

00345.5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTUDIO ECOFISIOLÓGICO DE LA GERMINACIÓN DE DOS  
ESPECIES ARBUSTIVAS DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL  
DODONAEA VISCOSA (L) JACQ. Y SENNA MULTIGLANDULOSA  
(JACQ.) IRWIN & BARNEBY (CESALPINACEAE).

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

(BIOLOGÍA VEGETAL)

P R E S E N T A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

BIOL. MARTHA AMÉRICA PLATA ALVAREZ

DIRECTORA DE TESIS: (DRA. ALMA DELFINA LUCIA OROZCO SEGOVIA)

2002



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.



¿Has visto cómo crecen las plantas? Al lugar en que cae la semilla acude el agua: es el agua la que germina, sube al sol. Por el tronco, por las ramas, el agua asciende al aire, como cuando te quedas viendo el cielo de medio día y tus ojos empiezan a evaporarse. Las plantas crecen de un día a otro. Es la tierra la que crece; se hace blanda, verde, flexible. El terrón enmohecido, la costra de los vicios árboles, se desprende, regresa. ¿Lo has visto? Las plantas caminan en el tiempo, no de un lugar a otro: de una hora a otra hora. Esto puedes sentirlo cuando te extiendes sobre la tierra, boca arriba, y tu pelo penetra como un manojito de raíces, y toda tú eres un tronco caído. -Yo quiero sembrar una semilla en el río, a ver si crece un árbol flotante para treparme a jugar. En su follaje se enredarían los peces, y sería un árbol de agua que iría a todas partes sin caerse nunca



J. Sabines



## Mil gracias...

Papá ..y aun cuando intente expresarte por escrito lo importante que resulta mi profesión para mí, resultará más complejo el que logres entenderme, no intentes hacerlo, no te lo recomiendo, mi profesión es muy cambiante, hoy se dice algo, mañana ya no cuenta, es así, como la vida. Y a pesar de que no te gusta que se te agradezca nada, creo que es mi deber reconocer que he tenido la libertad de elegir y de opinar, y de tí, el gran regalo del ejemplo y humildad...

Dra. Alma y María Esther por ser y servir, por formar y construir, por compartir y despertar el interés científico de la crítica y el análisis a través de sus conocimientos, pero sobre todo por ser lindas ..

Gracias a mis sínodales: Dr. Barradas, Dra. Collazo, Dra Brechu y a la M. en C. Rojas por contribuir en el mejoramiento del escrito Gracias por compartir su entusiasmo que nutre nuestro espíritu universitario.

A mis acompañantes de campo: Mario Alberto, Marcos, José Antonio, Nacho, Angélica y Tere, por que su apoyo más que logístico fue placidamente grato.

A Tere, Nely, Leo, Alfredo, Lupita, Lucero, Polo, Angélica, Lorena, Gustavo, Ricardo, Patí, Tere, Daniel, por compartir su sabiduría, su tiempo, sus consejos, sus críticas, en fin por ser parte de mi espacio y soportar mi espacio.

La parte económica se la agradezco al CONACYT que en su proyecto G0011-N llamado "Restauración ecológica del Pedregal de San Ángel", solvento parte sustancial de mis estudios.

La parte formativa se la agradezco a la UNAM, pero ¿qué es la UNAM? A mis maestros inolvidables, en quienes encontré siempre la disposición formativa, a mis compañeros por que me dan la pauta a competir y con ello a crecer, a mis amigos los de dentro y los de fuera de la UNAM por elevar el sentido de ser universitario y por último a los que cuidan y mantienen su estabilidad. A todos los que la integramos, mil gracias...

Gracias a mi familia por ser especial, única en su género

A la memoria de María Luisa Álvarez y Carlos Vázquez  
Partes fundamentales en mi formación como ser humano



# INDICE

I. RESUMEN	
II. INTRODUCCIÓN .....	1
1. Ubicación y justificación del trabajo	
III. OBJETIVOS.....	4
1. Generales.	
2. Particulares	
IV. HIPÓTESIS .....	5
V. ESPECIES ESTUDIADAS.....	6
1. Patrón Estructural Básico de las especies en estudio.	
VI. ANTECEDENTES.....	10
1. La semilla y la germinación	
2. Métodos para evaluar la viabilidad de la semilla	
3. Latencia	
a) Embrionaria o innata.	
b) Impuesta.	
c) Secundaria	
4. Los factores ambientales y la germinación	
a) Temperatura	
b) Luz	
VII. MÉTODO.....	21
1. Colecta	
2. Procedimientos generales	
a) Pruebas de viabilidad	
b) Pruebas de germinación	

c) Tratamientos de campo

3. Análisis de resultados

VIII. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	30
IX. RESULTADOS.....	33
X. DISCUSIÓN.....	43
XI. CONCLUSIONES.....	53
XII. SUGERENCIAS.....	54
XIII. LITERATURA CITADA.....	55
XIV. APÉNDICE.....	63

1. ANOVA's

XV. LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Porcentaje de viabilidad de semillas de *Dodonaea viscosa* (A) y de *Senna multiglandulosa* (B) bajo las pruebas de flotación de semillas y de tinción con tetrazolium.

Fig. 2 Porcentaje de germinación acumulada con diferentes tiempos de escarificación y su control para *Dodonaea viscosa* a una temperatura constante de 25°C y alternante de 25-35°C

Fig. 3 Porcentaje de germinación acumulada con diferentes tiempos de escarificación en tres concentraciones de ácido giberélico y su control de *Dodonaea viscosa* a una temperatura constante de 25°C

Fig. 4 Porcentaje de germinación acumulada en semillas con condición de lavado o sin lavado del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a diferentes tiempos de escarificación de semillas de *Dodonaea viscosa* (A) y de *Senna multiglandulosa* (B), ambas con temperatura constante de 25°C

Fig. 5 Porcentaje de germinación final de *Dodonaea viscosa* bajo diferentes condiciones de luz: blanca (LB), rojo lejano (RL) y oscuridad (OSC) con cuatro y seis minutos de escarificación y su control a temperatura constante de 25°C y alternante de 25-35°C

Fig. 6. Porcentaje de germinación acumulada en dos edades y con diferentes tiempos de escarificación en 500 ppm de AG3 para *Senna multiglandulosa*.

Fig. 7 Porcentaje de germinación acumulado con distintos tiempos de escarificación y su control para semillas recién colectadas de *Senna multiglandulosa* a temperatura constante de 25° C y alternante de 25-35° C

Fig. 8 Porcentaje de germinación acumulado a través del tiempo bajo distintos tiempos de escarificación y 500 ppm de AG3 y su grupo control en semillas de seis meses de edad de *Senna multiglandulosa* en dos temperaturas: constante de 25° C y alternante 25-35° C

Fig. 9 Porcentaje de germinación final bajo diferentes condiciones de luz: blanca (LB), Rojo lejano (RL) y oscuridad (OSC) con cuatro, cinco seis y ocho minutos de escarificación y su control para *Senna multiglandulosa* a temperatura constante de 25°C y alternante de 25-35°C

Fig. 10. Porcentaje de germinación acumulada de semillas sembradas en tres micrositios (abierto, oscuridad y sombra del Pedregal de San Ángel). Las semillas permanecieron en el campo durante 232 días

Fig. 11, Tabla 1 Relación entre la germinación y los diferentes parámetros de la temperatura en los sitios de germinación: media, desviación estándar, máxima, mínima y fluctuación diaria a partir de una regresión simple ( $P < 0.05$ ) para semillas de *Dodonaea viscosa*

Fig. 12, Tabla 2 Relación entre la germinación y los diferentes parámetros de la temperatura en los sitios de germinación: media, desviación estándar, máxima, mínima y fluctuación diaria a partir de una regresión simple ( $P < 0.05$ ) para semillas de *Senna multiglandulosa*

Fig. 13 Temperatura máxima, mínima y media registrada en tres micro sitios dentro de la estación seca (04 al 09 de marzo del 2000) en el Pedregal de San Ángel.

Foto 1 *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) dentro de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Patrón estructural del arbusto y de las semillas

Foto 2 *Senna multiglandulosa* (Cesalpiniaceae) dentro de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Patrón estructural del arbusto y de las semillas.

Diagrama De flujo del método experimental

Síntesis de tratamientos para *Dodonaea viscosa*

Síntesis de tratamientos para *Senna multiglandulosa*

## I. RESUMEN

*Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) y *Senna multiglandulosa* (Cesalpinaceae) se distribuyen en zonas tropicales y templadas; con potencial para ser utilizadas como especies ornamentales, medicinales y para la recuperación de suelos erosionados. El objetivo del presente estudio fue evaluar la viabilidad de las semillas de estas especies mediante pruebas de flotación y tinción con cloruro de tetrazolio, así como determinar las condiciones óptimas para su germinación.

Los tratamientos empleados fueron: temperatura constante (25°C) y fluctuante (25-35°C); escarificación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (diferentes tiempos de exposición); luz (luz blanca, rojo lejano y oscuridad) y aplicación de giberelinas (AG<sub>3</sub>, a diferentes concentraciones)

La viabilidad fue de 89.64% en *D. viscosa* y 98.88% en *S. multiglandulosa*. *D. viscosa* germinó igual en ambas temperaturas, mientras que *S. multiglandulosa* germinó mejor a temperatura constante de 25°C.

El mejor tiempo de escarificación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para romper la latencia fue de cuatro minutos en semillas de *D. viscosa* y de ocho minutos en semillas de *S. multiglandulosa*. Ambas especies fueron indiferentes a la luz, con mejor respuesta germinativa en luz blanca. Solo *S. multiglandulosa* requirió de 500 ppm de AG<sub>3</sub>, y su capacidad germinativa se incrementó con el tiempo de almacenamiento. *D. viscosa* sólo presentó latencia impuesta por la cubierta, mientras que *S. multiglandulosa* presentó latencia morfofisiológica.

La siembra en campo para ambas semillas en un periodo de nueve meses indicó que las semillas intactas de *S. multiglandulosa* y *D. viscosa* germinaron mejor en los sitios sombreados que en las oquedades y en los sitios abiertos. El hecho de que aún después de nueve meses en el campo las semillas no hayan germinado en la misma proporción que en el laboratorio refuerza la posibilidad de que formen un banco de semillas permanente. En el caso de *D. viscosa* y *S. multiglandulosa* los experimentos de laboratorio reflejan en gran medida las respuestas en el campo, por lo que los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser útiles en programas de propagación de estas especies con fines diversos.

## II. INTRODUCCIÓN

### 1. Ubicación y justificación del trabajo

El estudio ecofisiológico de aspectos relacionados con la reproducción de las plantas superiores permite establecer las bases fundamentales para la restauración ecológica de ambientes perturbados. Debido a que la semilla juega un papel fundamental en la persistencia de las poblaciones, a partir de la reproducción, dispersión, expansión y sobrevivencia del germoplasma (Vázquez-Yanes y Orozco Segovia, 1993), debemos conocer y determinar los requerimientos ambientales y fisiológicos para su germinación, establecimiento y futuro desarrollo, entender la dinámica de las comunidades naturales e implementar programas de restauración (Camacho, 1987). En este sentido para el estudio de la germinación de semillas es fundamental el conocimiento de los factores ambientales y requerimientos fisiológicos que la regulan.

Los principales factores ambientales que afectan a la germinación son la disponibilidad de agua, la humedad, la temperatura y las condiciones de luz. También es importantes la disponibilidad de nutrientes de la planta progenitora y los niveles hormonales del embrión y de la planta progenitora, entre otros (Baskin y Baskin, 1998). Cuando estas condiciones no son las adecuadas para la germinación, las semillas disminuyen su metabolismo, de tal manera que entran en un periodo de letargo o latencia, propiciando la formación de bancos de semillas en condiciones naturales (Thompson y Grime, 1979).

La luz y la temperatura son dos importantes factores involucrados en la germinación y en el rompimiento de la latencia de las semillas, regulando procesos biológicos básicos como la activación de enzimas y otros procesos bioquímicos (muchos de ellos ligados a la permeabilidad de las membranas celulares), que también pueden actuar en forma indirecta en el rompimiento de las cubiertas seminales (Probert, 1992; Baskin y Baskin, 1998; Williams, 1983).

En el caso de la luz, las semillas de muchas especies presentan requerimientos específicos (Blanca, Rojo, Rojo Lejano u Oscuridad), sin la cual muchas de ellas podrían permanecer sin germinar en el suelo durante largos periodos.

Los requerimientos de temperatura en las semillas también son específicos para el proceso de la germinación, y dependen de las condiciones microambientales en donde se encuentre la semilla, por ejemplo, si se trata de temperaturas constantes o fluctuantes (Baliski y Burton, 1993) que estimulen o no la germinación. Así mismo, se ha demostrado que hay una posible interacción entre la temperatura y la luz, donde la respuesta a la luz es modificada por la temperatura o viceversa. En algunas especies, los requerimientos de temperaturas fluctuantes se reducen en presencia de luz (Totterdell y Roberts, 1980). Otras especies pueden requerir luz en bajas temperaturas pero no en temperaturas altas (Probert, 1992).

En algunas especies se impide la germinación por la presencia de inhibidores químicos y la presencia de una testa dura cuya impermeabilidad no permite la absorción de agua y/o intercambio gaseoso y lleva a tener largos periodos de latencia. Al remover esta barrera química y/o mecánica por medio de la escarificación y/o la eliminación de los inhibidores con agua, la germinación tiende a incrementarse ampliamente (Cervantes *et al.*, 1996, Baskin y Baskin, 1998).

Muchas de las respuestas fisiológicas a la germinación pueden ser específicas, por lo que es necesario estudiar un gran número de especies para comparar los requerimientos germinativos en diferentes ambientes o microambientes y así establecer la relación entre los requerimientos para el rompimiento de la latencia y la germinación con los factores ambientales o microambientales de su área de distribución.

El Pedregal de San Ángel es un ambiente muy heterogéneo debido a la cubierta de lava y a los microambientes que se forman, la temperatura, la luz y la humedad no son ni homogéneos ni continuos en toda su extensión. Hay una amplia variación en escalas

espaciales y temporales, por lo que las especies que crecen en esta zona deben tener requerimientos germinativos que respondan a las condiciones particulares de la infinidad de micro habitats que ahí existen (Carrillo – Trueba, 1999).

El propósito de este trabajo es el de definir las características de latencia y establecer los tratamientos óptimos para la germinación de *Dodonaea viscosa* y *Senna multiglandulosa*, las cuales forman parte estructural de la asociación de *Senecionetum praecosis* que cubre la porción baja del Pedregal de San Angel (Rzedowsky y Rzedowsky, 1990) dentro la Reserva del Pedregal de San Ángel.

### III. OBJETIVOS

#### 1. Generales

Conocer la respuesta germinativa a la luz y a la temperatura en dos especies del estrato arbustivo (*Dodonaea viscosa* y *Senna multiglandulosa*) de la asociación de *Senecionetum praecosis* del Pedregal de San Ángel.

Establecer la relación entre los requerimientos de germinación de estas dos especies y su área de distribución.

#### 2. Particulares

- ✦ Determinar la viabilidad de semillas y la dureza de la testa.
- ✦ Determinar los parámetros del efecto de la escarificación química y su relación con la temperatura
- ✦ Determinar los requerimientos generales de temperaturas constante y fluctuante.
- ✦ Determinar los requerimientos generales de calidad de luz (respuestas a la luz blanca, rojo lejano y oscuridad), su relación con la temperatura y la escarificación.
- ✦ Determinar la respuesta germinativa en campo.

#### IV. HIPÓTESIS

Dado que las especies dentro de una misma comunidad interactúan con las condiciones ambientales existentes en un tiempo y espacio definidos, pueden presentar diferentes requerimientos ecofisiológicos y, por ende, respuestas fenotípicas variadas. Suponiendo que las semillas de diferentes especies se encuentran dentro de una misma comunidad, compartiendo factores de luz y temperatura similares, se espera que el microambiente permita una expresión diferencial del genotipo en la respuesta germinativa.

## V. ESPECIES ESTUDIADAS

Las especies para el estudio se seleccionaron con base en los estratos vegetales definidos por Rzedowski (1954) para la asociación de *Senecio praecox* en la reserva del Pedregal de San Angel (19° 20'02" - 19° 13'45"N, (99° 08'26" - 99° 14'03"W).

La reserva se encuentra dentro de la comunidad llamada *Senecionetum praecosis* que representa la forma de crecimiento más abundante (77%), mientras que los arbustos y los árboles representan un porcentaje minoritario (Soberón, 1994)

El presente estudio abordará a las asociaciones arbustivas y/o arbóreas de *Senecionetum praecosis*, debido a que es la comunidad vegetal más característica del Pedregal.

### 1. Patrón Estructural Básico de las especies en estudio

*Dodonea viscosa* (L.) Jacq. - Sapindáceas

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Sapindales

Familia: Sapindaceae

Género: *Dodonaea*

Sinonimias: *Ptelea viscosa* L. Sp. Pl, 118.1753 (Standley y Steyermark, 1946)

*Dodonaea schiedeana* Schlecht. In Linnaea, xviii (1844)

Esta especie también se le conoce como ocotillo, jirimu, granadina, jarilla, hierba de la cucaracha, cuerno de cabra, varal, munditos o chapulixtle (Martinez, 1979)

Es un arbusto de 1 a 5 m de alto, perennifolio, hojas alternas, sésiles o cortamente pecioladas, láminas simples, linear-oblanceoladas u oblongo-lanceoladas, más o menos angostas, brillantes y viscosas de 5 a 12 cm de largo, agudas o redondeadas en el ápice, glabras y resinosas en el haz, pubescentes a glabras en el envés; flores amarillentas unisexuales, dispuestas en cortos corimbos laterales; tépalos de 3 mm de largo; cápsula samaroide trialada, trilocular, glabras, de 1.5 a 2.5 cm de ancho. Fruto capsuloso y membranoso, rojiza con 3 divisiones y 3 alas, y su floración se presenta de septiembre a octubre. Semillas esferoides de 2.4 mm de diámetro, de color negro o café oscuro brillante.

Distribución: Pachuca; Texcoco; Naucalpan a Xochimilco, en una altitud de 2300-2600m. En el Valle de México no se considera como planta frecuente. Se asocia a las comunidades secundarias, etapas sucesionales de bosques perturbados, especialmente de los encinares y tipos de vegetación mesófila, bordes de arroyos, barrancos y taludes, claros de bosques, lugares expuestos, pastizales deteriorados, terrenos erosionados y matorrales. Su distribución es muy amplia en otras zonas tropicales y subtropicales del globo. (Rzedowski.1954). Es característico de corrientes de lava y suelos someros (Ramírez, 1997)

*Senna multiglandulosa* (Jacq.) Irwin & Barneby (*Cassia tomentosa* L.F.)

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Fabales

Familia: Caesalpinaceae

Género: *Senna*

Sinonimias: *Cassia tomentosa*, *Adipera tomentosa*

También conocida como retama de tierra caliente, parral, frijol cimarrón, mulato, parrita y alcaparrillo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Arbusto o arbolito de 1 a 4 m de altura; tallo tomentoso; estípulas lineares, pequeñas y caducas; hojas con el raquis tomentoso y provisto de glándulas entre algunos o todos los pares de folíolos, éstos en números de 6 a 8 pares, lanceolados u oblongos, de 1 a 5 cm de largo por 5 a 10 mm de ancho, ápice obtuso o agudo, a menudo mucronado; flores dispuestas en panículas axiales o terminales; flores con el pedicelo de 6 a 10 mm de largo; cáliz con los sépalos orbiculares, obtusos, pubescentes, de 7 a 10 mm de largo por 3 a 7 mm de ancho, algo desiguales entre sí; corola amarilla, con los pétalos de 12 a 15 mm de largo; 3 de los estambres con los filamentos largos y las anteras encorvadas, 4 con los filamentos cortos y las anteras rectas y alargadas, y los otros 3 con los filamentos cortos y las anteras pequeñas y suborbiculares; ovario estipitado, densamente lanoso, estilo persistente; legumbre linear, de 8 a 12 cm de largo por 7 mm de ancho, estipitada, comprimida, pero algo túrgida; semillas numerosas, semilunares, de 5 mm de largo por 3 mm de ancho, de color café lustrosos, dispuestas transversalmente. Se ha encontrado entre 2250 y 2700 msnm, generalmente en sitios próximos a lugares de habitación humana. Se ha colectado en los municipios de Zempoala, Teotihuacan, Huixquilucan, Cuajimalpa, Contreras, Xochimilco y Milpa Alta. Fuera del Valle existe de Querétaro a Hidalgo, Oaxaca y hasta Centro y Sudamérica; es posible que se trate de una planta antropófita y en ocasiones también cultivada (Martínez, 1979).



FOTO 1



FOTO 2

*Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) (Foto 1) y *Senna multiglandulosa* (Foto 2) (Cesalpinaceae) dentro de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Patron estructural del arbusto y de las semillas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## VI. ANTECEDENTES

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1. La semilla y la germinación

La semilla es un órgano vegetal, considerado como una estructura en reposo que por lo regular está deshidratada. El desarrollo de la semilla en las plantas superiores es un proceso complejo que se divide en de dos fases. Durante la primera fase los procesos morfogénéticos forman al embrión y al tejido de reservas nutricionales (endospermo y/o perispermo). El cese de la división celular marca el inicio de la segunda fase, que involucra el inicio de la deshidratación y la tolerancia a la desecación (Karssen, 1995), a través del surgimiento de una cubierta esencialmente impermeable al agua y/o a los gases (la testa), y que se considera como una barrera protectora entre el embrión y el medio ambiente.

