



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**EFEECTO DEL ACONDICIONAMIENTO EN LAS  
SEMILLAS DE DOS ESPECIES DEL VALLE DE  
MÉXICO EN SU GERMINACIÓN Y  
ESTABLECIMIENTO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGO**

**P R E S E N T A:**

**MIGUEL ANGEL MENDOZA ARAUJO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M. en C. MA. ESTHER SANCHEZ CORONADO**



**LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MÉXICO 2018.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Este estudio fue posible gracias al apoyo del proyecto CONACyT: 221015,  
PAPIIT: IN205715 y Conservación de áreas verdes en la UNAM: 438.

## **Agradecimientos**

A mi *alma mater* la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por abrirme sus puertas para continuar mi formación académica.

A mi directora de Tesis la M. en C. María Esther Sánchez Coronado, por el apoyo invaluable tanto académicamente como personalmente para la realización de este proyecto.

A los miembros de mi comité, por la asesoría para llevar a cabo el proyecto: Dr. Manuel Mandujano Piña, M. en C. Antonia Trujillo Hernández, Dr. Francisco López Martínez y Dr. Cesar Alejandro Ordoñez Salanueva.

A la Dra. Alma Orozco Segovia por su gran calidad humana y permitir mi integración al equipo de trabajo de Laboratorio de Ecología Fisiológica del Instituto de Ecología.

A Luis, Humberto, Jorge Arturo, Ivonne, Norberto, Rodrigo, Jorge Blanco y Ángel por el apoyo y los momentos compartidos en el laboratorio.

## **Dedicatoria**

A mi padre, Pablo Mendoza Sánchez por darme su apoyo y confianza incondicional durante todo mi desarrollo académico y personal. Gracias Pa, por ser un ejemplo de integridad, perseverancia, asertividad y bondad. Siéntete orgulloso porque este logro también te pertenece.

A mi madre, Claudia Araujo Juárez porque siempre y sin condiciones has estado dispuesta con el corazón para brindarnos apoyo a mis hermanos y a mí. Gracias por el amor, por tus cuidados por escuchar y darme consejo cuando lo necesito. Gracias por enseñarme a luchar en lo que creo, a disfrutar en la alegría y aprender de la adversidad.

A mis hermanos, por la complicidad y cariño, gracias por apoyarme y acompañarme toda la vida. Siempre estaré ahí para ustedes.

A mis amigos, la familia que escogí, gracias por todas las experiencias compartidas, el cariño, los consejos y el apoyo. Gracias Daniel B. Mario F. Arturo M. y Andy P.

A toda mi familia materna y paterna, que nunca me han negado su apoyo, de quienes he obtenido muchos valores e identidad. Gracias por recibirme siempre con mucho cariño.

A mis compañeros de generación, con quienes compartí toda clase de experiencias que llevaré siempre en la memoria de esta importante etapa de mi vida.

Con especial cariño a mi compañera de aventuras, que me apoyó y acompañó desde el comienzo de esta meta. Quien ha sido mi motor en muchas ocasiones y de quien estoy agradecido con la vida de haber coincidido. Gracias Brenda, por todo lo compartido. Te amo.

*"La genialidad tiene su secreto en mantener siempre el espíritu de un niño hasta la vejez. Lo cual quiere decir nunca perder el entusiasmo."*

*Un mundo Feliz, Aldous Huxley*

# Índice de contenido

<b>1. Resumen</b> .....	6
<b>2. Introducción</b> .....	8
<b>3. Antecedentes</b> .....	11
<b>4. Objetivos</b> .....	15
<b>5. Hipótesis</b> .....	16
<b>6. Material y métodos</b> .....	17
6.1 Zona de estudio.....	17
6.2. Descripción de las especies.....	19
6.3. Recolección y almacenamiento de semillas.....	23
6.4. Procedimientos generales .....	23
6.5. Efecto de la temperatura .....	24
6.6. Tratamientos de acondicionamiento.....	24
6.7. Efecto del acondicionamiento en el vigor de las plantas recién emergidas.....	25
6.8. Efecto del acondicionamiento en el crecimiento y supervivencia de las plántulas en dos sustratos diferentes. ....	25
6.9. Análisis estadístico .....	26
<b>7. Resultados</b> .....	27
7.1. Efecto de la temperatura en la germinación .....	27
7.2. Efecto del acondicionamiento en la germinación.....	31
7.3. Efecto del acondicionamiento en el vigor de las plántulas recién emergidas.....	35
<b>8. Discusión</b> .....	43
<b>9. Conclusiones</b> .....	48
<b>10. Bibliografía</b> .....	49

## 1. Resumen

Desarrollos urbanos como la Ciudad de México ejercen una fuerte presión sobre las áreas naturales que las rodean o que se encuentran inmersas en estas urbes, lo que implica la carencia de servicios ambientales como la captación de agua al subsuelo, el control térmico y el amortiguamiento de contaminantes. El deterioro ambiental y ecológico favorece el establecimiento de especies invasoras y con ello la pérdida de la biodiversidad. El estudio del mejoramiento de la germinación y establecimiento de especies nativas puede contribuir al desarrollo de técnicas que asistan a la recuperación de estos ecosistemas. En el presente estudio se emplearon semillas de *Asclepias linaria* y *Salvia mexicana* recolectadas en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), de las cuales se evaluó su respuesta germinativa en un gradiente de siete diferentes temperaturas constantes y una alternante (5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C y 25-30°C) siendo la mejor respuesta germinativa entre 15 y 30 °C, en los tres parámetros registrados (porcentaje final de germinación, tasa máxima y tiempo de inicio de germinación). También se analizó el efecto de tres tratamientos pregerminativos: acondicionamiento hídrico de un ciclo (AH1); hídrico de dos ciclos (AH2) y acondicionamiento mátrico (AM) sobre la germinación y establecimiento para cada especie. Donde se observó en general una mejor respuesta germinativa de las semillas con pretratamientos. Se evaluó el efecto del acondicionamiento en el establecimiento tomando en cuenta el crecimiento inicial (15 días después la germinación) y el crecimiento final (4

meses después de la germinación en dos condiciones diferentes de sustrato para cada especie) En ambas especies se observó un mejor desempeño en el establecimiento de las plántulas provenientes de semillas sometidas a los tratamientos pregerminativos. Por lo cual es posible sugerir este tipo de acondicionamientos en la aplicación de futuros protocolos con fines de restauración ecológica que involucren la propagación de especies nativas que puedan resistir ambientes perturbados en bordes de vegetación sucesionales.

## 2. Introducción

Las áreas naturales que rodean a las grandes ciudades o que están inmersas en ellas han sido objeto, en las últimas décadas, de deterioro o desaparición, debido a la expansión de las zonas urbanas, lo que tiene como consecuencia cambios geográficos, climáticos y ambientales que favorecen su deterioro ambiental y ecológico (Schteingart, 1989) alterando y/o amenazando su biodiversidad (Kowarik, 2011). Muchas especies nativas reducen su supervivencia y reproducción en las zonas cercanas a los desarrollos urbanos (Hansen *et al.*, 2005) como resultado de la pérdida y fragmentación del hábitat natural, la introducción de nuevas especies e indirectamente de los cambios del clima urbano (Pavao-Zuckerman, 2008; Kowarik, 2011). Los cambios en la calidad del suelo también pueden impactar el establecimiento de las plántulas de las especies nativas y favorecer el establecimiento de especies invasoras (Pavao-Zuckerman, 2008). Por lo anterior es necesario incrementar el conocimiento sobre la propagación de especies nativas para su utilización en estrategias de restauración de las áreas naturales que aún permanecen en las zonas urbanizadas. Si bien la propagación de las especies vegetales puede realizarse a partir de partes vegetativas, su propagación por semilla tiene la ventaja de preservar la variabilidad genética (Vázquez-Yanes y Batis-Muñoz, 1996). Sin embargo, es necesario considerar que la germinación es una respuesta funcional regulada por el ambiente. La temperatura es una de las señales ambientales que controla la germinación, maximizando las

oportunidades de supervivencia y establecimiento de las distintas especies en los distintos climas y hábitats (Bewley *et al.*, 2012). Pero en las zonas urbanizadas, la disminución de la vegetación y la presencia de "áreas oscuras" debidas al aumento en las construcciones incrementan la temperatura del aire (Akbari *et al.*, 2001) lo que podría afectar el establecimiento de las plantas nativas desde su germinación.

Por otro lado, los tratamientos de acondicionamiento de las semillas han sido propuestos como herramienta para incrementar el éxito en la generación de plantas, y en su supervivencia y establecimiento con fines de restauración de ambientes perturbados (Benítez-Rodríguez, 2005, Castro, 2007, Mendoza-Hernández *et al.*, 2010, Sánchez-Coronado *et al.*, 2007). Los tratamientos de acondicionamiento de las semillas, mediante su hidratación controlada y su posterior deshidratación de manera previa a su germinación, inducen avances metabólicos que se traducen en una respuesta germinativa más uniforme, rápida y en el mayor vigor en las plántulas generadas (González-Zertuche, 2005). En el Valle de México, las actividades humanas han ocasionado pérdida de la cubierta vegetal con la consecuente erosión del suelo y la disminución de la captación del agua de lluvia (Rzedowski y Rzedowski, 2005, Soberón *et al.*, 1991; Bonfil *et al.*, 1997; Cano-Santana *et al.*, 2006, Martínez-Villegas *et al.*, 2012). Aunque actualmente se están realizando estudios que abordan el efecto de la urbanización en las áreas naturales vecinas a las ciudades (p. ej. Schteingart, 1989, Hansen *et al.*, 2005; Pavao-Zuckerman, 2008; Kowarik, 2011) existen pocos estudios que aporten información que permita enfocar acciones que

disminuyan la pérdida de especies vegetales nativas en el Valle de México y su sustitución por especies exóticas, por lo que en este trabajo se estudia el efecto de la temperatura y de dos tratamientos de acondicionamiento de las semillas, en la germinación y el crecimiento temprano de las plántulas de dos especies nativas, así como el efecto de dos tipos de sustrato con distinto tamaño de partículas, en el vigor y en el establecimiento de sus plántulas.

### 3. Antecedentes

La semilla es la estructura de propagación de las plantas espermatofitas, está constituida por un embrión y un tejido de reserva, ambos rodeados por una cubierta seminal y por estructuras que permiten su dispersión (Arriaga *et al.*, 2013; Matilla *et al.*, 2008). La germinación es un proceso que involucra todos los eventos que se inician con la entrada de agua al interior de las semillas y el reinicio de la actividad metabólica para culminar con la protrusión de la radícula, El proceso de absorción de agua por parte de la semilla es trifásico; en la primera fase se lleva a cabo una rápida absorción de agua y consecuentes cambios en la permeabilidad de las membranas de la semilla, lo que provoca la pérdida de solutos y metabolitos de bajo peso molecular (entre estos algunos inhibidores) al medio circundante; durante la segunda fase la absorción de agua disminuye y se reanudan importantes procesos metabólicos en la semilla; en la tercera fase incrementa la absorción de agua e inicia la acción hormonal que conduce a la protrusión de la radícula (Matilla *et al.*, 2008).

El consecuente éxito de la germinación y el establecimiento de la planta son determinados tanto por características bioquímicas, morfológicas y fisiológicas de las semillas, así como de la información percibida en función de las señales ambientales y la disposición de recursos (Baskin y Baskin, 1998; Bewley *et al.*, 2012). Se ha reportado que las semillas que permanecen en el suelo experimentan ciclos de hidratación-deshidratación de forma natural (*priming* o acondicionamiento natural) debido a periodos cortos de precipitación,

lo que promueve la expresión fenotípica de adaptaciones a condición de estrés ambiental, (Orozco-Segovia *et al.*, 2014; González-Zertuche, 2005). Estos efectos se observan en el incremento de velocidad y sincronización en la germinación, el aumento de la velocidad de crecimiento, el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas y en algunos casos el rompimiento de la latencia fisiológica (Butola y Badola, 2004, McDonald, 1998; Sánchez *et al.*, 2001;).

El acondicionamiento de semillas en laboratorio consiste en dar tratamientos de hidratación de manera regulada y permitir que la semilla se embeba, cubriendo la fase I de la germinación y se mantenga hidratada en la fase II o *lag* para que puedan llevarse a cabo los avances bioquímicos y metabólicos, para posteriormente limitar la disponibilidad de agua, lo que reactiva eventos de tolerancia a la desecación (Bewley *et al.*, 2012; Pammenter y Berjak, 1999).

