	86
11. BIBLIOGRAFÍA	
_____	87

1. RESUMEN

La sierra del Ajusco alberga gran parte de la biodiversidad del Distrito Federal y es uno de los principales sitios de recarga de acuíferos del Valle de México (Bonfil *et al.*, 1997). Sin embargo, en la zona conocida como Lomas del Seminario localizada en la parte media de esta sierra, se generaron asentamientos irregulares que provocaron una perturbación del medio ambiente, lo que llevó a expropiar la zona, y en 1989 fundar en ésta el Parque Ecológico de la Ciudad de México (González-Hidalgo *et al.*, 2001). No obstante, esta área natural protegida está casi totalmente rodeada por la mancha urbana de la Ciudad de México y presenta zonas perturbadas de gran extensión.

El presente trabajo consistió en evaluar el efecto del endurecimiento hídrico en semillas y plántulas de *Quercus rugosa*, como una alternativa para incrementar el establecimiento de las plántulas de esta especie en zonas perturbadas del Ajusco.

Primeramente se estimó el contenido de humedad, la tasa de hidratación y deshidratación de las bellotas de *Q. rugosa*, para con base en estos resultados establecer tratamientos pre-germinativos a bellotas de esta especie. Los tratamientos de endurecimiento hídrico aplicados a las bellotas fueron de uno, dos y tres ciclos de hidratación-deshidratación, a dos temperaturas distintas (21 °C y 5 °C). Cada ciclo tuvo una duración de cuatro días y se basó en una exposición de las bellotas a hidratación en agua durante dos días y dos días de deshidratación.

Posteriormente las plántulas derivadas de uno y dos ciclos a 21 °C se preacondicionaron hídricamente en sombra en el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México, durante 105 días para finalmente introducirlas a zonas perturbadas del Parque Ecológico de la Ciudad de México.

Las bellotas sometidas al tratamiento de un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C fueron las que alcanzaron la mayor capacidad de germinación (100%). Sin embargo, estos tratamientos pre-germinativos a bajas temperaturas (5 °C) arrojaron resultados menores con respecto a la capacidad de germinación en comparación al lote control.

El crecimiento en altura, diámetro basal, cobertura, área foliar y número de hojas fue mayor en las plantas derivadas de los tratamientos pre-germinativos y regadas a capacidad de campo. Por otra parte, la supervivencia de las plántulas control y las plántulas derivadas de semillas endurecidas y preacondicionadas hídricamente en la casa de sombra, no fue significativamente distinta. Sin embargo, después de las heladas del invierno las únicas plantas que sobrevivieron provenían de semillas con endurecimiento.

2. ABSTRACT

The Ajusco mountain range harbors great part of the biodiversity of the Distrito Federal and it is one of the main places where the aquifers of the Valle de México refill (Bonfil et al., 1997). Nevertheless, at zone known as Lomas del Seminario located in the middle part of this mountain range were generated irregular settlements that caused a disruption of the environment. This carried to expropriate the zone, and in 1989 it was founded there the Parque Ecológico de la Ciudad de México (González-Noble et al., 2001). This protected natural area is almost totally surrounded by the urban spot of Mexico City and it presents disturbed zones of great extension.

The main aim of the present work is to assess the effect of the water hardening in seeds and seedlings of *Quercus rugosa*, as an alternative to increase the establishment of the seedlings of this species at disturbed zones of Ajusco.

At first, water content, hydration and dehydration rates of the acorns of *Q. rugosa*, was estimated. Then, in according to the results, it was established pre-germinative treatments to acorns of this species. The treatments of water hardening applied to the acorns consisted of one, two and three cycles of hydration-dehydration, at two different temperatures (21 °C and 5 °C). Each cycle has a duration of four days and they were based on an exposition of the acorns to hydration in water during two days and two days of dehydration.

Subsequently the seedlings derived from one and two cycles at 21 °C were hardening by two water levels in shadow at the Instituto de Ecologia of the

Universidad Nacional Autónoma de México, during 105 days to finally transplanted them to disturbed zones of the Parque Ecológico de la Ciudad de México.

The acorns exposed to one cycle of hydration-dehydration at 21 °C were the ones that reached the greater germination capacity (100%). Nevertheless, these pre-germinative hardening to low temperatures (5 °C) threw smaller results with regard to the germination capacity in comparison to control.

The growth in height, basal diameter, coberture, foliar area and number of leaves was greater in the plants derived of the pre-germinative and watered to field capacity. On the other hand, the survival of the control seedlings and the derived seedlings of seeds hardened was not significantly different.

Nevertheless, after the frosts of the winter the only plants that survived were those derivated of hardening seeds.

3. INTRODUCCIÓN

México se ha reconocido como el país con mayor diversidad de encinos en el mundo (Nixon, 1998). Sin embargo, los bosques templados (el tipo de vegetación donde se localiza la mayoría de las especies de este género) alcanzaron en el país tasas de deforestación de 0.25% por año entre 1976 y 2000 (Mas *et al.*, 2004).

A pesar de que la tasa anual de crecimiento poblacional de la capital de nuestro país, se ha reducido a casi a la mitad comparada con la tasa reportada para la década de los 80's (INEGI, 2000), la disminución de la cubierta vegetal continua y el área del Ajusco se ha deforestado principalmente por la presión demográfica que ejerce la Ciudad de México (González-Hidalgo, 2001). Esta zona es además un sitio importante de recarga de acuíferos y un centro de biodiversidad dentro del Valle de México (Bonfil *et al.*, 1997).

La deforestación en el Ajusco provocada principalmente por el crecimiento poblacional, nos lleva a buscar estrategias que incrementen el establecimiento de encinos (especies nativas en el sitio) en zonas perturbadas para intentar recuperar la cubierta vegetal.

Uno de los principales problemas en las labores de reforestación en el país, es el poco conocimiento acerca del comportamiento y manejo de las especies nativas (Cervantes, 1996). Por otro lado, la siembra directa de bellotas no ha dado buenos resultados en las tareas de restauración ecológica, por lo que el

endurecimiento hídrico de las bellotas y de las plántulas podrían ser una alternativa que aumente el establecimiento de los encinos en zonas perturbadas.

En este trabajo se endurecieron hídricamente bellotas y plántulas de *Quercus rugosa* para evaluar su uso como especie útil en la restauración ecológica.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del endurecimiento hídrico en semillas y plántulas de *Quercus rugosa*, como un tratamiento que incremente el establecimiento de las plántulas en zonas perturbadas del Parque Ecológico de la Ciudad de México.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar efectos de tratamientos pre-germinativos basados en ciclos de hidratación-deshidratación en dos temperaturas distintas sobre la germinación de *Q. rugosa*.
- Evaluar en condiciones de campo, en zonas perturbadas del Ajusco Medio, el crecimiento y la supervivencia de las plántulas de *Q. rugosa* preacondicionadas hídricamente en una casa de sombra y derivadas de las semillas expuestas a tratamientos pre-germinativos.
- Aportar conocimiento básico relacionado con el manejo de semillas y plántulas de *Q. rugosa*, que sea útil en la instrumentación de acciones de restablecimiento en ambientes degradados debido a la pérdida de la cobertura vegetal.

5. HIPÓTESIS

- La germinación de semillas de *Quercus rugosa* sometidas a endurecimiento a partir de ciclos de hidratación-deshidratación en el laboratorio, será más rápida y sincrónica que la de semillas que no fueron endurecidas.
- Las plántulas derivadas de semillas sometidas a endurecimiento tendrán una mayor biomasa que las plántulas que provienen de semillas sin endurecimiento.
- Las plántulas que fueron preacondicionadas hídricamente y que además provienen de semillas sometidas a endurecimiento tendrán una mayor supervivencia que las plántulas no preacondicionadas hídricamente y provenientes de semillas no endurecidas, en sitios de campo perturbados del Ajusco.

6. ANTECEDENTES

6.1 El género *Quercus* en México

La Familia Fagaceae está conformada por nueve géneros: *Quercus*, *Castanea*, *Chrysolepis*, *Fagus*, *Lithocarpus*, *Castanopsis*, *Colombobalanus*, *Formanodendron* y *Trigonobalanus* (Crepet y Nixon, 1989), siendo los tres últimos uniespecíficos y *Quercus* el más ampliamente distribuido y diverso de la familia (Nixon *et al.*, 1997).

En el continente americano crecen sólo seis géneros: *Castanea*, *Chrysolepis*, *Fagus*, *Lithocarpus*, *Quercus* y *Colombobalanus* (Jones, 1986). En México, se desarrollan únicamente dos géneros. Un género es *Fagus*, (representado exclusivamente por *F. grandiflora* Ehrh. subs. *mexicana* E. Murray) en sitios restringidos de los estados de Tamaulipas, Hidalgo, Puebla y Veracruz. El otro género es *Quercus* localizado en todos los estados del país a excepción de Quintana Roo (Valencia y Nixon, 2004).

El género *Quercus* (encinos o robles como comúnmente se les conoce), se distribuye en América desde Canadá hasta Colombia incluyendo Cuba; en el norte de Europa y África, en la región mediterránea; desde el sureste de Asia y Malasia hasta Kamchatka, Corea y Japón (Nixon, 1998).

La mayoría de las especies de encino crecen en la zona templada subhúmeda, que a su vez es el centro primario de diversidad del hemisferio occidental de este género (Challenger, 1998). Sin embargo, los encinos también pueden distribuirse en ambientes propios de selva húmeda, selva subhúmeda,

bosque mesófilo y matorral (Nixon, 1998; Challenger, 1998), con precipitaciones extremas de 350 mm en Sonora (Rzedowski, 1981) a 4000 mm en Los Tuxtlas, Veracruz (Sousa, 1968 en Challenger, 1998). El rango altitudinal del género va desde el nivel del mar hasta los 3 500 m snm (Valencia, 2004).

La taxonomía del género es complicada, en gran medida, debido a que los frutos, cuyos caracteres morfológicos son utilizados para la identificación de las especies, frecuentemente están ausentes. Cuando esto sucede, se recurre a la morfología de la lámina de las hojas, sin embargo, ésta presenta una inmensa variación morfológica. (Valencia y Nixon, 2004). Dicha variación morfológica puede deberse a la existencia de un alto número de híbridos naturales que a menudo son documentados entre especies morfológica y filogenéticamente distantes (Nixon, 1998).

En la bibliografía existente se ha reportado que el número total de especies que conforma el género es de entre 400 y 500 (Nixon *et al.*, 1997; Manos *et al.*, 1999). Además, este género se divide taxonómicamente en dos subgéneros: *Cyclobalanopsis* y *Quercus*. Para México, una de las publicaciones más recientes reporta un total de 161 especies, todas dentro del subgénero *Quercus* ubicadas en tres secciones: 76 en la sección *Lobatae*, encinos rojos; 81 en la sección *Quercus*, encinos blancos; y cuatro en la sección *Protobalanus*, encinos intermedios (Valencia, 2004). La región centro sur del país se ha reconocido como centro de origen del género (Nixon, 1998). Se estima que de las 161 especies totales registradas en México, 109 (el 67.7%) son endémicas del país, de las cuales 47 pertenecen a la sección *Quercus*, 61 a la sección *Lobatae* y una a *Protobalanus* (Valencia, 2004).

En las comunidades campesinas del país la madera de los encinos se emplea en la elaboración de artesanías, postes para cercas y viviendas, para obtener colorantes, taninos y carbón vegetal. Sin embargo, en México la madera de las diferentes especies del género no se comercializa con la misma intensidad como en países como Francia, Italia, Alemania y Finlandia. En la medicina tradicional mexicana se emplean pequeños trozos de corteza o madera como medicamentos astringentes, contra las hemorroides y dolores de dientes, así como antiséptico (Valencia y Nixon, 2004).

Algunas especies de encino, como *Quercus rugosa*, son especies potencialmente útiles para la reforestación y restauración de zonas urbanas de la cuenca de México y su periferia (Bonfil, 1998).

6.2 Bosques de encino en México

La zona ecológica templada subhúmeda abarca el 20.5% del país, lo que equivale a aproximadamente 41 millones de hectáreas, de las cuales 13.7% corresponde a bosques de pino y pino-encino, 5.5% a bosques de encino y 1.3% a bosques de *Abies* y *Juniperus* (Rzedowski, 1981). En México la tasa de deforestación entre 1976 y 2000 para los bosques templados fue de 0.25% por año (Mas *et al.*, 2004), por lo que, en la actualidad, la superficie del país cubierta por este tipo de vegetación se encuentran muy reducida.

Por otro lado, la diversidad de especies del dosel de los bosques de encino y de pino-encino es relativamente baja y generalmente se restringe a pocas especies de estos géneros; sin embargo, la diversidad de los estratos herbáceo y

arbustivo es realmente alta (Challenger, 1998). Se han registrado 400 especies medicinales, 174 comestibles, 53 forrajeras, 29 melíferas y 21 ornamentales en los bosques de pino y encino mexicanos de las zonas templadas (Bye *et al.*, 1993).

Los bosques de encino son uno de los tipos de vegetación más afectados por el asentamiento y las actividades de subsistencia del ser humano. La agricultura y la ganadería son las actividades que más han influido en la deforestación de este tipo de bosques (Challenger, 1998). En México, se ha calculado que más de 4 millones de hectáreas de bosque de pino y encino se han desmontado para destinarlas a la agricultura, lo que equivale a 20% del total de las tierras de cultivo de nuestra nación; además, la producción ganadera ha alterado o destruido otros 6 millones de hectáreas lo que equivale al 8% del área total del área dedicada a la ganadería en el país (Toledo *et al.*, 1989).

Por otro lado, con respecto a las deficiencias técnicas que ha enfrentado la reforestación en México, tenemos la deficiente elección de especies (ya sea por utilización de especies exóticas, que no permite la subsistencia de algunas de las especies nativas, así como el uso de especies nativas poco conocidas), la inadecuada selección de los sitios de plantación, el reducido tamaño de las superficies reforestadas con respecto a las superficies deforestadas, la insuficiencia y discontinuidad de los recursos económicos y la poca capacidad para resaltar la importancia ecológica dentro de los beneficios sociales (Cervantes, 1996; Evans, 1992).

Las áreas destinadas para la conservación de los bosques de encino en nuestro país, en realidad no cumplen con los objetivos de protección y mantenimiento de la cubierta vegetal en particular y la biodiversidad en general, ya

que la mayoría de estas zonas son lugares muy degradados y el uso de suelo se ha orientado hacia fines recreativos para los habitantes urbanos (Toledo y Ordoñez, 1993).

6.3 Problemática ecológica del Distrito Federal

En el Valle de México podemos encontrar diez principales tipos de vegetación: Bosque de *Abies*, Bosque Mesófilo de Montaña, Bosque de *Pinus*, Bosque de *Quercus*, Bosque de *Juniperus*, Matorral de *Quercus*, Pastizales, Matorrales xerófilos, Vegetación halófila, Vegetación acuática y subacuática, que albergan aproximadamente 2000 especies vegetales (Calderón y Rzedowski, 2001).

Por otro lado, las tasas de crecimiento anual de la población en el D. F. en las décadas de los 60's, 70's y 80's fueron de 3.1, 3.4 y 3.2%, respectivamente. En el año 2000 esta tasa disminuyó a casi la mitad, llegando a 1.9% anual (INEGI, 2000). A pesar de este decremento en el crecimiento poblacional, la pérdida de la cubierta vegetal fue inevitable (Challenger, 1998). De tal manera que toda la biodiversidad está amenazada por el acelerado crecimiento humano. Ante esta problemática, en la década de los 90's el gobierno recrudenció el rigor en la aplicación de las políticas para limitar el crecimiento urbano y con ello se protegieron mejor las áreas verdes (Challenger, 1998).

Una estrategia del gobierno para delimitar las zonas que todavía cuentan con una cubierta vegetal dentro de la ciudad, ha sido el establecimiento del suelo de conservación. De manera que el Distrito Federal (que abarca un área de 149

830 ha) se divide, según el tipo del uso de suelo y las actividades económicas de la población en:

- Suelo urbano: ocupa el 41% del área total y es donde se llevan a cabo las actividades de uso y destino de suelo, inherentes a la zona urbana de la Ciudad de México.
- Suelo de conservación: abarca el 59% del área total e incluye suelos con aptitud para el desarrollo de actividades económicas primarias, como las agrícolas, pecuarias y acuícolas. Además es en estas zonas donde se localizan las Áreas Naturales Protegidas (ANP's), poblados rurales y sitios arqueológicos. Las delegaciones de Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco son las que contribuyen con el mayor porcentaje del Suelo de Conservación, con 32, 29 y 11%, respectivamente (INEGI, 2002).

6.4 Restauración ecológica en áreas urbanas y sus zonas periféricas

En las ciudades habita aproximadamente el 77% de la población de los países desarrollados y el 40% de los habitantes en países en vías de desarrollo; para el 2020 se espera que unos 4 000 millones de personas residan en ciudades, frente a 3 000 millones que ocuparán el resto, lo que elevará los porcentajes anteriores a un 80% y 52%, respectivamente (Robinson, 1996).

La inmensa mayoría de los trabajos de restauración ecológica están enfocados en paisajes alejados del contexto urbano y sus áreas periféricas; sin embargo, es en estas zonas donde la restauración ecológica es menos viable y

más restringida, si consideramos como causa principal de la degradación el número de habitantes y el tipo de actividades que estos realizan (Naveh, 1998).

En la literatura relacionada con la restauración ecológica en las ciudades y sus alrededores existen algunos ejemplos en los que se ha reportado una recuperación de algunas de las características del ecosistema antes de la perturbación.

Uno de los casos más exitosos es el de las 600 localidades urbanas en Japón, donde se establecieron bosques de protección ambiental y prevención de desastres alrededor de: fábricas, plantas de energía, carreteras, aeropuertos, conjuntos habitacionales y escuelas con el fin de reducir la contaminación y prevenir desastres. Algunas de estas localidades son zonas templadas a 1000 m snm, donde se pensaba que se requeriría más de 300 años para formar bosques nativos con varios estratos. El trabajo consistió en transplantar plántulas (de especies del género *Quercus*, entre otros géneros) de 30-50 cm con las raíces adecuadamente desarrolladas; tras tres años de plantaciones, no se requirió más manejo humano, lo que podría sugerir que especies del género *Quercus* podrían ser valiosas en labores de reforestación en zonas urbanas y sus alrededores. Dichos bosques de protección ambiental alcanzaron 20 m de altura en 23 años. Por otra lado, en 1995, la ciudad de Kobe, Japón, una de las localidades en donde se realizaron las plantaciones, se vio sacudida por un fuerte sismo. La vegetación plantada funcionó como barrera anti-fuego, con lo que el bosque tuvo un papel importante en la prevención de un desastre mayor (Miyawaki, 1998).

Otro ejemplo de restauración ecológica en zonas urbanas es el de Seveso, un pueblo con 40 000 habitantes al norte de Milán, Italia, donde a partir de 1976

un gran número de personas se vió expuestas a dioxinas, debido a una catástrofe industrial. El área más contaminada se reconstruyó y transformó en un bosque dominado principalmente por encinos; después de un registro de cuatro años, de estudios ecológicos y biológicos concluyeron que la zona se había recuperado ecológicamente. El parque urbano fue colonizado por anélidos, insectos, anfibios, reptiles, aves y mamíferos que actualmente se utilizan como agentes biológicos para evaluaciones de riesgo de la exposición de dioxinas (Garagna *et al.*, 2001).

En el Parque Ecológico de la Ciudad de México localizado en la delegación Tlalpan al sur de la ciudad, se realizó un estudio de la dinámica de las plántulas de *Quercus rugosa*, en el que se encontró que el mayor rendimiento de las plántulas transplantadas no se produce en el interior del bosque, ni en las zonas perturbadas, sino entre estas zonas. Al parecer, los bordes del bosque son idóneos para realizar plantaciones dedicadas a la restauración ecológica (Bonfil, 1998). El estudio anteriormente citado, da una pauta para poder dar una propuesta de restauración en lo que fue un bosque de pino-encino.

Los programas de restauración ecológica en las zonas aledañas a las ciudades, deben seguir principios de replicación de la estructura y la composición, funcionalidad y durabilidad como condiciones necesarias, para una restauración ecológica (Higgs, 1997). El objetivo de la restauración en estas zonas, más que volver al estado original o natural, debería ser el de crear ambientes verdes alrededor de los asentamientos humanos, para de esta manera establecer cinturones interconectados alrededor de las ciudades para intentar disminuir la contaminación, mejorar el ambiente, y en cierta forma detener el crecimiento de las ciudades, evitando que se formen megapolis, término entendido como la

continuidad de varias ciudades, por ejemplo la ciudad de México y su área conurbana en expansión (Miyawaki, 1998).

La ecofisiología vegetal podría ser una herramienta útil en la restauración ecológica, ya que la disciplina tiene como uno de sus objetivos delimitar la tolerancia de los taxa a las condiciones ambientales, y con esto poder ubicar adecuadamente a las especies incrementando la supervivencia de las plantas en su medio natural (Vázquez-Yanes, 1999).

6.5 Regeneración natural y ecofisiología de los encinos

La regeneración natural de los encinos puede ser por medio de propagación vegetativa así como a través de la reproducción sexual, y está fuertemente influenciada por las condiciones ambientales, la fenología y las características ecofisiológicas de cada especie (Abrams, 2003).

Las diferentes condiciones ambientales en las etapas tempranas del ciclo de vida de una planta, como es la germinación, generan respuestas que pueden afectar el éxito de las especies para colonizar distintos ambientes (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

La clasificación de las especies de *Quercus* en encinos rojos o negros y encinos blancos es concordante (en la inmensa mayoría de los casos) con algunos de sus atributos ecofisiológicos y fenológicos (Goodrum *et al.*, 1971). Así, la época del año en la que las bellotas de los encinos están maduros y listos para dispersarse es de agosto a diciembre aunque existen variaciones dependiendo de la especie, el año y la localidad (Young y Young, 1992). Las bellotas de algunos

encinos rojos maduran a mediados de verano y las de algunos blancos a mediados de otoño (McPherson, 1992).

Las bellotas de los encinos rojos suelen madurar en dos años, el embrión presenta latencia y las semillas germinan durante la primavera posterior a su dispersión en verano del año anterior. Esto podría deberse a que muchas de las especies de este tipo de encinos necesitan un tratamiento de estratificación para germinar. Por otro lado, las bellotas de los encinos blancos suelen madurar en un año, no presentan latencia y germinan inmediatamente después (o incluso antes) de que son dispersadas (Young y Young, 1992).

Las bellotas de los encinos rojos se dispersan con un contenido de humedad menor que las bellotas de los encinos blancos, entre 29-33% para algunas especies del primer tipo y entre 39-52% para especies del segundo (Doodrum *et al.*, 1971). Sin embargo, para evitar la pérdida de viabilidad de las bellotas de los encinos rojos el contenido de humedad debe de mantenerse entre 20 y 30% y entre 30 y 50% para los encinos blancos (Young y Young, 1992).

Los encinos blancos crecen más lento que los rojos, pero los primeros son más longevos, más resistentes al fuego y a la sequía, aunque no se recuperan de disturbios con un alto grado de severidad. Los encinos rojos, por su parte, son más tolerantes a la sombra y por lo tanto, son mejores competidores bajo el dosel de un bosque cerrado dominado por especies tolerantes a la sombra (Abrams, 2003).

6.6 Tipos de semillas según su comportamiento en almacenamiento

Una herramienta útil en cualquier programa de restauración, conservación y manejo de recursos vegetales, es la de conocer el comportamiento en almacén de las semillas, tomando en cuenta que éste comienza en el momento en que las semillas maduran y termina cuando son sembradas y embebidas (Harrington, 1973). Este comportamiento tiene además fuertes implicaciones en las estrategias de regeneración de las especies, ya que está relacionado con la longevidad de las semillas en las diferentes condiciones ambientales.