La semilla es también una unidad de diseminación y reproducción sexual, portadora y protectora del material genético de las plantas superiores (Bidwell, 1979; Bewley y Black, 1985; Vázquez-Yanes y Rodríguez, 1995). Ecológicamente su función fundamental es la renovación y persistencia de las plantas superiores en la regeneración de las comunidades vegetales, así como en la sucesión ecológica (Baskin y Baskin, 1998).

Dado que la semilla se encuentra en reposo, su actividad metabólica es muy baja o se encuentra suspendida, esto es debido principalmente a la deshidratación y la ausencia de intercambio gaseoso. Cuando la semilla se hidrata y se lleva a cabo el intercambio gaseoso, se reactiva su metabolismo nuevamente reiniciando el crecimiento de todas aquellas estructuras esenciales para el establecimiento de la plántula, a partir del embrión. Este proceso es mejor conocido como germinación (Bidwell, 1979), que consiste de tres procesos parcialmente simultáneos: 1) absorción de agua por imbibición, que hace que la semilla se hinche y acabe abriéndose la cubierta seminal, 2) reinicio de la actividad enzimática e incremento de las tasas de respiración y asimilación, que indican la utilización de reservas almacenadas y su transposición a las zonas en crecimiento

(reactivación del metabolismo); y 3) aumento de volumen y división de las células de la semilla, que tienen como consecuencia la aparición de las estructuras básicas de la plántula, como la radícula y la plúmula; esto significa el reinicio del crecimiento del embrión. Por lo tanto, la germinación inicia con la imbibición de la semilla y termina cuando la plántula se ha desarrollado lo suficiente para emerger debido al alargamiento del eje embrionario, generalmente la radícula.

Después de la germinación empieza el crecimiento y el proceso de establecimiento de la plántula. La germinación exitosa se lleva a cabo solo si la semilla es transportada a un ambiente favorable por medio de la dispersión (Bidwell, 1979; Bewley y Black, 1985).

## **2. Métodos para evaluar la viabilidad de la semilla**

De acuerdo con las Reglas Internacionales para Evaluar las Semillas (ISTA Rules 5. 2. 2 ; Anónimo, 1996), el término viabilidad se refiere al potencial que las semillas tienen para producir un desarrollo normal bajo condiciones favorables, después de que la latencia se ha roto y de que las semillas han sido previamente desinfectadas (ISTA Rules 6.5 2.A.4). La estimación o evaluación de la viabilidad en las semillas debe de realizarse para determinar la calidad fisiológica de éstas, y con ello trabajar con semillas vivas para obtener resultados confiables. Las pruebas principales para calcular la viabilidad de las semillas son a través de pruebas de germinación, pruebas de tetrazolio o pruebas de flotación. Las pruebas de germinación se realizan una vez colectadas las semillas, que son sometidas a diferentes tratamientos. Algunas veces, la respuesta germinativa tarda y es difícil encontrar las condiciones idóneas para una mejor germinación. El método por flotación supone que las semillas viables tienden a sumergirse, sin embargo, existen casos en que a pesar de ser viables flotan debido al desarrollo de estructuras especializadas para flotación o a la presencia de cámaras aéreas. El uso de la prueba por tetrazolio, se basa en que es una solución incolora que al entrar en acción con las enzimas dehidrogenasas de tejido vivo da tonalidades de color rojo (Savonen, 1999), principalmente en el área donde se desarrolla el embrión. La técnica de tinción del

tetrazolio se considera algunas veces no muy exacta, los embriones pueden tomar una tinción incompleta e impedir con ello una lectura exacta. A esto se añade la posibilidad de que los embriones mueran al ser extraídos durante la realización de la prueba (Bittencaurt y Vierira, 1999; Savonen, 1999; Steiner y Kruse, 1999).

### **3. Latencia**

La latencia es cuando las semillas no germinan a pesar de encontrarse en condiciones de temperatura, aire, luz y humedad adecuadas (Baskin *et al.*, 1998; Dennis, 1994). Esta condición lleva a la semilla a mantener su metabolismo en reposo (lo cual puede ocurrir por largos períodos), e involucra la interrupción de crecimiento durante el ciclo vital (Murdoch y Ellis, 1992). Las semillas que presentan latencia requieren ser expuestas a ciertas condiciones ambientales para que esto ocurra (Dennis, 1994).

El significado ecológico de la latencia, es que constituye una manera de distribuir la germinación en el tiempo y en el espacio (Fenner, 1985; Bewley y Black, 1985), involucrando condiciones del hábitat asociados con el potencial de la semilla para germinar (Allen, 1998). Dependiendo de los factores capaces de romperla, permite a los miembros de la población permanecer aislados de los riesgos del medio, limitando la aparición de plántulas en épocas poco favorables para su establecimiento y así asegurar la continuidad de la población a través de la estación desfavorable para el crecimiento de los organismos (Harper, 1957 En: Roberts, 1972). Los factores que rompen la latencia actúan a su vez como factores disparadores e indicadores de la germinación y pueden actuar en un medio favorable para el establecimiento de las plántulas (Vázquez-Yanes, 1976, Vázquez-Yanes y Orozco Segovia, 1983, Fenner, 1985).

La presencia de la latencia en las semillas, así como la forma de desarrollo parece estar controlada y regulada en dos niveles generales: metabólico y genómico (Bewley y Black, 1985). Al estar controlada la latencia por niveles genéticos, es decir, por factores hereditarios que determinan los mecanismos fisiológicos endógenos de las plantas, se da

una interacción con factores ambientales (variaciones macro y microclimáticas de temperatura y humedad, calidad espectral de la luz, termoperiodo y características específicas de adaptación), por lo que este tipo de regulación en la latencia puede modificarse por la interacción con el medio en donde la planta crece (Bewley y Black, 1985).

Muchos son los esquemas de clasificación que pretenden explicar los diferentes tipos de latencia, entre ellos se reconoce al de Nikolaeva (Baskin y Baskin, 1998), considerada como la mejor clasificación para los diferentes tipos de latencia generada hasta este momento ya que enmarca latencia de tipo endógeno y exógeno, en los que se describe un bloqueo de tipo fisiológico, morfológico, físico o químico. Pero el esquema que los ecólogos consideran más completo debido a que toma en cuenta el mecanismo fisiológico de las semillas en la naturaleza es el propuesto por John Harper en 1957, posteriormente retomado por Bewley y Black (1995), basado en los factores propios e inherentes de la semilla que la provocan. En esta clasificación existen tres tipos de latencia:

a) Latencia embrionaria o innata.

También conocida como latencia primaria. Se presenta en el momento en que el embrión deja de crecer. Las semillas con latencia embrionaria requieren de un proceso de post-maduración ya que muchas de ellas están inmaduras, debido a que los embriones no han concluido el desarrollo en el momento en el que la semilla se dispersa. En estas semillas, el embrión puede reanudar su desarrollo hasta que el impedimento endógeno cese. Este tipo de latencia causada por la inmadurez embrionaria (morfológica o fisiológicamente), puede romperse a través del tiempo, aplicando tratamientos hormonales o de estratificación, La presencia de luz, la falta de humedad y las bajas temperaturas pueden acelerar el proceso de maduración del embrión, posibilitando así la germinación una vez que se presentan las condiciones adecuadas. La duración de este tipo de latencia varía entre especies e incluso entre semillas de un mismo individuo. Puede ser rota al aplicar

cierto régimen de temperatura, por lavado o por la estratificación de las semillas (imbibición de las semillas) (karssen, 1995).

*Manrubio vulgare*, *Salvia lavandubidio* y *Salvia mexicana*, que se encuentran en el Valle de México presentan latencia endógena, esto se pudo comprobar al obtener una respuesta germinativa bajo la aplicación de AG<sub>3</sub>, por lo que se supuso que este tipo de latencia debió ser causado por un desbalance hormonal que se presentó al momento de su colecta (Reyes, 1997).

#### b) Latencia impuesta.

Se presenta en semillas que a pesar de ser aptas para germinar, incluso tener condiciones adecuadas de humedad y temperatura, detienen el proceso por la ausencia de un factor o un grupo de factores determinados para que pueda llevarse a cabo. Los factores de la latencia residen principalmente en dos sitios: las cubiertas embrionarias (testa, glumas, palea, lema, pericarpio, perispermo o endospermo) y el embrión en sí mismo (Bradbeer, 1988). Las cubiertas embrionarias también pueden ser un impedimento para la imbibición de las semillas, pues en muchos casos son tegumentos impermeables que impiden la entrada del agua y pueden dificultar el intercambio de gases. También puede haber inhibidores en el interior de las semillas cuya eliminación puede ser evitada por los tegumentos, bloqueando así la germinación.

Para romper este tipo de latencia se requieren diferentes tratamientos entre los cuales sobresale el uso de métodos físicos y químicos, así como métodos biológicos, los cuales van desde almacenamiento en seco, imbibición en agua fría o caliente, períodos alternados de sequía y humedad, hasta la aplicación de soluciones químicas. Algunos tratamientos modifican la impermeabilidad de la cubierta de las semillas, (comúnmente conocido como escarificación). Los químicos más comúnmente utilizado para romper la cubierta de las semillas y con ello la latencia, son los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Este tipo de latencia o impedimento físico se presenta frecuentemente en especies adaptadas a lugares con

estaciones alternadas de lluvia y sequía. Estas incluyen a varios géneros de leguminosas como *Acacia*, *Prosopis*, *Cretonia*, *Robinia*, *Albizia*, *Cassia* (Cervantes, et al., 1996).

*Mammillaria magnimamma* es una cactácea que se encuentra en el Pedregal de San Ángel, presenta latencia impuesta causada principalmente por las condiciones de luz requeridas: son fotoblasticas positivas (Ruedas, 1999).

c) Latencia secundaria:

Este tipo de latencia también llamada inducida se desarrolla después de que la semilla se ha separado de la planta madre y es provocada por la presencia de algún factor no favorable para la germinación y se produce aún cuando las semillas están en condiciones de madurez fisiológica para germinar y el suministro de agua sea el adecuado. La diferencia entre la latencia innata y la inducida radica en que el primer caso se desarrolla en una semilla en proceso de maduración y en el segundo caso se establece en una semilla ya madura (Bewley y Black, 1985).

Un ejemplo de lo anterior se presenta de en *Salvia lavandubidio* y *Salvia mexicana* (Reyes, 1997), que encontró que en un inicio presentan latencia endógena, que se va perdiendo en el periodo de almacenamiento (periodo que probablemente propició la madurez fisiológica y morfológica del embrión) y tiempo después presentaron latencia secundaria, causada, ahora, no por una condición de madurez, sino por un factor no favorable para la germinación

#### **4. Los factores ambientales y la germinación.**

El conocimiento de los requerimientos fisiológicos de las semillas para la germinación es particularmente interesante y se ha relacionado con factores ambientales como la humedad, los nutrientes, la luz y la temperatura. Muchos investigadores han demostrado

que estos dos últimos factores disparan los mecanismos de la germinación de numerosas especies.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

a) Temperatura

Numerosos estudios han reportado que la respuesta germinativa de poblaciones de semillas latentes y no latentes a gradientes de temperatura se puede relacionar con la distribución geográfica y ecológica de las especies de acuerdo con los ecotipos. Así también, se ha comprobado que las diferencias intraespecíficas en las respuestas germinativas se relacionan con la distribución altitudinal (Thompson, 1970, Probet, 1992). La distribución geográfica y ecológica de las especies y los ecotipos puede estar determinada por los límites de las temperaturas para la germinación de sus semillas. Bajo condiciones naturales los cambios estacionales de temperatura modifican estos límites debido a los patrones cíclicos de la liberación e inducción de la latencia (Thompson, 1970).

La temperatura actúa como reguladora de la germinación de las semillas debido a que determina la capacidad germinativa y la tasa de germinación, induce la latencia primaria y/o secundaria (Bewley y Black, 1985). En condiciones naturales, el rompimiento de la latencia ocurre gradualmente como resultado de la exposición a diferentes condiciones de temperatura, por ejemplo: a la insolación durante la temporada seca, exposiciones cortas a temperaturas altas durante los incendios; o bien la exposición a bajas temperaturas durante el invierno. En éste último caso, la temperatura óptima para el rompimiento de la latencia está generalmente cercana a los 5°C, aunque hay reportes de intervalos entre 1.5 a 15°C (Totterdell y Roberts, 1979). Estudios recientes han mostrado que para que se lleve a cabo la inducción o la liberación de la latencia y la germinación en las semillas, existen intervalos de temperaturas particulares para cada especie (Bewley y Black, 1985), lo mismo pasa entre poblaciones de una sola especie o entre los individuos de una sola población.

A pesar del papel dominante de la temperatura en el control de los patrones estacionales de la latencia en las semillas, es importante notar que la temperatura no actúa sola, se ha demostrado que otros factores como la luz, los nitratos y la desecación pueden también influir en la expresión de la latencia en las semillas (Baskin y Baskin, 1998; Karseen 1982; Bouwmeester, 1990). En muchos casos la sensibilidad de las poblaciones de semillas a la alternancia de temperaturas puede estar influida por otros factores ambientales, particularmente la luz (Toole y Koch, 1977; Roberts y Benjamin, 1979; Totterdell y Roberts, 1980; Probert *et al.*, 1986).

b) Luz

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La luz regula varios aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas. Una de ellas es el fotoblastismo, proceso por el cual la planta a través de un pigmento fotorreceptor que actúa como antena, capta las señales lumínicas del medio y desencadena respuestas (De Greef, 1996).

De acuerdo con Smith (1973), fue Evenari en el año 1956 quien acuñó el término de fotoblastismo. Con él designó el efecto que la luz tiene sobre la germinación de las semillas. Denominó fotoblastismo positivo a la condición de las semillas cuya germinación es estimulada por la luz blanca, fotoblastismo negativo a la condición de las semillas cuya germinación es inhibida en presencia de la luz y no-fotoblasticas a aquellas semillas cuya germinación es indiferente a la luz (Pons, 1992). El pigmento fotorreceptor es el fitocromo. El fitocromo es una proteína soluble en agua que absorbe principalmente en las longitudes de onda de 600 a 760 nm y sus picos de absorción se sitúan en 660 y 730 nm. La función principal del fitocromo es la detección de la razón de rojo/rojo lejano (R/RL) de la radiación y regular la respuesta biológica a ésta. Puede regular la permeabilidad en las membranas celulares, actuar como una enzima del tipo de las quinasas, activándose en la forma Pfr y en general, regular la expresión genética (Bewley y Black, 1985). Dentro de las semillas, el pigmento fotorreceptor se presenta básicamente en dos formas: una activa que absorbe la banda espectral de 730 nm aproximadamente, y otra inactiva que absorbe

la banda espectral de 660 nm, aproximadamente; ambas formas son intercambiables, es decir, con propiedades de foto reversibilidad. (Quail, 1991, Widell y Vogelmann, 1988).

La luz puede provocar respuestas diferentes en el proceso germinativo. Por ejemplo, la luz roja promueve la germinación, sin embargo la respuesta germinativa puede inhibirse al aplicar inmediatamente rojo lejano o bien por que el fitocromo activo preexistente puede agotarse rápidamente después de aplicar luz roja y volverse a la forma inactiva Pr (Bewley y Black, 1985). La latencia en la semilla puede romperse por un cociente elevado R/RL encontrado en la luz directa de forma natural. Cuando la luz pasa a través de estratos vegetales se reduce este cociente en forma simultánea con la reducción en flujo fotónico, por lo que la germinación se inhibe. De esta forma existe un control natural de la germinación en algunas especies, imponiendo a las semillas una latencia, que se romperá al abrirse un claro en el follaje. El dosel de la vegetación absorbe, de la luz solar, las longitudes de onda que corresponden al visible (400-700 nm), entre ellas la de 660 nm (rojo) y transmite solamente las longitudes de onda mayores, entre ellas la de 730 nm (rojo lejano) (Roberts, 1972; Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1981). Cuando se abre un claro en el bosque, la luz penetra al suelo pudiendo así desencadenar la germinación de las semillas fotosensibles.

Hay diferentes atributos de la luz que actúan sobre la semilla, tales como la densidad de flujo fotónico (PDF), la composición espectral, y la duración de la exposición (fotoperiodo). Todos estos atributos interactúan produciendo un efecto en la habilidad germinativa de las semillas (Pons, 1992).

La respuesta de las semillas a la luz es de gran interés, ya que es uno de los principales factores que puede controlar el tiempo de germinación y la latencia en las semillas (Pons, 1992). El efecto de la luz en las semillas dependerá de sus características genotípicas y de los factores ambientales durante su desarrollo y la maduración (De Greef, 1996).

En un estudio sobre la comparación ecofisiológica de la germinación de aproximadamente 300 especies de plantas, que incluyó anuales de invierno y de verano y plantas monocárpicas y policárpicas perennes, Baskin y Baskin (1986) mostraron que los patrones de latencia de las semillas fueron extremadamente variables, evidenciando que la temperatura juega un papel determinante en la inducción y la liberación de la latencia en muchos casos. La latencia en la mayoría de las especies estudiadas por Baskin y Baskin (1986) se encontraba controlada por requerimientos predominantes de luz y temperaturas alternantes. Así esos investigadores encontraron que en las semillas de algunas especies la exposición al frío y al calor presentó efectos opuestos. Por ejemplo, en las plantas anuales de verano, en general, las bajas temperaturas liberan la latencia de sus semillas, mientras que las altas temperaturas del verano inducen la latencia, en tanto que las especies anuales de invierno presentan respuestas opuestas (Baskin y Baskin, 1986).

Además de la influencia predominante de la luz sobre la respuesta de las semillas a temperaturas alternantes, otros factores, como el nitrato (Probert *et al.*, 1987), las bajas temperaturas (Probert *et al.*, 1989) y el almacenamiento en seco (Probert *et al.*, 1986) tienden a modificar la sensibilidad de las semillas a la temperatura. La proporción de individuos capaces de germinar en temperaturas alternantes tiende a incrementarse en respuesta a estos factores adicionales. La influencia de dichos factores puede tener consecuencias ecológicas importantes en el tiempo de emergencia de algunas especies. No obstante la importancia de la temperatura, de la luz y de otros factores ambientales en el control de la germinación de las semillas, esta se encuentra finalmente determinada por la disponibilidad de agua. Las adaptaciones fisiológicas de las semillas constituyen una respuesta a las condiciones ambientales particulares en las que se desarrollan los individuos adultos, de modo que las características de las especies que se establecen en las primeras etapas de la sucesión y las de las etapas sucesionales tardías se manifiestan de una manera clara con diferencias no solo en los individuos adultos sino también en algunos rasgos fisiológicos de sus semillas. Es decir, las especies establecen relaciones

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

particulares con su ambiente que se extienden durante todo su ciclo de vida (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1984).

## VII. MÉTODO

### 1. COLECTA

Las especies se identificaron y se compararon con los ejemplares del Herbario del Jardín Botánico y del Herbario del Instituto de Biología, de la UNAM. Posteriormente se realizaron recorridos prospectivos quincenales dentro de la Reserva del Pedregal de San Ángel, con el fin de reconocer las diferentes poblaciones presentes en campo y determinar la etapa de producción de semillas para cada especie seleccionada. Las semillas de *D. viscosa* se colectaron en agosto de 1997 y las de *S. multiglandulosa* en febrero de 1998 (Foto 1 y 2). Con el fin de tener bien representada la variabilidad intra específica, se colectaron las semillas de por lo menos 10 individuos de cada especie. Las semillas se colectaron directamente de la planta madre y la madurez se determinó con base en la coloración de los frutos. Las semillas se separaron del fruto y se almacenaron en bolsas de papel de estraza a temperatura ambiente (18-20°C) en laboratorio para su conservación.

### 2. PROCEDIMIENTOS GENERALES EN LABORATORIO

#### a) Pruebas de viabilidad

Las pruebas de viabilidad se realizaron inmediatamente después de la colecta. Una de estas pruebas consistió en la separación de las semillas vanas de las que no lo fueron por medio de la prueba de flotación, con cinco réplicas con 50 semillas y se determinó el porcentaje de semillas probablemente viables de cada especie. La otra prueba de viabilidad fue la de tinción con cloruro de tetrazolio [2,3,5 difenil tetrazolio] al 1%, con cinco réplicas de diez semillas cada una y se observó la tinción embrionaria. En *D. viscosa*, debido a la dureza de su testa, fue necesario aplicar tratamientos previos de escarificación con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, T. Baker) concentrado, durante 5 minutos, posteriormente se lavaron con agua abundante y se procedió a extraer al embrión. Mientras que las semillas de *S. multiglandulosa* tuvieron que ser escarificadas

mecánicamente con el fin de extraer completamente al embrión y probar la viabilidad de las semillas.