Las técnicas de acondicionamiento se clasifican de acuerdo a las sustancias y materiales empleados para modular la entrada de agua (González-Zertuche *et al.*, 2000; Martínez-Pérez *et al.*, 2006). El acondicionamiento osmótico u *osmopriming* consiste en regular la entrada de agua a través de solutos de alto peso molecular que disminuyen el potencial hídrico del medio que rodea a la semilla. En el acondicionamiento hídrico la absorción depende de la afinidad del agua con los tejidos y reservas de la semilla ya que consiste en embeber parcialmente las semillas en agua estableciendo una relación entre el volumen de agua y volumen de la semilla. El acondicionamiento mátrico implica el uso de

materiales sólidos con nula solubilidad, alta retención de agua y alta proporción superficie-volumen, que emulan el proceso natural de imbibición de las semillas mediado por las partículas del suelo (McDonald, 1998). En la mayor parte de los casos no hay efectos negativos del acondicionamiento hídrico y mátrico sobre las especies estudiadas, y la pequeña reducción en el porcentaje de germinación (10-20%) que induce el acondicionamiento osmótico se compensa con las ventajas que representan un menor tiempo para la propagación y una mayor supervivencia. La eficiencia de cada tratamiento depende de las características propias de cada semilla y especie, así como las condiciones en las que se lleve a cabo.

El acondicionamiento de semillas ha sido aplicado principalmente en plantas de interés agrícola (Sánchez *et al.*, 2001; Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011), aunque algunas investigaciones se han enfocado en la aplicación de estos métodos a semillas de plantas nativas utilizadas en la reforestación y restauración de ambientes perturbados, debido a que se trata de técnicas sencillas y de bajo costo (Vázquez-Yanes y Batis-Muñoz, 1996; Hernández-Oria, 2011; Orozco-Segovia *et al.*, 2014). Sin embargo se desconoce cuáles tratamientos resultan más adecuados para un gran número de especies nativas que potencialmente podrían usarse en la restauración en el territorio mexicano, o no existe la información para especies particulares. De ahí la importancia de conocer cómo la propagación a partir de semilla de individuos de ciertas especies, podría tener mayor éxito utilizando algún tratamiento pregerminativo.

Adicionalmente, el crecimiento de las zonas urbanas ha tenido como resultado la transformación del sustrato y la presencia de "residuos" que resultan de los manejos subsecuentes de los terrenos incorporados a estas zonas (Hitchmough *et al.*, 2001). Esta transformación puede ser muy variable propiciando o limitando distintas posibilidades de establecimiento para las especies vegetales (Ash, 1991; Bridges, 2009), ya que algunas características del suelo como su estructura y porosidad determinan su atmósfera y la retención de humedad (Fitzpatrick, 1978; Wild, 1993). Se ha probado la permanencia del efecto favorable del acondicionamiento de las semillas sobre las plántulas resultantes de su germinación, primero en especies cultivadas (Parera y Cantliffe, 1994) como el maíz (Harris, *et al.*, 1999) y el girasol (Hussain, *et al.*, 2006) y más recientemente en especies silvestres (Reyes-Ortega, 2001; González-Zertuche *et al.*, 2002; González-Zertuche, 2005; Castro, 2007; Pedrero-López *et al.*, 2016) por lo que en el presente estudio se probó el efecto de dos tipos de sustrato con textura contrastante y el efecto del acondicionamiento en las semillas en el crecimiento de las plántulas de *A. linaria* y *S. mexicana* en un invernadero.

#### 4. OBJETIVOS

##### Objetivo general

- Evaluar el efecto de la temperatura y de los acondicionamientos hídrico y mátrico en la germinación y establecimiento de dos especies nativas del Valle de México (*Asclepias linara* y *Salvia mexicana*).

##### Objetivos particulares

- Determinar el efecto de un gradiente de temperatura en el comportamiento germinativo de ambas especies.
- Determinar el efecto del número de ciclos de hidratación-deshidratación (HD), así como las temperaturas de incubación que se aplicarán en los tratamientos de acondicionamiento.
- Identificar el efecto del acondicionamiento en las semillas, sobre el crecimiento inicial de las plántulas.
- Medir el efecto del acondicionamiento en las semillas sobre el crecimiento y sobrevivencia de las plántulas en dos condiciones de textura de suelo.

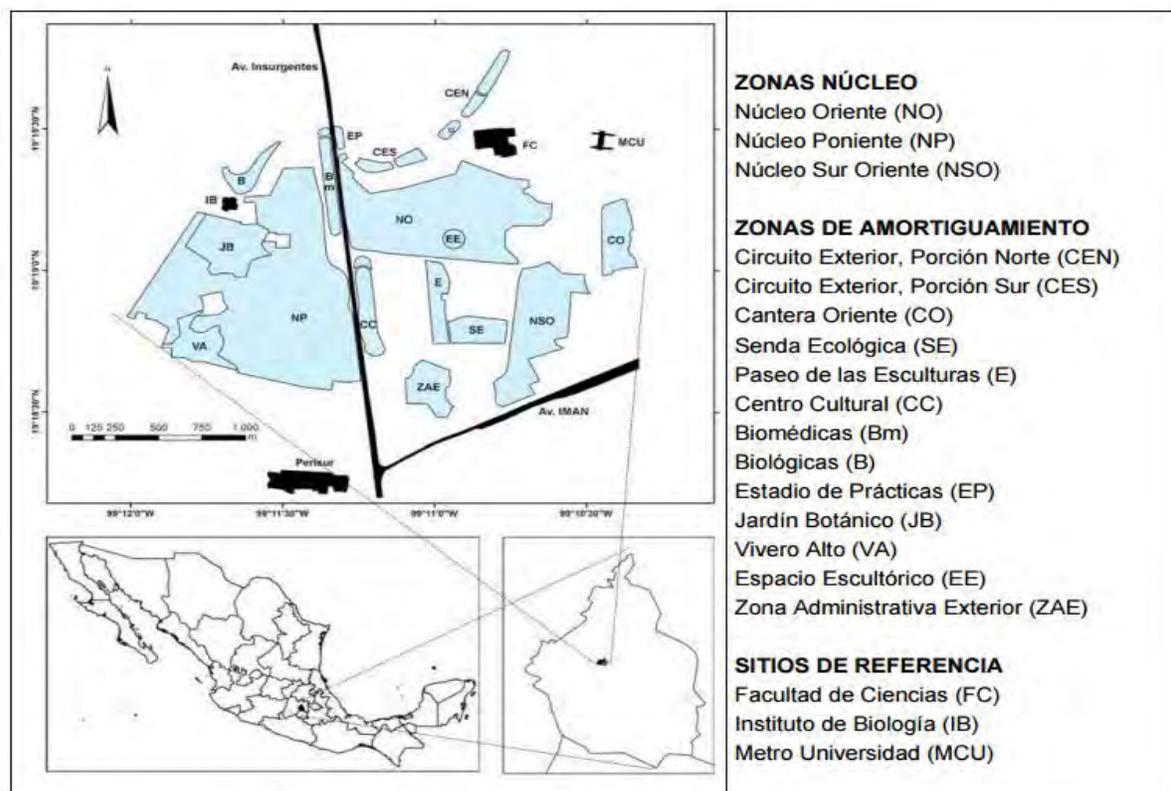
## 5. Hipótesis

1. Dado que *Asclepias linaria* y *Salvia mexicana* son especies que se establecen en el Valle de México, en el cual la variación de temperatura es amplia, su respuesta germinativa debe ser eficiente cuando se somete a un gradiente de temperaturas semejantes a las reportadas en su hábitat, bajo condiciones de laboratorio.
2. La hidratación y deshidratación controlada produce acondicionamiento en la respuesta fisiológica de las semillas, por lo tanto las semilla expuestas a tratamientos de acondicionamiento hídrico y mátrico tendrán una mejor respuesta germinativa que las semillas sin estos tratamientos pregerminativos.
3. Las plántulas resultantes de las semillas acondicionadas serán más vigorosas, y tendrán una sobrevivencia y crecimiento mayor, en las etapas iniciales del establecimiento, que las que se generen a partir de las semillas sin tratamientos pregerminativos.

## 6. Material y métodos

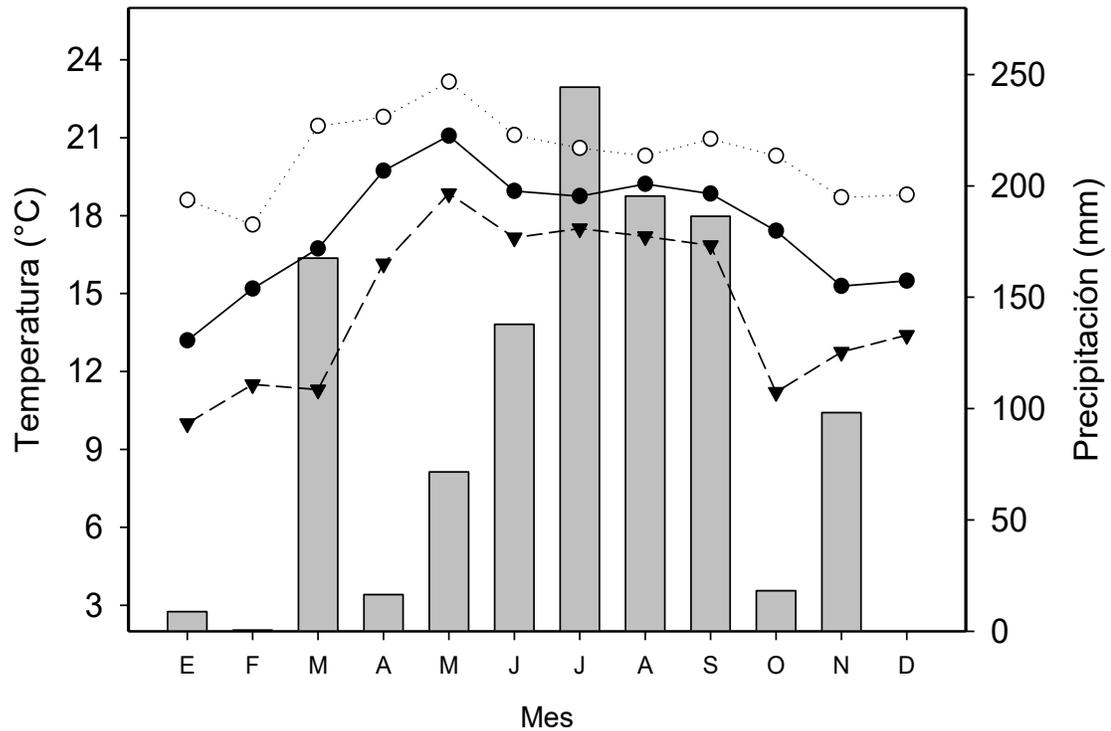
### 6.1 Zona de estudio

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) está situada al suroeste de la Ciudad de México, dentro del campus de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en Ciudad Universitaria, entre las coordenadas 19°18'21"-19°20'11" N y 99°10'15"-99°12'4" O, abarca una superficie de 237.3 hectáreas con un intervalo altitudinal de 2,292 a 2,365 msnm (Fig. 1).



**Figura 1.** Mapa de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (tomado de Cárdenas, 2010)

La REPSA presenta un clima templado subhúmedo, con régimen de lluvias en verano [Cb(w<sub>1</sub>)W] (Fig. 2), una temperatura promedio anual de 15.6°C con temperaturas extremas en los meses abril (29.5°C) y enero (-1.1°C) y una precipitación media anual de 833 mm (Castillo-Argüero *et al.*, 2007).



**Figura 2.** Climograma para la REPSA correspondiente al periodo de enero 2016-diciembre 2016. Barras indican precipitación; puntos indican temperatura máxima (○), mínima (▼) y promedio (●). Datos proporcionados por el Observatorio de Meteorología del Colegio de Geografía de la UNAM.

El suelo es joven y poco desarrollado ( $4.5 \pm 0.27$  cm) acumulado en grietas, oquedades y depresiones, con una limitada capacidad de retención de agua, lo que genera condiciones de sequía edáfica (Rzedowski, 1954; Santibáñez-Andrade, *et al.*, 2009; Castellanos-Vargas, *et al.*, 2017) El terreno es muy accidentado y está constituido principalmente por fragmentos de roca volcánica originados a partir de la solidificación de flujos de lava, producto de la erupción del volcán Xitle hace aproximadamente 1670 años (Lot y Cano-Santana, 2009). El tipo de vegetación que caracteriza a la REPSA es el matorral xerófilo, al que Rzedowski (1954) llamó *Senecionetum praecoxis* o matorral de “palo loco” debido a la abundancia de *Senecio precox*, especie vegetal característica y extendida en la zona.