Las semillas pueden clasificarse en cuatro grandes tipos según su comportamiento durante el almacenamiento (según Bonner, 1990):

- 1) Ortodoxas verdaderas: son aquellas semillas que se dispersan de la planta madre con contenidos de humedad bajos y adquieren una tolerancia a la desecación durante su desarrollo. Estas semillas pueden almacenarse por periodos de tiempo relativamente amplios a temperaturas por debajo de 0 °C si sus contenidos de humedad se reducen por debajo del 10 %. Muchas de las especies de los géneros de valor económico de las zonas templadas están clasificados como ortodoxas verdaderas, entre ellos están *Abies*, *Alnus*, *Betula*, *Fraxinus*, *Larix*, *Picea*, *Pinus*, *Platanus*, *Prunus*, *Pseudotsuga* y *Tsuga*. Dentro de los géneros de importancia económica en los trópicos están *Acacia* y otras leguminosas, *Eucalyptus*, *Casuarina* y *Gmelina*.
- 2) Sub-ortodoxas: semillas que pueden almacenarse casi bajo las mismas condiciones que las ortodoxas verdaderas pero por periodos de tiempo más

cortos. Incluyen aquellas semillas con altos contenidos lipídicos y cubiertas delgadas. Algunos ejemplos de este tipo de semillas son *Juglans nigra*, y algunas especies del género *Carya*, *Populus*, y *Salix*.

- 3) Recalcitrantes templadas: semillas que se dispersan de la planta madre con contenidos de humedad altos, poseen un metabolismo activo, no adquieren una tolerancia a la desecación durante su desarrollo y tienen como limitantes de almacenamiento, que no pueden secarse hasta contenidos de humedad bajos, pero pueden conservarse en temperaturas cercanas a cero. Algunas especies del género *Quercus* y *Aesculus*, presentan este tipo de semillas.
- 4) Recalcitrantes tropicales: necesitan los mismos requerimientos de humedad que las recalcitrantes templadas pero son sensibles a las bajas temperaturas. Las semillas de algunas especies del género *Shorea*, *Hopea* y *Theobroma cacao* son ejemplos de este tipo de semillas.

La viabilidad de las semillas ortodoxas en almacenamiento depende de las condiciones de humedad y temperatura en las que se les mantenga. Por ello una disminución en estos dos parámetros ambientales, aumenta el periodo de tiempo en el que mantienen su viabilidad (Ellis, 1991).

El almacenamiento de las semillas recalcitrantes es más complicado; sin embargo, se han sugerido técnicas de almacenamiento en imbibición y de cryopreservación de los embriones que podrían resultar de entre las más efectivas para conservar la viabilidad de las semillas de estas especies (Bonner, 1990).

Es necesario mencionar no existen relaciones filogenéticas claras entre las especies que producen semillas recalcitrantes y ortodoxas, ya que especies con ambos tipos de semillas se presentan en familias consideradas tanto primitivas como recientes; además dentro de un mismo género de ambas familias se han reportado especies recalcitrantes y ortodoxas. Se ha sugerido que las semillas que aparecieron primero en el curso de la evolución fueron sensibles a la desecación, sin embargo la tolerancia a ésta, apareció tempranamente y probablemente varias veces independientemente (Pammenter y Berjak, 2000). Por lo anterior se puede decir que la clasificación citada anteriormente refleja adaptaciones fisiológicas de las semillas, que a su vez tienen fuertes implicaciones en las estrategias de regeneración de las especies en los distintos hábitats donde se distribuyen.

6.7 Tolerancia de las semillas a la desecación

El desarrollo de las semillas ortodoxas puede dividirse en tres grandes etapas (Fig. 1):

- 1) Histodiferenciación: en la que el cigoto unicelular experimenta múltiples divisiones mitóticas de tal forma que las células resultantes se diferencian formando las estructuras embrionarias (el eje y los cotiledones) y de almacén de reservas (endospermo triploide).
- 2) Expansión celular y depositación de reservas: caracterizada por la vacuolización y la acumulación de reservas como lípidos, almidón y proteínas. La adquisición de la tolerancia a la desecación es un proceso que comienza durante esta etapa del desarrollo de las semillas.

3) Secado de maduración: periodo durante el cual se produce una disminución de la actividad metabólica y de los niveles de ácido abscísico (Kermode, 1990).

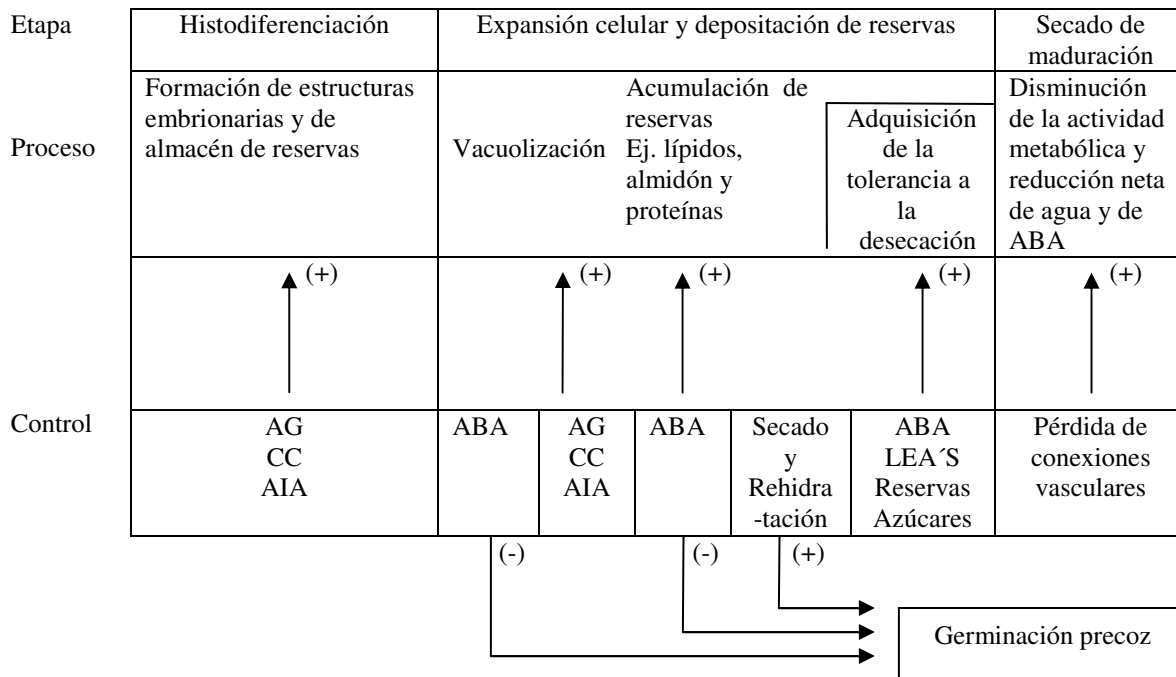


Figura 1. Procesos y posibles controles de éstos durante el desarrollo de las semillas ortodoxas. AG = Ácido Giberélico; CC = Citocininas; AIA = Ácido Indolacético; ABA = Ácido Abscísico; LEA = (por sus siglas en inglés late-embryogenesis-abundant) Proteínas abundantes en la embriogénesis tardía (Modificado de Kermode, 1990).

Las semillas recalcitrantes experimentan una etapa de histodiferenciación similar a las semillas ortodoxas, la cual es seguida de una fase de acumulación de reservas; sin embargo, las primeras semillas mencionadas muestran un patrón de desarrollo indeterminado en el que la biomasa continua aumentando hasta que las semillas son dispersadas. (Finch-Savage y Blake, 1994). En todas las especies recalcitrantes estudiadas hasta la fecha, (a excepción del mangle *Avicennia marina*), se ha reportado un decremento en el porcentaje del contenido de humedad hacia el final del desarrollo, no obstante este no es un secado de maduración en el sentido de pérdida neta de agua, lo que sucede es que la

biomasa seca se acumula mucho más rápido que el agua. En el caso de *A. marina* los contenidos de humedad no cambian durante el desarrollo de las semillas, de manera que la materia seca y el agua se acumulan a la misma tasa, lo cual probablemente es debido a que la mayoría de las reservas en esta especie son azúcares solubles más que materia insoluble (Pammenter y Berjak, 1999).

Por otro lado, proteínas parecidas a las dehidrinas, sustancias ligadas a la adquisición de la tolerancia a la desecación en semillas ortodoxas, dentro de las cuales se suelen clasificar a las proteínas LEA (late-embryogenesis-abundant/abundantes de la embriogénesis tardía), se encuentran consistentemente en semillas recalcitrantes de especies templadas, pero están generalmente ausentes en las semillas recalcitrantes de los humedales tropicales (Farrant *et al.*, 1996). En el caso del *Quercus robur* L. se ha propuesto que la sensibilidad a la desecación no es debida a la falta de acumulación de dehidrinas, ABA o azúcares solubles sino a que no presentan un periodo de secado rápido, por lo que se denomina a su desarrollo como indeterminado (Finch-Savage y Blake, 1994).

La respuesta tan variable a la tolerancia a la desecación en semillas recalcitrantes está relacionada con la presencia, ausencia e intensidad de ciertos factores durante la embriogénesis, dentro de estos factores destacan las características físicas de las células y los constituyentes intracelulares, la acumulación de reservas insolubles, la desdiferenciación intracelular, la disminución del metabolismo, la presencia y eficiencia de sistemas antioxidantes, la acumulación de sustancias propuestas como protectoras de la desecación, incluyendo las proteínas LEA, sucrosa, otros oligosacáridos y otras moléculas

anfipáticas, la presencia y el papel de las oleosinas y la presencia y operación de los sistemas de reparación durante la rehidratación (Pammenter y Berjak, 1999).

Debido a lo anterior, la única diferencia generalizada en el desarrollo de las semillas recalcitrantes con respecto a las ortodoxas, es que las primeras no presentan una etapa de secado de maduración o ésta es incompleta y por lo tanto no adquieren una tolerancia a su desecación (Farrant *et al.*, 1993).

6.8 El endurecimiento de las semillas y su relación con la germinación

Los tratamientos pre-germinativos de hidratación-deshidratación son aquellos que revigorizan a las semillas envejecidas, aceleran y uniforman la germinación (acondicionan) e incrementan los rendimientos de las plantas bajo condiciones óptimas y adversas (robustecen o endurecen) (Sánchez *et al.*, 2001).

Los métodos de hidratación antes de la siembra, se clasifican dentro de dos grupos:

1) en los que el suministro de agua a las semillas es controlado por el ambiente que les rodea, por medio de: a) soluciones osmóticas (osmopriming), b) partículas sólidas (matric priming) y c) limitar la actividad fisiológica del agua reduciendo la temperatura (hydropriming).

2) en los que el suministro de agua es controlado por el tiempo en que se mantiene en contacto la semilla con suficiente cantidad del líquido y por la afinidad que se establece entre los tejidos seminales y el agua (Taylor, *et al.*, 1998).

Los métodos de hidratación parcial de semillas consisten en embeber a éstas para que se lleven a cabo los procesos metabólicos que conducen a la germinación, sin permitir la elongación de la radícula (Bray, 1995).

La germinación es un fenómeno de crecimiento especializado que se divide en tres fases:

a) Fase I o imbibición que se caracteriza por la rápida entrada de agua a la semilla por factores puramente físicos, este incremento en el contenido de humedad permite el incremento de la respiración, el inicio de la movilización de los carbohidratos y las proteínas de reserva en el embrión así como el inicio de la síntesis de proteínas. Se da la reparación del DNA y mitocondrial así como la producción de proteínas usando mRNA existente y recientemente sintetizado.

b) Fase II o fase Lag es en la que ocurren la mayoría de los procesos metabólicos necesarios para la elongación de la radícula y en esta fase la semilla es sensible a la temperatura. Además de los procesos moleculares citados para la fase I, en la fase II se da la síntesis de mitocondrias, y se producen dos mecanismos fisiológicos sucesivos para el incremento de humedad del embrión y su crecimiento; el primero de estos mecanismos está dado por la acumulación en las células de sustancias osmóticamente activas y el segundo mecanismo consiste en la activación de la bomba de protones acidifica las paredes celulares e incrementa la plasticidad estructural de las mismas, lo que permite el incremento del contenido de humedad, el inicio de la vacuolización y el crecimiento celular.

c) Fase III es en la que se inicia la movilización de reservas de los cotiledones, que asegura el crecimiento de la plántula, además es en la fase en la que se produce la elongación de la radícula (Sánchez *et al.*, 2001; Bewley, 1997).

El endurecimiento de semillas a partir de ciclos de hidratación y deshidratación, previene el comienzo de la fase III, debido a la parte en la que la semillas se deshidratan, por lo que se prolonga el tiempo de reacción de los procesos de la fase II lo que provoca una sincronización y reducción en el tiempo de germinación y un mayor porcentaje de la misma, aunque esto no se ha reportado en todas las especies (Karseen *et al.*, 1990).

La pérdida de viabilidad o deterioro de las semillas se debe fundamentalmente a la acumulación de radicales libres, de inhibidores de crecimiento, a la disminución de las sustancias de reservas, y a la desnaturalización de ácidos nucleicos y proteínas (Sánchez *et al.*, 2001). Por otro lado los tratamientos de hidratación parcial además de producir la activación del aparato metabólico relacionado con las fases pre-germinativas, restauran la integridad de las células (auto-reparación enzimática de las membranas) a través de la síntesis de lípidos, proteínas ARN y DNA (Bewley, 1997).

Un incremento en el porcentaje de germinación y en un mejoramiento en el vigor de las semillas y plántulas, considerando a lo anterior, significa que el endurecimiento revierte la deterioración; se ha reportado que semillas endurecidas presentan síntesis de DNA reparado, síntesis temprana de RNA y acumulación de proteínas que intervienen en la activación del ciclo celular (Powell *et al.*, 2000).

Los cambios metabólicos ocurridos durante el endurecimiento y sus consecuencias funcionales son equivalentes a lo que ocurre en las semillas que han estado expuestas al microclima del suelo antes de su germinación; esto se comprobó en el Valle de México, donde se registró una mayor emergencia y supervivencia en las plántulas de *Wigandia urens* derivadas de semillas

enterradas o sea sometidas a un endurecimiento denominado como natural, porque se simula la estancia de los propágulos en el banco de semillas (González-Zertuche *et al.*, 2001).

Otros trabajos realizados en el Ajusco también han demostrado que las plántulas de *Dodonea viscosa*, tienen mayor crecimiento y supervivencia en zonas perturbadas, cuando las semillas han estado sujetas con anterioridad a tratamientos de endurecimiento natural (Benítez, 2005). Esto sugiere que la permanencia en el suelo proporciona a las semillas y a las futuras plántulas una aclimatización que les permite tener un mejor desempeño en el campo. Este método no puede ser aplicado en especies con semillas recalcitrantes ya que podrían perder su viabilidad durante el enterramiento, por lo que es necesario explorar el efecto de tratamientos de endurecimiento (priming) de laboratorio.

En la práctica agrícola la utilización de estos tratamientos se ha visto limitada por la falta de uniformización u optimización de los tratamientos en cada especie, variedad o lote particular, el costo que resulta de la aplicación a grandes volúmenes de semillas y por la inadecuada extensión y divulgación de los métodos (Sánchez *et al.*, 2001).

7. MÉTODO

7.1 Zona de estudio

En la zona conocida como Lomas del Seminario localizada en la parte media de la sierra del Ajusco, México D. F., se generaron asentamientos irregulares (en gran medida debido al crecimiento desmesurado de la población) que provocaron una perturbación del medio ambiente. Ante tal problemática, en 1987 se expropió la zona, y en 1989 se funda en ésta el Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM) con la publicación del decreto correspondiente en el Diario Oficial de la Federación (González-Hidalgo *et al.*, 2001). Actualmente el área se considera como Zona Sujeta a Conservación Ecológica (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2005). No obstante en la actualidad aún se encuentran dentro del parque asentamientos irregulares siendo un seminario religioso el que abarca la mayor extensión. Además, esta área natural protegida está casi totalmente rodeada por la mancha urbana de la Ciudad de México (Fig. 2).

La superficie total del PECM es de aproximadamente 727 ha, ubicadas al poniente de la ciudad, dentro de los límites de la Delegación Tlalpan, entre los 19° 10´ y 19° 14´ de latitud N y los 99° 16´ y 99° 13´ de longitud O (Soberón *et al.*, 1991). La altitud de la zona va de los 2360 a los 2860 m snm, limitando al noroeste con el centro Ecoguardas, al sureste con la carretera Federal México-Cuernavaca y el poblado de San Andrés Totoltepec, al noreste con la delegación Magdalena

Contreras y al norte con la carretera Panorámica Picacho-Ajusco y el poblado Lomas de Belveder (González-Hidalgo *et al.*, 2001).

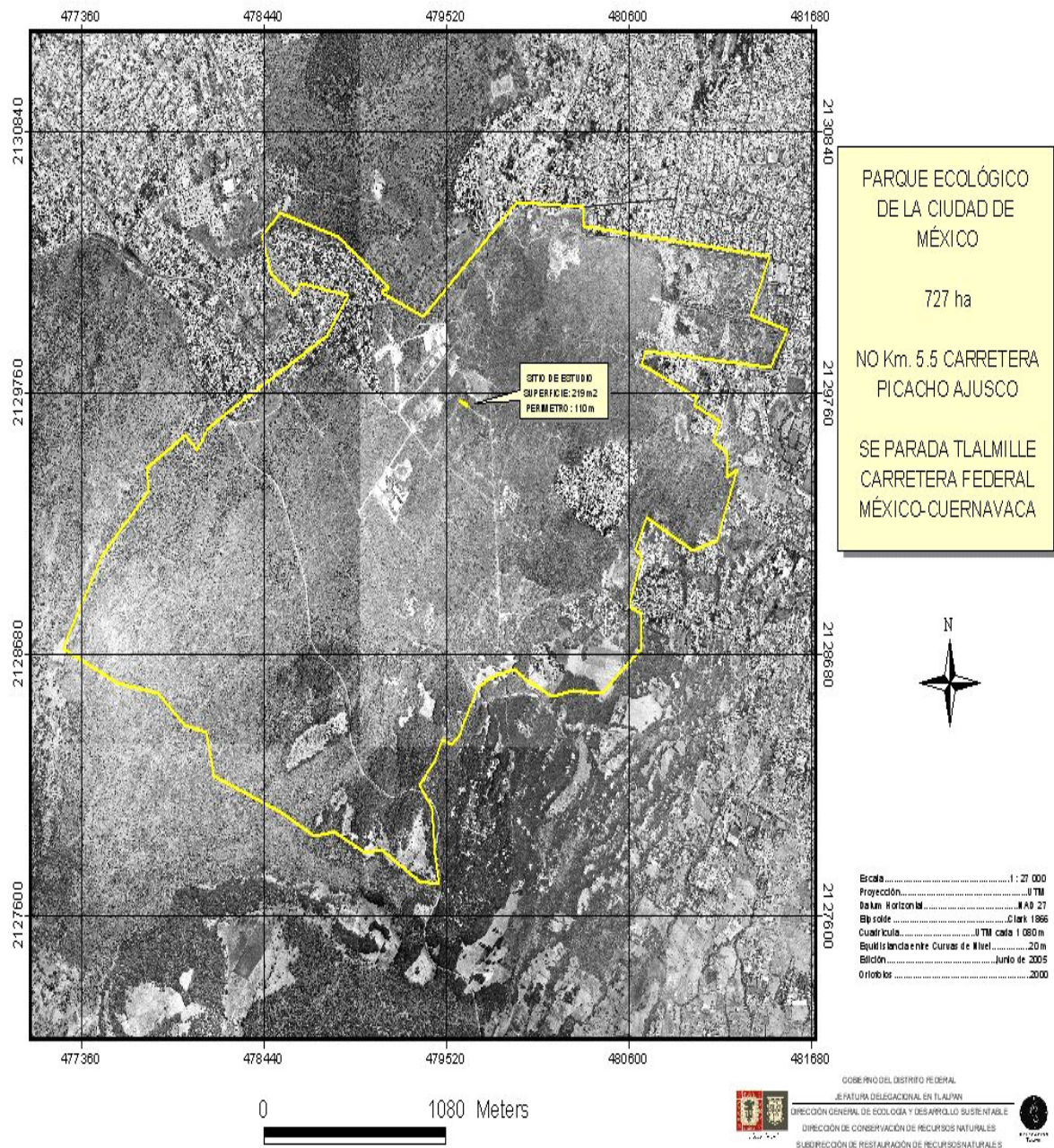


Figura 2. Límites del Parque Ecológico de la Ciudad de México. Tomado de Benitez, 2005.

La aparición de la sierra del Ajusco incluyendo al volcán Xitle data de mediados del periodo del Mioceno de la era Terciaria. El PECM se encuentra

sobre el pedregal originado hace 2400 años como consecuencia de la erupción de dicho volcán. La roca madre se encuentra constituida principalmente de basalto, cuarzo con o sin olivino, andesitas basálticas, andesitas de enfíbola, piroxena, piedra pómez con y sin cuarzo (Yarza, 1992 en González-Hidalgo *et al.*, 2001).

Debido en gran medida al tipo de sustrato, la zona es uno de los principales sitios de recarga de los mantos acuíferos que abastecen a la Ciudad de México (Bonfil *et al.*, 1997).

El tipo de clima del sitio es templado húmedo, la temperatura media del mes más frío es de 9.1 °C y de 13.9 °C la del mes más caliente, la oscilación térmica promedio es de 4.7 °C. La precipitación en el mes más seco es de 8.9 mm y en el más húmedo es de 229.5 mm (García, 1988).

Los tipos de vegetación primaria reconocidos en la zona son el matorral xerófilo (que se presenta sobre un sustrato rocoso) y abarca la mayor extensión en el área y el bosque de *Quercus* (sobre un suelo húmico negro con abundante hojarasca) donde *Quercus rugosa* es la especie con mayor frecuencia relativa, densidad relativa, cobertura relativa e índice de importancia (González-Hidalgo *et al.*, 2001).

El Ajusco medio se caracteriza por presentar un gran porcentaje de la biodiversidad total del Valle de México, encontrándose el siguiente número de especies:

Grupo	Número de especies Ajusco medio	Porcentaje del total de especies del Valle de México
Flora	420	20.3
Aves	104	32
Mamíferos	17	19.5
Mariposas diurnas	108	67.5

* Tomado de Bonfil *et al.*, 1997.

7.2 Descripción de la especie

Quercus rugosa Née (Fagaceae)

Familia Fagaceae

Género *Quercus*

Subgénero *Quercus*

Sección *Quercus* (encinos blancos)

Nombres comunes en México: Encino de asta (Col.); Encino blanco (BC.); Encino cuero (Chih.); Tulán, Roble (Chis.); Encino blanco liso (Dgo.); Encino quiebra hacha (Hgo.); Encino roble (Gro., Mich.); Cu-hó (l. chinanteca, Oax.); Palo colorado (S.L.P.); T-nuyá (l. zapoteca, Oax.); Encino avellano, Tocuz (Mich.); Alvellana, Avellana, Encino de miel, Encino prieto, Encino negro, Sharari (otras localidades) (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; www.semarnat.gob.mx).