#### b) Pruebas de germinación

Todas las pruebas de germinación se llevaron a cabo en cajas de Petri, sembrando cinco cajas con 50 semillas cada una por cada tratamiento y se llevaron a cabo en cámaras de ambiente controlado (Lab-Line Instruments, Melrose Park). Se realizaron cuatro veces para *D. viscosa*: cuando las semillas de estaban recién colectadas, a los 6, 13 y 20 meses de edad; y tres para las semillas de *S. multiglandulosa*: cuando estaban recién colectadas, a los 6 y 11 meses de edad. Los controles para ambas especies se sembraron en agar bacteriológico (Bioxon) al 1% en agua (10gr/L) a 25° y 25-35°C, con un fotoperiodo de 12 horas. A las especies se les aplicaron los siguientes tratamientos:

#### Escarificación

Para *D. viscosa* se aplicaron los siguientes tratamientos:

- ◆ Escarificación química: Con ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Las semillas de *D. viscosa* recién colectadas se expusieron a este ácido durante 1, 2, 4 y 6 minutos en temperatura constante (25°C) y alternante (25-35°C).
  
- ◆ Tratamientos combinados de escarificación y giberelinas a los 6 meses de edad: las semillas se escarificaron con ácido sulfúrico durante 1, 2 y 4 minutos y se lavaron con agua corriente por 10 minutos para eliminar el ácido que pudiera permanecer en la cubierta. Posteriormente se pusieron a germinar en agar al 1% en diferentes combinaciones de AG<sub>3</sub> (500, 1000 y 1500 ppm.) y a temperatura constante (25° C).

◆ Escarificación seguida de un lavado en agua o dejando el ácido sulfúrico en la superficie de la semilla a los 13 meses de edad: Las semillas se expusieron al ácido sulfúrico durante 1, 2, 4 y 6 minutos a temperatura constante (25 °C).

Para *S. multiglandulosa* se aplicaron los siguientes tratamientos:

◆ Escarificación química: Con ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, durante 1, 2, 4, 5, 6, 8 y 10 minutos en temperatura constante (25°C) y alternante (25-35°C), todas combinadas con 500 ppm de AG<sub>3</sub>.

◆ Escarificación química a los 6 meses de edad. Las semillas de *S. multiglandulosa* se expusieron a este ácido durante 5, 6, 8 y 10 minutos combinados con 500 ppm. de AG<sub>3</sub>, en temperatura constante (25°C) y alternante (25-35°C)

◆ Escarificación seguida de un lavado en agua o dejando el ácido sulfúrico en la superficie de la semilla a los 6 meses de edad: Las semillas se expusieron al ácido sulfúrico durante 1, 4, 5, 6 y 8 minutos a temperatura constante (25 °C).

### Efecto de la luz

Las semillas se expusieron a luz blanca (LB), Rojo lejano (RL), y oscuridad.

- a) Los tratamientos de LB consistieron en exponer a las semillas a una mezcla de luz fluorescente y luz incandescente (R: RL = 1.73, flujo fotónico = 33.21  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- b) Rojo lejano (RL, R: RL= 0.05, flujo fotónico = 9.74  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Para obtener estas condiciones se utilizaron cajas de 34 X 44 X 10 mm, construidas con capas sobrepuestas de plastiglass [Röhms and Hass, México DF series 2424 (rojo) y 2423 (azul)], y se iluminaron con luz incandescente.
- c) Oscuridad, para ello las cajas de Petri se cubrieron con una doble capa de papel aluminio. Las semillas sometidas a rojo lejano y oscuridad se sembraron y se

revisaron en un cuarto oscuro, con luz de seguridad. Al igual que en los otros tratamientos el fotoperiodo fue de 12:12 horas.

La luz blanca se midió en el intervalo 400-750 nm con un espectrofotómetro (LI-COR, Inc, Nebraska, USA). La relación R: RL se midió en los intervalos 654-666 nm para el rojo y 724-736 nm para el rojo lejano, estas medidas se realizaron con un radiómetro SKR-100 (Skye Instruments, Scotland).

La germinación se registró cada tres días durante 3 meses. Se consideró que una semilla había germinado en el momento en que emergió la radícula.

#### *D. viscosa*

Tratamientos aplicados a semillas de 20 meses de edad: luz blanca, rojo lejano y oscuridad, combinados con tratamientos de escarificación química con  $H_2SO_4$  durante 4 y 6 minutos de exposición al ácido a temperatura constante y alternante (25 y 25-35° C respectivamente).

#### *S. multiglandulosa*

El mismo procedimiento se aplicó a semillas de 11 meses de edad con luz: blanca, rojo lejano y oscuridad, combinados con tratamientos de escarificación química con  $H_2SO_4$  durante 4, 5, 6 y 8 minutos de exposición al ácido a temperatura constante y alternante (25 y 25-35° C respectivamente).

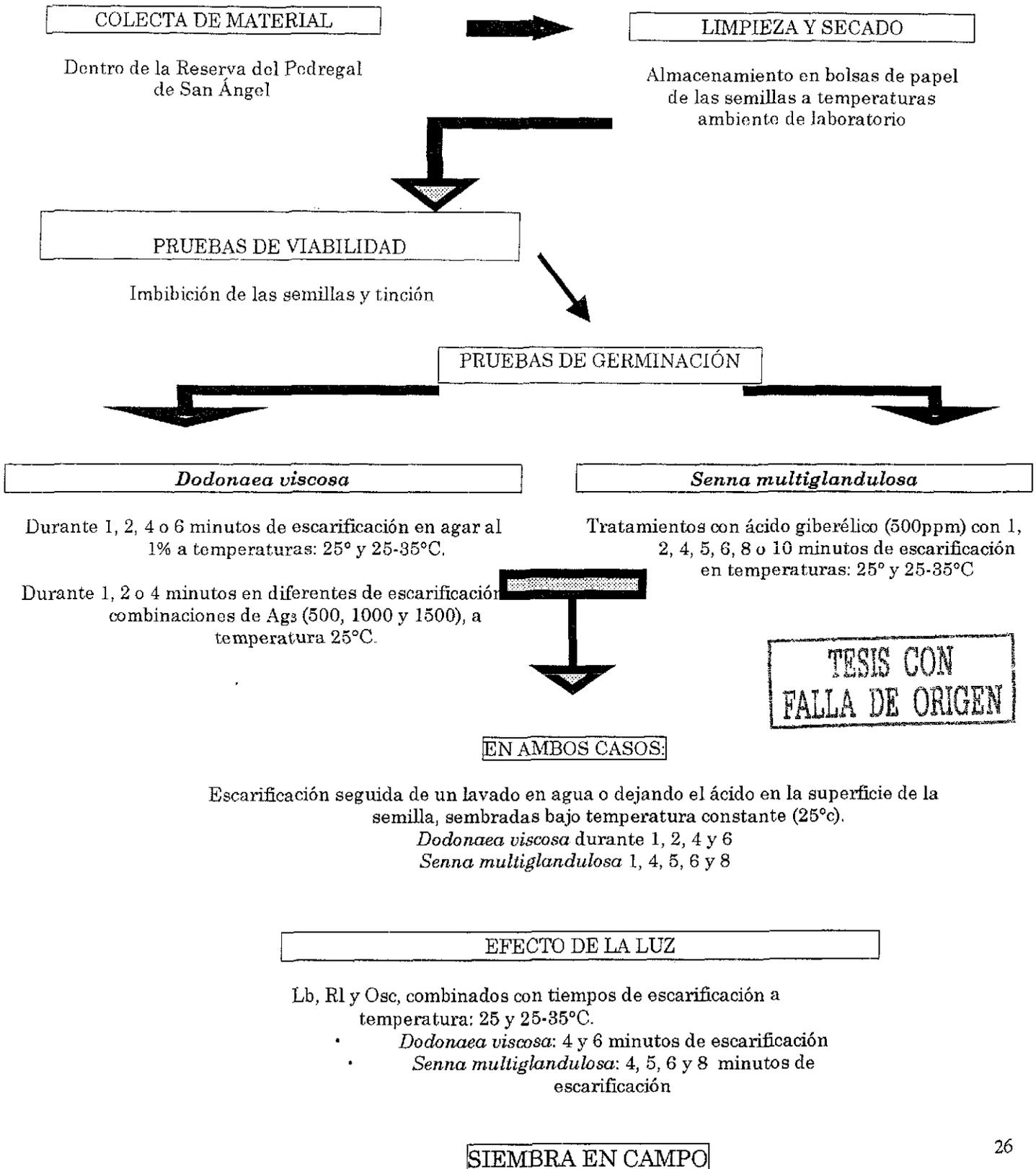
c) Tratamientos de campo

Las semillas que se sembraron en el campo, de acuerdo a los diferentes sitios representativos del desarrollo de los arbustos de cada especie, fue dentro de canastas elaboradas con una malla de nylon y forradas con una tela de malla fina y porosa, las cuales se llenaron de tierra orgánica y se colocaron en diez diferentes condiciones ambientales que representaban la alta heterogeneidad del Pedregal de San Angel: hondonadas, hoyos, planos, bordes, estratos cubiertos, estratos sin cubrimiento. No se hicieron réplicas para evitar la pseudoreplicación. En cada sitio se colocó un sensor de temperatura HOBO Temp Data Logger HO1-001-01, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA, USA para medir cada hora la temperatura del suelo en el campo, durante una semana en la época de lluvias.

Ver diagrama de flujo del método

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÉTODO



<i>Dodonaea viscosa</i>			
Edad	Temperatura	Tiempo de escarificación con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	AG <sub>3</sub> o tipo de luz
Recién colectadas	25°C	1 minuto de escarificación	
		2 minuto de escarificación	
		4 minuto de escarificación	
		6 minuto de escarificación	
	25-35°C	1 minuto de escarificación	
		2 minuto de escarificación	
		4 minuto de escarificación	
		6 minuto de escarificación	
6 meses	25°C	1 minuto de escarificación	500
			1000
			1500
		2 minuto de escarificación	500
			1000
			1500
		4 minuto de escarificación	500
			1000
			1500
13 meses	25°C	1 minuto escarificación lavado	
		1 minuto escarificación sin lavado	
		2 minuto escarificación lavado	
		2 minuto escarificación sin lavado	
		4 minuto escarificación lavado	
		4 minuto escarificación sin lavado	
		6 minuto escarificación lavado	
		6 minuto escarificación sin lavado	
20 meses	25°C	4 minuto escarificación	LB
			RL
			OSC
		6 minuto escarificación	LB
			RL
			OSC
	25-35°C	4 minuto escarificación	LB
			RL
			OSC
		6 minuto escarificación	LB
			RL
			OSC

Síntesis de pruebas de germinación en laboratorio aplicados a *Dodonaea viscosa* y *Senna multiglandulosa*

<i>Senna multiglandulosa</i>					
Todos los tratamientos tienen 500 ppm de AG <sub>3</sub>					
Edad	Temperatura	Tiempo de esscarificación con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Tipo de luz		
Recién colectadas	25°C	1 minuto de esscarificación			
		2 minuto de esscarificación			
		4 minuto de esscarificación			
		5 minuto de esscarificación			
		6 minuto de esscarificación			
	25-35°C	8 minuto de esscarificación			
		10 minuto de esscarificación			
		1 minuto de esscarificación			
		2 minuto de esscarificación			
		4 minuto de esscarificación			
6 meses	25°C	5 minuto de esscarificación			
		6 minuto de esscarificación			
		8 minuto de esscarificación			
		10 minuto de esscarificación			
	25-35°C	5 minuto de esscarificación			
		6 minuto de esscarificación			
		8 minuto de esscarificación			
		10 minuto de esscarificación			
		1 minuto esscarificación lavado			
		1 minuto esscarificación sin lavado			
6 meses	25°	4 minuto esscarificación lavado			
		4 minuto esscarificación sin lavado			
		5 minuto esscarificación lavado			
		5 minuto esscarificación sin lavado			
	25°	6 minuto esscarificación lavado			
		6 minuto esscarificación sin lavado			
		8 minuto esscarificación lavado			
		8 minuto esscarificación sin lavado			
		11 meses	25°C	4 minuto de esscarificación	LB
					RL
OSC					
5 minuto de esscarificación	LB				
	RL				
	OSC				
6 minuto de oscarificación	LB				
	RL				
	OSC				
25-35°C	8 minuto de esscarificación		LB		
			RL		
			OSC		
	4 minuto de esscarificación	LB			
		RL			
		OSC			
5 minuto de esscarificación	LB				
	RL				
	OSC				
6 minuto de esscarificación	LB				
	RL				
	OSC				
8 minuto de esscarificación	LB				
	RL				
	OSC				

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La evaluación de las pruebas de viabilidad (porcentaje de semillas capaces de germinar bajo condiciones óptimas), se realizó con una distribución *t* de Student.

A todos los porcentajes se les hizo una transformación arcossénica para obtener una distribución normal de los datos.

En todos los tratamientos realizados con luz blanca se analizó la germinación acumulada en el tiempo. Los resultados de *D. viscosa* se ajustaron a una función exponencial sigmoide:  $Y = A / (1 + B * (EXP(-C * X)))$ , y los de *S. multiglandulosa* a una función sigmoide:  $Y = A0 / (1 + (A1 * (X^{A2})))$ . Los ajustes se hicieron con el programa Table Curve 2D (ver. 3.AISN. Software, Inc).

A partir de los ajustes se obtuvieron los siguientes parámetros: Capacidad germinativa (máximo porcentaje de semillas capaces de germinar en condiciones óptimas), tiempo o velocidad de germinación (velocidad a la cual se lleva a cabo la germinación en una unidad de tiempo) y rompimiento de latencia (tiempo que tardan las semillas en romper la latencia y comenzar a germinar), los cuales se sometieron a un análisis multifactorial (MANOVA) con el paquete para análisis estadístico Statistica for Windows 4.3 StatSoft, Inc. 1993.

Los datos de siembra en campo fueron analizados a partir del establecimiento de una regresión múltiple con el paquete para análisis estadístico Statistica for Windows 4.3 StatSoft, Inc. 1993. entre la germinación y los diferentes parámetros de la temperatura en los sitios de germinación (media, desviación estándar de la temperatura, temperaturas máxima, mínima y fluctuación diaria de la temperatura).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## VIII. DISEÑO ESTADÍSTICO:

El planteamiento hipotético se encuentra basado en la siguiente premisa:

Entre las especies estudiadas hay diferencias significativas en los requerimientos de luz, temperatura y tiempo de escarificación.

Población objetivo: Semillas de los terrenos de la Reserva del Pedregal de San Ángel, de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Criterios de inclusión: Se considerará a las unidades colectadas como parte de una población, siempre y cuando presenten las siguientes características:

Semillas provenientes de una misma especie en una región determinada

Germinación: Se considerara germinada una semilla cuando ésta presente la emergencia de la radícula.

Criterios de exclusión: Se excluirán las semillas que floten, a las cuales también se les aplicará una prueba de germinación.

Marco de inferencia: El marco de inferencia donde se localizarán todas las unidades de las poblaciones estudiadas será la Reserva del Pedregal de San Ángel de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Última unidad de muestreo: Será una caja de Petri con 50 semillas en cada una, en las diferentes condiciones probadas, la cual proporcionará los valores de las variables obtenidas (unidad experimental). Se tendrán 5 replicas por cada tratamiento experimental.

Método de muestreo utilizado: aleatorio simple

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La validez interna estará dada por las mismas características de las semillas, en la recolección de las semillas, igual número de lotes y semillas en las diferentes condiciones probadas, así como la colocación de los lotes en las mismas condiciones propuestas para los diferentes tratamientos experimentales (luz, temperatura y escarificación).

La validez externa estará dada por la extrapolación de los resultados de las poblaciones de la Reserva del Pedregal a los lotes experimentales.

Variable: Numéricas discreta (número de semillas germinadas por caja Petri)

Variable dependiente: Capacidad germinativa, velocidad germinativa y rompimiento de latencia

Variable independiente: Diferentes tiempos de escarificación, temperaturas constantes y alternantes y condiciones de luz (Blanca, rojo lejano y oscuridad).

Estadístico utilizado: El registro final de germinación se obtendrá a través de la evaluación preliminar del porcentaje de germinación acumulada en el transcurso del tiempo experimental. Las curvas de germinación obtenidas serán previamente transformadas a través de la raíz cuadrada y la transformación arcossénica, *D. viscosa* se ajustará a una función sigmoide exponencial:  $Y = A/(1+Be^{-C x})$ , y los de *S. multiglandulosa* a una función con la que se obtendrán la capacidad germinativa y la forma de la curva. Posteriormente los datos obtenidos serán analizados mediante un análisis de varianza multifactorial (ANOVA), con un nivel de probabilidad de 0.5, y un intervalo de prueba LSD, a través del paquete Statistica for Windows 4.3 StatSoft, Inc. 1993

Para ambas especies, el intervalo entre cada conteo será cada tercer día, dependiendo de la especie utilizada. En cada tratamiento probado se realizaran conteos semanales hasta que concluya la germinación en todos los tratamientos.

## IX. RESULTADOS

### *Dodonaea viscosa*

#### PROCEDIMIENTOS GENERALES EN LABORATORIO

Ver síntesis de tratamientos

#### PRUEBAS DE VIABILIDAD

Por el método de flotación el porcentaje de semillas viables fue de 90%. Por la técnica de tetrazolio se obtuvo una viabilidad del 63% del total de las semillas. Se observó una diferencia entre los dos métodos utilizados ( $t_{(18, 0.05)} = 3.3846$ ,  $P = 0.003$  ver tabla de anova) (Fig. 1).

#### PRUEBAS DE GERMINACIÓN

**Capacidad germinativa entre los controles de semillas recién colectadas, 6, 13 y 20 meses después de la colecta a temperatura constante (25°C) y alternante (25-35°C).**

Los controles presentaron diferencias en la capacidad germinativa entre las semillas de 2 meses de edad con las semillas de 6 y 20 meses de edad. ( $F_{(2, 8)} = 4.62$   $P = 0.069$ ; Fig. 2, 3, 4 y 5, ver tabla de anova). A los 6 meses de edad aumenta hasta más del 50% y disminuye a los 13 y 20 meses de edad.

#### **Escarificación:**

**Escarificación química con ácido sulfúrico concentrado en semillas recién colectadas durante 1, 2, 4 y 6 minutos en temperatura constante (25°C) y alternante (25-35°C).**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Capacidad germinativa

En semillas del grupo control, la germinación fue significativamente mayor cuando la temperatura fluctuaba ( $F_{(1,2)} = 14.69$ ,  $P = 0.02$ ). En los tratamientos factoriales las temperaturas experimentales no determinaron diferencias significativas ( $F_{(1,2)} = 3.10$  y  $P = 0.0935$ , Fig. 2 ) sobre la capacidad germinativa. A pesar de que estadísticamente no hubo diferencias, se notó una tendencia mayor de crecimiento radicular y vigor en las semillas germinadas en temperatura constante.

La capacidad germinativa máxima se obtuvo a los 4 minutos de escarificación (66%) a 25° C, siendo diferentes ( $F_{(4,14)} = 25.66$   $P = 0.001$ ) con el grupo control que tuvo una capacidad germinativa de 5% a 25°C y 15% a temperatura alternante, y además también tuvo diferencias con el grupo de semillas escarificadas a 6 minutos de exposición en ambas temperaturas (4 y 14.%) (Fig. 2).

### Tasa germinativa

El análisis no mostró diferencias significativas en la tasa germinativa debidas a la escarificación ( $F_{(4,14)} = 1.58$   $P = 0.21$ ) o a la temperatura ( $F_{(1,14)} = 0.14$  y  $P = 0.70$ ) o a la interacción de éstas ( $F_{(4,14)} = 2.75$   $P = 0.05$  ver tabla de anova). Sin embargo, el análisis de intervalo múltiple indicó que las tasas más bajas se presentaron a los 4 minutos con temperatura fluctuante y a los 6 minutos en las dos temperaturas, ambas presentaron diferencias significativas con el control y a temperatura fluctuante (muestra la mayor tasa a 6 minutos), pero sin diferencia significativa con el control y a temperatura constante.

### Tiempo de latencia

La escarificación tuvo un efecto significativo en la ruptura de la latencia ( $F_{(4,14)} = 4.70$   $P = 0.007$ ) debido a que en el grupo control a temperatura alternante fue significativamente mayor al resto de los tratamientos. Sin embargo, la temperatura no tuvo ningún efecto ( $F_{(1,14)} = 1.73$   $P = 0.20$ ), al igual que la interacción entre los dos factores. ( $F_{(4,14)} = 2.85$   $P = 0.05$ ).

**Tratamientos combinados de escarificación durante 1, 2 y 4 minutos y combinadas con AG<sub>3</sub>: 500, 1000 y 1500 ppm en semillas de 6 meses de edad y a temperatura constante (25° C).**

#### Capacidad germinativa

La escarificación fue el factor que incrementó significativamente la capacidad germinativa. ( $F_{(2, 35)} = 4.95$  y  $P = 0.015$ , Fig. 3), mientras que las giberelinas la reducen ( $F_{(3, 35)} = 94.5972$  y  $P = 0.001$ ). La máxima germinación se obtuvo a los 4 minutos (66%) de escarificación sin ninguna concentración de AG<sub>3</sub>, presentando diferencias significativas con 1 minuto de escarificación en todas las condiciones experimentadas y con 2 minutos de escarificación más 500 ppm de AG<sub>3</sub>. El efecto negativo de las giberelinas fue drástico y no hubo interacción significativa con la escarificación ( $F_{(5, 18)} = 0.723$  y  $P = 0.55$ ).