La heterogeneidad topográfica de la REPSA ha dado lugar a una gran variedad de microambientes donde se han establecido 337 especies de plantas vasculares pertenecientes a 74 familias y 193 géneros (Castillo-Argüero, *et al.*, 2007)

## **6.2. Descripción de las especies**

*Asclepias linaria* Cav. (Fig. 3) Planta subfrútice (pequeña y ligeramente leñosa o leñosa sólo en la base) a arbustiva, ramificada, con o sin pelos, de 1 o raramente 2 m de alto; provista generalmente de látex blanco; los frutos son secos y se abren por la sutura ventral (folículos), son gruesos y atenuados en los extremos, de 2.5 a 5.5 cm de largo y 2 cm de ancho, con la superficie lisa; semillas obovadas, con los márgenes vueltos hacia abajo, de 4.6 a 6 mm de largo, de 1.7

a 2.7 mm de ancho, de superficie café pálida, con tubérculos y arrugas de color café oscuro, con un “penacho” de pelos blancos de 2 a 3 cm de largo, llamado coma. Ampliamente distribuida en el Valle de México por lo general entre 2250 y 2500 msnm de altitud, pero ocasionalmente hasta 3000 msnm; la mayoría de las veces en pastizales y matorrales xerófilos. Se conoce desde California y Arizona hasta Oaxaca y Veracruz (Rzedowski y Rzedowski, 2005)



**Figura 3.** Planta de *A. linariar*. Tomada de CONABIO (2009).

*Salvia mexicana* var. *minor* Benth (Fig. 4). Planta herbácea perenne o arbustiva, de 50 cm a 3 m de alto; tallo por lo general con pubescencia aplicada blanco-tomentosa; peciolas de 1 a 10 cm de largo, tomentosos, láminas foliares ovadas, de 6 a 18 cm de largo, de 2.5 a 12 cm de ancho, agudas o a menudo

acuminadas en el ápice, cuneadas y a menudo oblicuas en la base, densamente blanco-tomentosas en la juventud. Presenta brácteas ovadas, de 0.6 a 1.2 cm de largo, de 3 a 5 mm de ancho, acuminadas, pubescentes en el dorso, ciliadas en el margen, deciduas, pedicelos de 0.3 a 1.2 cm de largo, primero erectos, después patentes, tomentosos; cáliz de 9 a 14 mm de largo; de 3 a 8 mm de ancho, pubescente a lo largo de las nervaduras, rara vez glabrescente, sus lóbulos cuspidados; corola azul, de 2.4 a 3.4 cm de largo, de más o menos 5 mm de ancho, pilosa en general, su labio superior de 1.3 a 1.4 cm de largo; anteras de más o menos 4 mm de largo, conectivos de 0.8 a 1.2 cm de largo; estilo de 3.6 a 5 cm de largo, barbado. La semilla es ovada, comprimida, lustrosa, marrón, de 0.79 a 1.44 mm de ancho y 1.54 a 2.18 de largo. Su distribución en el Valle de México abarca localidades como Villa A. Obregón, Contreras, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta, Tlalmanalco, Amecameca. Alt. 2250-3000 m. Preferentemente en lugares perturbados. Estatus migratorio; nativa y endémica (Rzedowski y Rzedowski, 2005)



**Figura 4.** Planta de *S. mexicana*. Tomada de CONABIO (2009)

### **6.3. Recolección y almacenamiento de semillas**

Se marcaron plantas en floración de *Asclepias linaria* y *Salvia mexicana* en la REPSA durante los meses de julio y agosto del 2015 para la posterior recolección de semillas en noviembre del mismo año. Las semillas se recolectaron de al menos 10 individuos directamente de los frutos maduros disponibles. Los frutos se introdujeron en bolsas de papel de estraza y papel glassine, posteriormente se colocaron dentro de un cristizador con éter durante 24 horas para eliminar los insectos presentes; se separaron las semillas de los restos vegetales con ayuda de un tamiz de 0.5 mm de apertura de malla (Gold, *et al.*, 2004).

Se desinfectaron las semillas de ambas especies con una solución de hipoclorito de sodio al 10% durante 5 min; posteriormente se enjuagaron bajo el chorro de agua y se dejaron secar al aire libre; una vez secas, se almacenaron en frascos de vidrio a temperatura ambiente.

### **6.4. Procedimientos generales**

Se evaluó el porcentaje de viabilidad de cada especie mediante las prueba de flotación y Cloruro de Tetrazolio (Rao, 2007). Todos los tratamientos de germinación se sembraron en cajas Petri con agar al 1% (5 réplicas por tratamiento) con 30 semillas cada una. Las cajas Petri se introdujeron en bolsas de plástico resellables para evitar la desecación y se colocaron dentro de cámaras de ambiente controlado (modelo 844 Lab-line Instruments Inc., Melrose Park, Illinois) equipadas con lámparas fluorescentes de luz fría de 20 W (Sylvania,

USA) con fotoperiodos de 12/12 h luz/oscuridad. La germinación (protrusión de la radícula) se registró cada 24 horas 15 días

### **6.5. Efecto de la temperatura**

Se evaluó la germinación de las semillas de ambas especies a 7 diferentes temperaturas constantes y una alternante. Los tratamientos de temperatura fueron: 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C y temperatura alternante 25-30°C

### **6.6. Tratamientos de acondicionamiento**

Se realizaron pruebas de germinación para tres tipos de tratamientos pregerminativos: acondicionamiento hídrico (AH) con un ciclo de hidratación-deshidratación de 24 hrs (AH1); dos ciclos de hidratación-deshidratación de 24 hrs cada ciclo (AH2); acondicionamiento mátrico de 48 h (AM).

Para el acondicionamiento hídrico se colocaron las semillas en cajas Petri con una malla sintética en el fondo; posteriormente se les agregó agua y se dejaron durante 24 h en hidratación a oscuridad; después se retiraron las semillas del agua y se secaron sobre papel absorbente por 24 h en oscuridad (para el acondicionamiento con dos ciclos se repitió el procedimiento).

Para el acondicionamiento mátrico se enterraron las semillas en un cuarto oscuro durante 48 h en 1.5 L de un sustrato constituido por una mezcla de tierra de bosque y arena sílica (proporción 1:1) hidratada a capacidad de campo (Sánchez *et al.*, 2001; Nicasio-Arzeta, *et al.*, 2011). Las semillas se desenterraron

y se dejaron secar a temperatura ambiente en oscuridad sobre papel absorbente durante 48 h.

Una vez secas las semillas de cada pretratamiento y el testigo (semillas sin pretratamiento) se sembraron en cajas Petri con agar al 1% dentro de cámaras de ambiente controlado a temperatura constante (25 °C). El diseño experimental es el siguiente: 4 tratamientos × 5 repeticiones × 30 semillas.

### **6.7. Efecto del acondicionamiento en el vigor de las plantas recién emergidas**

Con un vernier digital (Stainless Hardened, VWR) se midió el vástago y la raíz de 10 plántulas seleccionadas aleatoriamente, resultantes de cada tratamiento de acondicionamiento y el control para cada especie 15 días después de la germinación.

### **6.8. Efecto del acondicionamiento en el crecimiento y supervivencia de las plántulas en dos sustratos diferentes.**

De las plántulas resultantes de los tratamientos de acondicionamiento más el grupo control, se trasplantaron 10 individuos, seleccionados de forma aleatoria, por tratamiento × 3 repeticiones en dos tipos de sustrato; vermiculita-tierra negra 1:1 (arena-suelo) y tezontle-tierra negra 2-1 (tezontle-suelo). Se midieron cuatro variables de crecimiento (altura, cobertura, diámetro basal y número de hojas) con un vernier digital Stainless Hardened VWR, durante 12 semanas.

## 6.9. Análisis estadístico

Se transformó el porcentaje de germinación acumulada de cada replica, de cada tratamiento, al arcoseno para la normalización de los datos. Por medio del ajuste de la germinación acumulada a una función exponencial sigmoide  $Y=a/(1+ b \times (\exp(c^2 + x)))$  con el programa Table Curve 2D, v5 software (AISN Software, Chicago, IL, USA) se obtuvo la tasa (velocidad) máxima de germinación y el tiempo de latencia (*lag time*), es decir el número de días necesarios para que se inicie la germinación.

Para determinar la existencia de diferencias significativas de los parámetros de germinación, entre tratamientos de temperatura y aclimatación, así como las variables de crecimiento, se aplicaron Análisis de Varianza o pruebas de Kruskal-Wallis (dependiendo del cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas) por especie, para cada experimento. La comparación entre medias o medianas se hizo mediante pruebas de Tukey o comparación de rangos respectivamente (Zar, 1974). Los análisis se realizaron con el software Statgraphics v. 5.0 (Statistical Graphics Corporation, Englewood Cliffs, New Jersey, USA).

## 7. Resultados

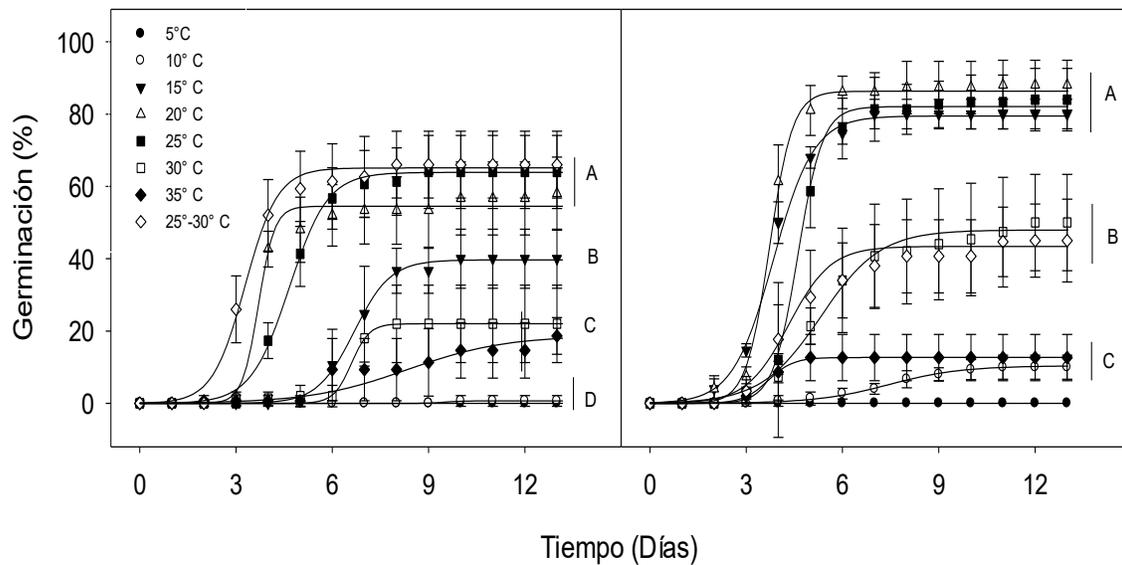
### 7.1. Efecto de la temperatura en la germinación

Las semillas recolectadas de *A. linaria* y *S. mexicana* registraron una viabilidad del 85 y 90% respectivamente. La respuesta germinativa de las semillas de ambas especies a diferentes temperaturas mostró diferencias significativas en el porcentaje final de germinación, en la tasa máxima y en el tiempo de inicio de germinación. En el caso de *A. linaria* el mayor porcentaje de germinación final se registró a temperaturas templadas (20°C, 25°C, y 25-30°C) mientras que a temperaturas constantes menores a 20°C y mayores a 30°C se observó una disminución en la germinación ( $F_{(7,39)}=92.51$ ,  $P < 0.0001$ ); semillas de *S. mexicana* registraron los mayores porcentajes de germinación en temperaturas de 15, 20 y 25°C ( $F_{(7,39)}=108.4$ ,  $P < 0.0001$ ) con una germinación máxima del 88% a 20°C, sobre el 66% alcanzado a 25-30°C por *A. linaria*, mientras que a una temperatura de 5°C no se registró germinación para ninguna de las especies (Fig. 5).