Sinonimias: *Quercus ariifolia* Trel.; *Quercus bonplandiana* Sweet.; *Quercus conglomerata* Trel.; *Quercus decipiens* Mart. & Gal.; *Quercus diversicolor* Trel.; *Quercus durangensis* Trel.; *Quercus innuncupata* Trel.; *Quercus purpusi* Trel.; *Quercus reticulata* Humb. & Bonpl.; *Quercus rhodophlebia* Trel.; *Quercus spicata* Humb. & Bonpl.; *Quercus spicata* Liebm.; *Quercus suchiensis* Warb.; *Quercus uhdeana* Trel.; *Quercus vellifera* Trel. (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

Descripción morfológica:

- a) Forma de vida: árbol que alcanza hasta 30 m de altura, y entre 30 y 50 cm de diámetro a la altura del pecho (d.a.p.); sin embargo, se han reportado individuos de hasta 1.2 m de d.a.p. (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).
- b) Copa: amplia y redondeada que proporciona una sombra densa (Martínez y Chacaló, 1994).
- c) Corteza: con fisuras profundas, color café oscuro (Martínez y Chacaló, 1994).
- d) Hojas: ovadas, elíptico-obovadas o casi suborbiculares, de 4 a 20 cm de largo, por 2 a 13 cm de ancho. Al madurar suavemente engrosadas, rígidas, rugosas y notablemente cóncavas por el envés. Ápice anchamente obtuso o redondeado, margen engrosado y crenado, con ondulaciones hacia la mitad distal, base redondeada o cordada, nervadura pinnada, con 8 a 12 pares de nervios laterales. Haz lustroso y glabro, envés tomentoso con abundantes pelos glandulares, color ámbar o rojizo, epidermis glauca, cerosa y papilosa. Peciolos pubescentes de 3 a 13 mm de largo (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; Martínez y Chacaló, 1994; Rodríguez-Sánchez y Cohen, 2003; www.semarnat.gob.mx).
- e) Inflorescencia: amentos masculinos de 3 a 7 cm de largo, tomentosos, periantosésiles; flores femeninas en racimos de 5 a 30 flores, distribuidas a lo largo de un pedúnculo largo, delgado y pubescente (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; Martínez y Chacaló, 1994).
- f) Frutos: anuales, solitarios o en grupos de 2 a 5 largo-ovoides de color café claro, miden de 8 a 30 mm de largo y 5 a 15 mm de diámetro, una tercera

parte o la mitad de su largo incluida en la cúpula hemisférica y con escamas café-pubescentes (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

- g) Semillas: ovoide, con frecuencia angosta y puntiaguda, se encuentra envuelta por una cubierta rígida. El embrión está formado en su mayor parte por los cotiledones que se mantienen turgentes dentro del pericarpio y constituyen una alta proporción del peso seco de la semilla (53 a 75 %) (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).
- h) Raíz: sistema radicular profundo (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).
- i) Sexualidad: monoica (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

Fenología:

Follaje: perennifolio/caducifolio. La caída de las hojas es de diciembre a abril.

Floración: de marzo a junio.

Maduración de los frutos: de octubre a febrero.

Polinización: anemócora

(Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; Rodríguez-Sánchez y Cohen, 2003).

Origen y distribución: Su distribución va del oeste de Texas y el sur de Arizona, Estados Unidos, hasta Chiapas México. Se considera de amplia distribución dentro del país, localizándose en las regiones de entre 1100 a 3150 m de altitud en los estados de Aguascalientes, Baja California, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, D.F., Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz, y Zacatecas (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; Calderón y Rzedowski, 2001).

Tiene amplia distribución dentro de las partes altas (de entre 2500 y 3150 m snm) de la Ciudad de México; por ejemplo en el Bosque del Pedregal y el Bosque de Chapultepec (Martínez y Chacaló, 1994; Calderón y Rzedowski, 2001).

Hábitat, vegetación y zona ecológica: se desarrolla en climas templados fríos y semifríos; en la zona templada subhúmeda. Las condiciones en las que se le encuentra en el pedregal de San Ángel son a una temperatura promedio anual de 12 a 13 °C y una precipitación de 1540 y 1619 mm anuales. Se le encuentra en suelos someros o profundos, en ocasiones rocosos y pedregosos, ácidos, secos o húmedos. Los tipos de vegetación en los que se encuentra son el bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de pino, bosque mesófilo de montaña, matorral subtropical y malpaís (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

Fisiología: es de lento crecimiento, vive de 100 a 150 años (Martínez y Chacaló, 1994). La tasa de crecimiento inicial en altura (primeras 6 semanas) es de 0.0034 cm día⁻¹; como otros encinos presenta una forma de crecimiento en “pulsos”, de forma que se presentan unos cuantos eventos o pulsos de crecimiento rápido que tienen marcada estacionalidad (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). La tasa de descomposición foliar es lenta y produce 6.9 kg de materia seca por planta adulta (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

Las semillas presentan gran variación en tamaño y peso fresco. En la zona del Ajusco, las semillas de *Quercus rugosa* pesan de 0.75 a 5.23 g con un promedio de 1.99 g (Bonfil, 1998) y en los Altos de Chiapas de 0.9 a 3.5 g (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). Se ha visto que el tamaño tiene un efecto

importante en la supervivencia y establecimiento de las plántulas y que el peso fresco de las semillas es un buen indicador de la cantidad de reservas disponibles para la plántula (Bonfil, 1998).

Las semillas son recalcitrantes, no presentan latencia y pueden almacenarse durante 3 meses, en recipientes cerrados que permitan cierta aeración en sitios secos y sombreados, sin perder la viabilidad (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

Los dispersores, que también pueden consumir las semillas, son aves y mamíferos, principalmente roedores (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

La germinación es de tipo hipógea y se completa entre las 3 y 5 semanas, alcanzando un porcentaje de germinación de entre 50 y 30 %, que tiende a aumentar con el peso de la semilla; el tiempo en el que se alcanza el 50 % de germinación acumulada es de 15 días. Se ha reportado que no requiere de ningún tratamiento pre-germinativo (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999); sin embargo popularmente se recomienda que se las semillas se coloquen en agua antes de sembrarse, a pesar de lo cual la germinación es muy asincrónica.

Regeneración: el tamaño de las semillas es un indicador de la cantidad de reservas disponibles para la plántula; por ello, que se ha sugerido que la notable variación del tamaño de las semillas observada en *Quercus rugosa* podría estar relacionada con una estrategia de regeneración en un mosaico heterogéneo de micrositios diferentes en condiciones físicas y bióticas; sin embargo, la falta de sitios lo suficientemente sombreados y húmedos, así como la depredación por roedores impide la germinación de una alta proporción de semillas (Bonfil, 1998).

El reclutamiento se favorece en lugares mésicos, no totalmente expuestos, ni demasiado sombreados por el sotobosque, de manera que los bordes de los bosques donde se reducen la competencia con las herbáceas y las tasas de evapotranspiración, han resultado ser los lugares idóneos para el reclutamiento; de hecho en el matorral perturbado prácticamente no existe regeneración natural y el establecimiento se facilita bajo “nodrizas” (Bonfil, 1998).

Efectos restauradores: se ha encontrado que *Quercus rugosa* puede mejora la productividad del ecosistema al aportar nutrientes al suelo mineral por la descomposición de la hojarasca; estabilizadora del suelo, evita la erosión y genera piso forestal; preserva el equilibrio ecológico de cuencas y contribuye a la infiltración y la conservación de los mantos acuíferos subterráneos (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999).

Tolerancias: resistente a la sequía en estado adulto; tolerante a suelos ácidos, someros, secos y pedregosos. Es tolerante a las heladas y a la contaminación ambiental principalmente a la de los fluoruros. También tolera las podas (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; Martínez y Chacaló, 1994).

Plagas: la mariposa *Anisota* sp. en estado larvario come las hojas. La mosca blanca *Hesperaleryodes* sp., la escama *Protodiapsis* sp. y la araña roja *Oligonychus* sp. extraen la savia de la planta (Martínez y Chacaló, 1994). Las larvas de *Curculio occidentalis* hacen túneles dentro de la semilla, lo que causa daño parcial o la muerte (Rodríguez-Sánchez y Cohen, 2003).

Usos: como leña y carbón; la gran cantidad de taninos de la corteza se aprovecha para curtir pieles; se usa como alimento para ganado; se emplea en la fabricación de mangos de herramientas, pilotes, postes para cerca; se utiliza en la elaboración de pulpa para papel; uso medicinal ya que la corteza tiene propiedades astringentes y es auxiliar para detener pequeñas hemorragias y reducir inflamaciones de la piel producidas por ortigas y picaduras de insectos, además ayuda a apretar los dientes, se dice que el café de la bellota ayuda a atenuar la embriaguez (Martínez y Chacaló, 1994).

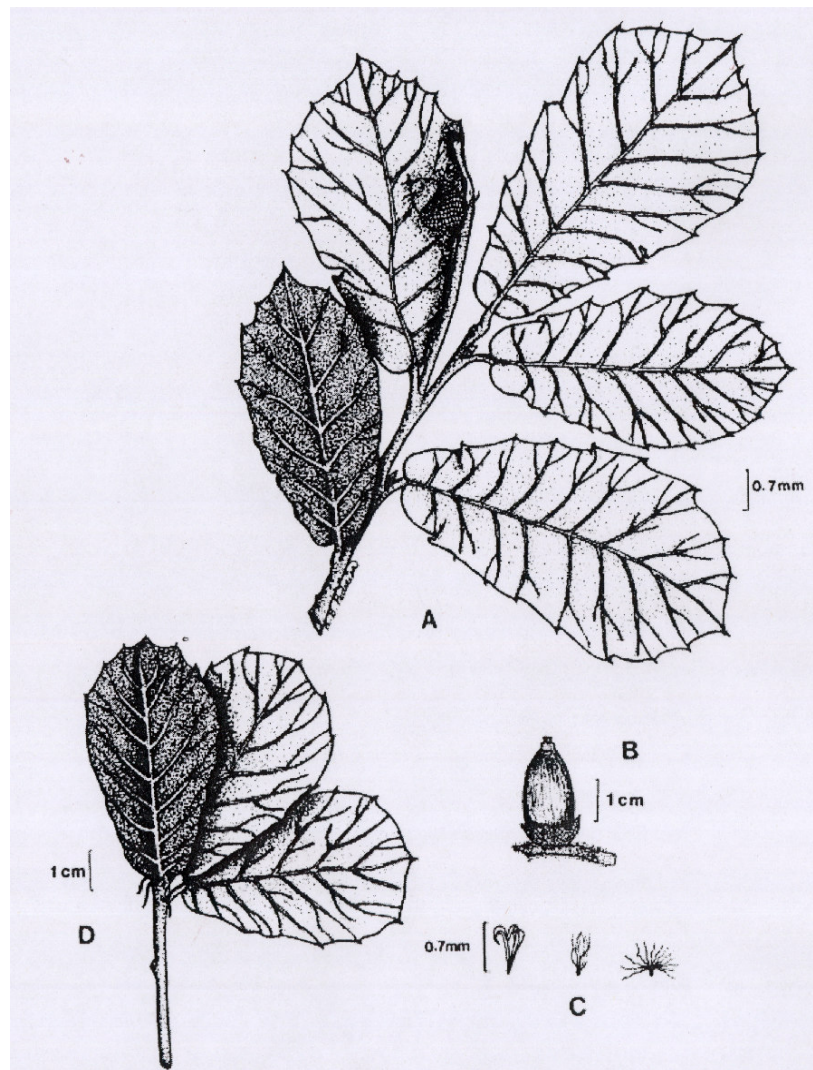


Figura 3. Hojas, flores y fruto de *Quercus rugosa*. Tomado de Romero-Rangel *et al.*, 2002.

7.3 MATERIALES Y MÉTODOS

7.3.1 Determinación del contenido de humedad de las bellotas

Las bellotas de *Quercus rugosa* se colectaron directamente de los árboles localizados en matorrales secundarios del Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), situado en el Ajusco medio. Inmediatamente después las semillas se trasladaron en bolsas de papel al laboratorio de Ecología Fisiológica del Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.

La determinación del contenido de humedad se realizó el mismo día de la colecta, a partir de los pesos de 30 bellotas, antes y después de un periodo de 7 días de permanencia en una estufa (Riossa, CSCFME) a 70 °C. La cantidad de agua inicial e individual de las semillas se obtuvo según Hong y Ellis, 1996 según como un porcentaje de su biomasa seca, $CH_{bs} = ((\text{peso fresco} - \text{peso seco} / \text{peso seco}) \times 100)$ y como un porcentaje de su biomasa húmeda, $CH_{bh} = ((\text{peso fresco} - \text{peso seco} / \text{peso fresco}) \times 100)$.

Se realizaron análisis de regresión entre el contenido de humedad (tanto base seca como base húmeda) y el peso fresco, el peso seco, el ancho y el largo de las bellotas. Además, se relacionó el largo y el ancho con el peso fresco y el peso seco de las bellotas; así como el peso fresco con el peso seco de las mismas.

7.3.2 Determinación de las tasas de hidratación y deshidratación de las bellotas

La tasa de hidratación se obtuvo al sumergir 30 bellotas en agua y colocarlas en un cuarto con ambiente controlado, donde la temperatura ambiental fue de 21 °C y la humedad relativa del 23% aproximadamente. Cada una de las bellotas fue pesada inicialmente cada cuatro horas las primeras 12 horas, posteriormente los intervalos entre mediciones se incrementaron de acuerdo con los cambios en la velocidad de hidratación y se concluyeron después de 173 horas (aproximadamente 7 días).

Con base en la diferencia de peso de las bellotas a través del tiempo se calculó el porcentaje del contenido de humedad con base en la biomasa seca; posteriormente se realizó la transformación al arcoseno de los datos, y éstos se ajustaron a la curva $y = a + bx^c$. Donde “y” corresponde a un punto en el eje de las abscisas; “a” a la ordenada al origen; “b” a la pendiente de la curva; “x” a un punto en el eje de las ordenadas y “c” a una constante. Posteriormente se calculó la primera derivada máxima de cada curva ajustada que equivale a la tasa instantánea máxima de hidratación de cada bellota.

Las tasas de deshidratación se determinaron en lotes de 30 bellotas en cuatro condiciones diferentes:

- 1) en bellotas recién colectadas colocadas en una charola situada dentro de un cuarto con ambiente controlado a una temperatura de 21 °C.
- 2) en bellotas previamente hidratadas durante siete días (estas bellotas fueron las mismas utilizadas para estimar la tasa de hidratación) y posteriormente colocadas

en una charola situada dentro de un cuarto con ambiente controlado a una temperatura de 21 °C.

3) en bellotas colocadas en cajas de petri con una superficie húmeda de agar. Estas cajas se situaron en un cuarto con ambiente controlado a una temperatura de 21 °C.

4) en bellotas puestas en una charola, dentro de un refrigerador a 5 °C.

El cuarto de ambiente controlado donde permanecieron las bellotas que se utilizaron para estimar las tasas de deshidratación, es el mismo en el que se colocaron las bellotas usadas para calcular la tasa de hidratación por lo que las condiciones ambientales son las mismas. Por otro el refrigerador mantenía una temperatura de 5 °C y una humedad relativa de 28% aproximadamente. Para registrar la humedad relativa y la temperatura en el cuarto de ambiente controlado y del refrigerador, se instaló un microdatalogger (modelo H01-001-01 HOBO Onset Computer Corporation Pocasset, MA, USA) que registró mediciones durante una semana.

Cada una de las bellotas fue pesada inicialmente cada cuatro horas durante las primeras 12 horas y posteriormente los intervalos entre las mediciones se incrementaron de acuerdo con los cambios en la velocidad de deshidratación y se concluyeron después de 643 horas (26 días). Posteriormente las bellotas se colocaron en una estufa a 70 °C durante dos días para registrar los pesos secos.

El contenido de humedad se determinó con base en su biomasa seca; dichos valores se transformaron al arcoseno y se ajustaron a la curva $y = a + b^{(-x/$
°). Las letras de la curva corresponden a los mismos parámetros mencionados anteriormente.

Las tasas instantáneas máximas de deshidratación correspondieron a la primera derivada mínima de cada curva ajustada y se compararon al igual que los valores finales del contenido de humedad, mediante una prueba de Kruskal-Wallis; las diferencias entre los tratamientos se establecieron por medio de una gráfica de cajas y bigotes (Zar, 1974).

Las tasas de deshidratación e hidratación así como los contenidos de humedad iniciales y finales sirvieron de referencia para aplicar los tratamientos de endurecimiento de las bellotas.

7.3.3. Pruebas iniciales de germinación y tratamientos de endurecimiento

En el laboratorio las bellotas se introdujeron en un desecador con éter por un día para evitar daños por insectos; posteriormente las bellotas se sembraron sobre agar al 1% dentro de cajas de plástico con tapa (23 × 17 × 4 cm de largo, ancho y profundidad, respectivamente). Se establecieron tres réplicas de 30 semillas cada una para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos; cada semilla se colocó en posición vertical, con el micrópilo hacia abajo. Las cajas de plástico se introdujeron en una cámara de ambiente controlado (modelo 844 Lab-line Instruments Inc., Melrose Park, Illinois) a una temperatura constante de 24 °C y con un fotoperiodo de 12 horas con luz blanca provista por lámparas de luz fría de 20 W (Silvana, USA). El flujo fotónico dentro de la cámara fue de 24 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ y la relación Rojo:Rojo Lejano de 6.1. Las mediciones de cantidad y calidad de luz fueron realizadas con un cuantómetro LI-185B (LI-COR, Inc., USA), y con un radiómetro SKR-100 (Skye Instruments, Skye, UK) respectivamente.

La germinación se registró cada tercer día, considerando a una semilla germinada cuando la radícula emergió de 3 a 5 mm a través de la cubierta seminal.

Los tratamientos iniciales de germinación (previos a los experimentos de endurecimiento) aplicados a las bellotas, fueron cinco: a) escarificación, se hicieron dos ranuras laterales a las bellotas con la ayuda de una navaja; b) exposición a 50 °C en un horno durante dos horas; c) exposición a 5 °C por una semana (7días); d) exposición a 5 °C por 26 días; e) control (ningún tratamiento). Estos tratamientos se establecieron para conocer las condiciones de temperatura más adecuadas para realizar los tratamientos pre-germinativos de endurecimiento. Además, de para conocer el efecto de la escarificación en la germinación de la especie de estudio.

Para los tratamientos pre-germinativos de endurecimiento, las bellotas se escarificaron de igual manera que en uno de los tratamientos iniciales de germinación, para de esta forma acelerar la entrada de agua a la bellota. Posteriormente las bellotas se colocaron en cajas de plástico con una cantidad de agua que no las cubriera totalmente. La duración de los ciclos de hidratación-deshidratación se estableció con base en el tiempo en el que la curva de hidratación comenzó a ser asintótica, lo que equivale a 48 horas.

El tratamiento de un ciclo de hidratación-deshidratación constó de dos días de hidratación y dos días de deshidratación. El segundo tratamiento fue de dos ciclos consecutivos de igual duración que el anteriormente mencionado. Y se estableció uno más de tres ciclos. Los tres tratamientos se realizaron a 21 °C (en el cuarto de ambiente controlado) y 5 °C (en el refrigerador).

Los pesos de las semillas durante los ciclos de hidratación-deshidratación se registraron diariamente durante los días que duró el tratamiento, después de lo cual se calculó el porcentaje de contenido de humedad de las semillas utilizando la siguiente fórmula: $CH = ((\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}) / \text{Peso seco}) \times 100$. El peso seco de cada semilla se calculó con base en la relación entre peso fresco y peso seco encontrada para las semillas durante la determinación del contenido de humedad. Los porcentajes se transformaron a su logaritmo y el contenido de humedad final de las semillas de todos los tratamientos correspondientes a los ciclos de hidratación-deshidratación así como el control se compararon mediante una ANOVA.

Una vez terminado cada tratamiento de hidratación-deshidratación las semillas se sembraron en arena saturada de humedad, en las mismas condiciones de temperatura y de luz que en las pruebas iniciales de germinación.

Los valores de germinación diaria acumulada se transformaron a arcoseno y se ajustaron a una función sigmoide $y = a / (1 + (b \times (x^c)))$. Las letras de la curva corresponden a los mismos parámetros mencionados anteriormente.

. A partir del valor de la primera derivada máxima de cada curva ajustada, se obtuvo la tasa de germinación instantánea máxima (Rodríguez *et al.*, 2000) y el día de inicio de la germinación se estimó a partir de la curva exponencial sigmoide calculada para cada réplica, como el tiempo necesario para que la primera semilla germine.

La capacidad de germinación, la tasa de germinación y el día de inicio de la germinación de cada tratamiento germinativo inicial, se compararon mediante una

prueba de Kruskal-Wallis; para determinar las diferencias entre los distintos tratamientos se utilizó una gráfica de cajas y bigotes (Zar, 1974).

En el caso de los tratamientos de endurecimiento la tasa de germinación y la capacidad de germinación, se compararon mediante una ANOVA, y el día de inicio a través de una prueba de Kruskal-Wallis. La diferencia en la utilización de las pruebas estadísticas utilizadas en los análisis, se debe a que en algunas ocasiones los datos no cumplieron con los supuestos del ANOVA, entendiéndose con esto la homogeneidad de varianzas y la normalidad (Zar, 1974).

7.3.4 Establecimiento, niveles de riego y análisis de crecimiento

Las plántulas derivadas de las semillas de los tratamientos de uno ciclo y dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C, así como las del tratamiento control se transplantaron a bolsas de plástico negro (de 23 cm de largo y 50 cm de diámetro) con una mezcla de tierra negra y arena (1:1, litro:litro) como sustrato, y se colocaron en una casa de sombra. Las plántulas resultantes de los tratamientos de tres ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y uno, dos y tres ciclos de hidratación-deshidratación a 5°C también se transplantaron, pero no se les dio un seguimiento debido al reducido número de individuos que sobrevivieron al trasplante. Las plántulas se regaron diariamente y permanecieron bajo sombra en el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Cincuenta días posteriores a la germinación, usando tres plántulas control se estableció el tiempo y el volumen de riego para alcanzar el punto de marchitamiento permanente; de manera que las plántulas se regaron una vez a

capacidad de campo y se registró el número de días en el que las plántulas ya no podrían recuperarse debido a la sequía. Con base en estos valores, el total de plántulas resultantes de las semillas de cada tratamiento de endurecimiento se dividió en dos lotes; a uno de ellos se le aplicó un riego semanal de 400 ml (capacidad de campo) al que se le consideró como nivel hídrico alto (NHA) y al otro lote se le aplicó un riego de 200 ml de agua al que se le denominó nivel hídrico bajo (NHB). Esta diferencias en el riego, fue lo que constituyó el tratamiento de preacondicionamiento hídrico de las plántulas.

A partir de este momento, el riego se aplicó cada 15 días, durante tres meses aproximadamente (105 días), hasta el inicio del periodo de lluvias del año de estudio (2 de julio de 2005). De esta forma se establecieron seis tratamientos: 1) plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación con un nivel de riego alto (NHA); 2) plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación con un nivel de riego bajo (NHB); 3) plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación con un nivel de riego alto (NHA); 4) plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación con un nivel de riego bajo (NHB); 5) plántulas control (derivadas de semillas sin ciclos de hidratación-deshidratación) con un nivel de riego alto (NHA); 6) plántulas control (derivadas de semillas sin ciclos de hidratación-deshidratación) con un nivel de riego bajo (NHB).

Después de este periodo de preacondicionamiento hídrico en sombra, las plántulas fueron introducidas a zonas perturbadas del Ajusco, al comienzo de la temporada de lluvias.

El registro de la supervivencia y de las variables de crecimiento (altura, diámetro basal, cobertura, número de ramas, número de hojas y área foliar) se registraron los primeros 15 días y luego cada mes, hasta los 255 días; es decir desde el establecimiento de los tratamientos de riego en sombra hasta el final de la temporada de lluvias (inicio de diciembre, 2005) en el campo.

El área foliar de 15 hojas fue estimada directamente con un medidor de área foliar (modelo 3000 A, LI-COR), y se relacionó con el largo de la lámina foliar de estas hojas a través de la función $y = a + bx^c$ (los parámetros de la ecuación son los mismo explicados anteriormente). Esta relación se empleó para estimar el área foliar de las todas las plántulas experimentales.

La cobertura de las plántulas se calculó considerando que la copa de los individuos de esta especie de encino es circular, por lo cual se utilizó la fórmula correspondiente al área de la circunferencia $A = \pi r^2$, donde "A" corresponde al área; " π " a una constante y "r" al radio.