#### Tasa germinativa

El análisis no mostró diferencias significativas en la tasa germinativa debidas a la escarificación ( $F_{(2, 35)} = 0.04$   $P = 0.95$ ), a las giberelinas ( $F_{(3, 35)} = 0.32$  y  $P = 0.80$ ) o a la interacción de estos factores ( $F_{(6, 35)} = 1.69$   $P = 0.16$  ver tabla de anova).

#### Tiempo de latencia

Ni la escarificación, ni la adición de giberelinas, ni la interacción entre ambos factores fue significativa en el rompimiento de la latencia ( $F_{(2, 35)} = 1.83$ ,  $P = 0.180$ ;  $F_{(3, 35)} = 2.50$   $P = 0.083$ ;  $F_{(6, 35)} = 1.63$   $P = 0.18$ ; respectivamente ver tabla de anova).

**Escarificación durante 1, 2, 4 y 6 minutos seguida de un lavado en agua o dejando el ácido en la superficie de las semillas a los 13 meses de edad en temperatura constante (25 °C).**

;

#### Capacidad germinativa

La escarificación incrementó significativamente la capacidad germinativa ( $F_{(5, 17)} = 196.76$  y  $P = 0.001$ , Fig. 4), al igual que la condición de remover el ácido por medio del lavado o

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

no de la cubierta de la semilla ( $F_{(1, 17)} = 535.36$  y  $P = 0.00001$ ). La interacción entre la escarificación y el lavado del ácido en las semillas tuvo un efecto favorable para la germinación ( $F_{(6, 17)} = 207.76$  y  $P = 0.001$ , Fig. 4). El grupo de semillas escarificadas y lavadas por 6 minutos tuvo la capacidad germinativa mayor (76%) mientras que sin lavar fue el tratamiento menor (0%). La germinación de las semillas control sin lavar fue igual a la de éste último tratamiento (Fig. 4).

#### Tasa de germinación

El análisis multifactorial mostró diferencias significativas en la tasa germinativa debidas a la escarificación ( $F_{(2, 17)} = 31.56$  y  $P = 0.0001$ ) o a la condición de lavado del ácido sobre la superficie de la semilla ( $F_{(1, 17)} = 52.57$  y  $P = 0.001$ ). La interacción entre la escarificación y el lavado del ácido en las semillas también tuvo un efecto positivo en el incremento de la germinación, donde a 6 minutos de escarificación y lavadas tuvieron una velocidad germinativa significativamente mayor ( $F_{(2, 17)} = 52.94$  y  $P = 0.0001$ ) (14%).

#### Tiempo de latencia

La escarificación no tuvo un efecto significativo en el tiempo de latencia ( $F_{(2, 17)} = 1.40$  y  $P = 0.28$ ), mientras que las diferentes condiciones de lavado si tuvieron un efecto significativo en el rompimiento de la latencia, el cual fue mayor en semillas que fueron lavadas ( $F_{(1, 17)} = 18.45$  y  $P = 0.001$ ). La interacción de los dos factores. ( $F_{(2, 17)} = 2.16$  y  $P = 0.15$ ) no mostró diferencias significativas. Las semillas sin lavado siempre presentaron diferencias significativas con todas las semillas que tuvieron tratamiento de lavado, las cuales presentaron una mayor tasa germinativa.

**Temperatura, luz y escarificación en semillas de 20 meses de edad durante 4 y 6 minutos de exposición al ácido a temperatura constante y alternante (25 y 25-35° C respectivamente).**

La temperatura no tuvo ningún efecto sobre la capacidad germinativa ( $F_{(1, 53)} = 1.29$   $P = 0.26$  Fig. 5). Los diferentes tiempos de escarificación ( $F_{(2, 53)} = 355.06$   $P = 0.0001$ ), la luz ( $F_{(2, 53)} = 6.92$   $P = 0.002$ ) y las interacciones ( $F_{(4, 320)} = 3.80$  y  $P = 0.01$ ) si dieron lugar a diferencias significativas donde el análisis de intervalo múltiple mostró que la menor capacidad germinativa se observó en los tratamientos sin escarificación, en las dos temperaturas y en todas las condiciones de luz, sin diferencia significativa entre ellos. En semillas escarificadas independientemente de la temperatura, la oscuridad disminuyó la germinación, la luz blanca la favoreció y en RL fue significativamente más alta que en luz blanca. Cuando el tiempo de escarificación fue de 6 minutos la respuesta al RL se mantuvo sólo en temperaturas fluctuantes y hubo inhibición significativa de la germinación en temperatura constante ( $F_{(4, 320)} = 3.80$  y  $P = 0.01$ , Fig. 5).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## *Senna multiglandulosa*

### PROCEDIMIENTOS GENERALES EN LABORATORIO

#### PRUEBAS DE VIABILIDAD

En la prueba de viabilidad por el método de flotación el porcentaje de semillas viables fue de 98%. Con la prueba de viabilidad aplicando la técnica de tetrazolio se obtuvo una viabilidad del 65%. La comparación de los dos métodos de viabilidad utilizados ( $t_{(18, 0.05)} = 4.39$ ,  $P < 0.003$ ), indicó diferencias significativas (Fig. 1).

#### PRUEBAS DE GERMINACIÓN

**Escarificación durante 0, 5, 6 y 8 minutos combinados con 500 ppm de  $AG_3$  a temperatura constante ( $25^\circ C$ ), con semillas de 2 y 6 meses después de la colecta.**

##### Capacidad germinativa

El análisis de intervalo múltiple ( $F_{(7, 23)} P = 0.001$  Fig. 6) indicó que la capacidad germinativa se incrementó con el tiempo y con la escarificación. La capacidad germinativa significativamente más alta se presentó con 8 minutos de exposición al ácido sulfúrico en semillas de ambas edades (2 y 6 meses después de la colecta), aunque la germinación de semillas de 6 meses de edad y escarificadas 5 minutos fue estadísticamente igual a la de semillas escarificadas 8 minutos de 2 meses de edad. En general, la capacidad germinativa aumentó considerablemente a los 6 meses de siembra en todos los tratamientos, excepto en el grupo control. Con el análisis de regresión simple se observó que existe una relación positiva entre el tiempo de escarificación y la tasa germinativa. El valor de  $r^2$  (Fig. 6) fue mayor en semillas de 6 meses de edad lo que indicó una mayor relación entre las variables, esto se comprobó con la comparación de la primera derivada máxima (y sus intervalos de confianza) de cada curva, donde es

significativamente mayor la obtenida con semillas de 6 meses de edad de exposición al ácido y la siembra en diferentes tiempos: 2 meses (febrero) y 6 meses (junio), lo que indicó que ambos factores presentan relación con la tasa germinativa. A los dos meses de colecta se presentó una tasa de 7.7, mientras que a los 6 meses fue de 16.7 (Fig.6).

**Escarificación durante 0, 1, 2, 4, 5, 6, 8 y 10 minutos combinados con 500 ppm de AG<sub>3</sub>, en temperatura constante (25°C) y alternante (25-35°C).**

#### Capacidad germinativa

Entre las dos temperaturas experimentadas hubo diferencias, siendo mayor la capacidad germinativa a temperatura constante ( $F_{(1, 47)} = 14.91$  y  $P = 0.0005$  Fig. 7), la escarificación y la interacción entre ambos factores también fue significativa ( $F_{(7, 47)} = 37.77$   $P = 0.01$  y  $F_{(7, 47)} = 3.44$   $P = 0.07$ ).

La tasa germinativa y el tiempo de latencia no tuvieron relación con el tiempo de escarificación en ninguna de las dos temperaturas.

**Escarificación química a los 6 meses de edad durante 0, 5, 6, 8 y 10 minutos combinados con 500 ppm de AG<sub>3</sub>, en temperatura constante (25°C) y alternante (25-35°C).**

#### Capacidad germinativa

Entre las temperaturas constante y alternante se encontraron diferencias significativas ya que la capacidad germinativa aumentó a temperatura constante ( $F_{(1, 29)} = 17.39$  y  $P = 0.0004$ ). En los tiempos de escarificación química experimentados hubieron diferencias significativas ( $F_{(4, 29)} = 184.62$  y  $P = 0.001$  Fig. 8), el grupo control presentó una menor capacidad germinativa tanto a temperatura constante como alternante. A 8 minutos de escarificación (73%) en 25° C difiere en una capacidad germinativa mayor con la obtenida en 8 minutos a temperatura alternante (59%), ambos tratamientos presentaron la más alta capacidad germinativa con relación a todos los tratamientos.

La interacción entre la temperatura y los diferentes tiempos de escarificación si presentó efecto significativo ( $F_{(4, 29)} = 3.09$  y  $P = 0.039$ ), las capacidades mayores se encontraron en 5, 8 y 10 minutos de escarificación bajo ambas temperaturas (Fig. 8)

La tasa germinativa y el tiempo de latencia no tuvieron relación con el tiempo de escarificación en ninguna de las dos temperaturas.

**Escarificación seguida de un lavado en agua o dejando el ácido sulfúrico en la superficie de la semilla por 1, 4, 5, 6 y 8 minutos a los 6 meses de edad.**

#### Capacidad germinativa

En este experimento sólo sobrevivió el grupo control (0 minutos de exposición al ácido sulfúrico) lavando el ácido de la cubierta y a 8 minutos de escarificación tanto en lavado, como dejando el ácido en la cubierta de la semilla. Se encontraron diferencias entre el grupo de 8 minutos de escarificación y el grupo control ( $F_{(3, 23)} = 1188.19$  y  $P = 0.001$  Fig. 4). Estas diferencias fueron significativas en la condición de lavado ( $F_{(1,23)} = 48.59$  y  $P = 0.0003$ ), y en la interacción entre la escarificación y la condición de lavado ( $F_{(1,23)} = 125.85$  y  $P = 0.0001$ ). Las pruebas de rango múltiples mostraron que la mayor capacidad germinativa se presentó en 8 minutos de escarificación sin lavado del ácido (34.4%), mientras que en el mismo tiempo de escarificación, pero con lavado del ácido la capacidad germinativa fue menor (29.3%). Ambas capacidades difirieron del grupo control significativamente (17.3%) (Fig. 4).

La tasa germinativa y el tiempo de latencia no tuvieron relación con el tiempo de escarificación y la condición de lavado sobre las semillas de *S. multiglandulosa*.

**Temperatura constante y alternante (25 y 25-35° C respectivamente), luz: blanca, rojo lejano y oscuridad y escarificación durante 4, 5, 6 y 8 minutos de exposición al ácido en semillas de 11 meses de edad**

Los tratamientos de temperatura no presentaron efecto significativo sobre la capacidad germinativa ( $F_{(1, 71)} = 0.2825$   $P = 0.59$  Fig. 9). Los tiempos de escarificación experimentados si dieron lugar a diferencias significativas ( $F_{(3, 71)} = 619.30$  y  $P = 0.001$  Fig. 9). También la luz produjo diferencias significativas en la capacidad germinativa ( $F_{(2, 71)} = 146.86$  y  $P = 0.0001$  Fig. 9). Las interacciones entre todos los factores fueron significativas ( $F_{(6, 71)} = 14.58$  y  $P = 0.0001$  Fig. 9). Los grupos control en cada condición de luz tuvieron una respuesta similar, no habiendo diferencias significativas entre ellos, descartando a los siguientes tratamientos que no germinaron: 4 minutos de escarificación en RL y OSC bajo temperatura constante, 4 minutos en oscuridad bajo temperatura alternante y 5 minutos en oscuridad bajo temperatura constante. El análisis de intervalo múltiple mostró que la menor capacidad germinativa se observó en 5 minutos de escarificación en oscuridad bajo temperatura alternante (12.0%), y la mayor capacidad se obtuvo en 8 minutos de escarificación en LB a 25°C (86.8%) que, aun cuando no es significativamente diferente a las registradas bajo RL y OSC en el mismo tiempo de escarificación, si difiere de todos los tiempos de escarificación experimentados, incluyendo al grupo control (Fig. 9).

## SIEMBRA EN CAMPO

### **Respuesta germinativa**

En *Dodonaea viscosa* la germinación de las semillas que se encontraban en sitios sombreados presentaron diferencias significativas con las de los sitios abiertos y las oquedades ( $F_{(2, 3)} = 11.410$  y  $P = 0.009$  Fig. 10). La capacidad germinativa máxima se registró en semillas sembradas bajo sombra (32.0%), mientras que la mínima se registró en semillas sembradas en sitios abiertos (20.6%), sin diferencia significativa con la germinación en las oquedades.

En *S. multiglandulosa* la capacidad germinativa máxima fue diferente entre los tres sitios experimentales ( $F_{(2, 3)} = 19.99$  y  $P = 0.002$  Fig. 10). La máxima capacidad

germinativa se encontró en semillas sembradas en sitios sombreados (32.9%) y la mínima capacidad en sitios expuestos o abiertos (13.1%).

En relación con la germinación y los diferentes parámetros de la temperatura en los sitios de germinación, para *D. viscosa* se encontró una relación significativa entre la desviación estándar y con la fluctuación de temperatura y la germinación final (Fig. 11, tabla 1), mientras para *S. multiglandulosa* se encontró una relación con la temperatura mínima, la máxima, la desviación estándar, la fluctuación diaria de la temperatura y la germinación final (Fig. 12, tabla 2).

### **Temperatura del suelo en los sitios de estudio**

Los tres sitios caracterizados (abierto, oquedad y sombra) tuvieron diferencias en la temperatura máxima ( $F_{(2, 18)} = 35.123$  y  $P = 0.000$ ) y en la mínima ( $F_{(2, 18)} = 30.409$  y  $P = 0.001$  Fig. 13). Sin embargo, no hubo diferencia significativa en la temperatura media ( $F_{(2, 18)} = 2.55$ ,  $P = 0.1$ ) para los tres sitios (Fig. 13).

### Evaluación de la viabilidad

La viabilidad de las semillas de *Dodonaea viscosa* y *Senna multiglandulosa* presentó diferencias significativas entre la prueba de flotación y la de tetrazolio. Los porcentajes de viabilidad de la prueba de flotación (90 y 98% respectivamente) fueron similares a los porcentajes de capacidad máxima germinativa obtenidos en algunas pruebas de germinación por lo que se consideró que es un método más eficaz que la prueba del tetrazolio para determinar la viabilidad en estas especies ya que esta prueba indicó porcentajes menores de viabilidad para cada especie (63 y 65%, respectivamente; Fig. 1). Probablemente estas diferencias se debieron a que para la prueba del tetrazolio fue necesario extraer a los embriones, por lo que no se descarta el haber causado algún daño al embrión al remover la cubierta de la semilla, lo que puede interpretarse como resultados no confiables (Moore, 1972). Otra probable causa y de acuerdo con Bittencourt *et al.* (1997), es que la prueba del tetrazolio se ha estandarizado para su uso en un intervalo de concentración de 0.1 a 1%, sin embargo la concentración adecuada probablemente debe cambiar de acuerdo con la especie y sus características; tales como el tipo de cubierta seminal y el tiempo de imbibición de las semillas. La concentración utilizadas en el presente trabajo para ambas especies fue del 1%, la cual probablemente no fue la adecuada para toda la población. Aún y cuando la prueba de flotación mostró los mejores resultados, si se quiere utilizar el tetrazolio será necesario en un futuro realizar pruebas con diferentes concentraciones para determinar la adecuada para las especies en estudio.

Al evaluar la viabilidad por el método de tinción del tetrazolio en algunos casos no se toman en cuenta los diferentes estados del desarrollo de la semilla, cubiertas duras o tipos de latencia. Al trabajar con semillas latentes se puede ocasionar que se evalúen semillas que presentan algún tipo de latencia embrionaria que no ha sido rota, aspecto que puede subestimar el resultado obtenido (Steiner, *et al.*, 1999). En nuestro caso *S.*

*multiglandulosa* presentó latencia embrionaria, que en el momento de extraer los embriones no se contempló, por lo que probablemente se evaluaron semillas que pudieron ser viables y que por el tipo de latencia la tinción indicó embriones inviables, aunque en realidad se encuentren en proceso de maduración (latencia endógena o innata) por lo que la prueba es eficaz para evaluar los tejidos que son viables y en aquellos embriones donde no se presente ningún tipo de latencia (Steiner *et al.*, 1999), aspectos necesarios para un desarrollo normal en el momento que termina su madurez.

### **La edad de las semillas en relación con la germinación**

En semillas de *D. viscosa* escarificadas la edad no tuvo efecto significativo en la capacidad germinativa, mientras que en semillas no escarificadas, se notó una diferencia mínima en la capacidad germinativa, lo que nos indica una leve latencia endógena presente en las semillas (Figs. 2, 4 y 5). En *S. multiglandulosa* la edad de las semillas aumentó la capacidad germinativa, sin embargo, la cantidad de semillas recolectadas fue insuficiente para hacer pruebas de almacenamiento (Fig. 6), La pequeña diferencia de tiempo de almacenamiento entre ambas especies y la respuesta de *D. viscosa* a tiempos prolongados de exposición al ácido sulfúrico hicieron suponer que esta especie tiene una cubierta seminal menos dura que *S. multiglandulosa*. En esta especie los cambios en el aumento de la capacidad germinativa se pudieron observar en semillas escarificadas por 8 minutos por lo que podemos deducir que la latencia se pierde paulatinamente a través del tiempo debido a que se pierde la latencia endógena principalmente, más que a una modificación de la cubierta seminal ya que tiempos de exposición más prolongados que 8 minutos reducen la germinación.

Además las giberelinas si incrementaron la capacidad germinativa de esta especie. El incremento en la capacidad germinativa con el transcurso del tiempo en semillas de testa dura lo reportó Osuna *et al.*, (1997) para *Chiranthodendron pentadactylon* que al igual a *S. multiglandulosa*, también tuvo pérdida de la latencia endógena causada por un inadecuado balance hormonal de la semilla. Sin embargo Lemes (1998) encontró

resultados opuestos para semillas de *S. alata* que alcanzaron porcentajes superiores de germinación en semillas de 2 meses de edad y al año de recolectadas, disminuyeron considerablemente, suponiendo una pérdida en la viabilidad de las semillas o la entrada en una latencia secundaria.

### **La escarificación**

*Dodonea viscosa* y *Senna multiglandulosa* presentaron cubiertas duras e impermeables. Esta condición posiblemente sea la causa principal de la latencia en estas especies. Muchas especies presentan semillas con periodos largos de latencia inducida por la dureza e impermeabilidad de la cubierta al agua y gases como el oxígeno, lo que previene la germinación (Baskin y Baskin, 1998). Esto es común en especies de las familias de las leguminosas, que tienden a presentar cubiertas duras e impermeables (Cervantes *et al.*, 1996; González y Pérez, 1997).

La impermeabilidad de la testa puede romperse por métodos de escarificación que permiten que la semilla se hidrate y reinicie su metabolismo y, como resultado, la germinación. Una vez que la cubierta seminal es degradada se vuelve permeable al agua, a los gases y a otros solutos. Al romperse la barrera que impedía germinar a la semilla, ésta puede tener la disponibilidad óptima de agua y establecer un intercambio gaseoso favorable. Se ha reportado un gran número de especies con periodos largos de latencia física inducidos por la presencia de este tipo de cubierta (Rolston, 1978, En: Camacho M. 1987).

El efecto de la escarificación mecánica o química en la naturaleza se ha evaluado ampliamente (Baskin y Baskin, 1998), como puede ocurrir cuando las semillas entran en contacto con fuertes ácidos que se encuentran en el tracto digestivo de algunos consumidores que ingieren los frutos, o por la abrasión natural causada por el arrastre de la semilla en agua al correr por el suelo. En algunos casos los microorganismos degradan la cubierta dura (Baskin y Baskin, 1998, Bewley y Black, 1985, Vazquez, *et al.*, 1997). En el laboratorio, con tratamientos artificiales, se intenta simular lo que ocurre en la

naturaleza. Algunos de estos métodos son: la abrasión mecánica, el uso de agua caliente y ácido sulfúrico en diferentes concentraciones (Camacho 1987, Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Cuando se aplican tratamientos con agua caliente y ácido sulfúrico se necesita experimentar con diferentes tiempos de exposición a ellos para establecer el tratamiento adecuado para cada especie. Ambas especies respondieron a la inmersión en ácido sulfúrico, en semillas de 2 meses de edad de *D. viscosa* a temperatura constante, con 4 minutos de escarificación alcanzó su máxima capacidad germinativa y con 6 minutos de escarificación se redujo fuertemente la germinación. En temperatura fluctuante el tiempo de escarificación óptimo fue menor (2 minutos) y la germinación se empezó a reducir con 4 minutos, probablemente porque el ácido sulfúrico pudo penetrar la cubierta seminal y dañar al embrión con más facilidad a temperatura fluctuante.