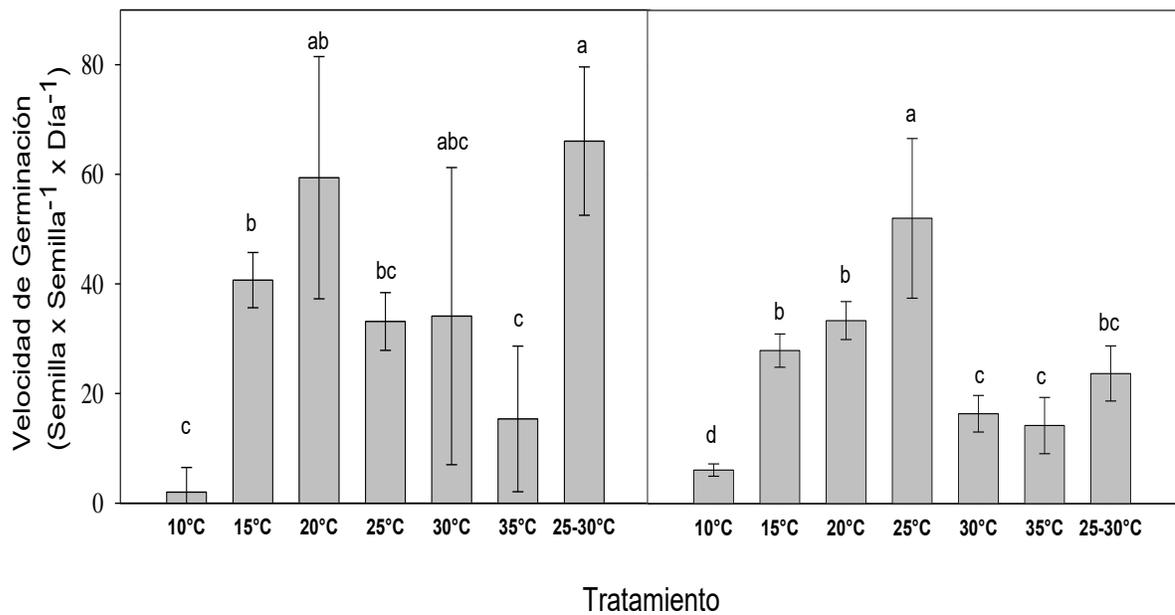
En la tasa máxima de germinación, las semillas a 15, 20, 25 y 25-30°C de *A. linaria* mostraron los mejores resultados ( $H=31.9335$ ,  $P=0.00004$ ), mientras que *S. mexicana* registró una mayor tasa a 20 y 25°C ( $H=29.459$ ,  $P=0.00004$ ); en ambas especies a 10 y 35°C se obtuvieron las menores tasas (Fig. 6).

En general, los tiempos de inicio de germinación de las semillas de *S. mexicana* fueron menores, ( $H=27.9629$ ,  $P=0.0009$ ) pero con un comportamiento similar al de *A. linaria*, ( $H=24.6441$ ,  $P=0.0039$ ), donde los inicios más tardíos se

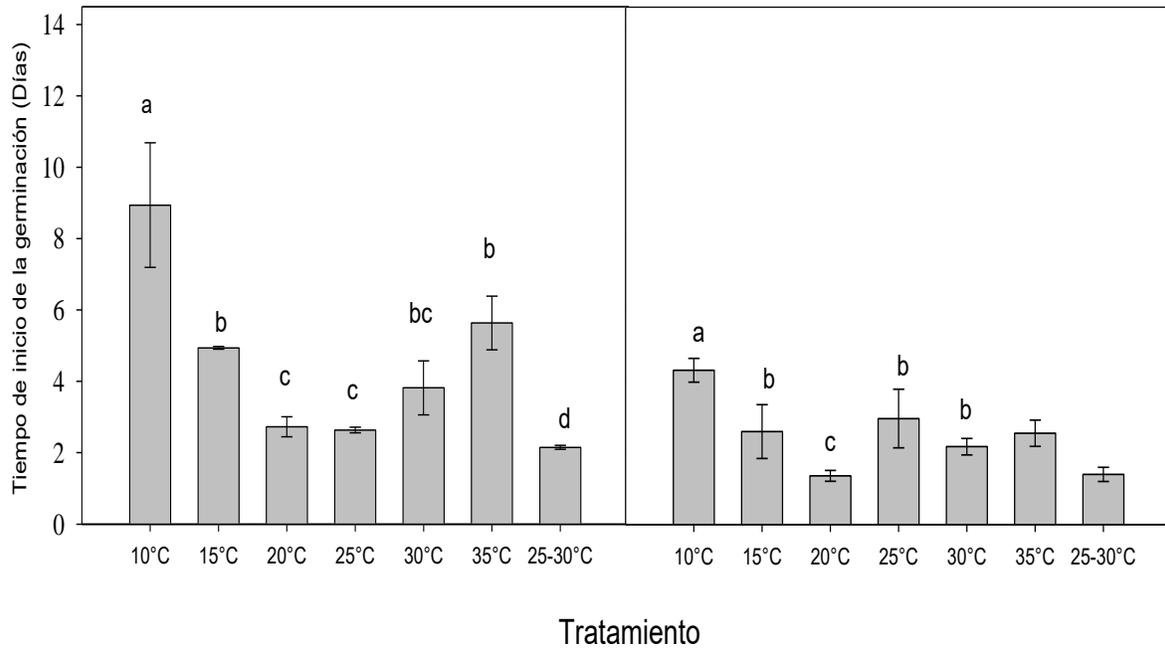
registraron en 10°C (4.3 y 8.9 días respectivamente) y los más tempranos a una temperatura alternante de 25-30°C (1.4 y 2.1 días) para ambas especies (Fig.7).



**Figura 5.** Respuesta germinativa de semillas de *A. linaria* (izquierda) y *S. mexicana* (derecha) en ocho diferentes condiciones de temperatura: siete constantes (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35°C) y una alternante (25-30°C) a través del tiempo. Letras muestran diferencias significativas ( $P < 0,05$ ; Tukey), sobre el porcentaje final de germinación. Medias  $\pm$  desviación estándar.



**Figura 6.** Velocidad de germinación de las semillas de *A. linaria* (izquierda) y *S. mexicana* (derecha) sometidas a las diferentes condiciones de temperatura: seis constantes (10, 15, 20, 25, 30 y 35°C) y una alternante (25-30°C). Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) por prueba de comparación de rangos. Barras muestran medias  $\pm$  desviación estándar.



**Figura 7.** Tiempo de inicio de germinación (*lag time*) para las semillas de *A. linaria* (izquierda) y *S. mexicana* (derecha) expuestas a siete diferentes condiciones de temperatura: seis constantes (10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C) y una alternante (25-30°C). Diferentes letras muestran diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) por prueba de comparación de rangos. Barras muestran medias  $\pm$  desviación estándar.

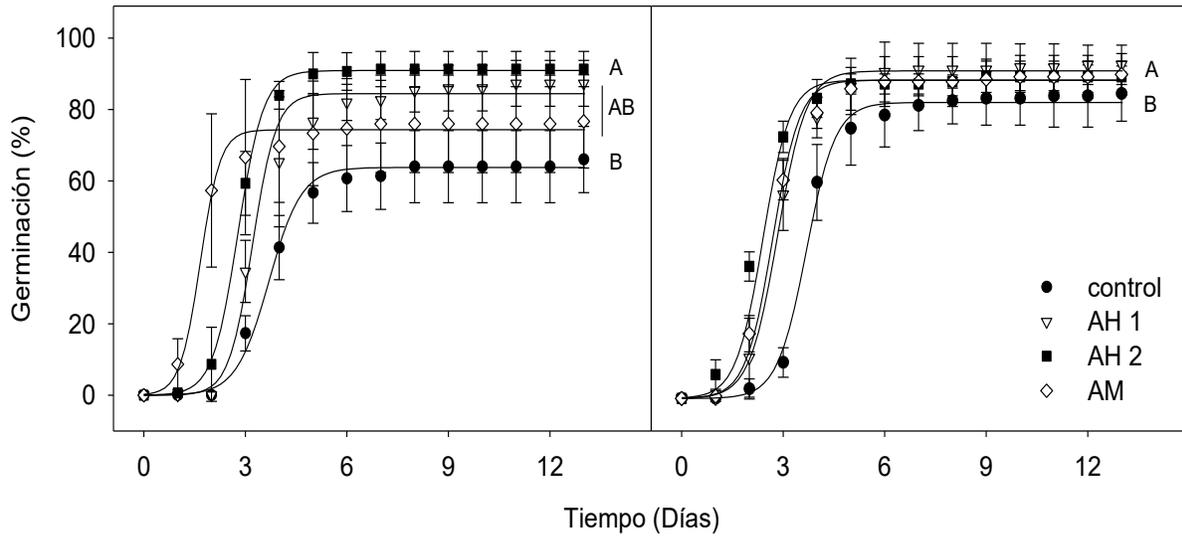
## 7.2. Efecto del acondicionamiento en la germinación

Para *A. linaria* el tratamiento AH2 (Fig.8) registró el mayor porcentaje de germinación final con el 91.3% mientras que el grupo control obtuvo el menor con el 66% ( $F_{(3,19)}=4.46$ ,  $P=0.0185$ ); el tratamiento AM obtuvo la mayor tasa máxima de germinación sobre los otros tratamientos ( $F_{(3,19)}=11.13$ ,  $P=0.0003$ ; Fig. 9). En el tiempo de inicio de la germinación también se registraron diferencias significativas ( $H=14.8742$ ,  $P=0.0019$ ) entre los tratamientos AH2 y AM (Fig.10), siendo las semillas del tratamiento AM las que germinaron en menor tiempo (0.41 días).

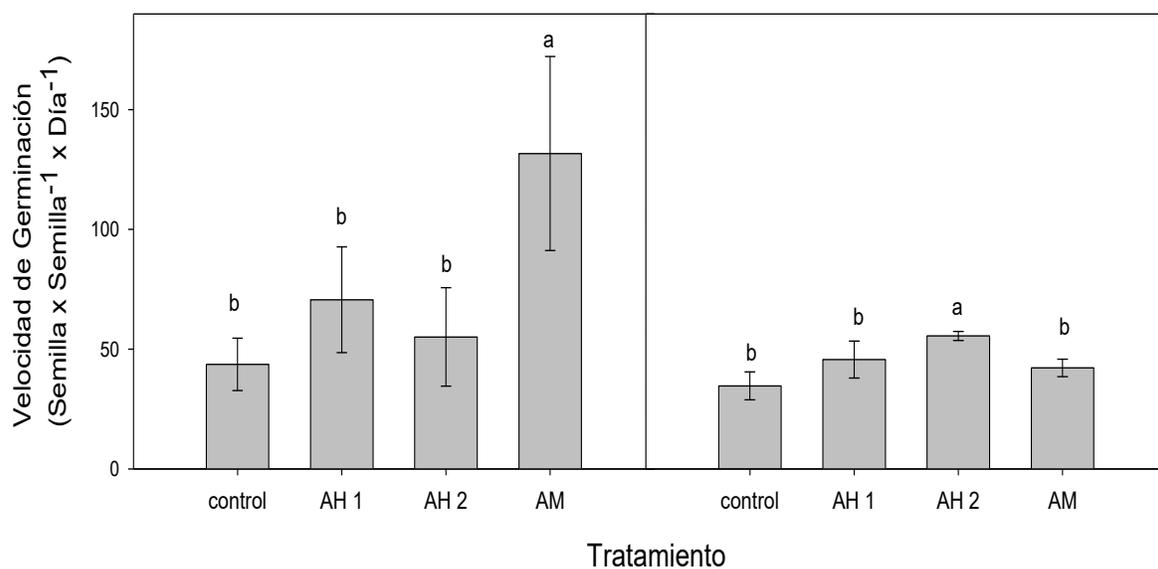
En *S. mexicana* los tres tratamientos de acondicionamiento registraron una mayor germinación final ( $F_{(3,19)}=3.73$ ,  $P=0.03$ ), tasa máxima de germinación ( $F_{(3,19)}=9.65$ ,  $P=0.007$ ) y tiempo de inicio de la germinación ( $H=16.32$ ,  $P=0.0009$ ) que las semillas sin acondicionar.

Entre los tipos de acondicionamiento en *S. mexicana* no se registraron diferencias significativas en la germinación final y la tasa máxima de germinación pero si en el tiempo de inicio de la germinación, siendo el AH2 (Fig. 9) donde se observó el menor tiempo (0.42) .