Los valores a través del tiempo de las variables de crecimiento mencionadas se transformaron al logaritmo natural y se ajustaron a una curva exponencial $y = a + bx^c$. Donde "y" corresponde a un punto en el eje de las abscisas; "a" a la ordenada al origen; "b" a la pendiente de la curva; "x" a un punto en el eje de las ordenadas y "c" a una constante. Con la primera derivada máxima de ésta curva se estimó la velocidad instantánea máxima de crecimiento de cada plántula de cada tratamiento. Las velocidades entre los tratamientos se compararon a través de una prueba de Kruskal-Wallis o ANOVA según las características de los datos, es decir si presentaban una distribución normal u homogeneidad de varianza.

Los valores finales (al terminar la temporada de lluvias, diciembre del 2005) de las variables de crecimiento se transformaron a logaritmo (para cumplir con los supuestos de homogeneidad de varianza y distribución normal) y se compararon mediante una prueba de ANOVA, para establecer las posibles diferencias que los tratamientos provocaron.

Debido a la asincronía de la germinación en algunos tratamientos, para descartar el efecto de la edad de la plántula del efecto del tratamiento de endurecimiento en las variables de crecimiento que resultaron significativamente distintas al final de la época de crecimiento (fin de la temporada de lluvias), se realizó un análisis de regresión entre la edad de la plántula y el valor al final de la temporada de lluvias de cada una de las variables de crecimiento.

Para evaluar las diferencias de la supervivencia de las plántulas sometidas a los distintos niveles de riego y derivadas de las bellotas expuestas a los tratamientos pre-germinativos, se realizó una prueba de " χ^2 ".

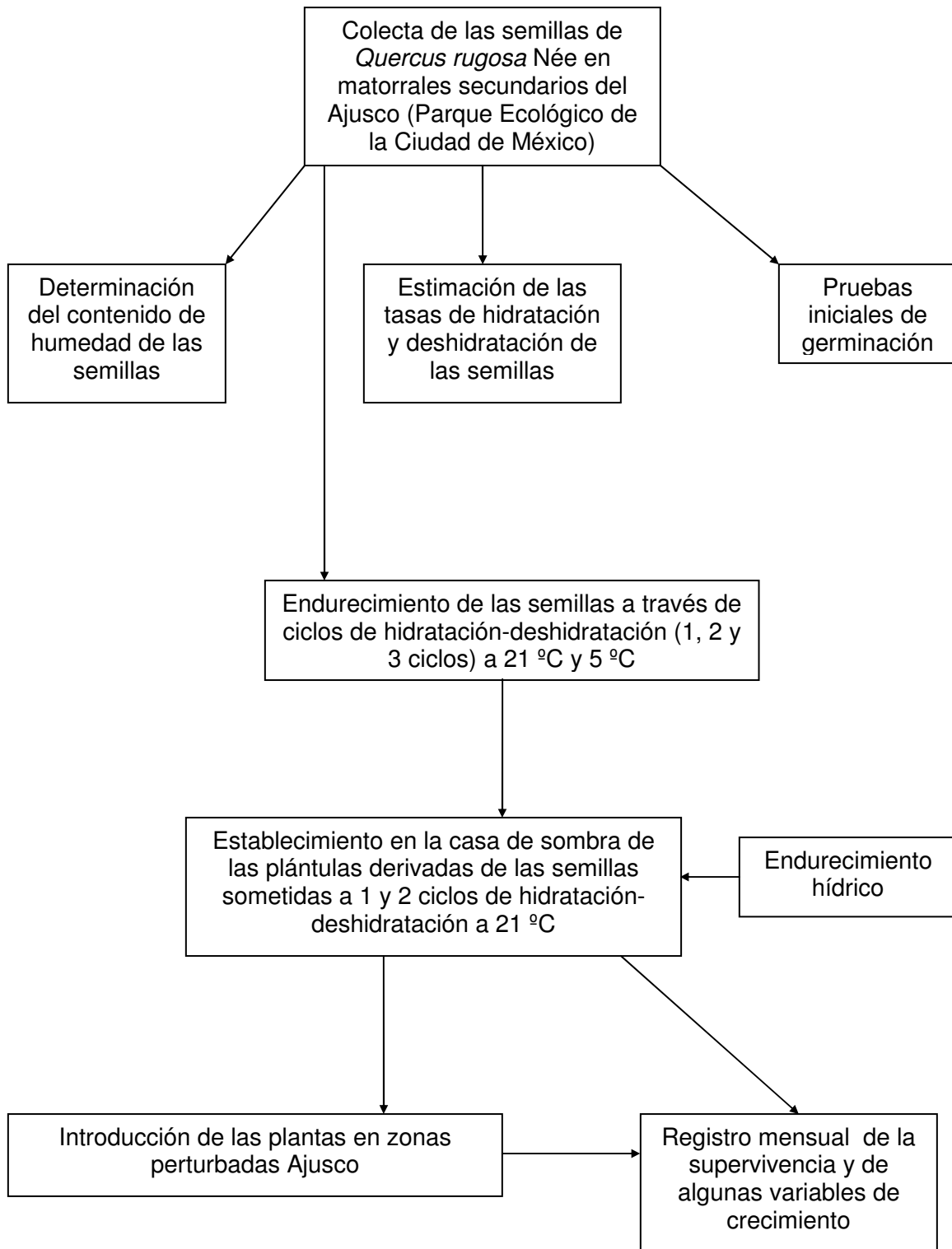


Figura 4. Diagrama de flujo de los experimentos realizados.

8. RESULTADOS

8.1 Tamaño y contenido de humedad de las bellotas

El peso fresco de las bellotas de *Quercus rugosa* varió de 1.72 a 5.77 g con un promedio de 3.75 ± 0.29 g y el peso seco varió de 1.05 a 2.99 con un promedio de 2.05 ± 0.15 g. El porcentaje del contenido de humedad base seca (CH_{bs}) de las bellotas fue de $82.37 \pm 3.79\%$ y el de base húmeda (CH_{bh}) fue de $45.00 \pm 1.19\%$.

No se encontraron relaciones significativas entre el contenido de humedad en base seca de las bellotas y el peso fresco, el peso seco y el tamaño (largo y ancho) de las mismas; por otro lado el contenido de humedad en base húmeda se relacionó significativamente únicamente con el peso fresco.

Además también se registró una correlación significativa entre el peso fresco y el peso seco; entre el peso fresco y el largo y el ancho de las bellotas; y entre el peso seco y el largo y ancho de éstas (Tabla 1).

Las variables estudiadas que se relacionaron con mayor certidumbre fueron el peso fresco y el peso seco de las bellotas, lo que podría indicar que estas dos variables pueden relacionarse sin importar el tamaño de las bellotas.

Por otro lado la relación significativa con menor nivel de certidumbre encontrada fue entre el CH_{bh} y el peso fresco de las bellotas; sin embargo el tamaño de éstas (ancho y largo) tiene mayor nivel de certidumbre con respecto al peso seco y el peso fresco.

(X,Y)	P	r ²	F	Fórmula
Peso fresco - CH _{bs}	0.1376	0.0708	2.058	y = a + bx ^c
Peso seco - CH _{bs}	0.5274	0.0073	0.4044	y = a + bx ³
Largo - CH _{bs}	0.1359	0.0834	2.3681	y = a + b / x
Ancho - CH _{bs}	0.3079	0.0399	1.0813	y = a + bx ^{0.5} lnx
Peso fresco - CH _{bh}	0.0070*	0.1170	7.69	y = a + blnx / x ²
Peso seco - CH _{bh}	0.7114	0.0118	0.34	y = a + b ^(-x/c)
Largo - CH _{bh}	0.4344	0.0598	0.85	y = a + b ^(-x/c)
Ancho - CH _{bh}	0.1019	0.0926	2.8599	y = a + bx ^{0.5} lnx
Largo - Peso fresco	0.0002*	0.4579	11.4077	y = a + bx ^c
Ancho - Peso fresco	0.0001*	0.7362	37.6888	y = a + bx ^c
Largo - Peso seco	0.0024*	0.3586	7.5502	y = a + bx ^c
Ancho - Peso seco	0.0001*	0.7333	37.1245	y = a + bx ^c
Peso fresco - Peso seco	0.0001*	0.9565	628.0703	y = a + bx ^c

Tabla 1. Relaciones entre el porcentaje del contenido de humedad base seca (CH_{bs}) y base húmeda (CH_{bh}) y el peso y el tamaño de las bellotas de *Quercus rugosa*. *Relación significativa. (p ≤ 0.05, n = 30).

8.2 Tasas de hidratación y deshidratación de las bellotas

La tasa instantánea máxima de hidratación de las bellotas a lo largo de 7 días de imbibición en agua fue de $524.91 \pm 39.82 \text{ g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, y el CH_{bs} final fue de $90.82 \pm 1.19 \%$ (Fig 5).

En la gráfica se aprecia que aproximadamente a las 48 horas de imbibición de las semillas, la curva comienza a ser asintótica, por lo que la entrada del agua disminuyó a través del tiempo y con esto el contenido de humedad empezó a estabilizarse. Este punto de inflexión, se utilizó como referencia para establecer los ciclos de hidratación-deshidratación.

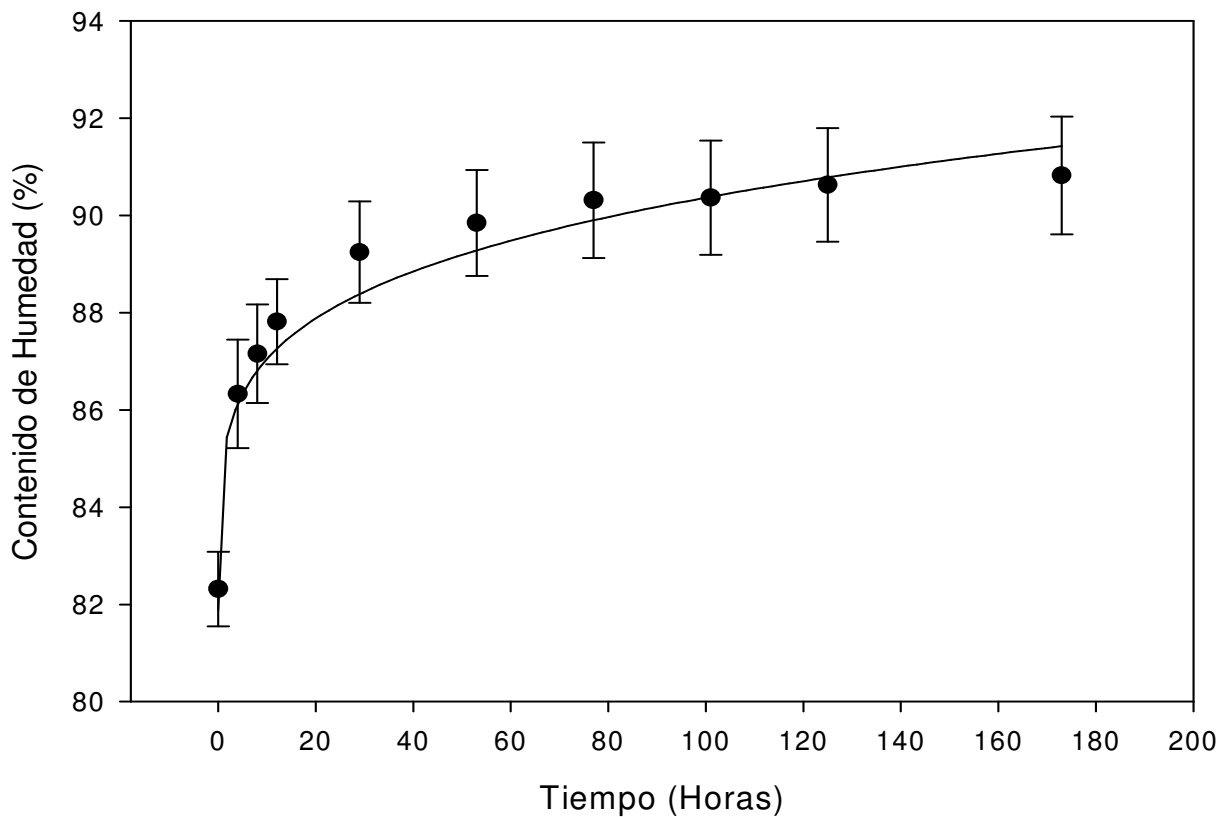


Figura 5. Porcentaje del contenido de humedad en base seca a través del tiempo para bellotas de *Quercus rugosa* embebidas en agua durante 7 días ($n = 30$; $\bar{x} \pm 2EE$).

El contenido de humedad base seca final fue significativamente distinto ($H = 37.92$; $P < 0.0001$) entre los tratamientos en los que se estimaron las tasas de deshidratación a 5 °C, a 21 °C, a 21°C en un sustrato de agar y a 21 °C después de estar siete días sumergidas en agua. Las semillas almacenadas a 5 °C resultaron tener el mayor contenido de humedad final, por lo que la temperatura tiene un efecto en la pérdida del contenido de humedad. Además, las semillas previamente hidratadas durante 7 días comenzaron su deshidratación con porcentajes del contenido de humedad más altos que las semillas sometidas a los

otros tratamientos. Sin embargo, el contenido de humedad final de estas semillas no difirió significativamente con respecto a los otros tratamientos, pero si con respecto a las semillas almacenadas a 5 °C (Fig. 6).

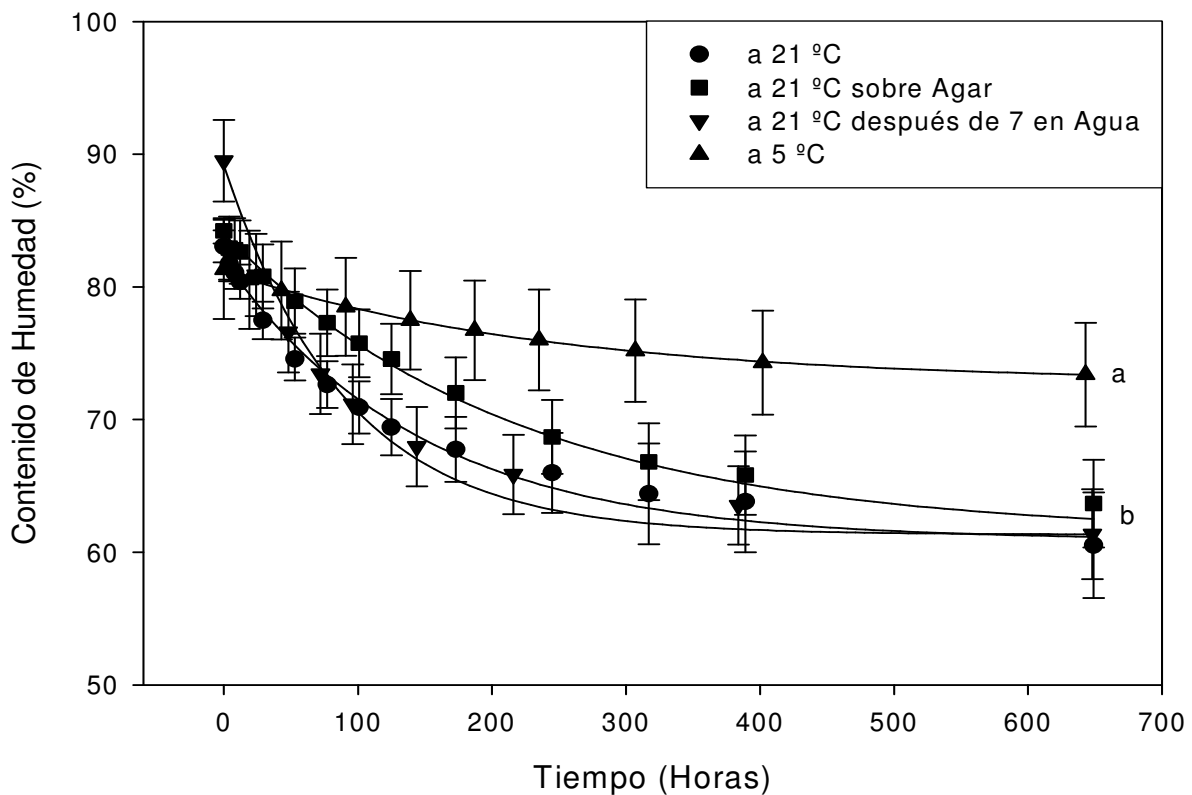


Figura 6. Porcentaje del contenido de humedad en base seca a través del tiempo de bellotas de *Quercus rugosa* colocadas a 21 °C (●), a 21 °C sobre agar (■), a 21 °C después de 7 días en agua (▼) y a 5 °C (▲). Letras diferentes denotan las diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al porcentaje del contenido de humedad final ($n = 30$; $\bar{x} \pm 2EE$).

Las tasas de deshidratación también fueron significativamente distintas entre los tratamientos ($H = 88.48$; $P < 0.0001$). Las semillas deshidratadas a 5 °C mostraron las tasas menores, mientras que las semillas previamente hidratadas 7 días y deshidratadas a 21 °C tuvieron las tasa más altas. Otros tratamientos no tuvieron diferencias entre estos dos extremos (Fig. 7).

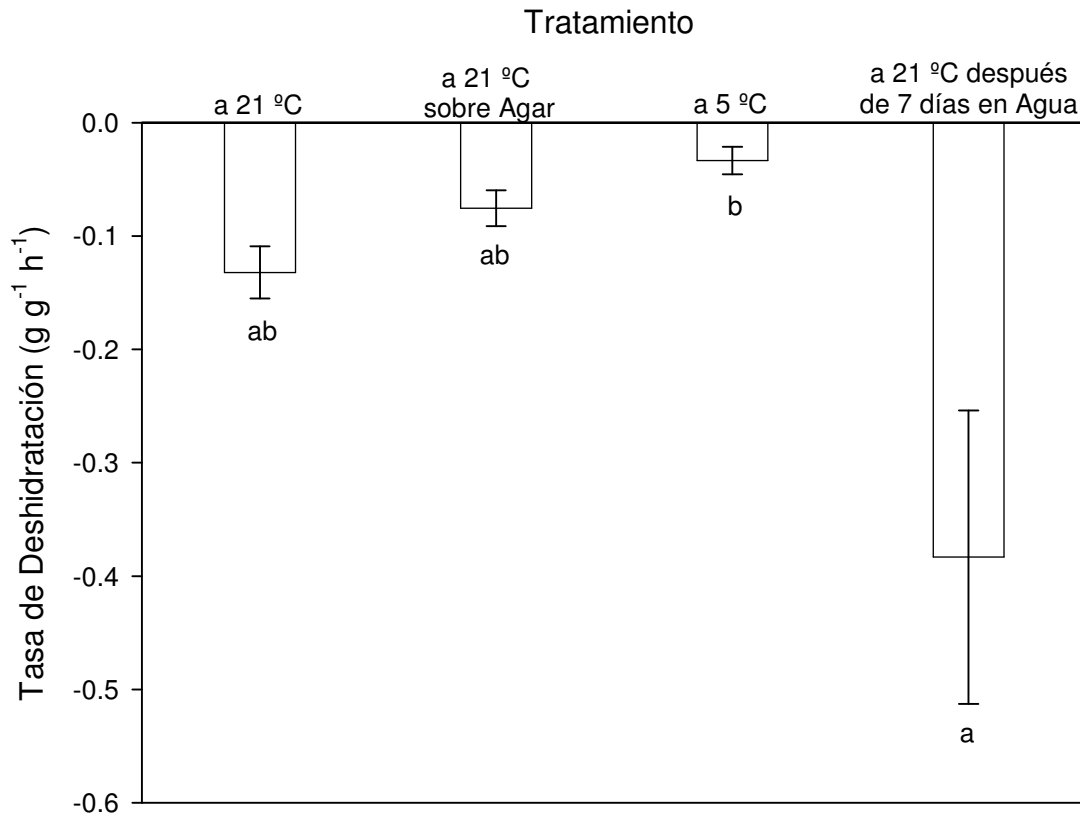


Figura 7. Tasa de deshidratación de bellotas de *Quercus rugosa* sujetas a cuatro condiciones de deshidratación. Las distintas letras denotan las diferencias significativas entre los tratamientos ($n = 30$; $\bar{x} \pm 2EE$).

8.3 Germinación

Los tratamientos iniciales de germinación produjeron una diferencia significativa con respecto a la capacidad de germinación ($H = 9.84$; $P = 0.04$), de manera que las bellotas expuestas a 5 °C durante una semana alcanzaron el mayor porcentaje de germinación final. Las semillas sometidas a 50 °C por 2 horas fueron las que

obtuvieron la segunda capacidad de germinación más alta; mientras que las bellotas escarificadas, sometidas a 5 °C durante un mes y control tuvieron las capacidades de germinación más bajas (Fig. 8).

Por otro lado, los tratamientos aplicados a las semillas no produjeron diferencias significativas en la velocidad de germinación, probablemente debido a la gran dispersión de los datos ($H = 7.5$; $P = 0.11$).

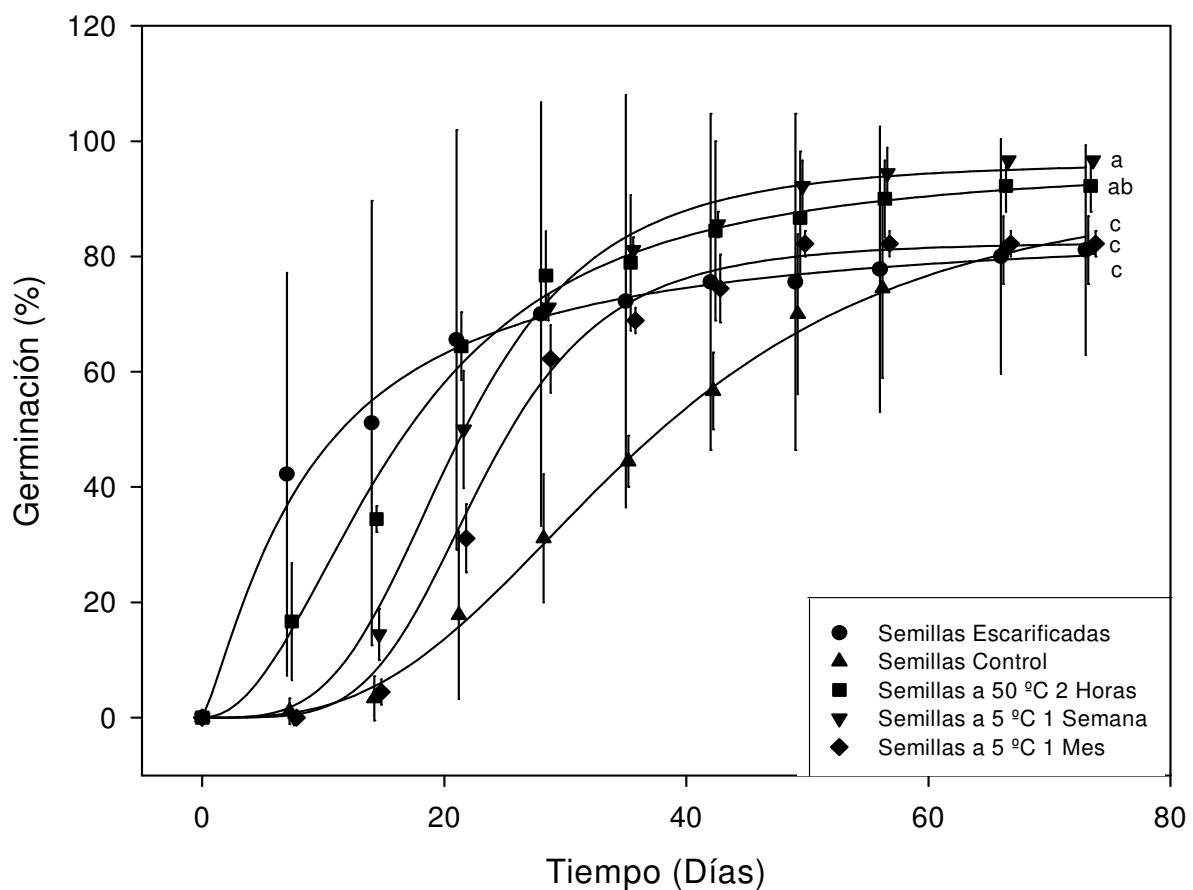


Figura 8. Porcentajes promedio de germinación acumulada a través del tiempo para bellotas de *Quercus rugosa* expuestas a diferentes tratamientos antes de su siembra: escarificadas (●), control (▲), expuestas a 50 °C por 2 horas (■), a 5 °C por una semana (▼) y por un mes (◆). Las distintas letras denotan las diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la capacidad de germinación (3 réplicas; $n = 30$; $\bar{x} \pm 2EE$).