Una vez detectada la acción de la escarificación en la cubierta de la semilla, fue posible determinar la influencia que tiene la temperatura sobre ella. Se ha reportado que la fluctuación de la temperatura es un factor que influye en la degradación de la cubierta (Baskin y Baskin, 1998). Salvo los casos mencionados, no se encontraron diferencias significativas entre la temperatura alternante y la constante sobre las semillas escarificadas para ambas especies. A diferencia de los resultados encontrados en *S. multiglandulosa* las semillas de *S. obtusifolia* no escarificadas germinan solo en altas temperaturas fluctuantes (Baskin *et al.*, 1998).

Debido a que en semillas de 20 meses la interacción entre tiempo de exposición al ácido sulfúrico y LA capacidad germinativa encontrada en semillas de dos meses de edad no se mantuvo (las semillas germinaron por igual a temperatura fluctuante y constante y no se observó una inhibición de la germinación con tiempos altos de escarificación) se aplicaron los tratamientos en que se dejó el ácido sulfúrico en la superficie de la semilla, encontrándose que éste inhibe la germinación, lo que pudo haber ocurrido en las semillas de 6 meses de edad.

Baskin *et al.*, (1998) han reportado que la acción del ácido sulfúrico afecta la dureza y permeabilidad de la testa, su acción depende de la especie, por ejemplo, en semillas de algunas leguminosas como *Bauhinia vahlii* "maloo", reduce drásticamente los porcentajes de germinación, mientras que en otras como *Senna marilandia*, *Senna obtusifolia*

(Baskin, *et al* 1998) y *Senna alata* (Lemes 1998) promueve la germinación. *S. multiglandulosa* pertenece a la familia de las leguminosas, en la que es común encontrar la presencia de una testa dura, por lo que el rompimiento de la latencia por medio de la escarificación bajo los diferentes tiempos de exposición a  $H_2SO_4$  resultó ser la condición idónea.

Baskin y Baskin (1998) encontraron que en *S. obtusifolia* el calor seco causó un efecto parcial en los porcentajes germinativos, mientras que en *S. marilandica* no hubo respuesta ante este factor. En cambio, la ebullición de agua caliente causó un incremento significativo en ambas especies, sin embargo, el tiempo requerido para romper la latencia fue variable entre las semillas de *S. obtusifolia* y *S. marilandica*. Estas respuestas nos muestran que cada especie responde de acuerdo con sus requerimientos particulares de escarificación y temperatura, como *S. multiglandulosa* a los diferentes tiempos de escarificación química.

Los tiempos de escarificación requeridos por *S. multiglandulosa* fueron relativamente breves comparados con los requeridos por otras especies de *Senna*, las cuales han sido sometidas entre 30 y 240 minutos de escarificación A ácido sulfúrico concentrado para alcanzar de un 80 a un 100% de germinación (Baskin, 1998). La escarificación también redujo el tiempo de latencia de *S. alata* (Lemes, 1998), mientras que en *S. multiglandulosa* el tiempo de latencia no se redujo, sin embargo el tiempo para alcanzar la máxima germinación si se redujo drásticamente. Esto demuestra que la presencia de una cubierta dura es relativa de especie a especie, por lo que a pesar de que se ha demostrado que las leguminosas poseen características similares entre ellas, muchas de sus respuestas fisiológicas son totalmente específicas, existiendo diferencias cuantitativas y cualitativas en la latencia de las semillas de estas especies.

Un aspecto a considerar es la gran variación interanual que puede tener en la cubierta seminal. En semillas de *Opuntia tomentosa* se reporta que en un año las semillas pueden requerir tiempos muy prolongados de escarificación y las semillas del siguiente año tener

cubiertas menos duras y por lo tanto requerir tiempos menores de escarificación (Olvera-Carrillo, 2001).

### **La escarificación y las giberelinas**

Por otro lado, aun cuando las giberelinas (AG<sub>3</sub>) están involucradas en el rompimiento de la latencia y el mantenimiento de la germinación en las semillas (Bewley, 1997), las respuestas obtenidas en semillas escarificadas de *D. viscosa* con AG<sub>3</sub> no fueron significativamente distintas a las de las semillas sólo escarificadas, por lo que se descarta la posibilidad de que las semillas presenten un desbalance hormonal o latencia endógena. Sin embargo, el hecho de que incluso las semillas escarificadas tarden hasta 70 días en completar la germinación, hace suponer la presencia de algún tipo de latencia adicional. Mientras que, como se ha discutido anteriormente *S. multiglandulosa* incrementó su germinación con AG<sub>3</sub> (500 ppm). Es decir sumada a la latencia tegumentaria presentó latencia endógena.

### **La luz y la germinación**

Ambas especies fueron indiferentes a la luz tanto a temperatura fluctuante como constante, las variaciones encontradas entre los tratamientos de luz blanca, oscuridad y rojo lejano se debieron principalmente a la escarificación. En *D. viscosa* la mayor y la menor capacidad germinativa se registraron en RL en temperatura constante. *Senna multiglandulosa* presentó la mayor y la menor capacidad germinativa en LB a temperatura constante. Se ha sugerido que especies con semillas pequeñas del Pedregal de San Ángel son fotoblásticas debido a que crecen sobre la lava, el fotoblastismo impide su germinación cuando están en oquedades de las rocas o enterradas en el suelo acumulado entre las grietas (Vazquez Yanes y Orozco Segovia, 1990). *S. multiglandulosa* y *D. viscosa* poseen semillas relativamente grandes por lo que las plántulas tendrían mayor posibilidad de alcanzar la luz después de germinar enterradas o en algunas de las oquedades que se presentan en el Pedregal, el cual cuenta con una gran heterogeneidad

topográfica, formando condiciones microambientales diferentes entre sí, con condiciones variadas, tanto de luz como de temperatura, e incluso de humedad. Se ha reportado que las Acacias y algunas especies de Senna, al igual que muchas otras leguminosas no son sensibles a la luz, incluso la germinación se ha llevado a cabo en completa oscuridad o con baja iluminación (Cavanagh, 1980), (Teketay, 1996, En: Baskin, 1998; Baskin, 1999). Se ha sugerido que las semillas indiferentes a la luz no forman bancos de semillas persistentes en el suelo ya que pueden germinar en condiciones de oscuridad y en temperaturas fluctuantes, características de suelos descubiertos (Pons, 1991), sin embargo, las especies estudiadas sí podrían formar un banco de semillas debido a su latencia tegumentaria, ya que el rompimiento de la impermeabilidad es un proceso que distribuye la germinación en el tiempo e incrementa las posibilidades de que algunas semillas germinen y completen su ciclo de vida (Egley, 1989). Es importante mencionar que se ha reportado que las especies indiferentes a la luz constituyen sólo el 5 % de especies de zonas templadas que presentan este tipo de respuesta (Come, 1970 En: Orozco Segovia, 1999).

La interacción que juega la temperatura con la luz en la respuesta germinativa se ha documentado ampliamente, encontrando que la alternancia de las temperaturas favorece la germinación en condiciones de oscuridad (Ekstam y Milberg, 1999; Pons, 1992; Probert, 1992). Solo *S. multiglandulosa* incrementó ligeramente su germinación en R1 y en la oscuridad en temperatura fluctuante, en los tratamientos de tiempo de escarificación más breves. La sensibilidad a la luz en algunas especies puede ser modificada por la escarificación química o por escarificación física. Se ha comprobado que la cubierta de las semillas influye en su fotosensibilidad. El endospermo y los tegumentos pueden filtrar la luz, se ha demostrado que la cubierta de las semillas transmite más rojo lejano que luz roja (Ikuma y Timan, 1963; Widell y Vogelmann, 1985), por lo que las semillas descubiertas son más insensibles a la luz (Chacur y Takaki, 1996). También la escarificación induce cambios en la fotosensibilidad de las semillas (Felippe y Polo, 1983).

## Siembra en campo

Las semillas intactas de *S. multiglandulosa* y *D. viscosa* germinaron mejor en los sitios sombreados que en las oquedades y en los sitios abiertos. En este último sitio se registraron los valores más bajos. En los lugares abiertos las longitudes de onda rojo y el rojo lejano llegan en igual proporción, ya que no hay un dosel vegetal que filtre la luz y además existe una mayor fluctuación de temperatura. Mientras que en las oquedades la radiación incidente es menor, hay mayor humedad y en promedio las temperaturas son más bajas y prácticamente constantes. La germinación fue mayor en sitios sombreados por un dosel vegetal, en los que la luz que llega al suelo es pobre en rojo y rica en rojo lejano y con temperaturas a lo largo del día con poca fluctuación en relación al sitio abierto (Fig. 13). Generalmente los cambios en la intensidad lumínica provocan, a su vez, cambios en otras variables ambientales tales como la temperatura del suelo y el aire (Bazzaz, 1984) que pueden tener influencia en las respuestas germinativas.

Ambas especies crecen en sitios abiertos, no obstante, la germinación ocurre en mayor proporción en los micrositos menos expuestos, estos se pueden presentar en las pendientes rocosas o en grietas con una gran cantidad de hojarasca, en las que principalmente crece *D. viscosa*. El hecho de que aún los sitios más abiertos del Pedregal presenten oquedades y que al menos parte de la población germine en sitios abiertos, permite que *S. multiglandulosa* se establezca exitosamente en sitios abiertos, aunque también puede crecer en sitios sombreados. Para el establecimiento de las plántulas es tan importante el sitio de germinación como el de crecimiento (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1993, Cervantes *et al.*, 1996). Por otra parte, el hecho de que las semillas en el campo, aún después de 9 meses no hayan germinado en la misma proporción que en el laboratorio refuerza la posibilidad de que formen un banco de semillas permanentes. Se ha visto en otras especies de testa dura que los hongos juegan un papel importante en degradar las cubiertas. La acción de estos hongos sobre la degradación de la cubierta seminal en la totalidad de una población de semillas puede durar más de un año (Olvera-Carrillo 2001). En los sitios sombreados y en las oquedades, dónde hay mayor humedad

del suelo, la acción de los hongos puede ser permanente o más constante que en los sitios abiertos dónde durante la época seca debe reducirse su actividad, las semillas de las especies estudiadas se colocaron en el campo en la época seca y se registró la germinación en la siguiente época de lluvias

Ecológicamente, los factores ambientales se encuentran interrelacionados (luz, temperatura, humedad, depredación, asociaciones, competencia). La reproducción de esta interacción se encuentra lejos de lo que se puede simular en laboratorio, por lo que sólo se miden respuestas aisladas que *in situ* no se pueden medir, y los experimentos de campo nos dan otro tipo de información más aproximada a la realidad. En el caso de *D. viscosa* y *S. multiglandulosa* los experimentos de laboratorio reflejaron en gran medida las respuestas en el campo, por lo que los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser útiles en los programas de propagación de estas especies.

Las leguminosas son esenciales en los programas de restauración y reforestación en regiones tropicales y en zonas templadas, debido a que enriquecen con nitrógeno el suelo en que ellas crecen (Cervantes, *et al.*, 1996). Dentro de los bosques tropicales *S. multiglandulosa* es muy abundante, pero dentro de la Reserva del Pedregal es una especie introducida y conforma la comunidad secundaria, su distribución es escasa y comúnmente muy aislada. Esta especie es importante porque presenta un rápido crecimiento, por no ser propensa a las plagas y de fácil adaptación aun dentro de áreas urbanas o zonas perturbadas. También muchas leguminosas han sido propuestas por su calidad nutricional como forraje, además de la eficiencia que tienen para asimilar nitrógeno, aspecto de sumo interés en la conservación y regeneración de suelos. *S. multiglandulosa* ha sido utilizada como alimento para ovinos como una alternativa para reducir el desgaste en los pastizales degradados (Nahed, 1994).

*D. viscosa* presenta también una distribución dentro de las zonas templadas, tropicales y subtropicales en todo el país, creciendo bajo diversas condiciones ambientales y micro ambientales. La importancia de esta especie radica en que crece en suelos con una alta

erosión así como con limitación de agua, incluso la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural dentro del Programa Integral de Recuperación de Bosques y Áreas Verdes del Distrito Federal propone a *D. viscosa* como una alternativa en la reforestación de parques y jardines dentro del área metropolitana por estas características. Además, Degollado (2000) encontró que *D. viscosa* presenta potenciales hídricos muy negativos, es decir, es una planta que se encuentra sometida a un estrés hídrico importantes de hasta casi  $-3\text{MPa}$ , que además durante la temporada seca presenta pérdida de la turgencia durante algunas horas del día (producto de paredes celulares con poca elasticidad) y un ajuste osmótico notable. Este tipo de trabajo nos ayuda a determinar que especies pueden ser capaces de soportar condiciones de sequía y por tanto ser consideradas como restauradoras potenciales.

El hecho de que las semillas presentes en el Pedregal de San Ángel se encuentren en microsítios, como los abiertos, los sitios sombreados y las oquedades, que dependen de la forma, de la superficie, del grosor y de la textura de la capa de lava, así como de la cantidad de suelo acumulado, hace que las semillas den como resultado requerimientos ecofisiológicos diferentes y por ende, respuestas fenotípicas variadas, evaluado a través del proceso germinativo, donde en sitios sombreados hubo mayor capacidad germinativa en comparación con los abiertos o las oquedades, para ambas especies demostrando que sí existe una expresión diferencial del genotipo en la respuesta germinativa por el microsítio en donde se encuentren las semillas.

## XI. CONCLUSIONES

1. El método por flotación fue más eficiente que la prueba de tetrazolio para determinar la viabilidad de las especies en estudio,
2. La impermeabilidad de la testa en las semillas de *D. viscosa* y *S. multiglandulosa* es el principal factor que mantiene su latencia. En ambas especies, la escarificación química con ácido sulfúrico concentrado permitió romper la latencia física, obteniéndose altos porcentajes de germinación
3. Es conveniente almacenar un tiempo las semillas de *S. multiglandulosa* antes de ser sometidas a la escarificación química para que completen la madurez fisiológica y pierdan la latencia endógena. Mientras que *D. viscosa* no requiere de un tiempo de postmaduración.
4. Tanto *D. viscosa* como *S. multiglandulosa* germinaron en luz, oscuridad y rojo lejano, por lo que son fotoblásticas indiferentes.
5. Ambas especies germinaron por igual tanto a temperatura constante (25°C) como a temperatura fluctuante (25-35°C).

## XII. SUGERENCIAS

Determinar la presencia de inhibidores químicos en ambas especies con diferentes tiempos de lavado en ambas especies, para determinar si hay algún inhibidor que esté siendo removido por el ácido sulfúrico o que se degrade con el tiempo.

Establecer la respuesta germinativa de ambas especies en un gradiente de temperatura para conocer en forma más precisa el papel ecológico de este factor por lo que se sugiere considerar el intervalo de temperaturas registradas en su área de distribución

Ampliar las mediciones de los factores físicos involucrados en el desarrollo de la semilla en campo permitiría determinar más certeramente su respuesta germinativa y por tanto determinar las condiciones idóneas para el rompimiento de la latencia de las semillas de ambas especies.

Es necesario realizar estudios de germinación con semillas provenientes de diferente distribución geográfica y de distintas cosechas para evaluar los efectos maternos relacionados con su distribución ecológica y geográfica y con las variaciones interanuales.

### XIII. LITERATURA CITADA

- Allen, P.S. y S. E. Meyer. (1998). Ecological aspects of seed dormancy loss. *Seed Science*.
- Baskin J. M. y Baskin, C. C, 1985. The annual dormancy cycle in buried seeds: a continuum. *BioScience*, 35:492-498
- Baskin C. C. and Baskin J.M. (1998). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. San Diego, CA. Academic press..669p.
- Baskin J.M., Nan X. and Baskin C. (1998). A comparative study of seed dormancy and germination in an annual and a perennial species of *Senna* (Fabaceae) *Seed Science Research* 8, 501-512
- Bazzaz, F. A. (1970). Secondary dormancy in seed of common ragweed *Ambrosia artemisiifolia*. *Bull. Torrey Bot. Club* 97, 302-305.
- Bewley, J.D. y Black, M. (1985). *Seeds. Physiology of development and germination*. Plenum Press. USA. 367 p
- Bewley,, J.D. (1997). Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, 9: 1055-1066
- Bidwell, R.G.S. (1979). *Fisiología vegetal*. AGT editor. México. 784 pp
- Bradbeer J.W. (1988). *Seed Dormancy and Germination*. Ed. Chapman and Hall. New York. 146pp.
- Brechú Franco A.E. (1994). Potencial de infección del banco de semillas recién formadas de *Ipomoea purpurea* (L) Roth (Convolvulaceae) maleza del maíz. Tesis Doctoral, Facultad de ciencias, UNAM. 221pp.

- Bittencourt, S.R.; Vieira, R.D. and T.J. Rodriguez. (1997) Criteria for peanut seed pre-conditioning for the tetrazolio test. *Seed-Science-and-Technology*, **25**, 337-342.
- Boesewinkel D.F y Bouman F. (1995). The seed: structure and function. In Kigel, J.& Galili, G. (Eds), *Seed Development and germination*, pp. 1-23 New York: Marcel Dekker, Inc. 853 pp.
- Camacho M. (1987). Germinación de semillas de palo dulce (*Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg.) en siembras densas *Revista Ciencia Forestal*. **62** (12), 3-13.
- Carrillo-Trueba, C. (1995). *El Pedregal de San Ángel*. México, D. F. UNAM. 177 pp.
- Cavanagh, A. K. (1980). A review of some aspects of the germination of Acacias. *Proceeding Roy. Society Vict.* 91, 161-180.
- Cervantes V., Carabias, J. and Vázquez-Yanes, C. (1996). Seed germination of woody legunes from deciduos tropical forest of southern Mexico. *Forest Ecology and Management* 82, 171-184
- Chipole Ibañez M. 1995. Tratamiento, germinación y crecimiento de cuatro especies arbustivas con semilla impermeables. Tesis Licenciatura UNAM- ENEP-Iztacala.
- Degollado, D. (2000). Relaciones hídricas internas de *Cissus sicyoides* L. y *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. de la reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM.
- De Greef. J. A. (1996). Phytochrome reseach in whole plant physiology. Wild-type seedling versus mutants and transgenic plants. *Physiologia Plantarum*, **98**, 377-380.

Dennis, Jr. F.G. (1994). Dormancy- What we know (and don't know) *Hort Science*, vol. 29 (11).

Ekstam B. Johannesson R. And Milberg P. (1999). The effect of light and number of diurnal temperature fluctuations on germination of *Phragmites australis* *Seed Science Reseach*. 9, 165-170.

Felipe, G. M. y Polo, M. 1983. Germinacao de ervas invasoras; Efeito de luz escarificacao. *Revista Brasileira Botânica*, 6 , 55-60.

Fenner, M. (1985). *Seed Ecology*. Great Britain: Chapman and Hall. 151 pp.

González- Zertuche. L. Y A. Orozco-Segovia. (1996). Métodos de un análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Mamfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 58:15-30.

Handbook of plant and crop physiology. P. Ortega M. Pessarakli, ed. (1994). Marcel Dekker, Inc. New York. Dennis, F. Jr. Dormancy: Manifestations and causes

Harper, J. L. (1977). *Population Biology of Plants*. Oxford: Academic Press, Inc. 892 pp.

Ikuma, H. y Thimann, K. V. (1963). The role of the seed-coats in germination of photosensitive lettuce seeds. *Plant Cell Physiol*. 4, 169-185.

ISTA Rules 1996. (Reglas Internacionales para Evaluar las Semillas) Rules 5. 2. 2 ; Anónimo.

Karssen, M. C. (1995) Hormonal regulation of seed development, Dormancy, and

germination studied by genetic control. In Kigel, J.& Galili, G. (Eds), *Seed Development and germination* , pp. 333-350 New York: Marcel Dekker, Inc. 853 pp.

Kozlowsky, T.T. y Pallardy, S.G. (1997). *Physiology of Woody Plants*. 2ª edición. San Diego, CA: Academic Press, Inc. 411 pp.

Lambert, H., Chapin, F. S. y Pons, T.L. (1998). *Plant Physiological Ecology*. New York, NY: Springer-Verlag. 540 pp

Lang, G. A. (1994). Dormancy- The Missing links: Molecular studies and integration of regulatory plant and environmental interactions. *Hort Science*, vol. 29(11)

Lemes, H. C. (1998) Estudio de propagación en *Senna alata* (L.) Roxb (Guacamaya francesa). *Revista Cubana Plant Med* 3 (2): 64-68.

Martínez, M. (1979). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. Fondo de cultura económica México . 272 pp.

Moran Perales R.M. (1999). Efecto de la luz y la temperatura en la respuesta germinativa de las principales malezas de la zona de Milpa Alta en el D.F. en la invasión del cultivo del nopal. Tesis de M. En C. (B.Veg). Facultad de ciencias, UNAM

Murdoch, A. J. y Ellis, R. H. (1992). Longevity, viability and dormancy. En: Fenner, M. (Ed.), *The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, pp. 193-229. U.K.: C.A.B. International. 373 pp.

Olvera Carrillo Yadira. 2001. Estudio ecofisiológico de la germinación, sobrevivencia y crecimiento de *Opuntia tomentosa* S.D. en la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis Lic. Fac. Ciencias, UNAM 95 pp.

Osuna, F. R., Laguna, H. G., Brechú, F. A., Orozco, S. A. 1997. Germinación de

*Chiranthodendron pentadactylon* Larr. (Sterculiaceae), en respuesta a la escarificación, temperatura y luz. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 60: 5-14.