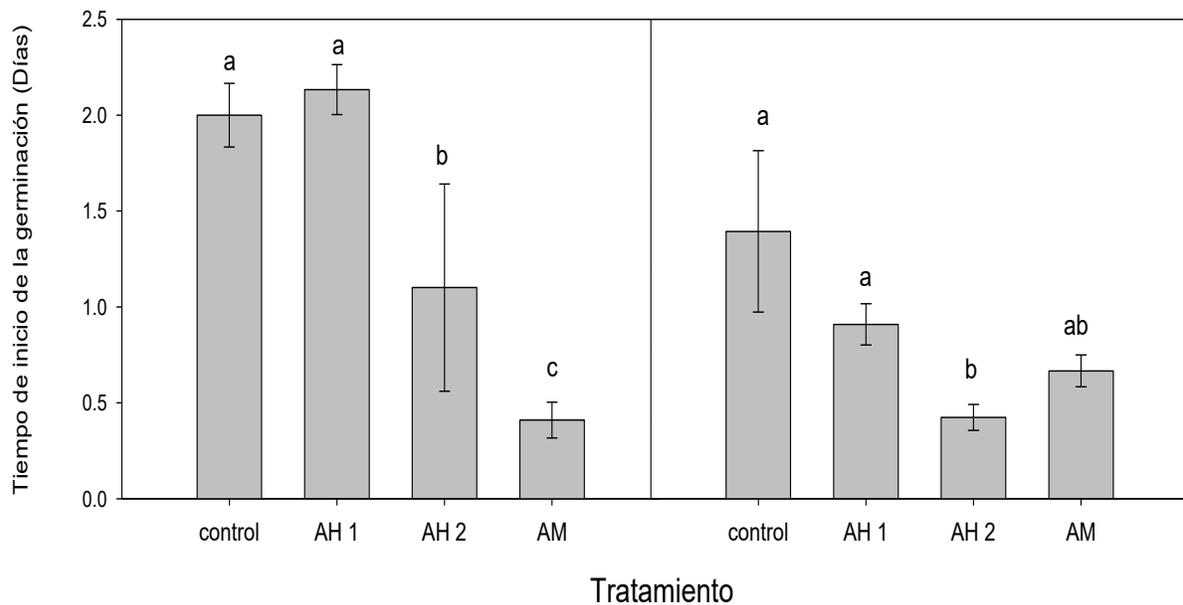
En general se observó un mayor efecto de los tratamientos de acondicionamiento sobre las semillas de *A. linaria* que en *S. mexicana* con respecto a los grupos control de cada especie.



**Figura 8.** Respuesta germinativa a través del tiempo para semillas de *A. linaria* (izquierda) y *S. mexicana* (derecha) expuestas a diferentes tratamientos antes de su siembra: sin acondicionamiento (● control), acondicionamiento hídrico de un ciclo (▼ AH1), acondicionamiento hídrico de dos ciclos (■ AH2), acondicionamiento mátrico (◇ AM). Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) por prueba de Tukey, en el porcentaje final de germinación. Medias  $\pm$  desviación estándar



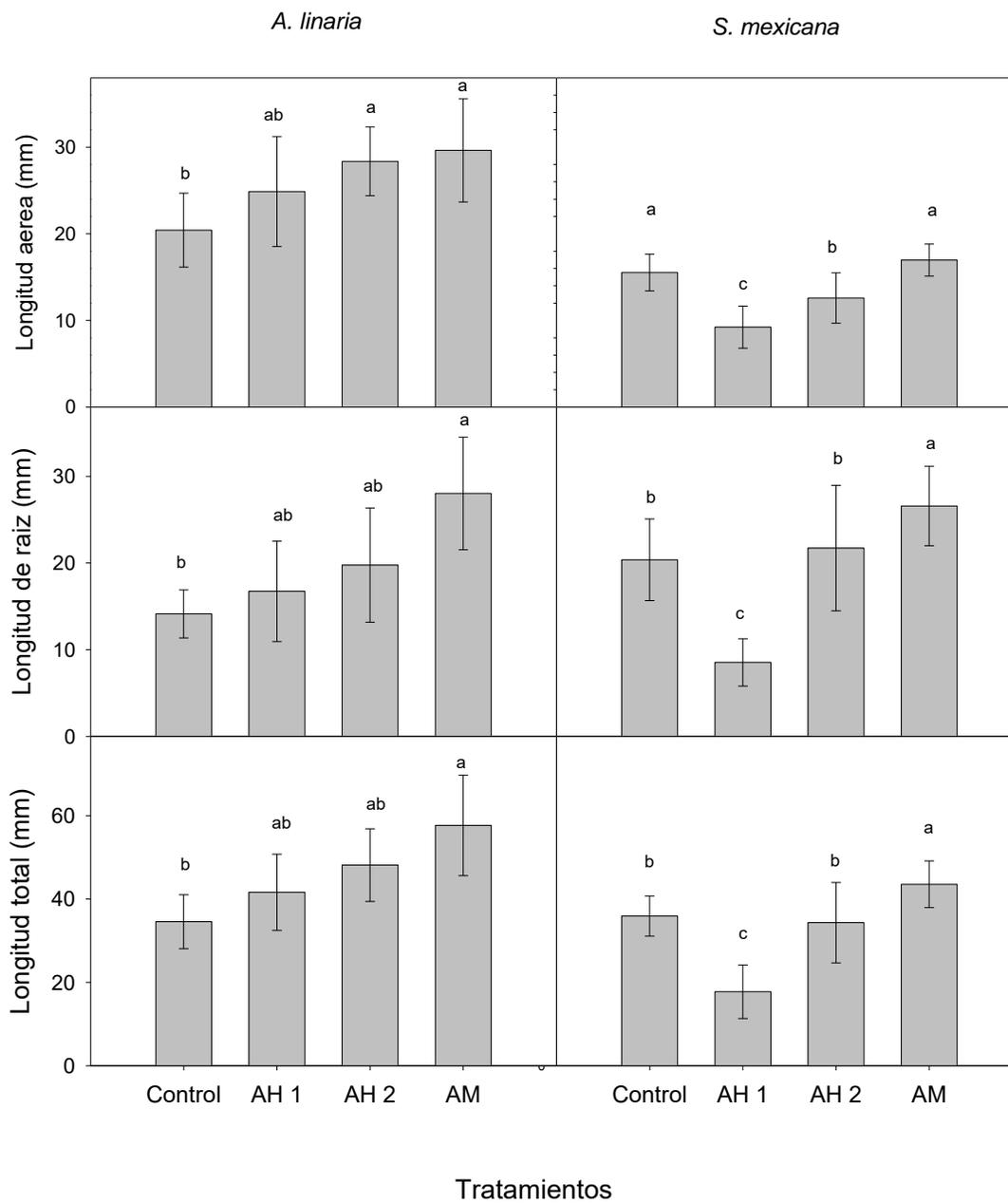
**Figura 9.** Velocidad de germinación de las semillas de *A. linaria* (izquierda) y *S. mexicana* (derecha) expuestas a diferentes tratamientos antes de su siembra: sin acondicionamiento (control), acondicionamiento hídrico de un ciclo (AH1) acondicionamiento hídrico de dos ciclos (AH2), acondicionamiento mátrico (AM). Diferentes letras muestran diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) prueba de Tukey. Medias  $\pm$  desviación estándar.



**Figura 10.** Tiempo de inicio de germinación (*lag time*) para las semillas de *A. linaria* y *S. mexicana* expuestas a diferentes tratamientos antes de su siembra: sin acondicionamiento (control), acondicionamiento hídrico de un ciclo (AH1) acondicionamiento hídrico de dos ciclos (AH2), acondicionamiento mátrico (AM). Diferentes letras muestran diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) por comparación de rangos.

### **7.3. Efecto del acondicionamiento en el vigor de las plántulas recién emergidas**

El vigor de las plántulas de ambas especies se incrementó de manera diferencial en respuesta a los pretratamientos de acondicionamiento en sus semillas (Fig. 11). En *A. linaria* se observó un incremento significativo en el vigor de las plántulas resultantes del acondicionamiento mátrico, expresado en las tres variables evaluadas, mientras que en *S. mexicana* el acondicionamiento mátrico incrementó la longitud de la raíz y en consecuencia la longitud total. Por otro lado, las plántulas resultantes del acondicionamiento hídrico de 1 ciclo tuvieron valores significativamente menores en las tres variables evaluadas en esta especie.



**Figura 11.** Efecto de los diferentes tratamientos de acondicionamiento sobre el crecimiento inicial de *A. linaria* y *S. mexicana*. Diferentes letras muestran diferencias significativas al interior de cada recuadro ( $P < 0,05$ ; Tukey). Medias  $\pm$  desviación estándar

El crecimiento final registrado en las plántulas de *A. linaria* obtenidas de los diferentes tratamientos de acondicionamiento y tipos de sustrato mostraron diferencias significativas en altura ( $F_{(6, 79)} = 16.48, P < 0.0001$ ), cobertura ( $F_{(6, 79)} = 22.88, P < 0.0001$ ), número de hojas ( $F_{(6, 79)} = 23.82, P < 0.0001$ ) y diámetro basal ( $H = 36.2494, P < 0.0001$ ), siendo el tratamiento AM donde se registraron los valores máximos y el único tratamiento significativamente distinto en el número de hojas (Fig. 12, 13, 14 y 15). El factor sustrato tuvo un efecto en el crecimiento de las plántulas pero solo en la altura ( $F_{(1, 79)} = 3.80, P = 0.0551$ ) y cobertura ( $F_{(1, 79)} = 22.42, P < 0.0001$ ) teniendo los mejores resultados en sustrato arena-suelo (Fig. 12 y 13).

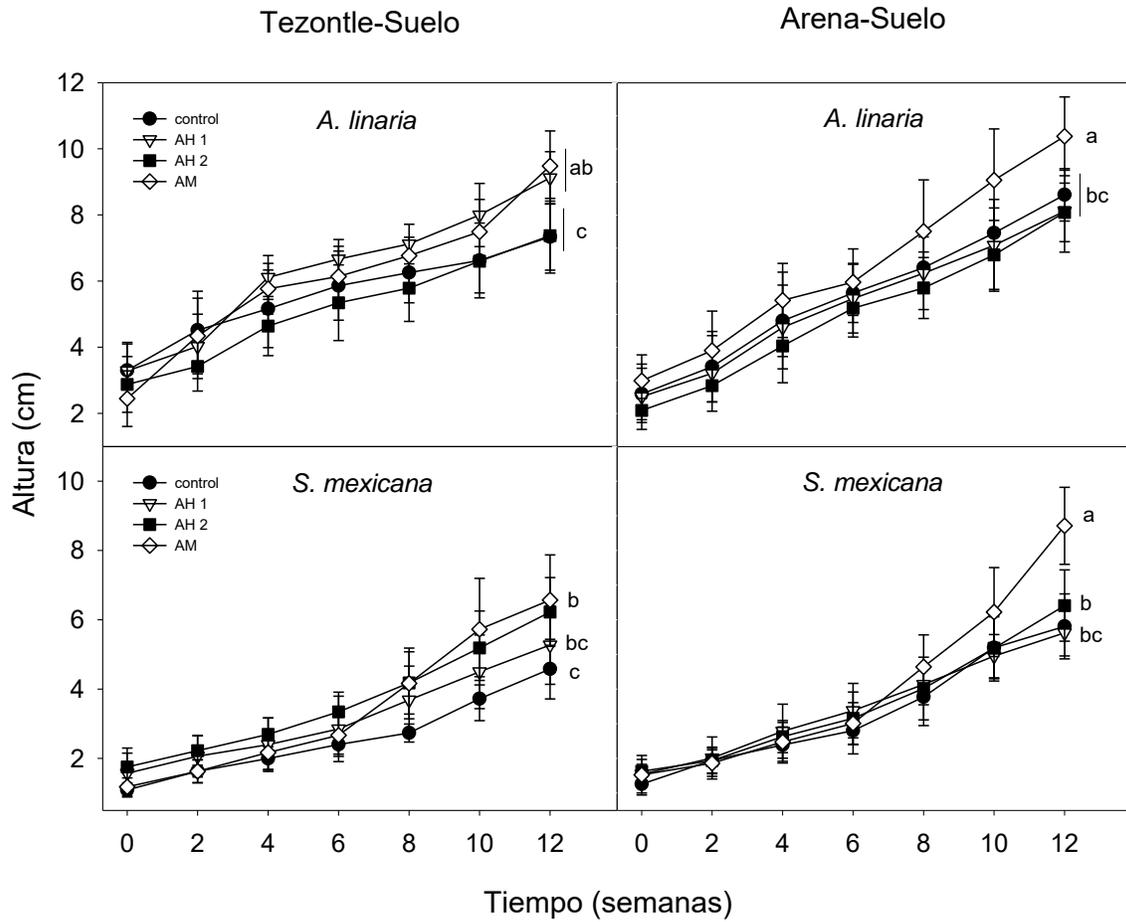
La combinación de los factores sustrato-acondicionamiento, mostró una interacción sobre la altura ( $F_{(3, 79)} = 4.32, P = 0.0074$ ) y el número de hojas ( $F_{(3, 79)} = 3.45, P = 0.0210$ ) donde el AM registro valores mayores en arena-suelo para esta especie.