El día de inicio de la germinación también resultó significativamente distinto entre los tratamientos aplicados a las semillas ($H = 11.25$; $P = 0.02$). Las semillas escarificadas y las sometidas a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por dos horas fueron los que germinaron antes, mientras que las semillas control y las almacenadas a baja temperatura retrasaron su germinación inicial (Fig. 9).

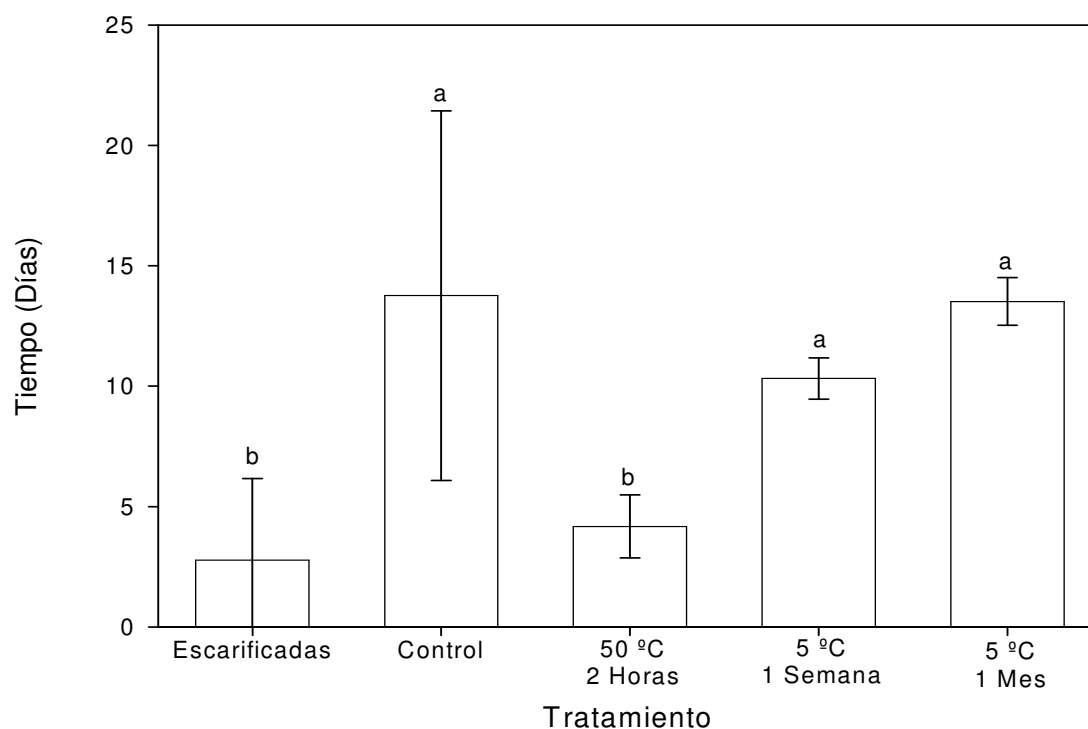


Figura 9. Día de inicio de germinación para las bellotas de *Quercus rugosa* expuestas a diferentes tratamientos antes de su siembra: escarificación, control, sometidas a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 2 horas, a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por una semana y por un mes. Las distintas letras denotan las diferencias significativas entre los tratamientos (3 réplicas; $n = 30$; $\bar{x} \pm 2EE$).

8.4 Ciclos de hidratación-deshidratación en las bellotas

El porcentaje del contenido de humedad final en base seca después de los ciclos de hidratación-deshidratación, resultó significativamente distinto ($F_{(6,602)} = 501.47$;

$P < 0.0001$), de forma tal que los tratamientos sometidos a tres ciclos de hidratación-deshidratación, tanto a 21 °C como a 5 °C, fueron los que alcanzaron el mayor contenido de humedad (Fig. 10).

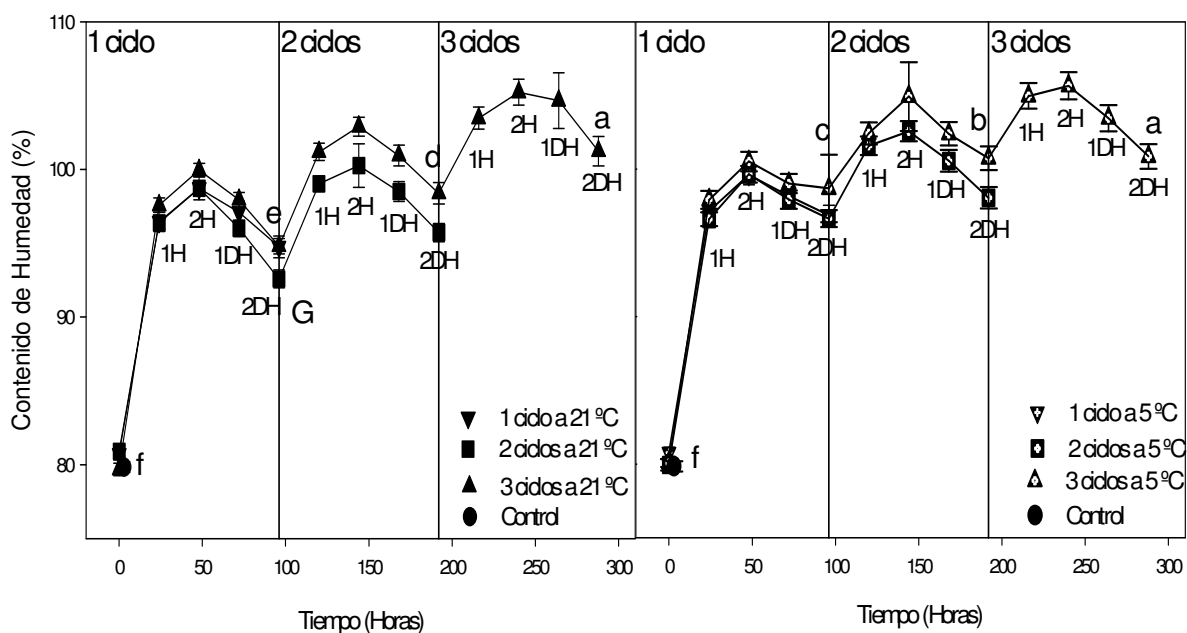


Figura 10. Porcentaje del contenido de humedad en base seca a través del tiempo para las bellotas sometidas a los diferentes ciclos de hidratación-deshidratación: 1 ciclo a 21 °C (▼), 2 ciclos a 21 °C (■), 3 ciclos a 21 °C (▲), 1 ciclo a 5 °C (▽), 2 ciclos a 5 °C (□), 3 ciclos a 5 °C (△), control (●). Las distintas letras denotan las diferencias significativas entre los tratamientos. 1H = Primer día de hidratación; 2H = Segundo día de hidratación; 1DH = Primer día de deshidratación; 2DH = Segundo día de deshidratación. G = Germinación. (3 réplicas; $n = 30$; $\bar{x} \pm 2EE$).

La capacidad de germinación difirió significativamente entre los tratamientos correspondientes a los ciclos de hidratación-deshidratación ($F_{(6,20)} = 6.95$, $P = 0.0014$). Las semillas sometidas a un sólo ciclo de hidratación-deshidratación fueron las únicas que alcanzaron un 100% de la germinación. Las semillas sometidas a los tratamientos a baja temperatura fueron las que mostraron los menores porcentajes de germinación final (Fig. 11).

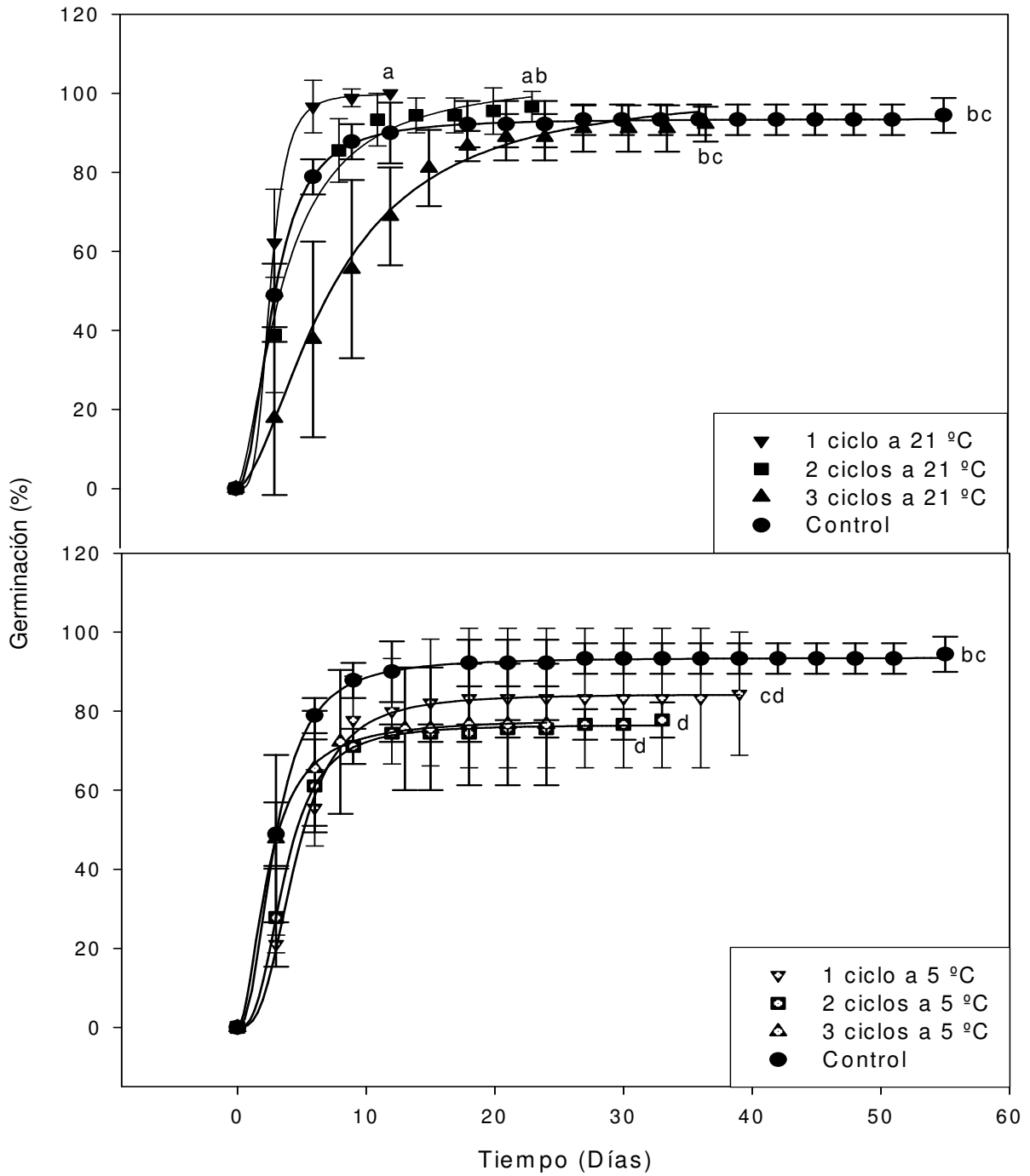


Figura 11. Porcentajes promedio de germinación acumulada a través del tiempo para las bellotas de *Quercus rugosa* sometidas a los diferentes ciclos de hidratación-deshidratación: 1 ciclo a 21 °C (▼), 2 ciclos a 21 °C (■), 3 ciclos a 21 °C (▲), 1 ciclo a 5 °C (▽), 2 ciclos a 5 °C (□), 3 ciclos a 5 °C (△), control (●). Letras diferentes muestran diferencias significativas en la capacidad de germinación (3 réplicas; n = 30; $\bar{x} \pm 2EE$).

La velocidad de germinación también resultó significativamente distinta entre los diferentes ciclos de hidratación-deshidratación ($F_{(6,20)} = 4.17$, $P = 0.0130$). El tratamiento de 3 ciclos a 21 °C fue el que mostró la menor velocidad de germinación, seguido del tratamiento de 1 ciclo a 5 °C; las semillas sometidas a ambos tratamientos germinaron incluso más lento que las semillas consideradas como control. Por otro lado los tratamientos de un ciclo a 21 °C y el de 3 ciclos a 5 °C no son significativamente distintos con respecto a la velocidad de germinación (Fig. 12).

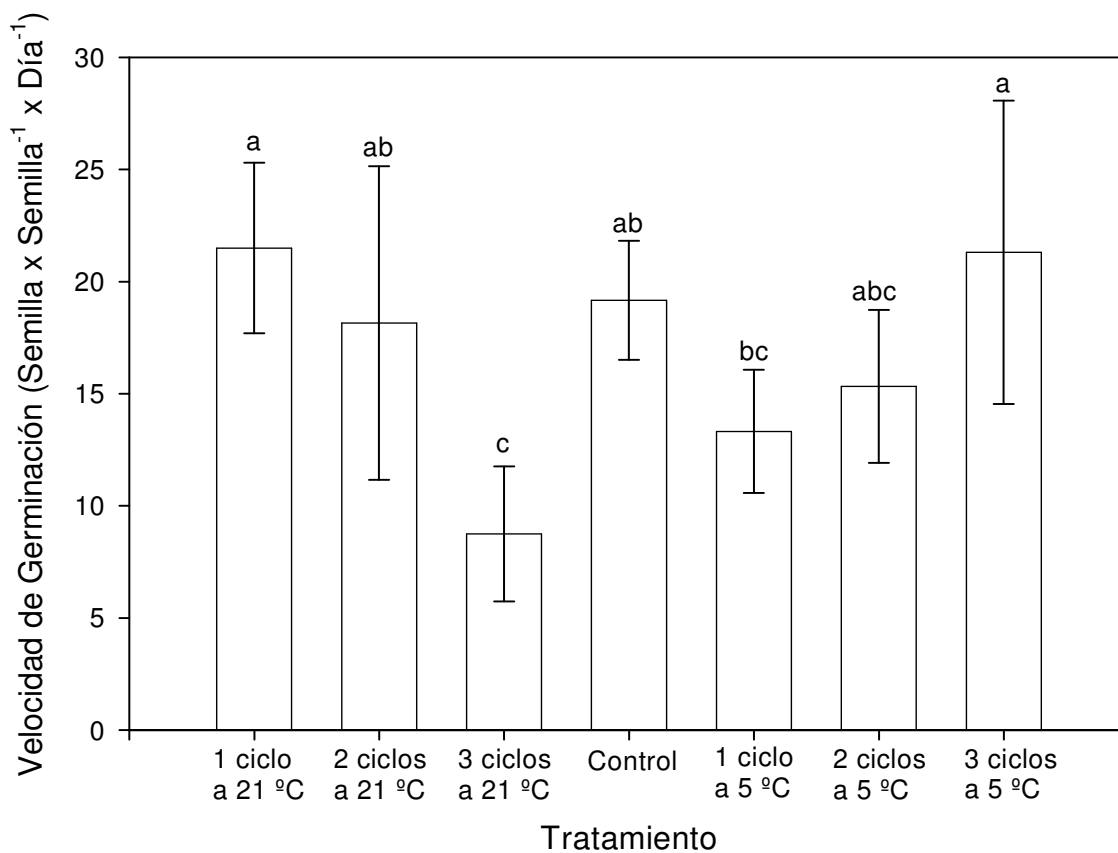


Figura 12. Velocidad de germinación de las semillas sometidas a los diferentes ciclos de hidratación-deshidratación. Letras diferentes muestran diferencias las significativas en la capacidad de germinación (3 réplicas; $n = 30$; $\bar{x} \pm 2EE$).

El día de inicio de germinación resultó significativamente distinto ($H = 14.84$; $P = 0.0215$) entre los tratamientos de ciclos de hidratación-deshidratación. Las semillas sometidas a los tratamientos de 1 y 2 ciclos a $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ fueron las que germinaron más rápidamente. Las semillas sometidas a 3 ciclos a $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ no difieren de ningún otro tratamiento debido a su alta dispersión. Las semillas sometidas a 1 y 2 ciclos a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ germinaron más lento que las semillas control (Fig. 13).

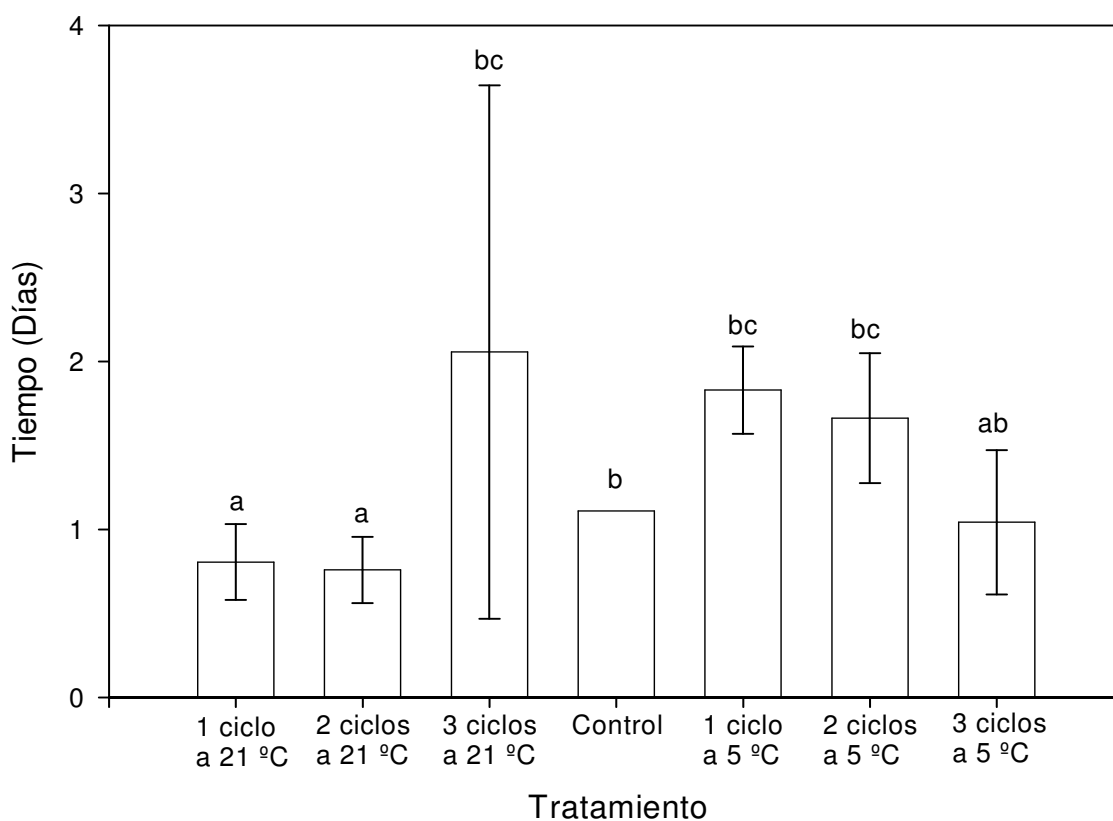


Figura 13. Día de inicio de germinación de las semillas sometidas a los diferentes ciclos de hidratación-deshidratación. Letras diferentes muestran diferencias las significativas en la capacidad de germinación (3 réplicas; $n = 30$; $\bar{x} \pm 2EE$).

8.5 Crecimiento y supervivencia de las plántulas

Al final de la temporada de lluvias, en el mes de diciembre del 2005, se encontraron diferencias significativas entre las plántulas derivadas de los distintos tratamientos en términos de la altura ($F_{(5,75)} = 12.10$, $P < 0.00001$), el área foliar ($F_{(5,75)} = 9.09$, $P < 0.00001$), el diámetro basal ($F_{(5,75)} = 3.19$, $P = 0.011$) y la cobertura ($F_{(5,75)} = 5.92$, $P < 0.00001$) (Figs. 14, 15, 16 y 17).

Los valores mínimos de las variables mencionadas correspondieron a las plántulas control sometidas a un NHB, de hecho en el caso de la cobertura y el diámetro basal, éste fue el único tratamiento que fue significativamente distinto a los otros. Todas las plántulas sometidas al tratamiento hídrico bajo alcanzaron valores menores con respecto a las plántulas sometidas al mismo tratamiento pre-germinativo, pero distinto tratamiento de riego; es decir las plántulas de un mismo tratamiento pre-germinativo y del control resultaron tener valores mayores en estas variables cuando no fueron preacondicionadas hídricamente en la casa de sombra antes de introducirlas al campo, a excepción de la cobertura para las plántulas de 2 ciclos, donde a pesar de no existir diferencias entre las plantas sometidas a un NHA y un NHB los valores mayores corresponden al segundo lote.

Los valores mayores en estas variables de crecimiento son los de las plantas sometidas a un tratamiento pre-germinativo y a un NHA.

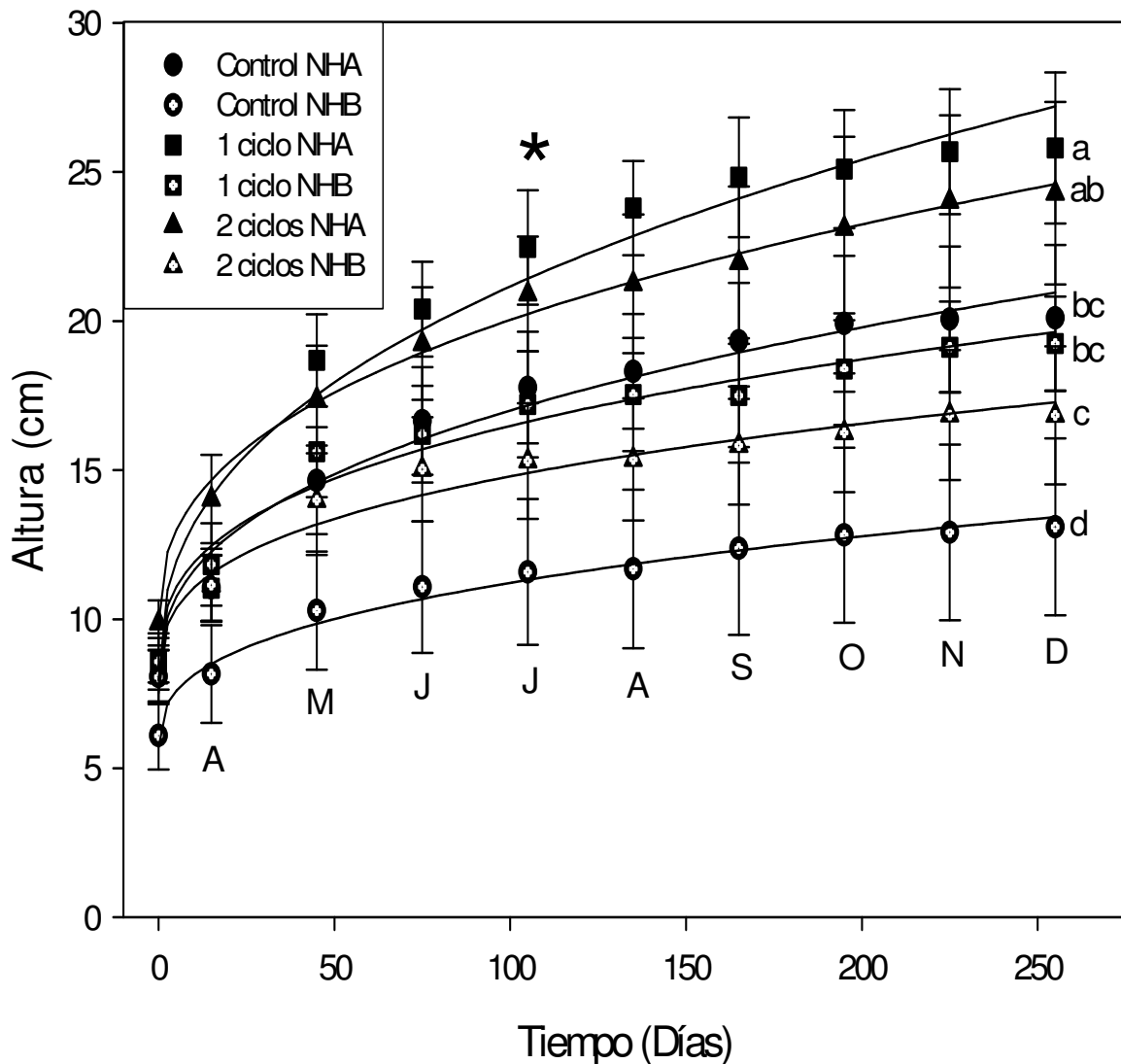


Figura 14. Cambio temporal de la altura de las plántulas de *Quercus rugosa* expuestas a dos niveles de riego distintos bajo sombra y emergidas de semillas sometidas a diferentes tratamientos de endurecimiento pre-germinativo. ● = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico alto (NHA) durante su estancia en la casa sombra; ○ = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico bajo (NHB) durante su estancia en la casa de sombra; ■ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; □ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra; ▲ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; △ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra. Letras minúsculas diferentes señalan diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores alcanzados al finalizar la temporada de lluvia, diciembre de 2005. Las letras mayúsculas indican los meses del año. * Introducción a sitios perturbados del Ajusco.