Orozco- Segovia, a. y Vázquez Yanes, C. 1989 Light effect on seed germination in Piper  
*Acta Oecologia Plantarum* 10: 123-146.

Paz, L. and Vázquez-Yanes, C. (1998) Comparative seed ecophysiology of wild and cultivate *Carica papaya* trees from a tropical rain forest region in Mexico. *Tree Physiology*. 18, 277-280.

Ponds, R. J. 1992 *The role of temperature in germination ecophysiology*. En: Fenner. (M. (ed.). Seed- The ecology of Regeneration in Plant Communities Kingdom. 285-325 pp.

Probert, R. J. (1992). The role of temperature in germination ecophysiology. pp 285-326 in M. Fenner (Ed). *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. Wallingford, CAB International.

Osuna F., Laguna H, Brechú F y Orozco S. (1997). Germinación de *Chiranthodendron pentadactylon* Larr (Sterculiaceae) *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 60: 5-14

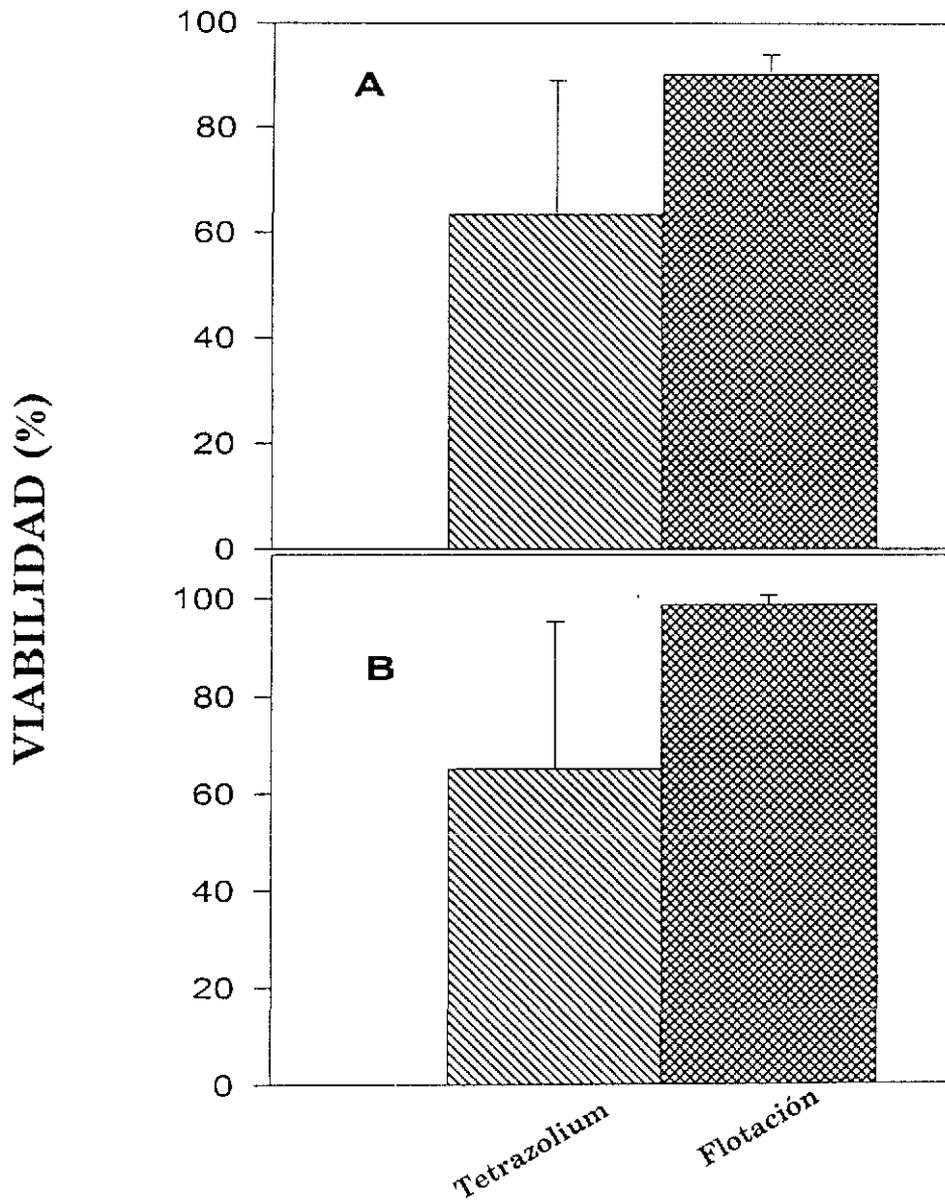
Reyes, O. I. (1997) Estudio sobre la germinación de semillas de tres especies de Laminaceas del sur del Valle de México. Tesis Lic. Fac. Ciencias. UNAM. 84pp.

Ramírez G. (1997) Comportamiento estomático en *Senecio praecox* D.C. (Compositae) y *Dodonaea viscosa* Jacq. (Sapindaceae) de la reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM. 64 pp.

- Roberts, E. H. (1972). *Dormancy: a factor affecting seed survival in soil*. IN: Roberts, E.H. (ed.) *Viability of seeds*. Pp. 321-359. Chapman and Hall LTD, London
- Rueda Medina Marcela. 1999. Germinación y crecimiento temprano de *Mammillaria magnimamma*. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias UNAM
- Rzedowski, J. (1954). Vegetación del Pedregal de San Ángel. *Anales. Escuela Nacional Ciencias Biológicas*. (13): 59-122.
- Rzedowski, J. y Rzedowski, C. G. (1990) *Flora Fanerogamica del valle de México*. Vol III. Instituto de Ecología. Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro Michoacán.
- Sánchez Coronado Ma. Esther (1993) Estudio experimental de las etapas tempranas de siete especies del género Piper L. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM
- Steiner-A-M., Kruse-M and Fuchs-H (1999) A re-assessment of the comparison of tetrazolio viability testing and germination testing. *Seed-Science-and-Technology*. 27 (1): 59-65.
- Sork. V. (1985) Germinatio response in a large seeded neotropical tree species, *Gustavia superba* (Lecythidaceae). *Biotropica* 17(2): 130-136.
- Takaki M. And Zaia V. M. (1984) Effect of light and temperature on the germination of lettuce seeds. *Planta* 10: 190-192.
- Thompson, P.A. 1970. Characterization of the germination response to temperature of species and ecotypes. *Nature*. 225: 827-831.
- Thompson, K. y Grime, J.P. (1979) Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology*, 67: 893-921.

- Totterdell S. and E. H. Roberts (1980) Características de la alternancia de temperaturas que estimula la pérdida de latencia en las semillas de *Rumex obtusifolius* y *Rumex crispus* L. *Plant Cell Environment* 3-12.
- Valiente-Banuet, A. y de Luna, E. (1990) Una lista florística actualizada para la Reserva del Pedregal de San Angel, México, D.F. *Acta Botánica Mexicana*, 9: 13-30.
- Vazquez Yanes y Orozco Segovia, A. (1990). Ecological significance of light controlled seed germination in two contrasting tropical habitats. *Oecologia* 83, 171-175.
- Vázquez-Yanes and Orozco, A.(1993) Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest. *Annual Review of Ecology and Systematic*. 24, 69 – 87
- Vázquez-Yanes, C., Orozco-Segovia, A., Rojas-Aréchiga, M., Sánchez-Coronado, M.E. y Cervantes, V. (1997). *La reproducción de las plantas: semillas y meristemos*. La Ciencia para todos. México, D. F.: FCE. 157 pp
- Vázquez-Yanes, C. and Rojas, M. (1999) Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments* 44, 85-104.
- Vázquez-Yanes, C. Rojas, M. Sánchez, C. M. E. y Orozco S. A.(1996) Comparison of light – regulated seed germination in *Fucus* spp. And *Cecropia obtusifolia*: ecological implications. *Tree physiology* 16, 871 – 875
- Vázquez -Yanes C. y Rodríguez Hernández M.C. (1985) Bancos de semillas relaciones entre hábitat de origen y longevidad potencial en almacenamiento. En: *Conservación de plantas en peligro de extinción: Diferentes enfoques*. Editores: Linares, E. P. Dávila, Instituto de Biología. UNAM.

Williams E.D. (1983) Effects of temperature, ligh, nitrate and pre chilling on seed germination of grassland plants. *Annual Appl. Biol.* **103**, 161-172.



### MÉTODO EMPLEADO

Fig 1 Porcentaje de viabilidad en *Dodonaea viscosa* (A) y *Senna multiglandulosa* (B) bajo la prueba de flotación de semillas y de tinción con tetrazolium (n = 3,  $\bar{x} \pm 2$  e.s.)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

62-A

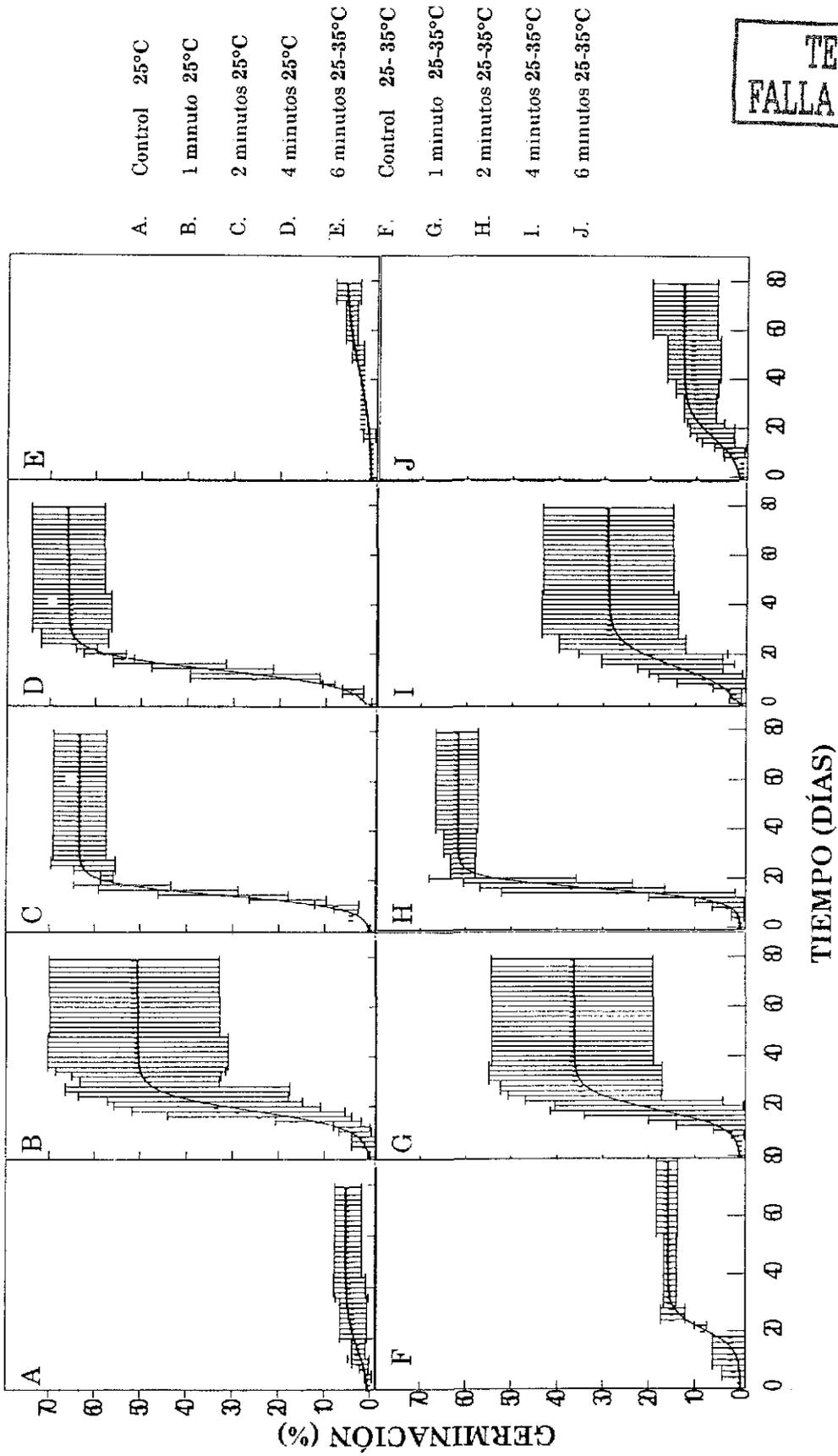


Fig. 2 Porcentaje de germinación acumulada con distintos tiempos de escarificación y su control para semillas recién colectadas de *Dodonaea viscosa* a temperatura constante de 25° C y alternante de 25-35° C ( $n = 3, \bar{x} \pm 2 \text{ e. s.}$ )

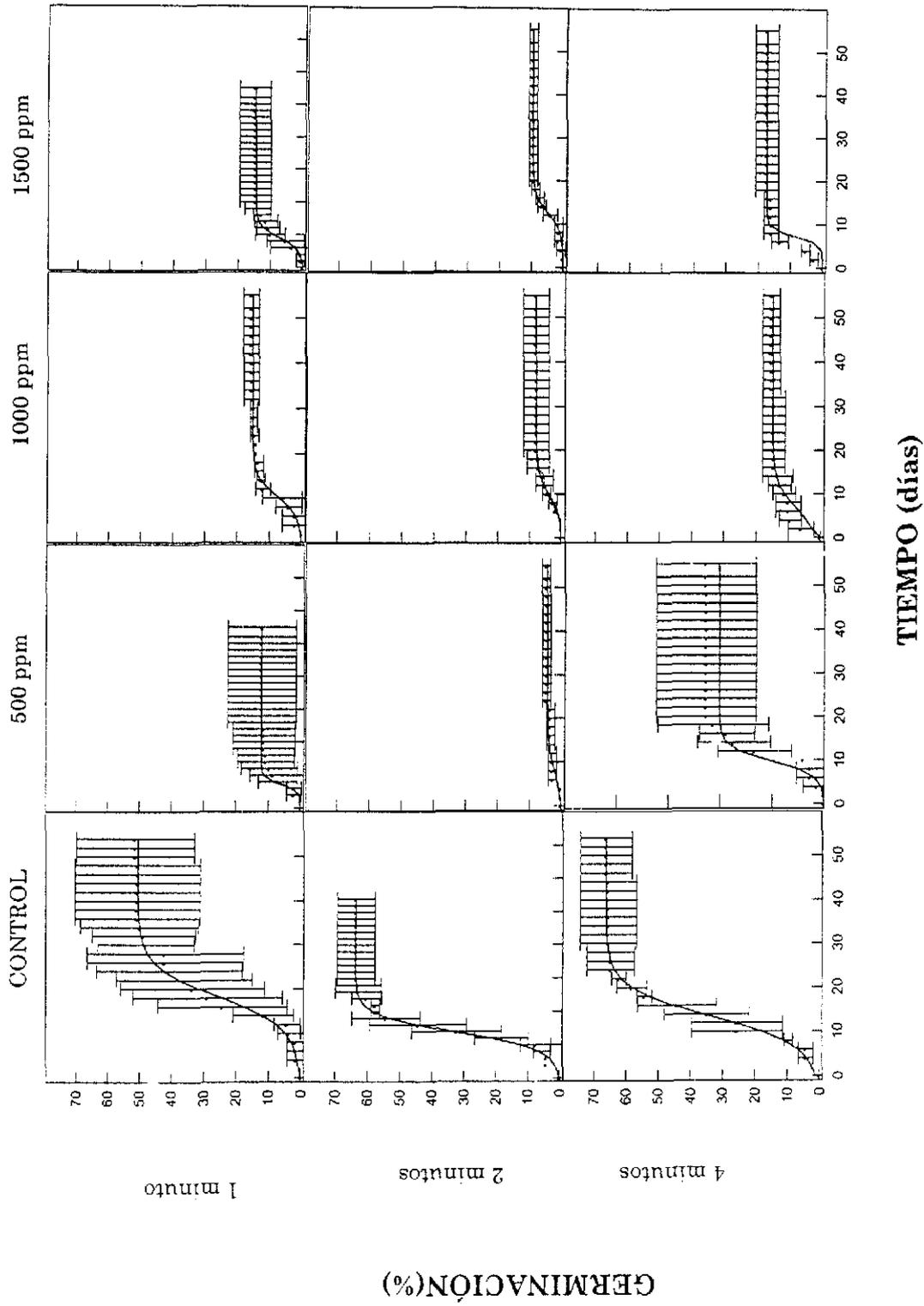
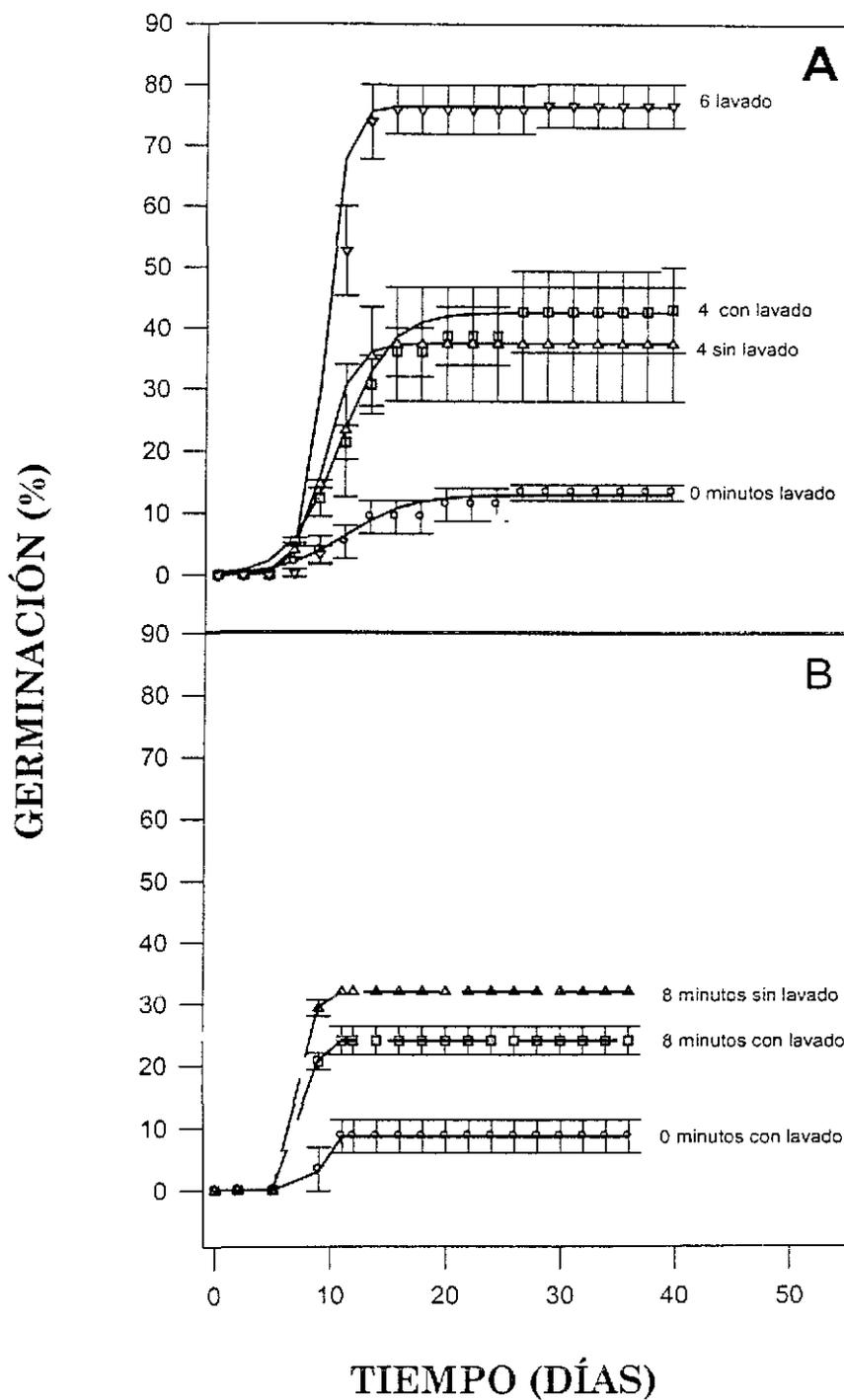


Fig. 3 Porcentaje de germinación acumulada con distintos tiempos de escarificación en tres concentraciones de ácido giberélico y su control para semillas de edad de *Dodonaea viscosa* a temperatura constante de 25° C ( $n=3, \bar{x} \pm 2$  e.s.)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 4 Porcentaje de germinación acumulada en semillas con condición de lavado o sin lavado del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a diferentes tiempos de escarificación para semillas de 13 meses de edad de *Dodonaea viscosa* (A) y de semillas de 6 meses de edad para *Senna multiglandulosa* (B). Ambas a temperatura constante de 25° C (n = 3;  $\bar{x} \pm 2$  e. s.)