Para el caso de *S. mexicana* se registraron diferencias significativas en términos de altura ( $F_{(7, 79)} = 14.34, P < 0.0001$ ), cobertura ( $H = 53.2163, P < 0.0001$ ) y diámetro basal ( $H = 26.3792, P = 0.00043$ ). Sin embargo los diferentes acondicionamientos y tipos de sustrato no afectaron el número de hojas en esta especie ( $F_{(7, 79)} = 1.67, P = 0.0296$ ) (Fig. 12, 13, 14 y 15)

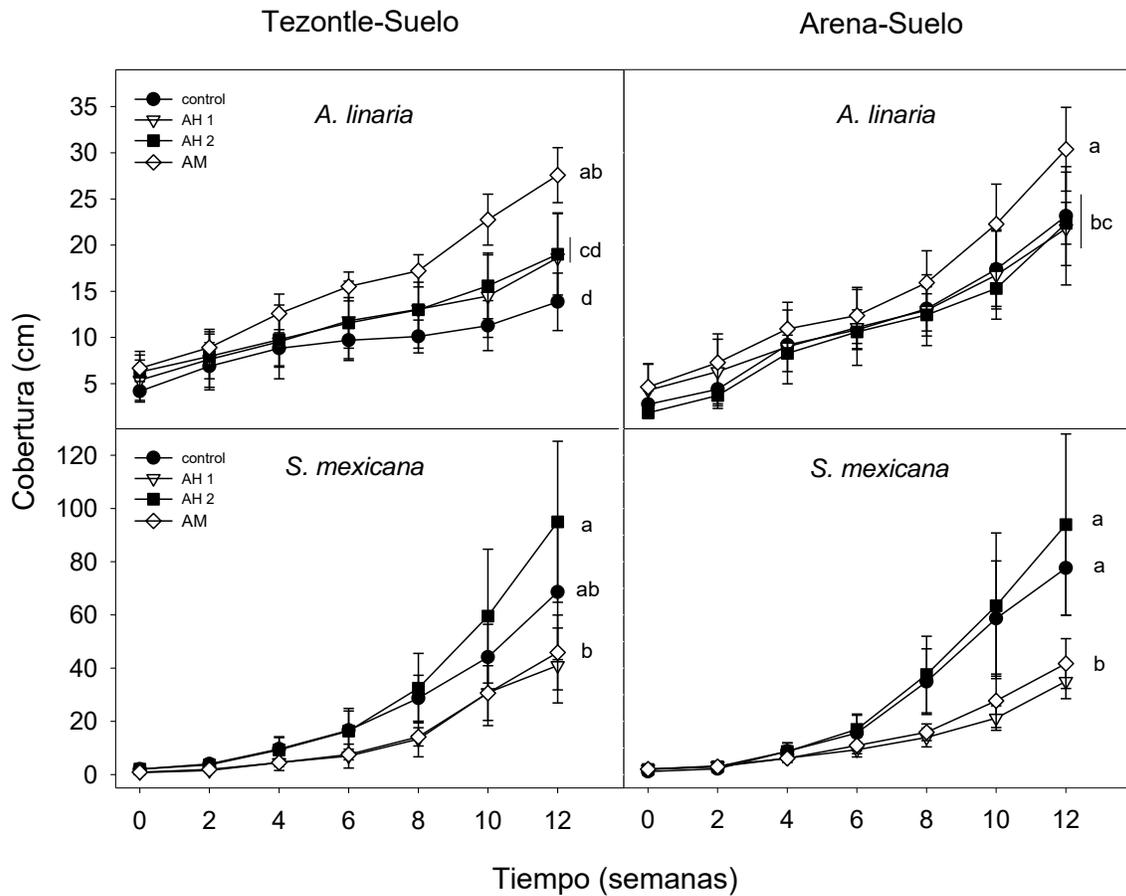
Los valores mayores en altura se registraron en las plántulas sometidas al AM en sustrato arena-suelo, mientras que las plántulas control del sustrato tezontle-suelo fueron significativamente menores al resto de tratamientos. Es

importante mencionar que únicamente en esta variable se observó un efecto significativo del factor sustrato ( $F_{(1, 79)} = 18.40, P = 0.0001$ ) teniendo los mejores resultados en sustrato arena-suelo.

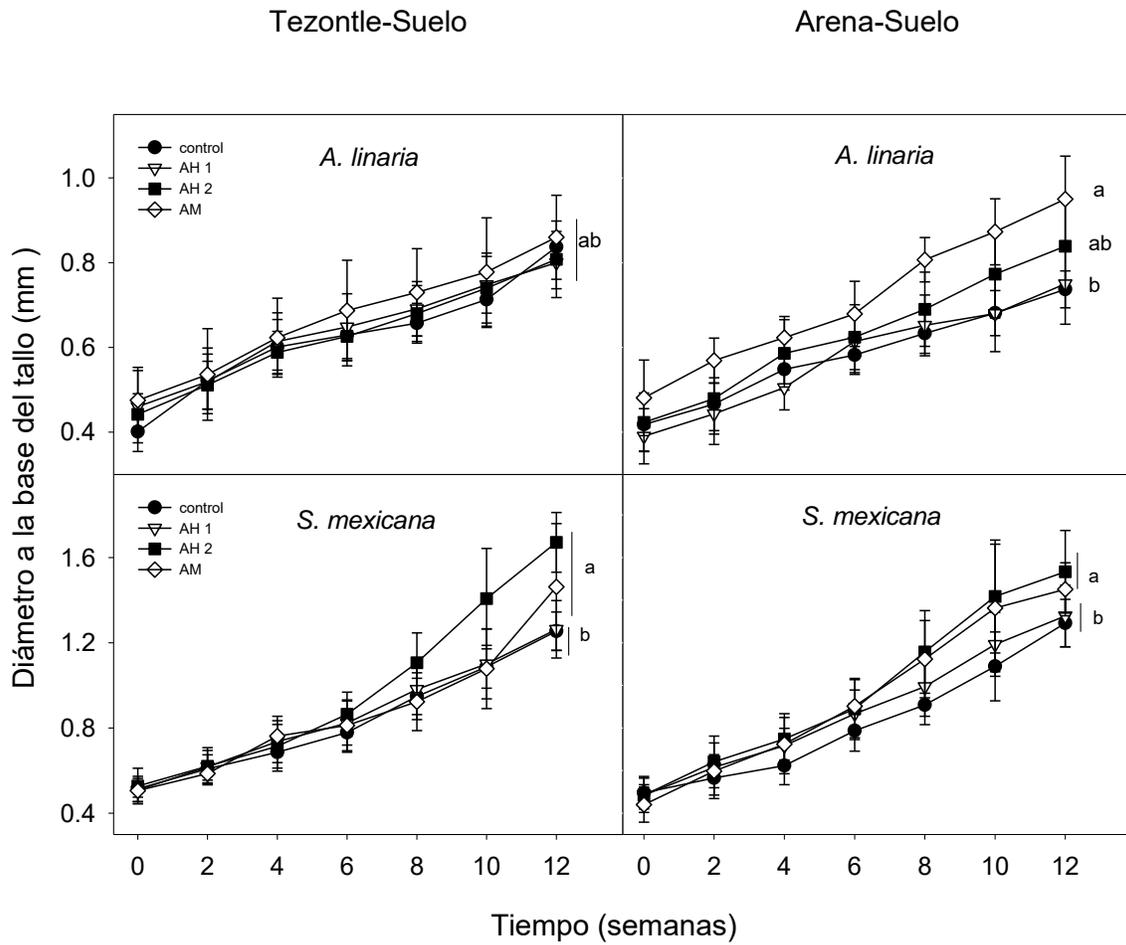
En la cobertura y el diámetro basal los mayores valores se obtuvieron en las plántulas sometidas al AH2 aunque en el caso de la cobertura el grupo control no mostró diferencias significativas a este tratamiento, además de registrar valores mayores a los tratamientos AH1 y AM. En el caso del diámetro basal se observaron dos grupos con diferencias significativas entre si formados por el AH2-AM y control-AH1 donde los tratamientos control y AH1 registraron los menores valores.



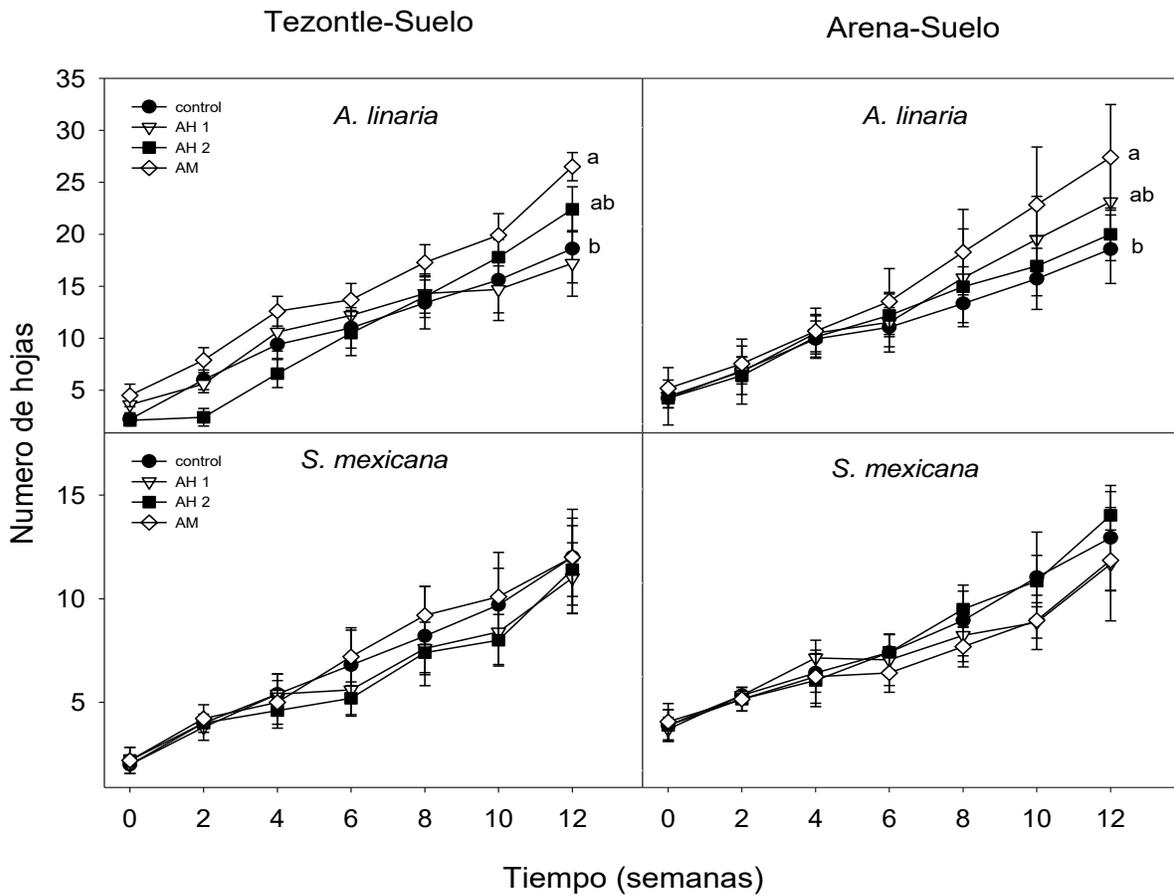
**Figura 12.** Efecto de los diferentes tratamientos de acondicionamiento y tipo de sustrato en la altura de *A. linaria* y *S. mexicana* a través del tiempo. Diferentes letras muestran diferencias significativas en la altura final registrada. Símbolos muestran medias  $\pm$  desviación estándar.