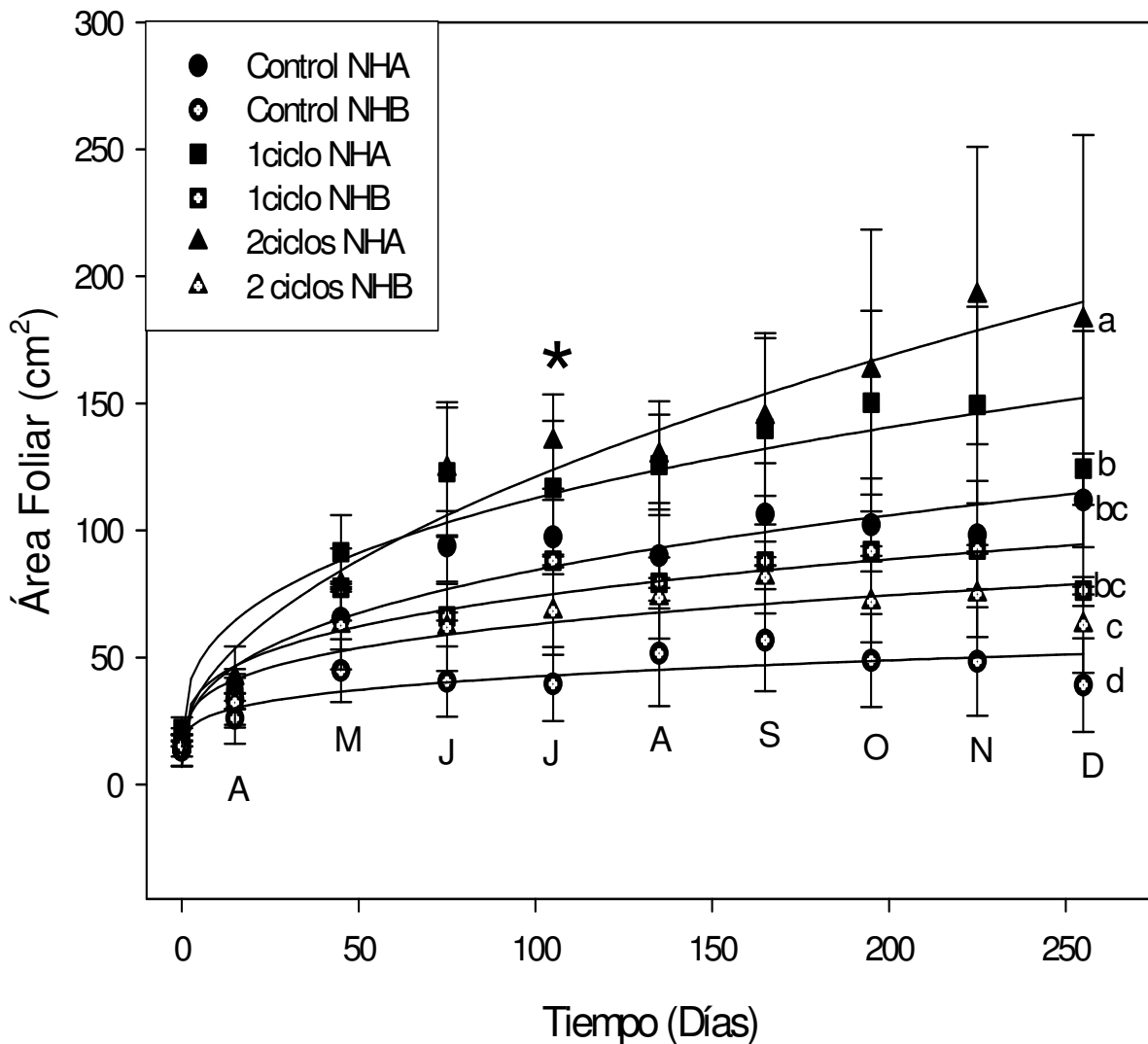


Figura 15. Cambio temporal del área foliar de las plántulas de *Quercus rugosa* expuestas a dos niveles de riego distintos bajo sombra y emergidas de semillas sometidas a diferentes tratamientos de endurecimiento pre-germinativo. ● = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico alto (NHA) durante su estancia en la casa sombra; ○ = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico bajo (NHB) durante su estancia en la casa de sombra; ■ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; □ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra; ▲ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; △ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra. Letras minúsculas diferentes señalan diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores alcanzados al finalizar la temporada de lluvia, diciembre de 2005. Las letras mayúsculas indican los meses del año. * Introducción a sitios perturbados del Ajusco.

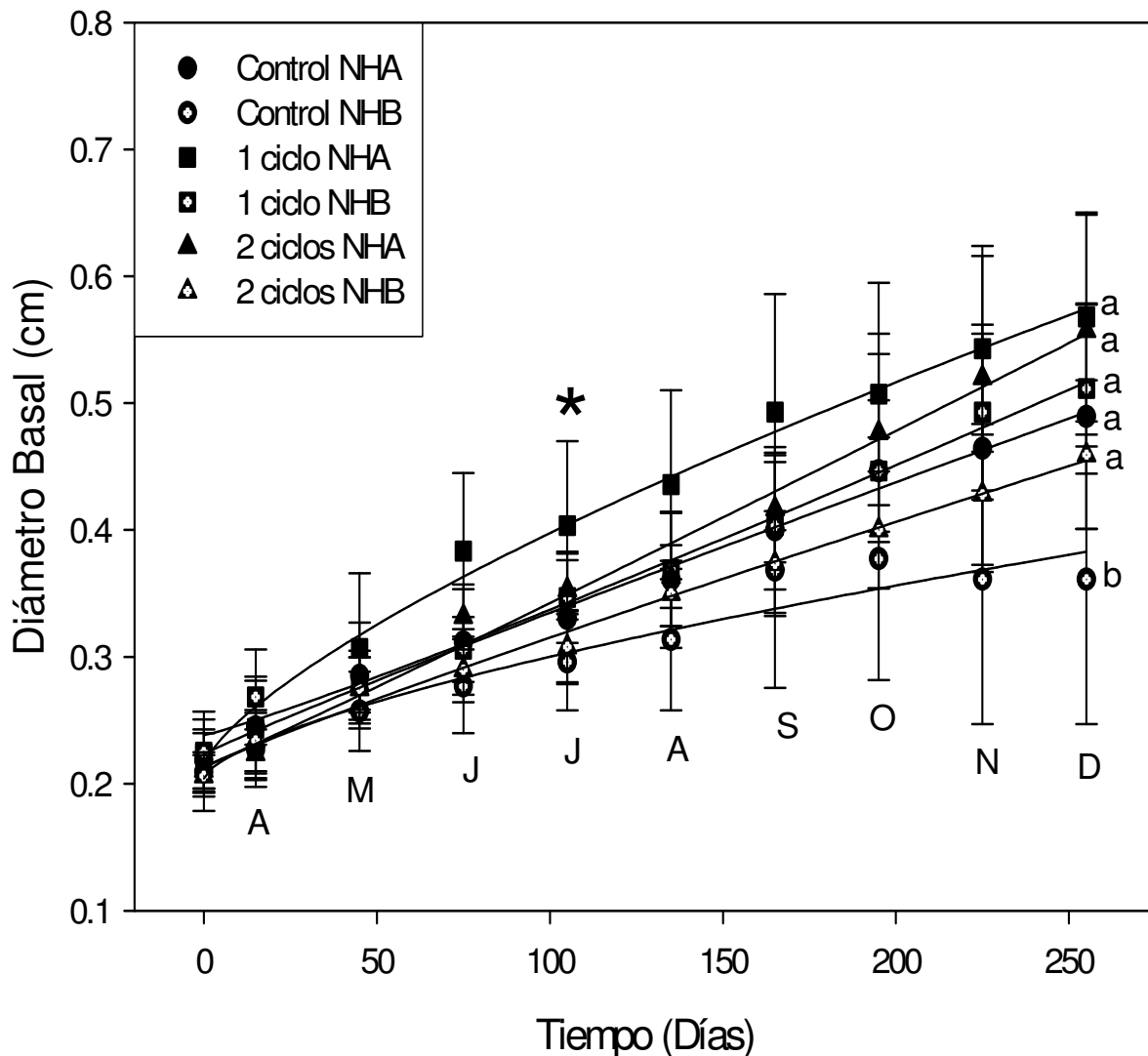


Figura 16. Cambio temporal del diámetro basal de las plántulas de *Quercus rugosa* expuestas a dos niveles de riego distintos bajo sombra y emergidas de semillas sometidas a diferentes tratamientos de endurecimiento pre-germinativo. ● = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico alto (NHA) durante su estancia en la casa sombra; ○ = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico bajo (NHB) durante su estancia en la casa de sombra; ■ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; □ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra; ▲ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; △ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra. Letras minúsculas diferentes señalan diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores alcanzados al finalizar la temporada de lluvia, diciembre de 2005. Las letras mayúsculas indican los meses del año. * Introducción a sitios perturbados del Ajusco.

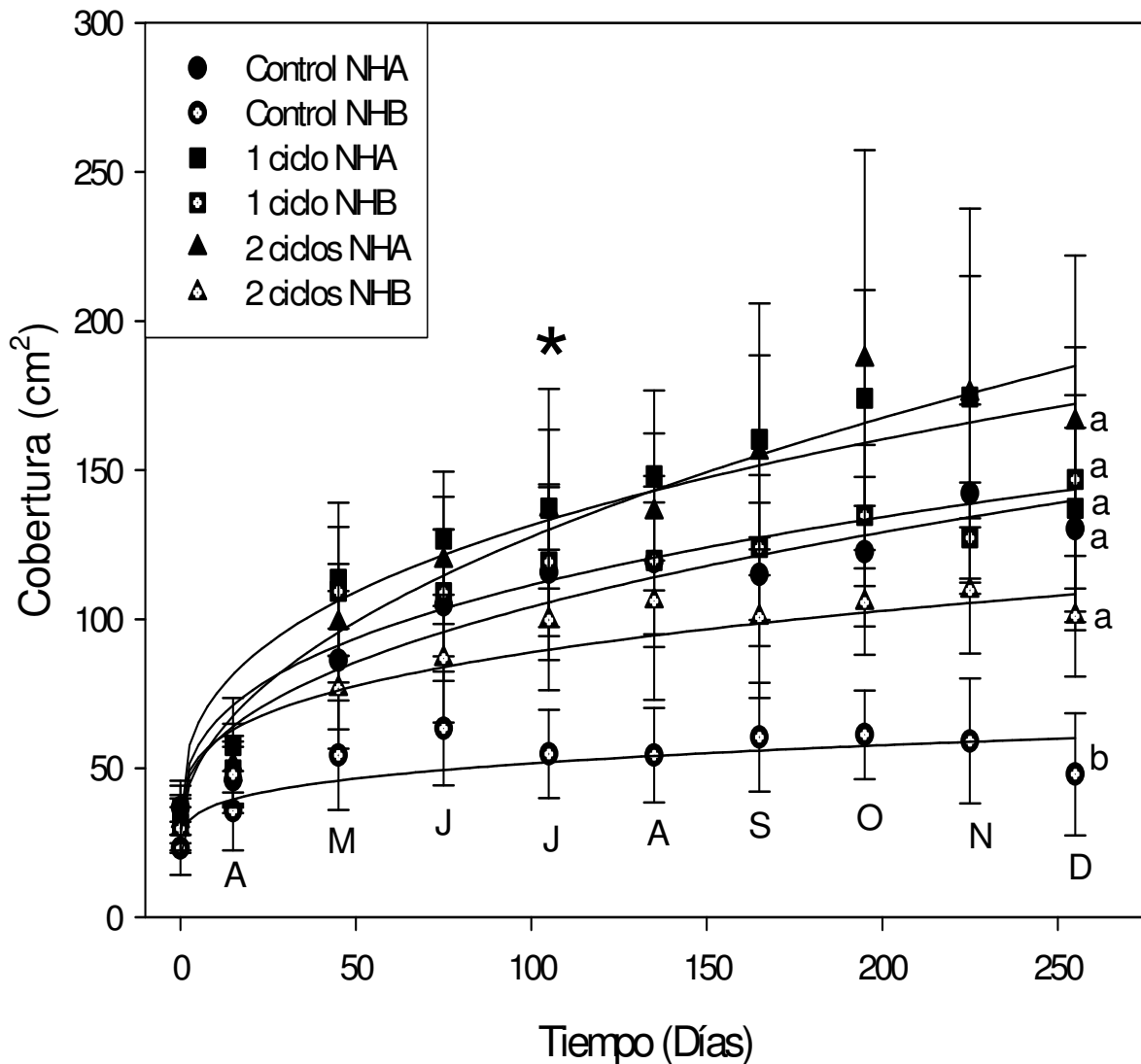


Figura 17. Cambio temporal de la cobertura de las plántulas de *Quercus rugosa* expuestas a dos niveles de riego distintos bajo sombra y emergidas de semillas sometidas a diferentes tratamientos de endurecimiento pre-germinativo. ● = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico alto (NHA) durante su estancia en la casa sombra; ○ = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico bajo (NHB) durante su estancia en la casa de sombra; ■ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; □ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra; ▲ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; △ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra. Letras minúsculas diferentes señalan diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores alcanzados al finalizar la temporada de lluvia, diciembre de 2005. Las letras mayúsculas indican los meses del año. * Introducción a sitios perturbados del Ajusco.

Los tratamientos de endurecimiento de las semillas y de riego de las plántulas no afectaron la velocidad máxima instantánea de crecimiento en altura, diámetro basal y cobertura de las plántulas ($H = 8.20$, $P = 0.14$; $H = 5.74$, $P = 0.33$ y $F = 1.84$, $P = 0.12$ respectivamente). Sin embargo, estos tratamientos si afectaron la velocidad de crecimiento en área foliar ($F_{(5,27)} = 26.93$; $P < 0.0001$). Las plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación y a un nivel hídrico alto durante su estancia en la casa de sombra fueron las que obtuvieron una mayor tasa de crecimiento en área foliar. (Fig. 18).

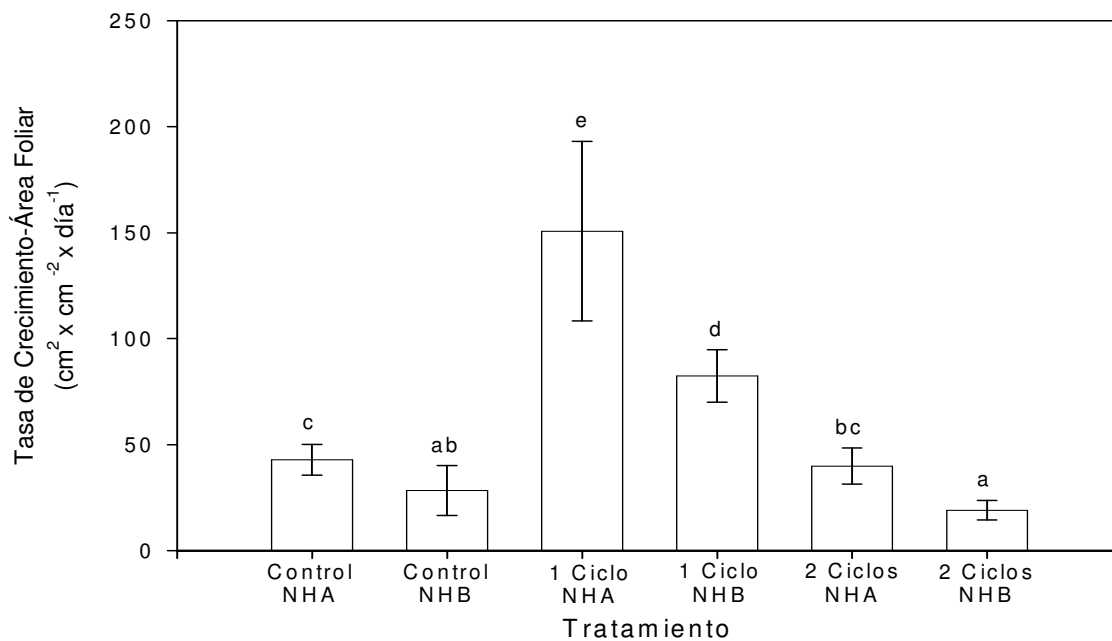


Figura 18. Tasa de crecimiento en área foliar de las plántulas emergidas de semillas de *Quercus rugosa* sometidas a los diferentes tratamientos de endurecimiento pre-germinativo y de riego. NHA = Nivel hídrico alto. NHB = Nivel hídrico bajo. Letras diferentes señalan diferencias significativas ($P < 0.05$).

El número de hojas por plántula no difirió entre los tratamientos de endurecimiento para el mes de diciembre ($F_{(5,75)} = 2.12$, $P = 0.072$) pero si para el

mes de noviembre ($F_{(5,81)} = 4.88$, $P < 0.00001$). La tasa de crecimiento en número de hojas difirió significativamente entre estos tratamientos ($F_{(5,75)} = 5.65$, $P < 0.00001$) (Figs. 19 y 20).

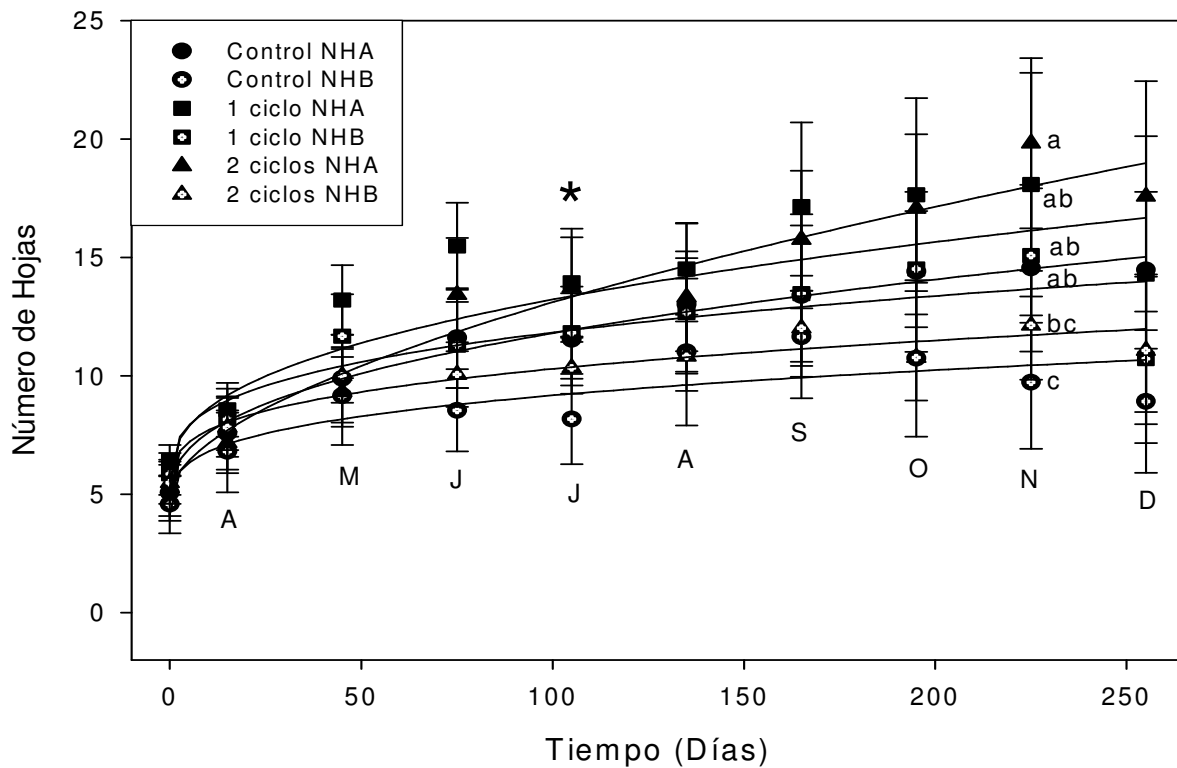


Figura 19. Cambio temporal del número de hojas de las plántulas de *Quercus rugosa* expuestas a dos niveles de riego distintos bajo sombra y emergidas de semillas sometidas a diferentes tratamientos de endurecimiento pre-germinativo. ● = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico alto (NHA) durante su estancia en la casa sombra; ○ = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico bajo (NHB) durante su estancia en la casa de sombra; ■ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; □ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra; ▲ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; △ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra. Letras minúsculas diferentes señalan diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores alcanzados al finalizar la temporada de lluvia, diciembre de 2005. Las letras mayúsculas indican los meses del año. * Introducción a sitios perturbados del Ajusco.