62-D

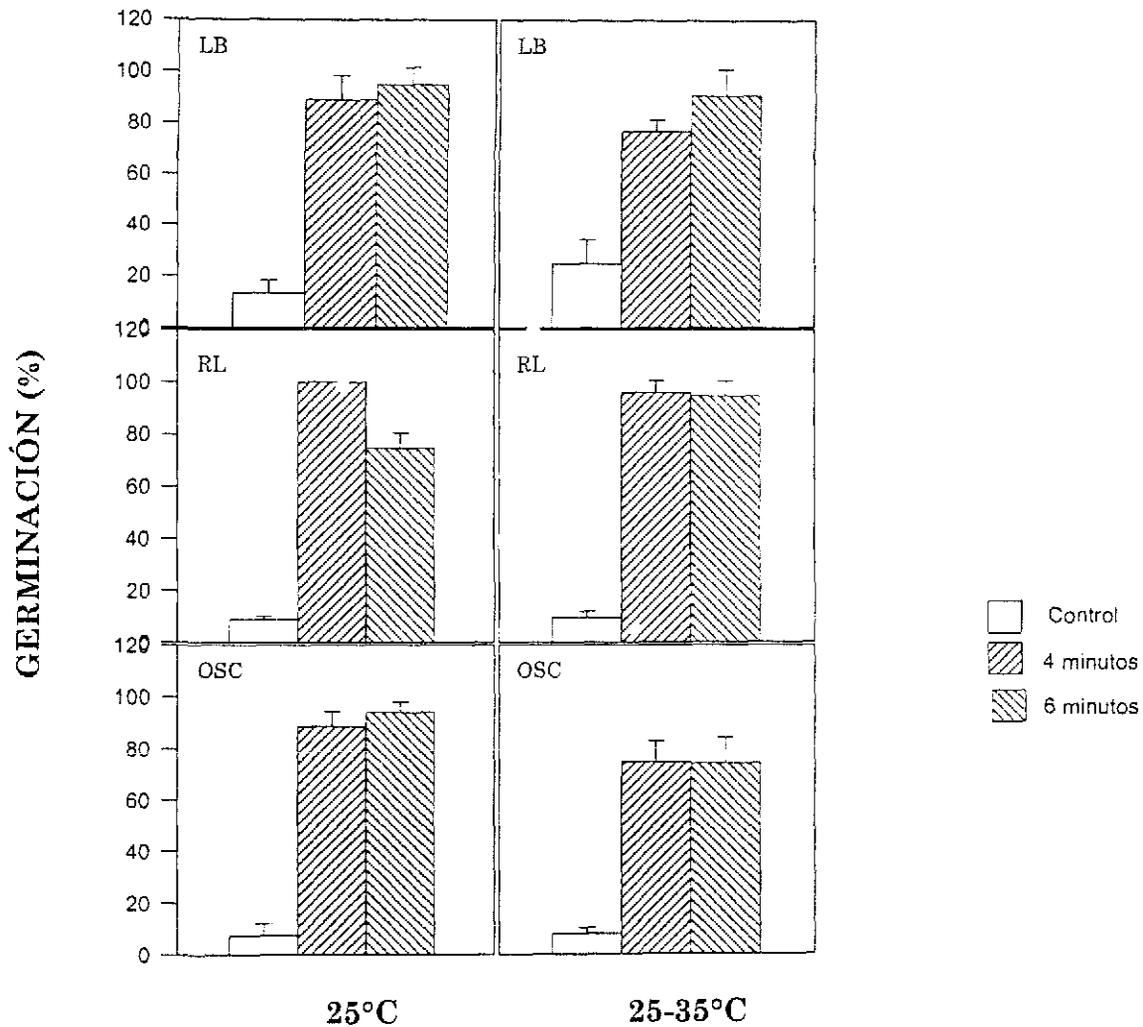


Fig. 5 Porcentaje de germinación final de semillas de 20 meses de edad de *Dodonaea viscosa* bajo diferentes condiciones de luz: blanca (LB), rojo lejano (RL) y oscuridad (OSC) con diferentes tiempos de escarificación y su control a temperatura constante de 25° C y alternante de 25-35° C (n = 3;  $\bar{x} \pm 2$  e.s.)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

62-E

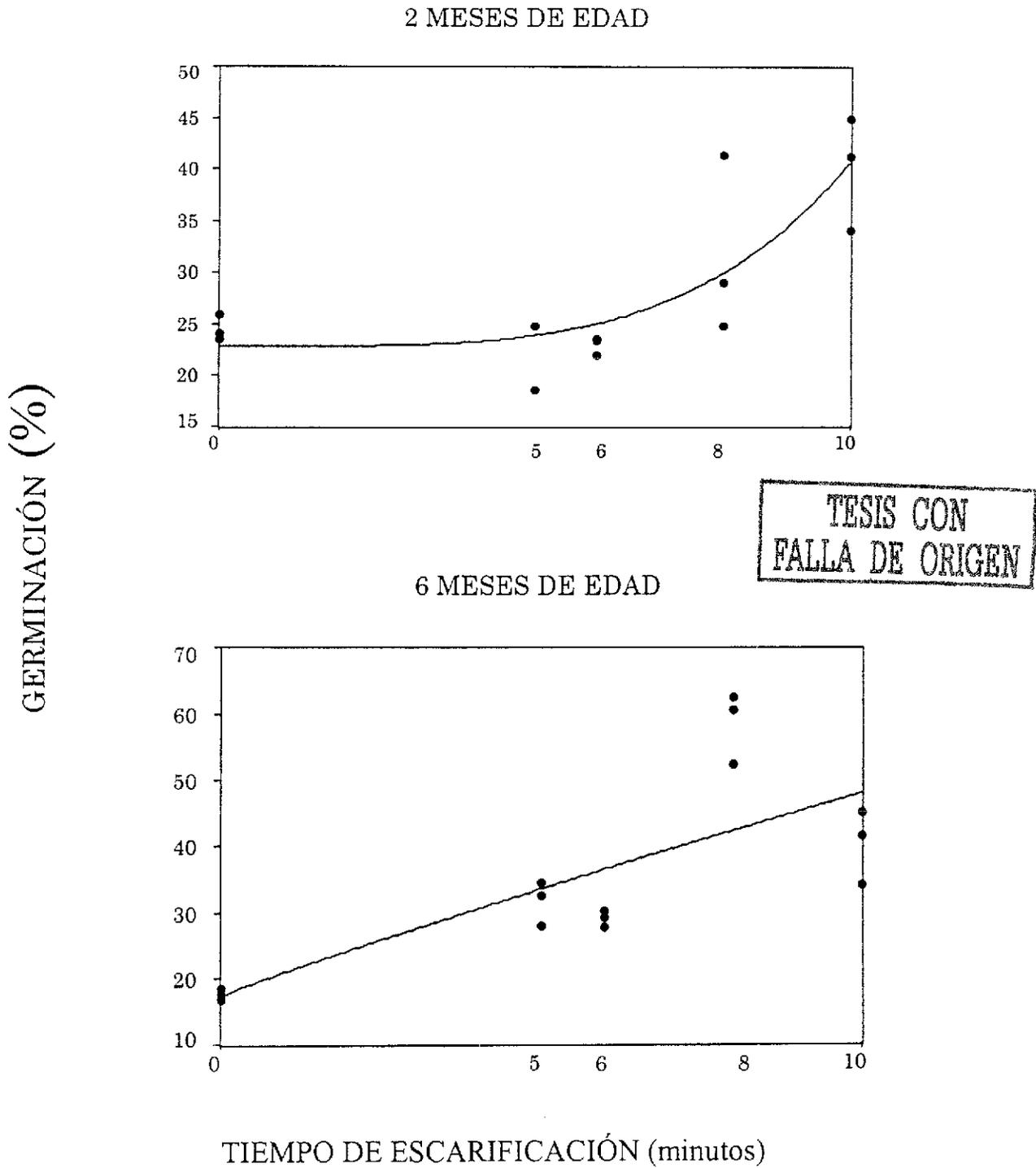


Fig.6. Porcentaje de germinación acumulada en dos edades y con diferentes tiempos de escarificación en 500 ppm de  $AG_3$  para *Senna multiglandulosa*.

62-F

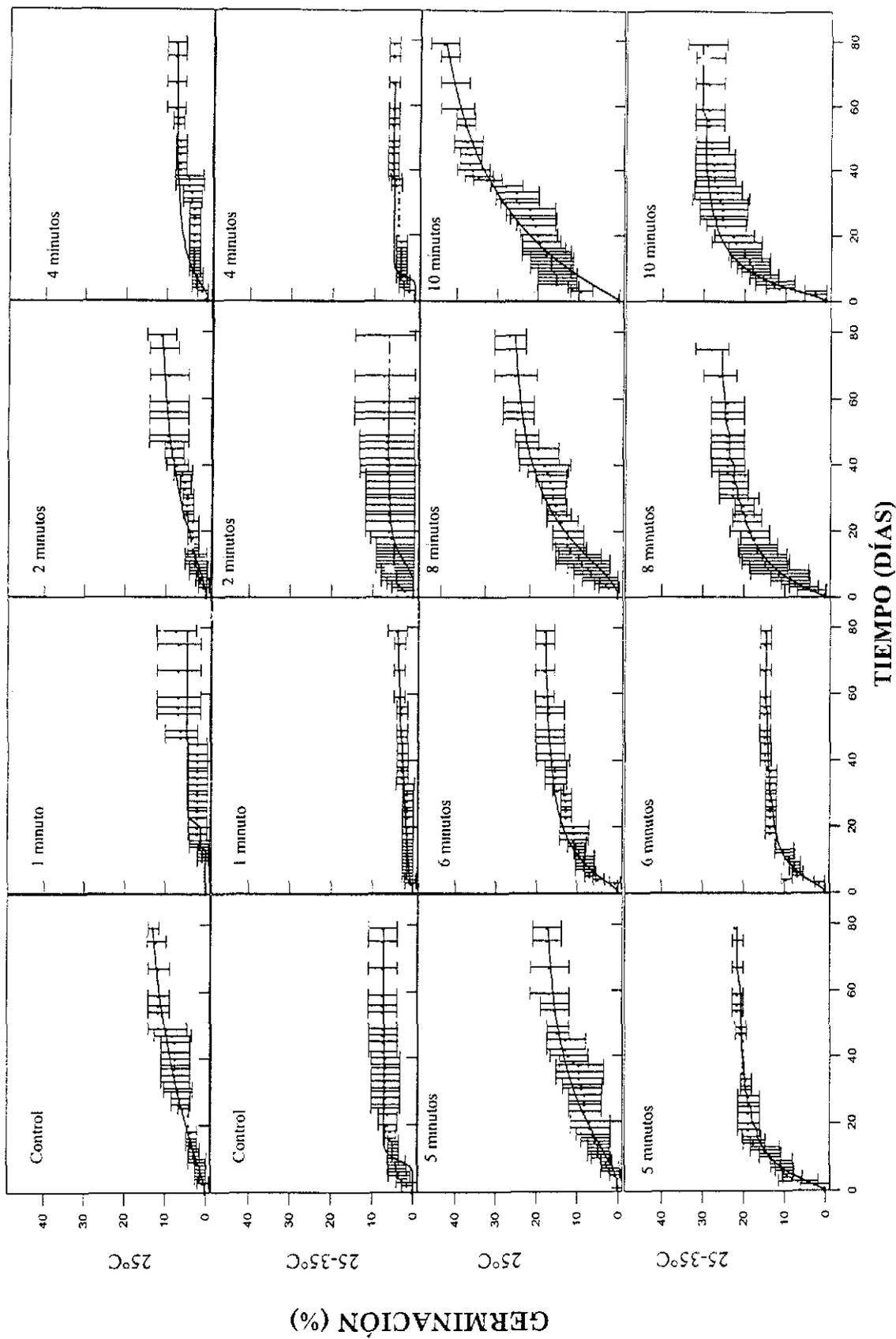


Fig. 7 Porcentaje de germinación acumulado con distintos tiempos de escarificación y su control para semillas recién colectadas de *Senna multiglandulosa* a temperatura constante de 25°C y alternante de 25-35°C (n = 3;  $\bar{x} \pm 2$  e.s.)

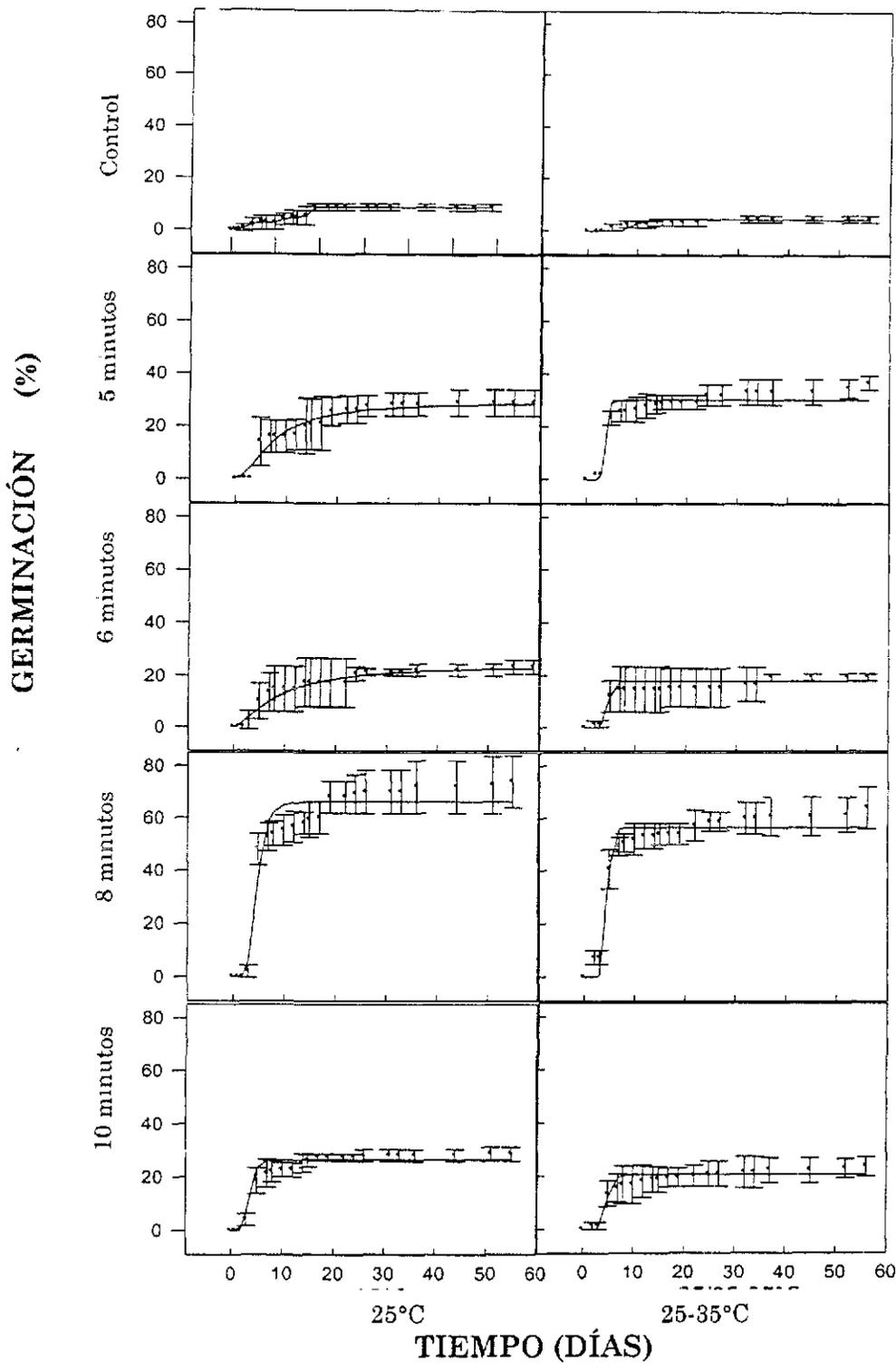


Fig 8 Porcentaje de germinación acumulado a través del tiempo bajo distintos tiempos de escarificación y 500 ppm de  $AG_3$  y su grupo control en semillas de seis meses de edad de *Senna multiglandulosa* en dos temperaturas: constante de 25° C y alternante 25-35° C. (n = 3;  $\bar{x} \pm 2$  e s.)

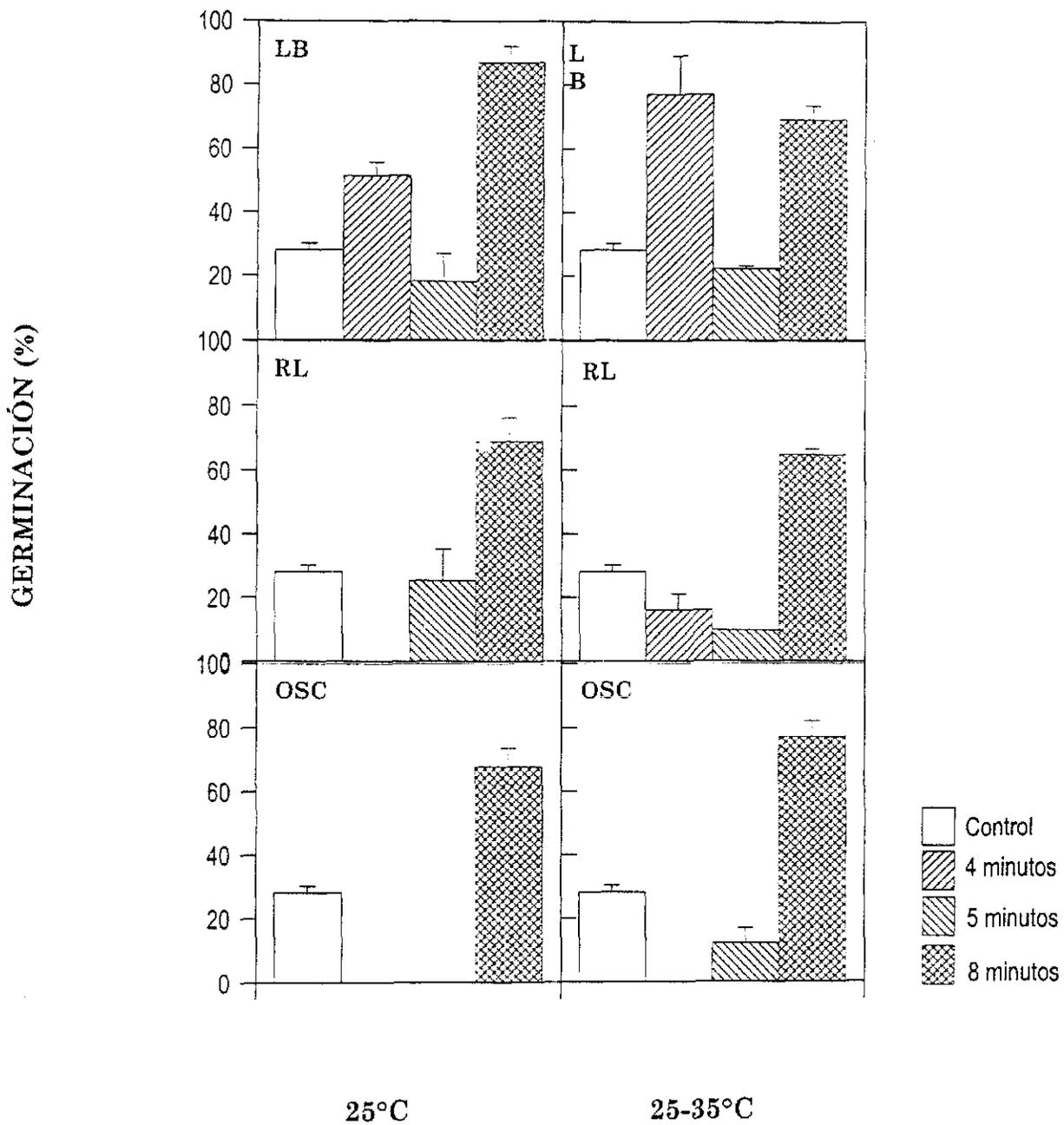


Fig. 9 Porcentaje de germinación final bajo diferentes condiciones de luz: blanca (LB), Rojo lejano (RL) y oscuridad (OSC) con diferentes tiempos de escarificación y su control para semillas de once meses de edad de *Senna multiglandulosa* a temperatura constante de 25° C y alternante de 25-35° C (n = 3;  $\bar{x} \pm 2$  e.s.)