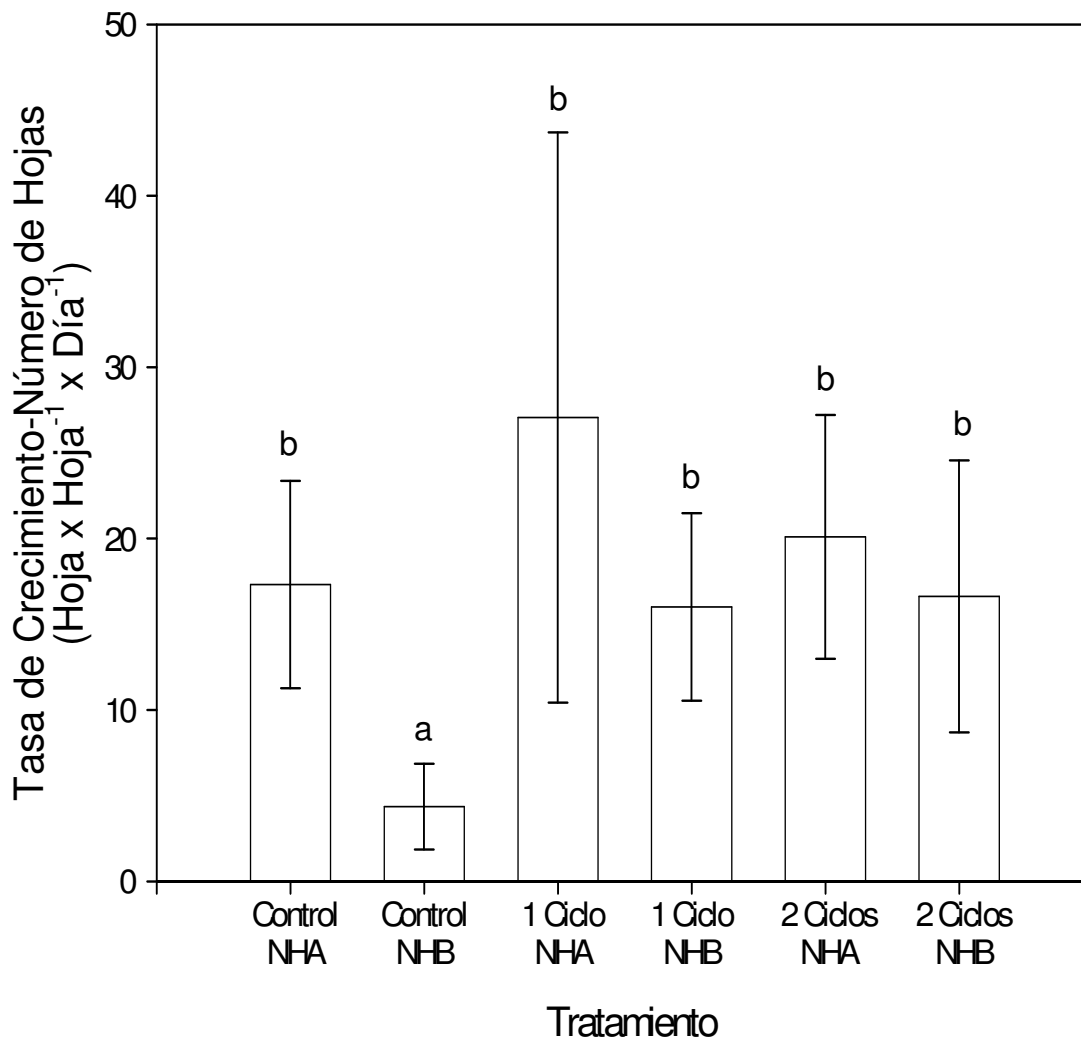


Figura 20. Tasa de crecimiento con respecto al número de hojas de las plantas sometidas a los diferentes tratamientos de endurecimiento a través del tiempo. Letras diferentes señalan diferencias significativas.

El número de ramas ($F_{(5,75)} = 0.59$, $P = 0.7076$), no fue significativamente distinto entre los tratamientos (Fig 21) por lo que podría sugerirse que esta variable no está influenciada por la escasez hídrica en la que puede crecer la plántula.

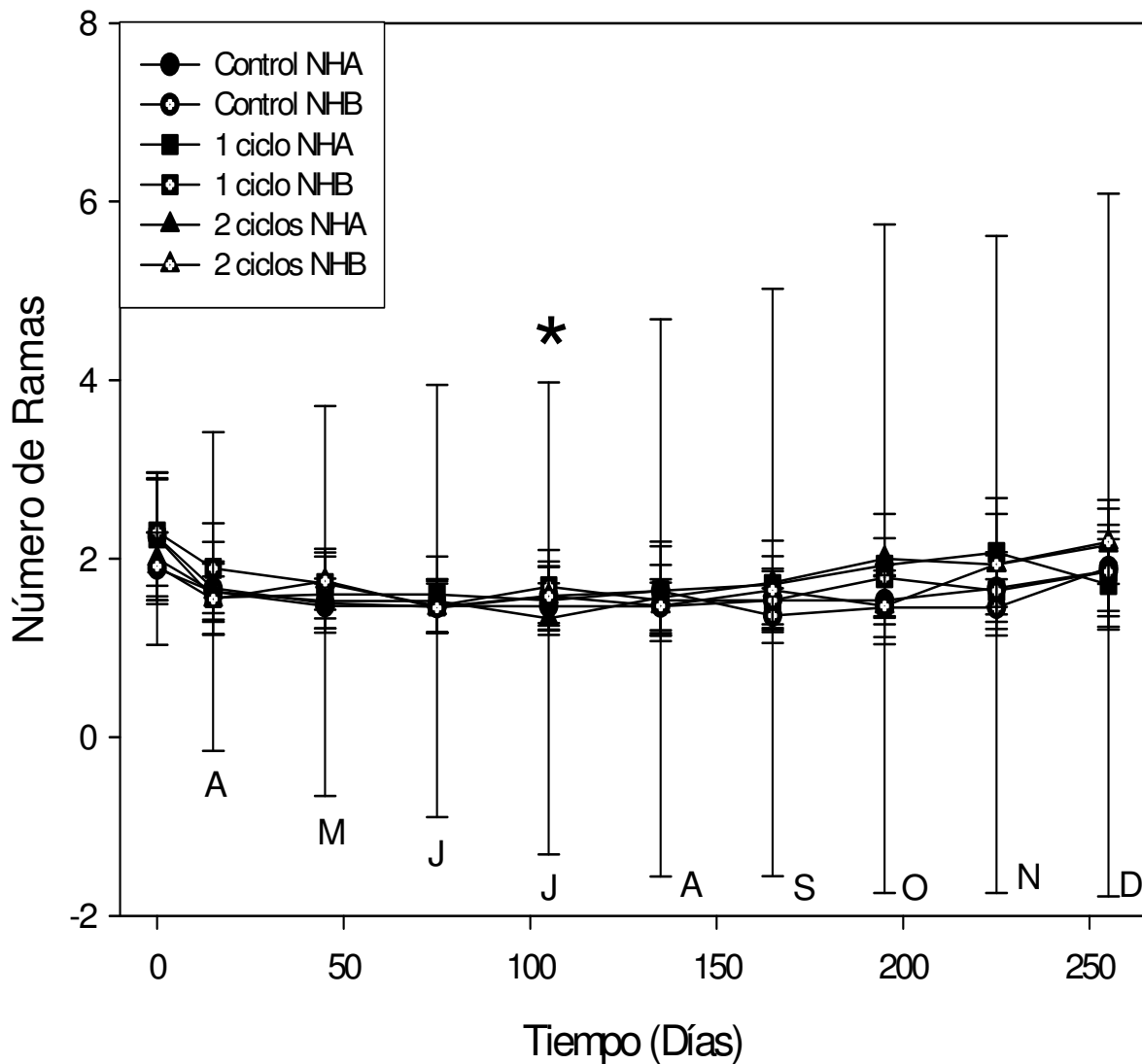


Figura 21. Cambio temporal en el número de ramas de las plántulas de *Quercus rugosa* expuestas a dos niveles de riego distintos bajo sombra y emergidas de semillas sometidas a diferentes tratamientos de endurecimiento pre-germinativo. ● = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico alto (NHA) durante su estancia en la casa sombra; ○ = plántulas control (sin tratamiento pre-germinativo) mantenidas a un nivel hídrico bajo (NHB) durante su estancia en la casa de sombra; ■ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; □ = plántulas derivadas de semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra; ▲ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHA durante su estancia en la casa de sombra; △ = plántulas derivadas de semillas sometidas a dos ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C y mantenidas a un NHB durante su estancia en la casa de sombra. Letras minúsculas diferentes señalan diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores alcanzados al finalizar la temporada de lluvia, diciembre de 2005. Las letras mayúsculas indican los meses del año. * Introducción a sitios perturbados del Ajusco.

La edad de la planta no tiene una relación con los valores al final de la temporada de crecimiento en altura, área foliar y cobertura, pero si con los de diámetro basal; sin embargo, como puede apreciarse en la Tabla 2 la r^2 es muy baja.

(X,Y)	P	r^2	F	Fórmula
Tiempo-Altura	0.070	0.0419	3.3686	$y = a + be^{-x}$
Tiempo-Área Foliar	0.281	0.0152	1.1756	$y = a + be^{-x}$
Tiempo-Cobertura	0.360	0.0103	0.8446	$y = a + be^{-x}$
Tiempo-Diámetro Basal	0.007	0.0883	7.5637	$y = a + be^{-x}$

Tabla 2. Regresión entre la edad de la planta y los valores de las variables de tendencia de crecimiento significativamente distintas al final de la temporada de crecimiento.

La supervivencia de las plántulas no fue significativamente distinta entre los tratamientos ($\chi^2_{\alpha = 0.05, g.l. = 5} = 2.9$; $P = 0.72$).

9. DISCUSIÓN

9.1 Tamaño y contenido de humedad de las bellotas

Como la mayoría de los encinos blancos *Quercus rugosa*, produce semillas recalcitrantes. Las especies con semillas con este tipo de comportamiento en almacenamiento, habitan principalmente en ambientes húmedos (Farnsworth, 2000, Pritchard *et al.*, 2004). Sin embargo, *Q. rugosa* es una excepción, ya que además de habitar en ambientes húmedos, también puede encontrarse en ambientes estacionales o áridos, como es el caso de las zonas perturbadas de la sierra del Ajusco.

Dentro de las estrategias de las semillas recalcitrantes en ambientes áridos, se ha sugerido que el tamaño grande de las semillas aumenta las probabilidades de supervivencia en condiciones de sequía porque se reduce la tasa de deshidratación, debido a cambios en la relación volumen-área. El tamaño grande de las semillas también podría minimizar el daño en caso de herbivoría. Por otro lado, la generalmente rápida germinación de las semillas recalcitrantes no sólo reduce el periodo en el que se puede dar la depredación de la semilla, sino que también contribuye a que la raíz de la plántula tenga un acceso rápido al agua del suelo (Pritchard *et al.*, 2004).

En *Q. rugosa* se presenta la vivipariedad, la cual es una condición caracterizada por la germinación del embrión cuando el fruto aún permanece unido a la planta madre; se produce por una progresión ininterrumpida de la

embriogénesis hacia la germinación, donde no hay cese de crecimiento y poca o nula deshidratación durante el proceso de desarrollo (Kermode, 1995). A pesar de que las semillas de esta especie pueden ser vivíparas, cada árbol produce un porcentaje de semillas que requieren de un tiempo de reposo en un sustrato húmedo para germinar, el cual puede ser de hasta 50 días (Fig. 8).

El peso fresco determinado para las bellotas de *Q. rugosa* fue de 3.75 ± 0.29 g (con una variación de 1.7 a 5.7 g) y es diferente del reportado en otros trabajos realizados con la misma especie en el Ajusco, que señalan un peso fresco de 0.73 a 5.23 g (Robledo, 1997) y de 1.99 ± 1.14 g (Bonfil, 1998). Por otra parte, para este encino en el estado de Hidalgo se han reportado valores de 2.09 ± 0.51 g (Zavala, 2004), y en Chiapas valores de 0.9 a 3.5 g (Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). Esta variación podría deberse a que el peso de las semillas no se distribuye normalmente y a que las muestras no son lo suficientemente grandes (Robledo, 1997). Aunque, la variabilidad del peso de las bellotas también podría estar relacionada con las características de la colecta (si es que las bellotas fueron colectadas directamente de los árboles o del suelo), el sitio de donde provienen las semillas (es decir, el tipo de hábitat donde se localiza la planta madre), la variación del periodo del año en el que se presenta la dispersión de las semillas, el tamaño de la planta madre y con las condiciones climáticas propias de cada año; estos dos últimos factores han sido señalados también para otras especies de encinos (tanto blancos como rojos) de Louisiana y el este de Texas, E.U.A. (Goodrum *et al.*, 1971). Otro factor que podría influir en la variación del peso fresco de las semillas son las condiciones humedad en las que fueron colectadas las semillas.

Como en toda especie recalcitrante, las bellotas de *Q. rugosa* se dispersaron de la planta madre con altos contenido de humedad ($45.00 \pm 1.19\%$ base húmeda, $82.37 \pm 3.79\%$ base seca). Sin embargo, este valor también difiere ampliamente del contenido de humedad (70.85% base húmeda) reportado para las semillas grandes (3-4 g) colectadas en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, no así con el reportado para semillas pequeñas (1-2 g, 50.66% , Zavala-Chávez, 2004). El contenido de humedad es un factor importante en la tolerancia a la desecación de los encinos. En *Quercus robur* (un encino blanco) se ha reportado que el contenido de humedad con el que se dispersan las semillas de la planta madre, está inversamente relacionado con la tolerancia a la desecación (Finch-Savage y Blake, 1994).

En el presente estudio no se encontró una relación significativa entre el peso de las semillas y su contenido de humedad base seca; y una muy débil para su contenido de humedad base húmeda. Zavala (2004) no encontró relación entre el peso de las semillas y el contenido de humedad base húmeda; esto implica que el peso no es un buen indicador del contenido de humedad en esta especie. Entre el peso fresco y el peso seco existió una fuerte correlación, lo que coincide con los datos reportados en otros trabajos con la misma especie en el Ajusco (Bonfil, 1998; Robledo, 1997), lo que podría indicarnos que a mayor tamaño de las bellotas mayor cantidad de biomasa; por lo tanto el tamaño de las semillas puede ser un mejor indicador para seleccionarlas. El ancho mostró también una fuerte correlación con el peso fresco y el peso seco, esto permite suponer de acuerdo a la morfología de las semillas, el embrión y en particular los cotiledones contribuyen con una mayor proporción a la biomasa de la semilla. El tamaño de los cotiledones

tiene es importante en la supervivencia y establecimiento de las plántulas, ya que estos representan la cantidad de reservas para la futura plántula (Bonfil, 1998).

9.2 Tasas de hidratación y deshidratación de las bellotas

La deshidratación de las bellotas es uno de los principales factores que impide la regeneración natural de los encinos (Zavala-Chávez, 2004). Para los encinos blancos se ha estimado que el contenido de humedad debe mantenerse entre 30 y 50% para evitar la pérdida de viabilidad de las bellotas (Young y Young, 1992). Por otro lado, una vez que las semillas se han dispersado su tasa de deshidratación puede verse afectada por la temperatura; en este trabajo se encontró que la tasa de deshidratación de las bellotas de *Q. rugosa* varía con respecto a la temperatura, de forma que existen diferencias significativas en la velocidad de deshidratación y el contenido de humedad final. A una temperatura de 5 °C la velocidad de deshidratación es más lenta, lo que podría tener aplicaciones prácticas en el almacenamiento de las bellotas. Además, esto explica porque las bellotas de *Q. rugosa* pueden conservar su viabilidad durante 11 meses cuando son almacenadas a una temperatura de entre 5 y 7 °C (Zavala-Chávez, 1994). Las bellotas se deshidrataron incluso cuando estaban sobre la superficie del agar a temperatura constante (21 °C). Este resultado podría explicar por qué la siembra directa de bellotas no es una técnica restauradora exitosa. Por otro lado, las bellotas de esta especie pueden permanecer viables en el suelo hasta 35 días después de su dispersión (Robledo, 1997), pero es necesario señalar que las condiciones de humedad y temperatura puede reducir este lapso de tiempo. De

manera de que si se dejan las bellotas en sitios perturbados, donde debido a la pérdida de la cobertura vegetal, la temperatura es elevada y por lo tanto decrementa la humedad del suelo, las bellotas pierdan su contenido de humedad y con ello su viabilidad.

9.3 Germinación

La temperatura no sólo influyó en la tasa de deshidratación sino también en la germinación de las semillas. Altas temperaturas (50 °C) por periodos muy breves (dos horas), así como bajas temperaturas (5 °C) durante una semana, aumentaron la capacidad y el día de inicio de la germinación. Estos datos sugieren la presencia de latencia fisiológica superficial, que es causada por el embrión o por las interacciones entre el embrión y sus estructuras de cubierta; este tipo de latencia puede romperse por medio de estratificaciones a altas o bajas temperaturas (Baskin y Baskin, 1998). En el primer caso se puede debilitar la cubierta de la semilla permitiendo que un embrión inmaduro pueda romper su cubierta o embeberse. En el segundo caso, las temperaturas bajas pueden modificar en la semilla las concentraciones de giberelinas o la sensibilidad a las mismas, rompiendo así la latencia fisiológica. Se ha reportado que, en términos generales, las especies de encinos rojos requieren de exposición a bajas temperaturas para germinar, mientras que en las especies de encinos blancos un tratamiento de estratificación fría (en el cual las semillas son expuestas a bajas temperaturas) puede decrementar su germinación (McPherson, 1992). En semillas recalcitrantes las bajas temperaturas también puede reducir la viabilidad (Pritchard *et al.*, 1995).

Esto se debe a que cuando los tejidos en semillas recalcitrantes están expuestos durante periodos prolongados a contenidos de agua intermedios, las temperaturas bajas producen daños oxidativos, que tienen como consecuencia final un desequilibrio metabólico y con esto una reducción en la capacidad germinativa (Pammenter *et al.*, 2000). En el caso de *Q. rugosa* el efecto de la baja temperatura dependió del tiempo de exposición, periodos más largos que una semana de exposición a 5 °C redujeron la germinación de las bellotas.

También, se ha reportado que el fuego puede aumentar la germinación en los encinos (Abram, 2003), lo que podría estar relacionado con la mayor germinación obtenida de las bellotas a 50 °C por dos horas, ya que durante los incendios superficiales las temperaturas pueden ser muy altas pero la exposición a las mismas es corta (Vivar-Evans *et al.*, 2006).

9.4 Ciclos de hidratación-deshidratación en las bellotas

El cambio del contenido de humedad calculado para las bellotas sometidas a los ciclos de hidratación-deshidratación se estimó a partir del peso fresco de las bellotas (medido directamente con la balanza), el peso de las bellotas durante los días que duró el experimento y el peso seco final (el cual no se obtuvo directamente, sino que se obtuvo de la relación entre el peso fresco y el peso seco de las bellotas utilizadas en el experimento de determinación del contenido de humedad). Por lo anterior, el cambio del contenido de humedad reportado, es un cambio en el peso, pero no es posible asegurar que este aumento se debe solamente a una entrada de agua a la semilla, porque eso implicaría desecarla y

matarla. Entonces el incremento del peso a lo largo del tiempo de hidratación no sólo puede explicarse debido a un incremento en el contenido de humedad y a la elongación celular, si no también a un aumento en biomasa producto del desarrollo del embrión durante el proceso de germinación. Esto último se sugiere porque se observó que durante el tratamiento de dos y tres ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C hubo germinación y la radícula que se desarrolló era fuerte y vigorosa. Esto concuerda con el hecho de que algunas semillas recalcitrantes germinan cuando se almacenan hidratadas (Pritchard *et al.*, 2004).

Aunque la temperatura y la humedad son dos factores importantes para la viabilidad en especies recalcitrantes, es importante mencionar que, al menos una pequeña deshidratación al final del desarrollo de la semilla, es parte su desarrollo natural. Incluso, esta deshidratación determina en algunas especies recalcitrantes la capacidad germinativa de la población (Kermode, 1995). Para *Q. rugosa* esto se confirma, ya que se encontró que una pequeña deshidratación (del 85 al 60% de CH_{bs}) incrementa la velocidad y la capacidad de germinación de las semillas de esta especie (controles de las figuras 8 y 11). Estos valores a su vez, se encuentran por arriba de los límites del contenido de humedad que los encinos blancos deben mantener (30 y 50%) para no perder su viabilidad (Young y Young, 1992).

Durante los ciclos de hidratación-deshidratación se observó que, independientemente de la temperatura a la que estos se aplicaron, durante la subsecuente deshidratación, las semillas no pierden toda el agua ganada durante el periodo de hidratación, por lo que ésta se acumula en los ciclos subsecuentes. La aplicación de los ciclos de hidratación-deshidratación a 5 °C en bellotas de *Q. rugosa* provocaron una reducción en la capacidad de germinación con respecto al

control y a las bellotas expuestas a los ciclos a 21 °C; una disminución en la velocidad de germinación, en el caso de un ciclo a 5 °C, y ninguna diferencia significativa con respecto al control en las bellotas sometidas a dos y tres ciclos a 5 °C. El día de inicio de la germinación para las bellotas expuestas a estos ciclos a 5 °C fue posterior (en uno y dos ciclos a 5 °C) o igual (en tres ciclos a 5 °C) que el de las bellotas control. Es decir estos ciclos a bajas temperaturas no provocaron una germinación más rápida y sincrónica que la encontrada en bellotas no endurecidas, por lo que no es recomendable utilizar este tipo de tratamientos a bajas temperaturas en bellotas de *Q. rugosa*. Esto podría explicarse debido a que la temperatura tiene una gran influencia en la tasa de deshidratación de las semillas (Sun y Liang, 2001) y en los procesos bioquímicos y metabólicos ligados a la germinación en sus tres fases (imbibición, fase lag y elongación de la radícula). Estos procesos pudieron haber ocurrido en *Quercus rugosa* a diferente velocidad cuando las bellotas se expusieron a diferente temperatura, lo que explica que las bellotas expuestas a 5 °C germinación en menor proporción durante los ciclos de hidratación.

Por otro lado, cuando las bellotas fueron expuestas a ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C germinaron en mayor (uno y dos ciclos a 21 °C) o igual (tres ciclos a 21 °C) porcentaje que las bellotas control. Las semillas sometidas a un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C (las menos hidratadas al momento de la siembra sin considerar a las semillas controles) fueron las únicas que alcanzaron un 100% de germinación, esto podría sugerir que el contenido de humedad debe de mantenerse dentro de cierto intervalo para evitar la pérdida de viabilidad de las bellotas. Experimentos con *Quercus emoryi* y *Quercus arizonica*,

muestran que las bellotas almacenadas a temperatura ambiente y con bajo contenido de humedad, tienen al ser sembradas un mayor porcentaje de germinación que las bellotas almacenadas a bajas temperaturas y con mayor contenido de humedad (Nyandiga y McPherson, 1992).

Por otro lado, la tasa de germinación más baja se encontró en las semillas que se expusieron a tres ciclos de hidratación-deshidratación a 21 °C; este grupo de semillas junto con las bellotas expuestas a tres ciclos a 5 °C fueron los que alcanzaron el contenido de humedad, estimado en peso, más alto. Sin embargo, las bellotas sometidas a tres ciclos a 5 °C alcanzaron la velocidad más alta de germinación al igual que las semillas sometidas a un ciclo a 21 °C. Es importante mencionar, que el aumento del peso no se debe tan sólo a un aumento en el contenido de humedad, sino a un avance en el proceso de germinación y por ende en el crecimiento del embrión. De manera que se puede sugerir que las semillas sometidas a 3 ciclos a 21 °C incrementaron su peso final por una mayor hidratación post-dispersión (en los primeros dos ciclos) lo cual llevó a un avance asincrónico en la germinación produciendo una menor velocidad instantánea máxima de germinación y una mayor dispersión en el día de inicio de la germinación (pérdida de la sincronía en la germinación). Mientras que las semillas expuestas a tres ciclos a 5 °C incrementaron su peso final por un avance más lento en la entrada del agua a la semilla en los primeros ciclos, debido al efecto de la baja temperatura, lo que llevó a un aumento de peso debido solamente a la entrada de agua, lo que provocó una mayor velocidad instantánea máxima de germinación. Esto concuerda con que el contenido de humedad inicial no es un factor que *per se* explique la variabilidad en la germinación de las bellotas de los

encinos, sino que la temperatura de almacenamiento también debe de considerarse para explicar la respuesta germinativa (Nyandiga y McPherson, 1992).

Los resultados indican que a mayor hidratación post-dispersión de la semilla mayor es el avance en el proceso germinativo y por ende mayor intolerancia a la deshidratación. De hecho algunas semillas tienen la habilidad de tolerar la desecación durante un periodo de tiempo corto después de que el crecimiento del embrión ha comenzado. Sin embargo, en la mayoría de los casos los tejidos en expansión pueden dañarse de tal manera que no pueden retomar el proceso de crecimiento y con ello mueren (Bradford, 1995). Este es un aspecto que podría considerarse para aplicar los ciclos de hidratación-deshidratación y al recolectar semillas del suelo, cuando el suelo aún tiene suficiente disponibilidad de agua como para favorecer la hidratación de la semilla después de su diseminación, ya que las semillas recolectadas pueden haber avanzado hacia la germinación.

9.5 Crecimiento y supervivencia de las plántulas

Las evaluaciones que se han hecho sobre el efecto de tratamientos acondicionadores de semillas se han realizado, por lo general, en cosechas finales de plantas cultivadas, por lo que frecuentemente las diferencias en la biomasa no pueden atribuirse con claridad a un efecto directo del tratamiento sobre el crecimiento, ya que la rapidez en la germinación y una mayor capacidad germinativa generan plántulas de edades distintas; por lo que las diferencias en

crecimiento pudieran ser más un efecto de la diferencia de edades entre las plántulas, que un efecto del tratamiento (Sánchez *et al.*, 2001).

En *Q. rugosa*, los análisis de regresión mostraron que las diferencias en las variables de crecimiento en las plantas originadas de semillas sometidas a los diferentes tratamientos pre-germinativos de endurecimiento, no son producto de las diferencias en la edad de la planta (producida por las distintas velocidades de germinación) sino más bien a un efecto directo de estos tratamientos en el crecimiento.

En todas las variables de crecimiento evaluadas (altura, área foliar, número de hojas, diámetro basal y cobertura) a excepción del número de ramas, se observó un efecto del endurecimiento hídrico de la bellota y la plántula. Las plantas derivadas de bellotas expuestas a ciclos de hidratación-deshidratación tuvieron mayores valores en las variables de crecimiento, tanto si fueron sometidas a un NHA como a un NHB, lo que sugiere que los tratamientos pre-germinativos de endurecimiento incrementan la biomasa. En plantas de interés agrícola también se ha reportado que estos tratamientos incrementan los rendimientos de las plantas bajo condiciones óptimas y adversas (Sánchez *et al.*, 2001).

Las plantas sometidas a un nivel hídrico bajo (NHB) en la casa de sombra (independientemente del tratamiento pre-germinativo que se les haya aplicado) tuvieron valores de crecimiento menores que las sometidas al nivel hídrico alto (NHA). Es decir, una mayor cantidad de agua incrementa el rendimiento, el mecanismo fisiológico que provoca la reducción en el crecimiento cuando las plantas se someten a un estrés hídrico, es el que se basa en un cierre parcial de

los estomas. Esto conlleva a que se restrinja la fotosíntesis, lo que promueve una reducción en la productividad (Richards y Condon, 1993).

En el crecimiento de las plantas también se observó un efecto sobre las variables de crecimiento de área foliar y número de hojas, el tratamiento de un ciclo de hidratación-deshidratación aunado a un NHA, provocó la tasa más alta de crecimiento en estas variables. Una mayor área foliar implica una mayor superficie fotosintética que se ve reflejada en mayor crecimiento y por lo tanto, en una mayor acumulación de carbono y reservas (Salisbury y Ross, 1994). La sequía provoca una reducción de la expansión de la lámina de las hojas así como evita la aparición de hojas nuevas, lo que explica la disminución del área foliar en plantas preacondicionadas hídricamente (Jones, 1992). En *Q. rugosa* la caída de las hojas se ha señalado como una estrategia para evitar la sequía, sin embargo la pérdida de todas las hojas provoca la mortalidad de la planta (Bonfil, 2006).

A pesar de las diferencias en el crecimiento de las plantas sometidas a los distintos niveles de riego mencionados y derivadas de semillas expuestas a ciclos de hidratación-deshidratación, la supervivencia de las plantas en el campo, no fue significativamente distinta. Se ha reportado que *Quercus suber* (encino blanco) muestra un desacoplamiento entre la supervivencia y el crecimiento, ya que plántulas germinadas en micrositios abiertos fueron más altas en comparación con las plántulas germinadas bajo los árboles. Sin embargo, la supervivencia fue menor en los sitios abiertos en comparación con la zona bajo los árboles; los autores señalan que la mayor supervivencia en sitios bajo los árboles es debido a que ahí se evita el desecamiento extremo (Marañón *et al.*, 2004).

La diferencia no significativa en la supervivencia de las plantas expuestas a los tratamientos de riego y derivadas de semillas endurecidas con respecto al control, podría atribuirse a que las condiciones ambientales en los sitios perturbados del Ajusco, ejercieron un efecto similar para ambos grupos de plantas. Sin embargo, después de las heladas del invierno las únicas plantas que sobrevivieron provenían de semillas con endurecimiento (observación personal). La reducción de la cobertura vegetal que caracteriza a los sitios perturbados puede causar modificaciones en el microclima (Salati y Nobre, 1991), entre los que se encuentran un aumento en la temperatura y una reducción en la humedad del suelo (Dickinson, 1991). Además la porosidad de la roca basáltica presente en el Ajusco reduce la disponibilidad de agua por infiltración (Bonfil, 2006). Todas estas condiciones correspondientes a las zonas perturbadas del Ajusco provocaron una alta mortalidad en las plantas de *Q. rugosa*, incluso si es que fueron previamente endurecidas. Sin embargo, el endurecimiento pre-germinativo, si incremento la germinación y el crecimiento de las plantas.

9.6 Consideraciones finales

Las especies con semillas sensibles a la desecación que se presentan en ambientes marcadamente estacionales, se caracterizan por tener gran tamaño, germinar rápidamente, poseer defensas físicas reducidas y dispersarse en los meses del año en los que la precipitación es mayor. Estos atributos se consideran una estrategia dirigida a reducir la tasa de desecación y con esto aumentar la supervivencia de las semillas (Pritchard *et al.*, 2004).

Sin embargo, *Q. rugosa* en el Ajusco se dispersa al final de la época lluviosa, de octubre a noviembre (la época del año donde las temperaturas son menores), por lo que podría sugerirse que la estrategia de regeneración de la especie esta ligada a una dispersión en la época del año en que la temperatura es más baja. Con esta fenología, se disminuye la tasa de deshidratación de las bellotas; ya que como se apreció en los resultados a pesar de colocar las semillas sobre un sustrato húmedo (agar) (semejando a la humedad en el suelo durante la época de lluvias), el contenido de humedad final se redujo igual que en las semillas que no se colocaron en un sustrato húmedo. Sólo en las semillas que estuvieron a temperaturas bajas este decremento fue menor, es decir la temperatura tiene una influencia en la tasa de deshidratación de las bellotas a diferencia del sustrato en el que se coloque a las mismas.

Una vez que las bellotas de *Q. rugosa* germinan (lo cual ocurre casi inmediatamente después de que son dispersadas) las plantas deben de sobrevivir un periodo de sequía de variable extensión (más de 6 meses, hasta que la temporada de lluvias comience aproximadamente entre mayo y junio). Por lo tanto sólo en aquellos años donde la temporada de secas se reduce, las condiciones son propicias para un establecimiento abundante de plántulas. En años promedio, la mayoría de las plántulas mueren durante la temporada seca del primer año, y las bellotas de esta especie, al ser recalcitrantes y por lo tanto dispersarse con altos contenidos de humedad, no permanecen viables en el suelo hasta la temporada de lluvias siguiente (Bonfil, 2006).

Los resultados del presente estudio sugieren que a pesar de que las bajas temperaturas reducen la velocidad de deshidratación de las bellotas, cuando se

aplican los ciclos de hidratación-deshidratación a bajas temperaturas (5 °C) como tratamiento pre-germinativo para endurecer y robustecer a las semillas, éstas germinan en menor cantidad que las semillas que no fueron expuestas a tratamientos de endurecimiento. Por otro lado, cuando estos tratamientos son aplicados a 21 °C las bellotas incrementan significativamente su capacidad germinativa y se sincroniza la germinación, siendo el tratamiento de un ciclo el que provocó la mayor capacidad germinativa (100%) en el menor tiempo (12 días). Además, estos tratamientos pre-germinativos incrementan el crecimiento de las plántulas. Por lo anterior es recomendable utilizar este tratamiento pre-germinativo (un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C) para las bellotas de *Q. rugosa* como una práctica de restauración, que provoca una mayor germinación y crecimiento en las plántulas.

Por otro lado, la aplicación del endurecimiento hídrico en semillas es de bajo costo y actualmente se han diseñado equipos para aplicar estos tratamientos a gran escala (Fujikura *et al.*, 1993).

En la literatura se ha sugerido que transplantar plántulas de uno o dos años de edad (eliminando la herbivoría por medio de rejas) en el borde del bosque, podría incrementar las tasas de supervivencia con respecto a las plántulas introducidas a zonas perturbadas y más jóvenes (Bonfil, 2006). Sin embargo, lo anteriormente sugerido tiene la desventaja de que las plantas más viejas y con mayor biomasa, requieren de más luz (que es interceptada por la vegetación adyacente en condiciones de borde) para alcanzar mayores tasas de crecimiento, por lo que la selección del sitio debe tomar en cuenta las condiciones lumínicas.

Además de considerar el tamaño de las raíces y el tipo de contenedor, así como los riesgos en el transplante.

10. CONCLUSIONES

- El peso y el tamaño de las bellotas de *Quercus rugosa* no están relacionados con el contenido de humedad de las mismas.
- La tasa de deshidratación de las bellotas de *Q. rugosa* disminuye cuando éstas se almacenan a bajas temperaturas.
- Las bajas temperaturas por periodos menores a una semana y las altas por periodos de dos horas incrementan la capacidad de germinación de la especie.
- Las bellotas de *Q. rugosa* sometidas al tratamiento pregerminativo de un ciclo de hidratación-deshidratación a 21 °C alcanzaron el 100% de germinación.
- Los tratamientos pre-germinativos de endurecimiento a baja temperatura (5 °C) no incrementan la germinación de *Q. rugosa*.
- El crecimiento de las plántulas hasta la finalización del periodo de lluvias fue mayor en las plántulas sometidas a los tratamientos pre-germinativos de endurecimiento.
- El crecimiento hasta el final del periodo de lluvias fue mayor en las plántulas sometidas a un riego a capacidad de campo.
- La técnica endurecedora de semillas (ciclos de hidratación-deshidratación) es de bajo costo y de fácil aplicación.

11. BIBLIOGRAFÍA

Abrams, M. 2003. Where has all the white oak gone?. *BioScience*. **53**(10): 927-939.

Baskin, C. y Baskin, J. 1998. Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press. California. 666 pp.

Benitez, R. J. L. 2005. Estudio ecofisiológico de germinación y crecimiento de *Dodonea viscosa* (L.) Jacq. con fines de restauración en zonas perturbadas del valle de México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología. UNAM. México. 60 pp.

Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *The plant cell*. **9**: 1055-1066.

Bonfil, C.; Pisanty, I.; Mendoza, A.; Soberón, J. 1997. Investigación y restauración ecológica: el caso del Ajusco medio. *Ciencia y Desarrollo*. **135**:14-23.

Bonfil, C. 1998. **Dinámica poblacional y regeneración de *Quercus rugosa*: implicaciones para la restauración de bosques de encinos.** Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Bonfil, C. 2006. Regeneration and population dynamics of *Quercus rugosa* at the Ajusco Volcano, México. En: Kappelle, M. (ed.). **Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests.** *Ecological Studies*. **185**. Springer-Verlag Berlin. 155-163 pp.

Bonner, F. T. 1990. Storage of seeds: potencial and limits for gemoplasm conservation. *Forest Ecology and Management*. **35**: 35-43.

Bradford, K. 1995. Water relations in seed germination. En: Kigel, J. y Galili, G. (eds.). **Seed development and germination**. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. 351-396 pp.

Bray, C. M. 1995. Biochemical processes during osmopriming of seeds. En: Kigel, J. & Galil, G. (eds.). **Seed development and germination**. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. 767-789 pp.

Bye, R.; Caballero, J.; Linares, E.; Mapes, C.; Martínez, M. A.; y Mendoza, M. 1993. Non-timber forest resources in Mexico –an overview. Informe para el Banco Mundial (no publicado). Jardín Botánico, Instituto de Ecología. UNAM. Mexico.

Calderón, G. y Rzedowski, J. 2001. **Flora Fanerogámica del Valle de México**. Instituto de Ecología, A.C.-CONABIO. 1406 pp.

Cervantes, V. 1996. La reforestación en la Montaña de Guerrero: una alternativa con leguminosas nativas. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México.

Crepet, W. y Nixon, K. C. 1989. *Trigonobalanus* (Fagaceae): Taxonomic status and phylogenetic relationships. *American Journal of Botany*. **76(6)**:828-841.

Challenger, A. 1998. La zona ecológica templada subhúmeda (bosque de pino y encino). En: Challenger, A. **Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México**. CONABIO-Instituto de Biología, UNAM-Agrupación Sierra Madre, S. C. 519-615.

Dickinson, R. E. 1991. A commentary on: probable impact of deforestation on hydrological processes. *Climatic Change*. **19**: 175.

Ellis, R. 1991. The longevity of seeds. *HortScience*. **26(9)**: 1119-1125.

Evans, J. 1992. Plantation forestry in the tropics. Clarendon Press, Oxford. 403 pp.

Farnsworth, E. 2000. The ecology and physiology of viviparous and recalcitrant seeds. *Annual Review of Ecology and Systematics*. **31**: 107-138.

Farrant, J. M.; Pammenter, N. W. y Berjak, P. 1993. Seed development in relation to desiccation tolerance: a comparison between desiccation-sensitive (recalcitrant) seed of *Avicennia marina* and desiccation-tolerant types. *Seed Science Research*. **3**: 1-13.

Farrant, J. M.; Pammenter, N. W.; Berjak, P.; Farnsworth, E. J. y Vertucci, C. W. 1996. Presence of dehydrin-like proteins and levels of abscisic acid in recalcitrant (desiccation sensitive) seeds may be related to habitat. *Seed Science Research*. **6**: 175-182.

Finch-Savage, W. E. y Blake, P. S. 1994. Indeterminate development in desiccation-sensitive seeds of *Quercus robur* L. *Seed Science Research*. **4**: 127-133.

Fujikura, Y.; Kraak, H. L.; Basra, A. S. y Karseen, C. M. 1993. Hydropriming, a simple and inexpensive priming method. *Seed Science and Technology*. **21**: 639-642.

Gaceta Oficial del Distrito Federal. 19 agosto 2005.

Garagna, S.; Zuccotti, M.; Vecchi, M. L.; Rubini, P. G.; Capanna, E. y Redi, C. A. 2001. Human-dominated ecosystems and restoration ecology: Seveso today. *Chemosphere*. **43**: 577-585.

García, E. 1988. **Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.** Instituto de Geografía. UNAM. México.

González-Hidalgo, B.; Orozco-Segovia, A. y Diego-Pérez, N. 2001. La vegetación de la reserva ecológica Lomas del Seminario, Ajusco, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* **69**:77-99.

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 expresión. *Seed Science Research.* **11**: 27-34.

González-Zertuche, L.; Orozco-Segovia, A.; Baskin, J. y Baskin, J. M. 2002. Effects of priming on seeds of the native Mexican tree *Buddleia cordata* HBK spp cordata (Longaniaceae) and possible ecological significance. *Seed Science and Technology.* **30**: 535:548.

Goodrum, P. D.; Reid, V. H. y Boyd C. E. 1971. Acorns yields, characteristics, and management criteria of oaks for wildlife. *Journal of Wildlife Management.* **35**(3): 520-532.

Harrington, J. F. 1973. Problems of seed storage. En: Heydecker, W. **Seed Ecology.** The Pennsylvania State Univesity Press. 251-263.

Higgs, E. 1997. What is good ecological restoration?. *Conservation Biology.* **11**(2): 338-348.

Hong, T. P. y Ellis, R. M. 1996. **A protocol to determine seed storage behavior.** Reading Unversity. Ed. J. M. M. Engels and J. Toll. 60 pp.

INEGI. 2000. *VII al XII Censos de Población y Vivienda, 1950 a 2000.* México.

INEGI. 2002. Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y zona metropolitana. México.

Jones, J. H. 1986. Evolution of *Fagaceae*: The implications of foliar features. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. **73**(2):228-275.

Jones, H. G. 1992. Plants and microclimate. Cambridge University Press, Cambridge.

Karssen, C. M.; Haigh, A.H.; Van der Toorn, P. y Weges, R. 1990. Physiological mechanisms involved in seed priming. En: Taylorson, R. B. Ed. **Recent advances in the developmental germination of seeds**. Plenum Press, London, New York.

Kermode, A. R. 1990. Regulatory mechanisms involved in the transition from seed development to germination. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 9: 155-195.

Kermode, A. R. 1995. Regulatory mechanisms in the transition from seed development to germination: interactions between the embryo and the seed environment. En: Kigel, J. y Galili, G. (eds.). 1995. Seed development and germination. Marcel Dekker, Inc. New York. 273-332.

Manos, P. S. J.; Doyle, J. y Nixon, K. C. 1998. Phylogeny, biogeography and processes of molecular differentiation in *Quercus* subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. **12**(3): 333-349.

Marañón, T.; Villar, R.; Quero, J. L.; Pérez-Ramos I. M. 2004. Análisis del crecimiento de plántulas de *Quercus suber* y *Q. canariensis*: experimentos de campo y de invernadero. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. **20**: 87-92.

Martínez, L. y Chacalo, A. 1994. **Los árboles de la ciudad de México.** UAM-Azcapotzalco. México.

Mas, J. F.; Velázquez, A.; Reyes Díaz-Gallegos, J.; Mayorga-Saucedo, R.; Alcántara, C.; Bocco, G.; Castro, R.; Fernández, T.; Pérez-Vega, A. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 5(4): 249-261.

McPherson, G. 1992. Ecology of oak woodlands in Arizona. En: Ffolliot, P., Gootfried, J., Bennett, D., Hernández, V., Ortega-Rubio, A. y Hamre, R. **Ecology and management of oak and associated perspectives in the southwestern united states and northern Mexico.** USDA Forest Service. General Technical Report. 24-33pp.

Miyawaki, A. 1998. Restoration of urban green environments base on the theories of vegetación ecology. *Ecological Engineering*. 11: 157-165.

Naveh, Z. 1998. Ecological and cultural landscape restoration and the cultural evolution towards a post-industrial symbiosis between human society and nature. *Restoration Ecology*. 6(2): 135-143.

Nixon, K. C. 1998. El género Quercus en México. En: Ramammoorthy, T. P.; Bye, R.; Lot, A. y Fa, J. (eds.). **Diversidad biológica de México: orígenes y distribución.** Instituto de Biología, UNAM. 435-447pp.

Nixon, K. C.; Jensen, R. J.; Manos, P. S. y Muller, C. H. 1997. *Flora of North America. North of Mexico, vol. 3 Magnoliophyta, Magnoliidae and Hamamelidae.* Oxford University Press. Nueva York. 445-506.

Nyandiga, Ch. y McPherson, G. 1992. Germination of two warm temperate oaks, *Quercus emoryi* and *Quercus arizonica*. *Canadian Journal of Forest Research*. **22**: 1395-1401.

Pammenter, N. W.; Berjak, P. y Walters, C. 2000. The effect of drying rate on recalcitrant seeds: 'Lethal water contents', causes of damage, and quantification of recalcitrance. En: Black, M; Bradford, K. J. y Vázquez-Ramos, J. **Seed Biology: Advances and Applications**. CAB Internacional. 215-221.

Pammenter, N. W. y Berjak, P. 1999. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. *Seed Science Research*. **9**: 13-37.

Pammenter, N. W. y Berjak, P. 2000. Evolutionary and ecological aspects of recalcitrant seed biology. *Seed Science Research*. **10**: 301-306.

Powell, A.; Yule, L.; Jing, H.; Groot, S.; Bino, R.; Pritchard, H. 2000. The influence of aerated hydration seed treatment on seed longevity as assessed by the viability equations. *Journal of Experimental Botany*. **51**(353): 2031-2043.

Pritchard, H. W.; Tompsett, P. B.; Manger, K.; Simdt, W. J. 1995. The effect of moisture content on the low temperature responses of *Araucaria hunsteinii* seed and embryos. *Annals of Botany*. **76**: 79-88.

Pritchard, H. W.; Daws, M.; Fletcher, B.; Gaméné, C.; Msanga, H. y Omondi, W. 2004. Ecological correlates of seed desiccation tolerance in tropical african dryland trees. *American Journal of Botany*. **91**(6): 863-870.

Richards, R. C. y Condon, A. G. 1993. Challenges ahead in using carbon isotope discrimination in plant-breeding programs. En: Ehleringer, J. R.; Hall, A. E.; Farquhar, G. D. (eds.). **Stable isotopes and plant carbon-water relations**. Academic Press, San Diego. 451-462 pp.

Robinson, W. H. 1996. **Urban Entomology**. Chapman & Hall, Londres.

Robledo, J. A. 1997. Germinación y crecimiento de plántulas de cuatro especies de encinos del Ajusco D.F. efecto del tamaño de la semilla. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. Mexico.

Romero-Rangel, S.; Rojas-Zenteno, E. C. y Aguilar-Enríquez, M. L. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. **89** (4): 551-593.

Rodríguez, M. C.; Orozco-Segovia, A.; Sánchez-Coronado, M. E. y Vázquez-Yañez, C. 2000. Seed germination of six mature neotropical forest species in response to dehydration. *Tree Physiology*. **20**: 693-699.

Rodríguez-Sánchez, L. y Cohen, E. 2003. **Guía de árboles y arbustos de la zona metropolitana de la Ciudad de México**. Remuceac, UAM, Gobierno del D.F. 38 pp.

Rzedowski, J. 1981. **Vegetación de México**. Ed. Limusa. México. 432pp.

Salati, E. y Nobre, C. 1991. Posible climatic impacts of tropical deforestation. *Climatic Change*. **19**: 177-196.

Salisbury, F. y Ross C. 1994. **Fisiología Vegetal**. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 759 pp.

Sánchez, J A.; Orta, R. y Muñoz, B. 2001. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense*. **25**(1): 67-92.

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.

Sun, W. y Liang, Y. 2001. Discrete levels of desiccation sensitivity in various seeds as determined by the equilibrium dehydration method. *Seed Science Research*. **11**: 317-323.

Taylor, A. G.; Allen, P. S.; Bennett, M. A.; Bradford, K. J.; Burris, J. S.; y Misra, M. K. 1998. Seed enhancements. *Seed Science Research*. **8**: 245-256.

Toledo, V. M.; Carabias, J.; Toledo, C. y González-Pacheco, C. 1989. *La producción rural en México: alternativas ecológicas*. Colección Medio Ambiente, núm. 6. Fundación Universo Veintiuno. México.

Toledo, V. M. y Ordoñez, M. 1993. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. En: Ramammoorthy, T. P.; Bye, R.; Lot, A. y Fa, J. (eds.). **Diversidad biológica de México: orígenes y distribución**. Instituto de Biología, UNAM. 739-757pp.

Valencia, A. S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **75**: 33-53.

Valencia, A. S. y Nixon K. C. 2004. *Encinos*. En: García-Mendoza, A.; Ordoñez, M. J.; Briones-Salas, M. (eds.). **Biodiversidad de Oaxaca**. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Vázquez-Yanes, C. 1999. La fisiología ecológica de las plantas. En: Orellana, R.; Escamilla, J.; Larqué-Saavedra (Eds.). **Ecofisiología vegetal y conservación de**

recursos genéticos. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida. 1-9 p.

Vázquez-Yanes, C.; Orozco, A.; Rojas, M.; Sánchez, M. E. y Cervantes, V. 1997. **La reproducción de las plantas: semillas y meristemos.** Colección La Ciencia Para Todos. 157. Fondo de Cultura Económica. México. 167 pp.

Vázquez-Yanes, C; Batis, A. I.; Alcocer, M.; Gual, M. y Sánchez, C. 1999. **Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación.** Instituto de Ecología, UNAM-Conabio.

Vivar-Evans, S.; Barradas, V. L.; Sánchez-Coronado, M. E.; Gamboa de Buen, A. y Orozco-Segovia, A. 2006. Ecophysiology of seed germination of wild *Dalia coccinea* (Asteraceae) in a spatially heterogeneous fire-prone habitat. *Acta Oecologica*. **29**: 187-195.

Young, J. y Young Ch. 1992. **Seeds of woody plants in North America.** Dioscorides Prees. Pórtland, Oregon. 407 pp.

Zavala-Chávez, F. 2004. Desecación de bellotas y su relación con la viabilidad y germinación. *Ciencia ergo sum*. **11**(2):177-185.

Zar, J. H. 1974. **Biostatistical Analysis.** Prentice Hall, Londres.

www.semarnat.gob.mx/pfnm/QuercusRugosa.html