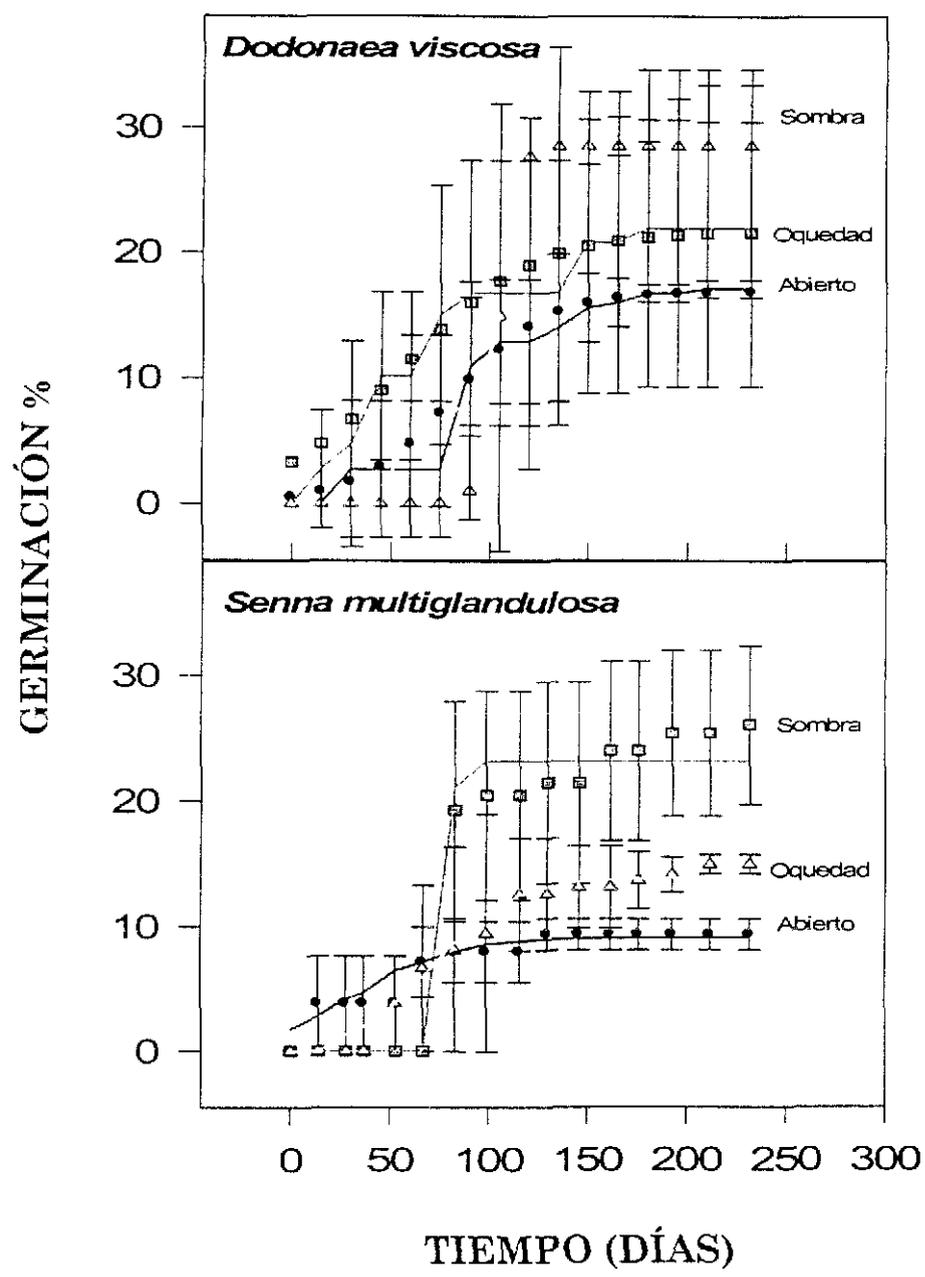
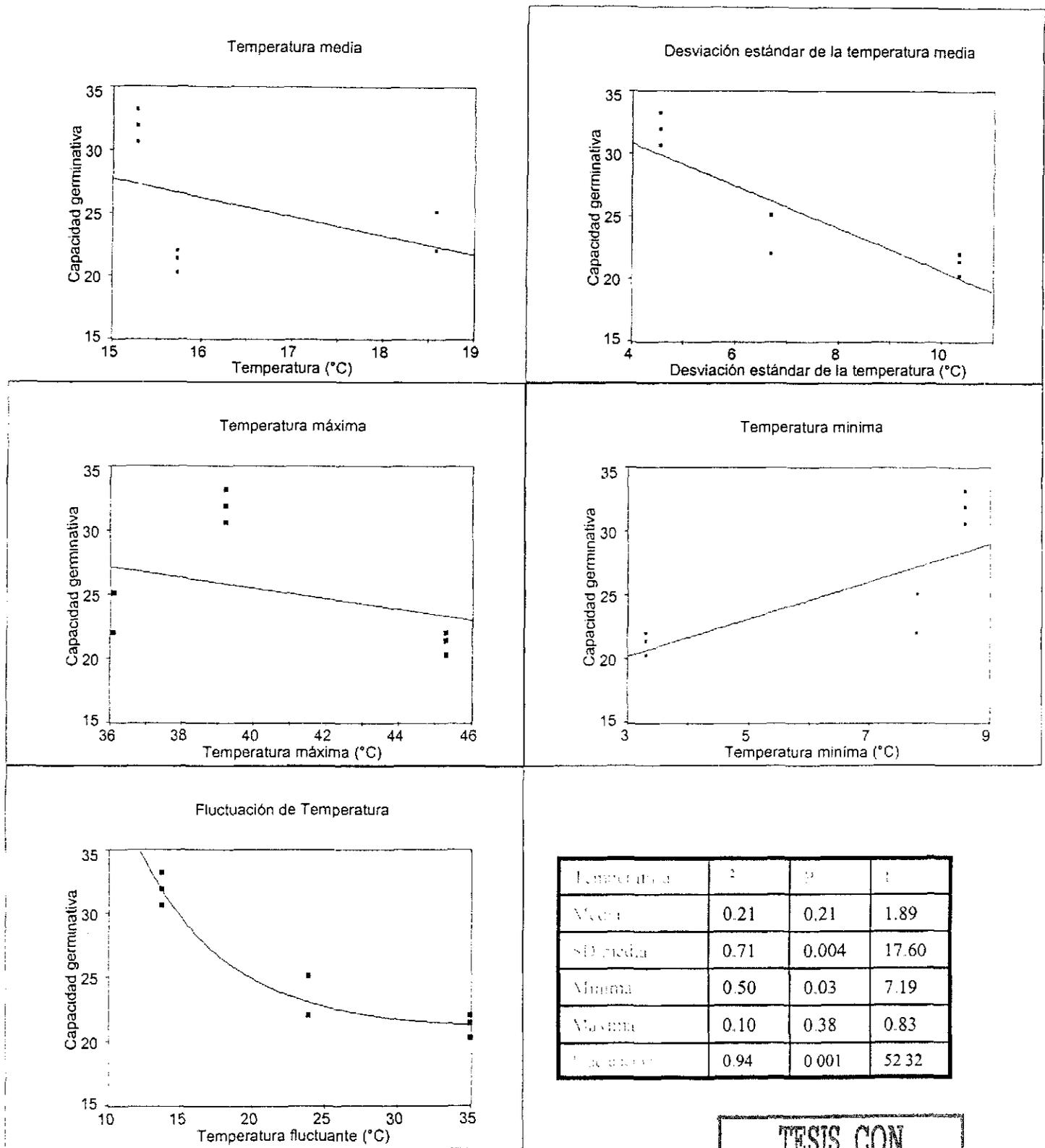
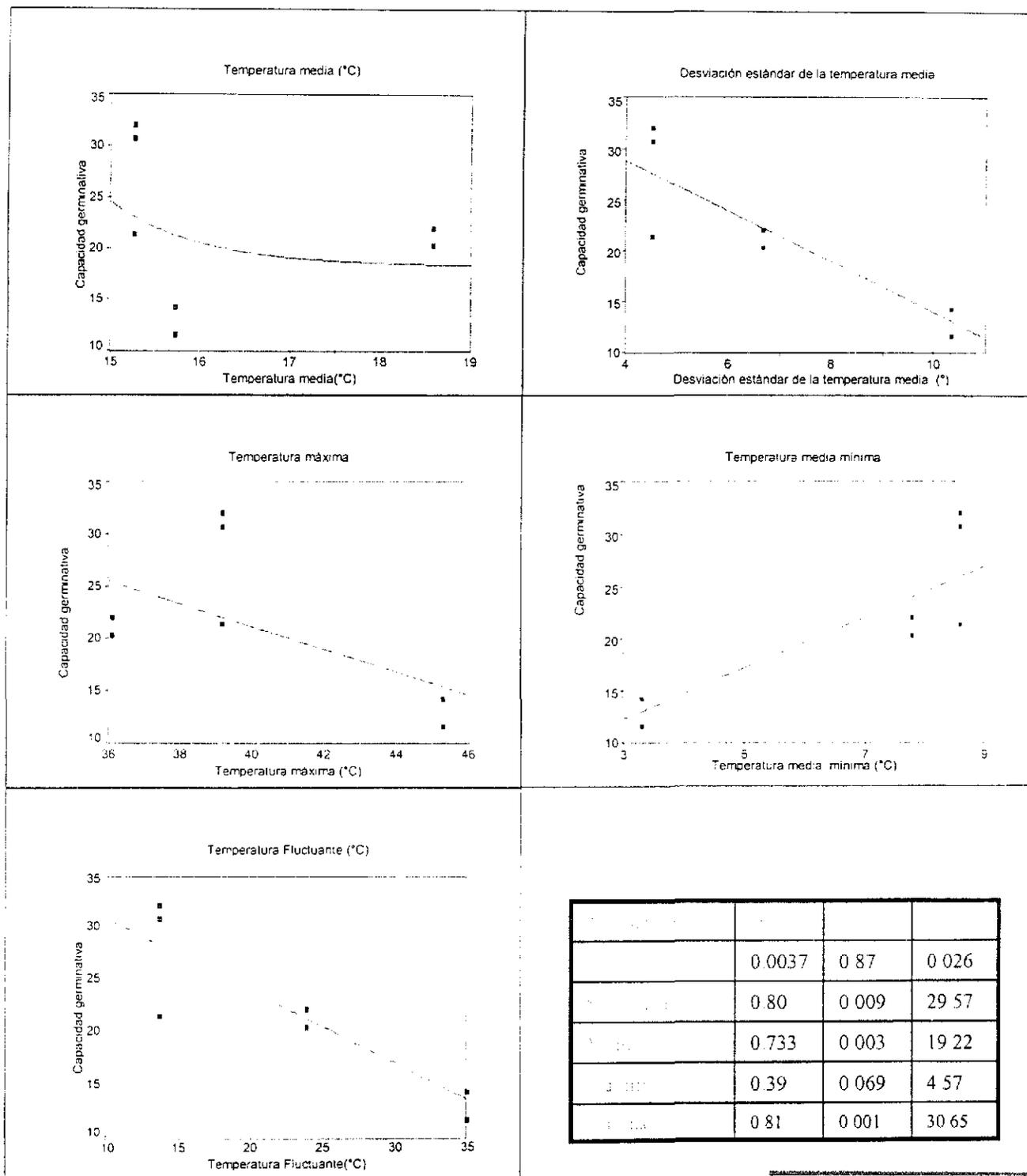


Fig. 10. Porcentaje de germinación acumulada de semillas sembradas en tres micrositios (abierto, oquedad y sombra del Pedregal de San Ángel). Las semillas permanecieron en el campo durante 232 días.



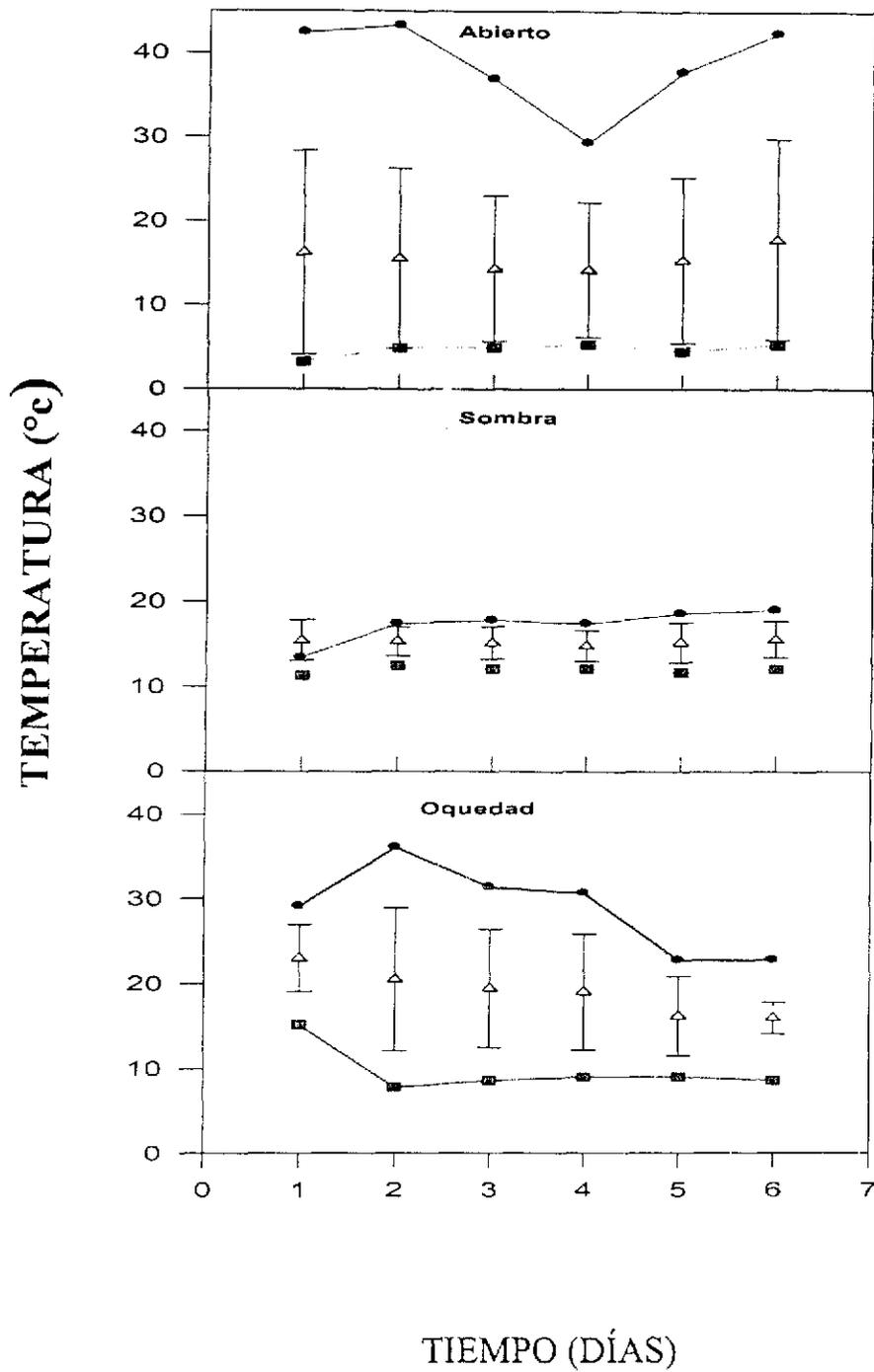
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Fig. 11, Tabla 1** Relación entre la germinación y los diferentes parámetros de la temperatura en los sitios de germinación: media, desviación estándar, máxima, mínima y fluctuación diaria a partir de una regresión simple ( $P < 0.05$ ) para semillas de *Dodonaea viscosa*



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 12, Tabla 2 Relación entre la germinación y los diferentes parámetros de la temperatura en los sitios de germinación: media, desviación estándar, máxima y fluctuación diaria a partir de una regresión simple ( $P < 0.05$ ) para *Senna multiglandulosa*



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 13 Temperatura máxima (O), mínima (□) y media (△) registrada en tres micrositos dentro de una estación seca del 4 y al 9 de marzo del 2000 en el Pedregal de San Ángel ( $n=9 \bar{x} \pm 2$  e s)

62-N

## XIV. APÉNDICES

## RESUMEN DE ANOVA's PARA CADA SERIE EXPERIMENTAL

		d. f.	F	P
Capacidad	Temperatura	1	3.10	0.093
	Escarificación	4	25.66	0.001
	Interacción	4	6.71	0.001
Velocidad	Temperatura	1	0.146	0.70
	Escarificación	4	1.58	0.21
	Interacción	4	2.75	0.051
Latencia	Temperatura	1	8.35	1.73
	Escarificación	4	8.35	4.70
	Interacción	4	8.35	2.85

Capacidad y velocidad de la germinación; rompimiento de latencia con uno, dos, cuatro y seis minutos de escarificación y su control para *Dodonaea viscosa* a temperatura constante de 25°C y alternante de 25-35°C

		d.f.	F	P
Capacidad	Escarificación	2	4.95	0.05
	AG <sub>3</sub>	3	94.59	0.001
	Interacción	6	0.91	0.50
Velocidad	Escarificación	2	0.04	0.95
	AG <sub>3</sub>	3	0.32	0.80
	Interacción	6	1.69	0.164
Latencia	Escarificación	2	1.83	0.18
	AG <sub>3</sub>	3	2.5	0.09
	Interacción	6	1.63	0.18

Capacidad y velocidad de la germinación; rompimiento de latencia con uno, dos y cuatro minutos de escarificación en tres concentraciones de ácido giberélico y su control para *Dodonaea viscosa* a temperatura constante de 25°C

		d.f.	F	P
Capacidad	Escarificación	2	196.76	0.001
	Condición	1	535.3	0.001
	Interacción	2	207.76	0.001
Velocidad	Escarificación	2	31.56	0.001
	Condición	1	52.57	0.001
	Interacción	2	52.94	0.001
Latencia	Escarificación	2	1.40	0.28
	Condición	1	18.45	0.001
	Interacción	2	2.16	0.15

Capacidad y velocidad de la germinación; rompimiento de latencia en semillas con condición de lavado o sin lavado del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a cero, cuatro y seis minutos de escarificación para *Dodonaea viscosa* temperatura constante de 25°C

		d.f.	F	P
Capacidad	Temperatura	1	1.29	0.26
	Escarificación	2	355.06	0.001
	Luz	2	6.92	0.002
	Interacción Tem/Esc	2	4.10	0.02
	Interacción Tem/luz	2	3.32	0.47
	Interacción Esc /Luz	4	7.51	0.0001
	Interacción Tem/Esc /Luz	4	3.80	0.01

Capacidad germinativa de *Dodonaea viscosa* bajo diferentes condiciones de luz: blanca (LB), rojo lejano (RL) y oscuridad (OSC) con cuatro y seis minutos de escarificación y su control a temperatura constante de 25°C y alternante de 25-35°C

		d.f.	F	P
Capacidad	Tiempo	2	4.62	0.060

Diferencias entre la capacidad germinativa a través del tiempo en semillas de edades diferentes: dos, seis y veinte meses de edad en *Dodonaea viscosa*

		d. f.	F	P
Capacidad	Temperatura	1	14.91	0.0005
	Escarificación	7	37.77	0.001
	Interacción	7	3.44	0.007
Velocidad	Temperatura	1	3.73	0.062
	Escarificación	7	0.91	0.50
	Interacción	7	0.61	0.73
Latencia	Temperatura	1	7.60	0.009
	Escarificación	7	0.95	0.47
	Interacción	7	1.75	0.13

Capacidad y velocidad germinativa; rompimiento de latencia a través del tiempo con uno, dos, cuatro, cinco, seis, ocho y diez minutos de escarificación y su control para *Senna multiglandulosa* a temperatura constante de 25°C y alternante de 25-35°C

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

		d. f.	F	P
Capacidad	Temperatura	1	17.39	0 0004
	Escarificación	4	184.62	0.001
	Interacción	4	3.09	0.039
Velocidad	Temperatura	1	0.21	0.64
	Escarificación	4	0.62	0.65
	Interacción	4	1.03	0.41
Latencia	Temperatura	1	0.146	0.70
	Escarificación	4	0.820	0.52
	Interacción	4	1.09	0.38

Capacidad y velocidad de la germinación; rompimiento de latencia a través del tiempo bajo cinco, seis, ocho y diez minutos de escarificación y su grupo control de *Senna multiglandulosa* en dos temperaturas: constante de 25°C y alternante 25-35°C. Todas con 500 ppm de ácido giberélico

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

		d.f.	F	P
Capacidad	Escarificación	1	706.71	0.001
	Condición	1	48.59	0.001
	Interacción	1	164.48	0.001
Velocidad	Escarificación	1	0.342	0.574
	Condición	1	1.76	0.22
	Interacción	1	1.81	0.21
Latencia	Escarificación	1	2.61	0.144
	Condición	1	0.19	0.669
	Interacción	1	4.38	0.069

Capacidad y velocidad de la germinación; rompimiento de latencia en semillas con condición de lavado o sin lavado del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a cero, cuatro y seis minutos de escarificación para *Senna multiglandulosa* a temperatura constante de 25°C

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

		d.f.	F	P
Capacidad	Temperatura	1	0.282	0.59
	Escarificación	3	619.30	0.001
	Luz	2	146.86	0.001
	Interacción Tem/Esc	3	28.83	0.001
	Interacción Tem/luz	2	3.55	0.036
	Interacción Esc /Luz	6	91.53	0.001
	Interacción Tem/Esc /Luz	6	14.58	0.001

Capacidad de la germinación final bajo diferentes condiciones de luz: blanca (LB), Rojo lejano (RL) y oscuridad (OSC) con cuatro, cinco seis y ocho minutos de escarificación y su control para *Senna multiglandulosa* a temperatura constante de 25°C y alternate de 25-35°C

	d. f.	F	P
<i>Dodonaea viscosa</i>	2	11.41	0.009
<i>Senna multiglandulosa</i>	2	19.99	0.002

Capacidad germinativa a través del tiempo en semillas sembradas en campo en tres micro sitios: abierto, oquedad y sombra. Las semillas permanecieron en campo 232 días, del 20 de marzo al 10 de noviembre de 1999 para *Dodonaea viscosa* y para *Senna multiglandulosa*