**Figura 13.** Efecto de los diferentes tratamientos de acondicionamiento y tipo de sustrato en la cobertura de *A. linaria* y *S. mexicana* a través del tiempo. Diferentes letras muestran diferencias significativas en la cobertura final registrada. Símbolos muestran medias  $\pm$  desviación estándar.



**Figura 14.** Efecto de los diferentes tratamientos de acondicionamiento y tipo de sustrato en el diámetro a la base del tallo de *A. linaria* y *S. mexicana* a través del tiempo. Diferentes letras muestran diferencias significativas en el diámetro basal final registrado. Símbolos muestran medias  $\pm$  desviación estándar.



**Figura 15.** Efecto de los diferentes tratamientos de acondicionamiento y tipo de sustrato sobre el número de hojas de *A. linaria* y *S. mexicana* a través del tiempo. Diferentes letras muestran diferencias significativas en número de hojas final registrado. Símbolos muestran medias  $\pm$  desviación estándar

## 8. Discusión

La viabilidad de las semillas de ambas especies fue alta (>85%), por lo que la máxima germinación de las semillas recién recolectadas de *A. linaria* (66%) y *S. mexicana* (88%) sugiere que una proporción de ellas presentó algún tipo de latencia, probablemente fisiológica ya que las semillas de ambas especies se hidrataron completamente, evidenciando una cubierta seminal permeable. En el gradiente de temperatura las semillas de ambas especies presentaron su mejor respuesta germinativa entre 15 y 30 °C, en los tres parámetros de germinación evaluados, lo que era esperado ya que ambas especies se distribuyen en zonas de vegetación natural al sur de la Ciudad de México, como la REPSA y el Parque Ecológico de la Ciudad de México cuyas temperaturas medias anuales del aire están entre 14.5-19.7 y 12-14 °C respectivamente (Mendoza-Hernández *et al.*, 2016). En ambas especies las temperaturas extremas del gradiente produjeron baja o nula respuesta germinativa, lo que sugiere que su establecimiento requiere de la presencia de una cobertura vegetal que amortigüe las variaciones de temperatura y humedad de la zona urbana (Jauregui, 1990) del sur de la Ciudad de México. Sin embargo, se presentaron diferencias entre ambas especies, las cuales pueden estar relacionadas con el requerimiento de distintos microambientes para su germinación y establecimiento (Fenner y Thompson, 2005; Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2009). En este sentido *A. linaria* registró una germinación mayor al 50% en 20, 25 °C y en la alternancia 25-30°C, adicionalmente la siguiente temperatura favorable fue 15 °C, esta ventana

térmica para su germinación podría explicar su presencia en sitios abiertos y degradados (CONABIO, 2009), con variaciones de temperatura relativamente amplias. Carr y colaboradores (1986), reportaron su presencia en ambientes secos y rocosos. En contraste, en *S. mexicana* la ventana térmica en que se presentó su máxima germinación se ubicó en temperaturas menores (15 - 25 °C) acorde con el microambiente en que se establece. Rzedowski y Rzedowski (2005) reportan que *S. mexicana* se establece preferentemente en bosques templados, sugiriendo el requerimiento de microambientes con amortiguamiento de la temperatura y de la pérdida de humedad para su germinación y establecimiento. Un análisis del tiempo hidrotérmico, que describa cuantitativamente la respuesta germinativa en varias combinaciones de potencial hídrico y temperatura (Bradford, 2002; Meyer *et al.*, 2000), podría confirmar de manera más clara esta propuesta. Las mayores velocidades y menores tiempos de inicio de germinación en las temperaturas en que presentaron mejor respuesta germinativa, sugieren que esta especie aprovecha los ambientes relativamente húmedos y sombreados para el establecimiento de sus plántulas como se ha comprobado para varias especies del sur de la Ciudad de México (González-Zertuche *et al.*, 2001; Olvera-Carrillo *et al.* 2009; Martínez-Villegas *et al.*, 2012).

Por otro lado, el efecto favorecedor que los pretratamientos de acondicionamiento tuvieron en la germinación de las especies estudiadas se ha observado en varias especies de la zona central de México (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2009). Su efecto más notable fue el incremento en la tasa y

en reducción del tiempo de inicio de germinación, sin embargo las diferencias en la respuesta de ambas especies pudieran reflejar diferentes requerimientos microambientales. González-Zertuche y colaboradores (2002), reportaron que las semillas de *Buddleja cordata* recolectadas en la REPSA (que se caracteriza por ser una zona con una marcada época seca) respondieron mejor al acondicionamiento osmótico, lo que puede ser comparable con el efecto del acondicionamiento mátrico en las semillas de *A. linaria*, ya que la matriz del suelo, donde caen las semillas, disminuye el potencial hídrico. González-Zertuche, (2005) reportó que las semillas de *Buddleja cordata* recolectadas en una zona más húmeda, debido a la presencia de una mayor densidad vegetal (Ajusco), respondieron mejor al acondicionamiento hídrico, de manera semejante a *S. mexicana*. Debido a que *A. linaria* se establece en ambientes más secos, los potenciales hídricos menores del suelo podrían ser más eficientes acondicionando sus semillas, a diferencia de los potenciales hídricos relativamente más altos y constantes (Gamboa-de Buen, *et al.*, 2006) que fueron suficientes para acondicionar a las semillas de *S. mexicana*. En presencia de humedad constante las semillas de *S. mexicana* desarrollan un mucílago que les aporta humedad para embeberse de manera constante y suficiente (González-Mateos, 1999; Serra-Ortega, 2018), lo que permite que se realicen los avances metabólicos pregerminativos que permanecen al secarse, por esta razón el acondicionamiento hídrico pudo ser más eficiente en esta especie. Por otro lado, el efecto favorable del acondicionamiento de las semillas sobre el desempeño de las plántulas se ha observado en especies cultivadas como el puerro, la cebada

y el trigo (Ajouri *et al.*, 2004, Brocklehurst *et al.*, 1984, Salehzade *et al.*, 2009); en este estudio realizado con dos especies silvestres, el incremento en la longitud de la raíz de las plántulas resultantes de los pretratamientos de acondicionamiento sugiere un incremento en su vigor. Se ha encontrado que un resultado de los cambios fisiológicos producidos por el acondicionamiento en las semillas es la inducción de la biosíntesis de  $\alpha$ -amilasa, lo que constituye un evento metabólico clave en el incremento del vigor de las plántulas (Farooq *et al.*, 2006). El alto vigor de las plántulas es esencial para la competitividad por agua, luz y nutrientes, así la capacidad para producir un mayor desarrollo de las raíces en las etapas tempranas del desarrollo representa un atributo morfológico que favorece la tolerancia a ambientes secos (Facelli, 2008), en este caso en una zona urbanizada con estacionalidad marcada como es la Ciudad de México (Schteingart, 1989). En el presente estudio el acondicionamiento mátrico mejoró el crecimiento, en invernadero, de las plántulas de *A. linaria* y el hídrico mejoró algunas de las variables del crecimiento de *S. mexicana* lo cual indica la persistencia del efecto del acondicionamiento en las semillas. En plántulas de soya el beneficio del acondicionamiento de las semillas fue encontrado hasta las 4 semanas de crecimiento (Ajouri *et al.*, 2004); mientras que en las de *A. linaria* y *S. mexicana* se mantuvo después de 12 semanas, tanto en el sustrato con textura gruesa (tezontle-suelo) como en el de textura fina (arena sílica-suelo). El efecto del tamaño de las partículas del sustrato en el crecimiento de las plántulas no ha sido suficientemente estudiado. La supervivencia y crecimiento de las plántulas depende, en parte de la capacidad de las raíces para penetrar suelos

compuestos por partículas de distintos tamaños, como son los suelos transformados por la urbanización (Pavao-Zuckerman, 2008), y de explorar un suficiente volumen de suelo para alcanzar los nutrientes y el agua acumulada en las capas inferiores, lo que es particularmente importante en una zona estacional como la Ciudad de México. Warnars y Eavis, (1972) estudiaron el crecimiento de las raíces de las plántulas de guisante (*Pisum sativum*), maíz (*Zea mays*) y una especie de pasto (*Lolium perenne*) en una gama de sustratos, desde finos hasta gruesos. Y aunque encontraron diferencias en la morfología de la raíz, no encontraron diferencias en el peso seco entre las que crecieron en arena de grano grueso o fino, debido a que no hubo estrés hídrico. En este experimento, las plántulas de *A. linaria* y *S. mexicana* crecieron con disponibilidad de agua suficiente, lo que se expresó en el óptimo desarrollo de las variables de crecimiento. La impedancia mecánica del sustrato disminuye con la presencia de humedad suficiente para el desempeño de las plantas (Warnars y Eavis, 1972, Goss, 1977), por lo que, aunque sí se encontró efecto del tipo de sustrato en algunas variables del crecimiento de estas especies es necesario fortalecer este aspecto probando distintas disponibilidades de agua, ya que en la época seca de ambientes estacionales, las diferencias ambientales en escalas pequeñas pueden o no representar sitios seguros para el éxito diferencial en el establecimiento de las plántulas de distintas especies en un ambiente heterogéneo (Leck *et al.*, 2008), protegiéndolas de la desecación por el viento y de la deshidratación del suelo.

## 9. Conclusiones

En el caso de *A. linaria* la mejor respuesta de germinación obtenida en variaciones de temperatura relativamente amplias (15-30°C), así como en respuesta al acondicionamiento mátrico, sumada a su respuesta en los experimentos de crecimiento sugieren su capacidad para establecerse en sitios más expuestos, lo que indica que sus plántulas resisten mayores variaciones microambientales, permitiéndole crecer sobre sustratos más gruesos resultantes de la perturbación del suelo por las construcciones antropogénicas, siempre y cuando haya disponibilidad de humedad. Mientras que *S. mexicana* al germinar a temperaturas menores (15-25°C) y en respuesta al acondicionamiento hídrico requiere suelos y ambientes con mayor conservación de humedad.

Se recomienda aplicar tratamientos de acondicionamiento mátrico a las semillas de *A. linaria* y de acondicionamiento hídrico a las semillas de *S. mexicana* para obtener una germinación más uniforme y plantas más vigorosas destinadas a proyectos de investigación con fines de restauración ecológica en el Valle de México

## 10. Bibliografía

- Ajouri, A., Asgedom, H., y Becker, M. 2004. Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(5): 630-636.
- Akbari, H., Pomerantz, M., y Taaha, H. 2001. Cool surfaces and shade and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70: 295–310.
- Arriaga-Frias A., A. Trujillo-Hernández, H. Perales-Vela, M. Mandujano-Piña, I. Aguilar, G. De la Cruz-Guzmán, M. Torres-Zuñiga, L. Pavon-Meza, G. Ortiz-Montiel, G. Herrera-Rojas, Y. Pozos-Ruiz, S. Gracian-Sandoval 2013. *Morfofisiología Vegetal: Un acercamiento práctico*. 3rd ed. UNAM FES-IZTACALA. México.
- Ash, H. J. 1991. Soils and vegetation in urban areas. En: Bullock, P., y Gregory, P. J. (eds). *Soils in the Urban Environment*. pp. 153 – 170. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Baskin, C. C. y Baskin J. M. 1998. *Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, Nueva York. 607p.
- Benítez-Rodríguez, J. L. 2005. *Estudio ecofisiológico de germinación y crecimiento de *Dodoneae viscosa* (L.) Jacq. con fines de restauración en zonas perturbadas del valle de México*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. UNAM, México.
- Bewley, J. D., Bradford, K., y Hilhorst, H. 2012. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Springer Science and Business Media, Londres,

- Bonfil, C., Pisanty, I., Mendoza, A., Soberón, J. 1997. Investigación y restauración ecológica: el caso del Ajusco medio. *Ciencia y Desarrollo*, 135:14-23.
- Bradford, K. J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50(2): 248-260.
- Bridges, E. M. 2009. Waste materials in urban soils. En: Bullock, P., y Gregory, P. J. (eds). *Soils in the Urban Environment*. pp. 28 - 46. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Brocklehurst, P. A., Dearman, J., y Drew, R. L. K. 1984. Effects of osmotic priming on seed germination and seedling growth in leek. *Scientia Horticulturae*, 24(3-4): 201-210.
- Butola, J. S. y Badola, H. K. 2004. Effect of pre-sowing treatment on seed germination and seedling vigour in *Angelica glauca*, a threatened medicinal herb. *Current Science*, 87(6): 796-799.
- Cano-Santana, Z., Pisanty, I., Segura, S., Mendoza-Hernández, P. E., León-Rico, R., Soberón, J. y Martínez-Ballesté, A. 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del Pedregal del Xitle. Manejo, conservación y Restauración de Recursos naturales en México. *UNAM-Siglo XXI*, pp 203-226.
- Cárdenas C. A. 2010. *Riqueza Florística de Asteraceae en los fragmentos de vegetación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, México, D.F.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México
- Carr, M. E., Mason Jr, C. T., y Bagby, M. O. 1986. Renewable resources from Arizona trees and shrubs. *Forest ecology and management*, 16(1-4): 155-167.
- Castellanos-Vargas, I., García-Calderón, N. E., y Cano-Santana, Z. 2017. Procesos físicos del suelo en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel

de Ciudad Universitaria: atributos para su conservación. *Terra Latinoamericana*, 35: 51-64.

- Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y., Romero-Romero, M. A., Guadarrama-Chávez, P., Núñez-Castillo, O., Sánchez-Gallén, I., y Meave, J. A. 2007. La reserva ecológica del Pedregal de San Ángel: Aspectos florísticos y ecológicos. *Coordinación de la Investigación Científica. UNAM*, México
- Castro, C. L. R. 2007. *Endurecimiento de semillas y sus consecuencias en el establecimiento y crecimiento de plántulas de Quercus rugosa Née con fines de restauración en zonas perturbadas del Ajusco*. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. UNAM, México.
- CONABIO. 2009. *Malezas de México*. consultado el 26 mayo del 2018, en <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico>.
- Facelli, J. M. 2008. Specialized seedling strategies I: seedlings in stressful environments . En: Leck, M. A., Parker, V. T y Simpson, R. L. (eds) *Seedling Ecology and Evolution*. pp. 56-78. Cambridge University Press, Cambridge.
- Farooq, M., Barsa, S. M., y Wahid, A. 2006. Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry and yield. *Plant growth regulation*, 49(2-3): 285-294.
- Fenner, M., y Thompson, K. 2005. *The ecology of seeds*. Cambridge University Press.
- Fitzpatrick, E. A. 1978. Introducción a la Ciencia del suelo. *Publicaciones Cultural*. México, 125- 271.
- Gamboa-de Buen, A., Cruz-Ortega, R., Martínez-Barajas, E., Sánchez-Coronado, M. E., y Orozco-Segovia, A. 2006. Natural priming as an important metabolic event in the life history of *Wigandia urens* (Hydrophyllaceae) seeds. *Physiologia Plantarum*, 128(3): 520-530.

- Gold, K., P. León-Lobos, y M. Way. 2004. Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- González-Mateos S. N. 1999. Estudio ecofisiológico de la germinación y emergencia de *Marrubium vulgare*, *Reseda luteola* y *Salvia mexicana* en distintos microambientes. Tesis de Licenciatura. ENEP Iztacala, UNAM.
- González-Zertuche, L. 2005. *Tratamientos de endurecimiento en semillas de Buddleja cordata (LOGANIACEAE) y Wigandia urens (HYDROPHYLLACEAE), dos especies útiles para reforestar o restaurar áreas perturbadas*. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 133p.
- González-Zertuche, L., Orozco-Segovia, A., & Vázquez-Yanes, C., 2000. El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y en la sobrevivencia de la plántula. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 65: 73-81.
- González-Zertuche, L., Orozco-Segovia, A., Baskin, C., y Baskin, J. M. 2002. Effects of priming on germination of *Buddleja cordata* ssp. *cordata* (Loganiaceae) seeds and possible ecological significance. *Seed science and technology*, 30(3): 535-548.
- González-Zertuche, L., Vázquez-Yanes, C., Gamboa de Buen, A., Sánchez-Coronado M. E., y Orozco-Segovia, A. 2001. Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: effects on germination, growth and protein expression. *Seed Science Research*, 11(1): 27-34.
- Goss, M. J. 1977. Effects of mechanical impedance on root growth in barley (*Hordeum vulgare* L.) I. Effects on the elongation and branching of seminal root axes. *Journal of Experimental Botany*, 28(1): 96-111.

- Hansen, J., L. Nazarenko, R. Ruedy, M. Sato, J. Willis, A. Del Genio, D. Koch, A. Lacis, K. Lo, S. Menon, T. Novakov, J. Perlwitz, G. Russell, G.A. Schmidt, y Tausnev, N. 2005: Earth's energy imbalance: Confirmation and implications. *Science*, 308: 1431-1435,
- Harris, D., Joshi, A., Khan, P. A., Gothkar, P., y Sodhi, P. S. 1999. On-farm seed priming in semi-arid agriculture: development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. *Experimental Agriculture*, 35: 15-29.
- Hernández-Oria, J. G. 2011. Efecto de dos tratamientos pregerminativos en las semillas de *Celtis caudata* Planch. y *Ptelea trifoliata* L., especies nativas de la vegetación del Bajío Queretano, México. *Foresta Veracruzana*, 13(2): 7-12
- Hitchmough, J., Kendle, T., y Paraskevopoulou, A. T. 2001. Seedling emergence, survival and initial growth of forbs and grasses native to Britain and central/southern Europe in low productivity urban “waste” substrates. *Urban ecosystems*, 5(4): 285-308.
- Hussain, M., Farooq, M., Basra, S. M., y Ahmad, N. 2006. Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid sunflower. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8: 14-18.
- Jauregui, E. 1990. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and buildings*, 15(3-4): 457-463
- Kowarik, I. 2011. Novel urban ecosystems, biodiversity, and conservation. *Environmental Pollution*, 159: 1974-1983.
- Leck, M. A., Simpson, R. L., y Parker, V. T. 2008. Why seedlings?. En: Leck, M. A., Parker, V. T y Simpson, R. L. (eds.) *Seedling Ecology and Evolution*. pp. 3-13 Cambridge University Press, Cambridge.

- Lot, A., y Cano-Santana, Z. 2009. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. *Universidad Nacional Autónoma de México*, México, DF.
- Martínez-Pérez, G., Orozco-Segovia, A., Martorell, C. 2006. Efectividad de algunos tratamientos germinativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta Oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79: 9-20
- Martínez-Villegas, J. A., Orozco-Segovia, A., Sánchez-Coronado, M. E. y Pisanty, I. 2012. Germination of *Sedum oxypetalum* (Crassulaceae) in a primary lava-field shrubland. *Plant ecology*, 213(5): 871-881.
- Matilla, A. 2008. Germinación y desarrollo de las semillas. En: Azcón, B. J. y Talón, M. (eds.) *Fundamentos de fisiología Vegetal*. pp. 537-559. McGraw-Hill, España.
- McDonald, M. B. 1998. Seed quality assessment. *Seed Science Research*, 8: 265-275.
- Mendoza-Hernández, P. E., Rosete-Rodríguez, A., Pedrero-López, L., Martínez-Villegas, J. A., Sánchez-Coronado, M. E. y Orozco-Segovia, A. 2016. Capítulo 10 Estrategias ecofisiológicas para la restauración de un pedregal urbano: el caso del Parque Ecológico de la Ciudad de México. En E. Ceccon y C. Martínez-Garza (eds.) *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas* pp. 237-254. UNAM, México.
- Meyer, S. E., Debaene-Gill, S. B., y Allen, P. S. 2000. Using hydrothermal time concepts to model seed germination response to temperature, dormancy loss, and priming effects in *Elymus elymoides*. *Seed Science Research*, 10(3): 213-223.
- Nicasio-Arzeta, S., Sánchez-Coronado, M. E., Orozco-Segovia, A. y Gamboa-de Buen, A. 2011. Efecto del preacondicionamiento y el sustrato

salino en la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays*) raza Chalqueño Agrocencia, 45: 195-205

- Olvera-Carrillo, Y., Méndez, I., Sánchez-Coronado, M. E., Márquez-Guzmán, J., Barradas, V. L., Huante, P., y Orozco-Segovia, A. (2009). Effect of environmental heterogeneity on field germination of *Opuntia tomentosa* (Cactaceae, Opuntioideae) seeds. *Journal of arid Environments*, 73(4-5): 414-420.
- Orozco-Segovia, A., y Sánchez-Coronado, M. E. 2009. Functional diversity in seeds and its implications for ecosystem functionality and restoration ecology. *Functional diversity of plant reproduction. Research Signpost, Trivandrum*, 175-216.
- Orozco-Segovia, A., Sánchez-Coronado, M. E., Martínez-Villegas, J. A., Pedrero-López, L., Becerra, V. A., Rosete-Rodríguez, A. Peraza-Villareal, H. 2014. Ecofisiología de semillas de plantas tropicales: el acondicionamiento mátrico una herramienta útil para germinar especies nativas, útiles para la restauración y conservación de especies. *Conference: XI Congreso Latinoamericano de Botánica, Brasil*, pp 194-203.
- Pammenter, N. W., Berjak, P. 1999. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. *Seed Science Research*, 9(1): 13-37.
- Parera, C. A. y Cantliffe, D. J. 1994. Presowing and seed priming. En: Janick, J. (eds). *Horticultural Reviews*. pp. 109-142. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Pavao-Zuckerman, M. A. 2008. The nature of urban soils and their role in ecological restoration in cities. *Restoration Ecology*, 16(4): 642-649.
- Pedrero-López, L. V., Rosete-Rodríguez, A., Sánchez-Coronado, M. E., Mendoza-Hernández, P. E. y Orozco-Segovia, A. 2016. Effects of

hydropriming treatments on the invigoration of aged *Dodonaea viscosa* seeds and water-holding polymer on the improvement of seedling growth in a lava field. *Restoration ecology*, 24(1): 61-70.

- Rao, N. K., Hanson, J., Dulloo, M. E., y Ghosh, K. 2007. *Manual para el Manejo de Semillas en Bancos de Germoplasma (Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8)*. Bioversity International, Italia.
- Reyes-Ortega, I. 2001. *Modelo de la respuesta germinativa de diferentes poblaciones de Wigandia urens (Ruiz et Pav.) Kunth en un gradiente de temperaturas constantes* Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Rzedowski, G. y Rzedowski, J. 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México, 2º ed.* Instituto de Ecología y CONABIO. Pátzcuaro, México.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetation of Pedregal de San Ángel. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, IPN, Mexico, 8: 59-129.
- Salehzade, H., Shishvan, M. I., Ghiyasi, M., Forouzin, F. y Siyahjani, A. A. 2009. Effect of seed priming on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Research Journal of Biological Sciences*, 4(5): 629-631.
- Sánchez, J A., Orta, R. y Muñoz, B. 2001. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense* 25(1): 67-92.
- Sánchez-Coronado, M. E., Coates, R., Castro-Colina, L., de Buen, A. G., Paez-Valencia, J., Barradas, V. L. y Orozco-Segovia, A. 2007. Improving seed germination and seedling growth of *Omphalea oleifera* (Euphorbiaceae) for restoration projects in tropical rain forests. *Forest ecology and management*, 243(1): 144-155.

- Santibáñez-Andrade, G., Castillo-Argüero, S., Zavala-Hurtado, J. A., Martínez Orea, Y., y Hernández Apolinar, M. 2009. La heterogeneidad ambiental en un matorral xerófilo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 85: 71-79.
- Schteingart, M. 1989. The environmental problems associated with urban development in Mexico City. *Environment and Urbanization*, 1: 40-50.
- Serra-Ortega, C. L. 2018. Efecto del acondicionamiento de las semillas de *Salvia mexicana* sobre el crecimiento y supervivencia de sus plántulas en bordes de avanzada del Parque ecológico de la Ciudad de México, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Soberón, M. J., De la Maza, R.; Hernández, A., Bonfil, C.; Careaga, S., Gamboa, J., García, H. y Espinosa, G. 1991. Reporte técnico final del primer año del proyecto: Restauración ecológica de Lomas del Seminario, Ajusco. *Instituto de Ecología*. UNAM. México.
- Vázquez-Yanes, C. y A. Batis-Muñoz. 1996. Adopción de especies nativas valiosas para la restauración y reforestación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 58: 75-84
- Warnars, B. C. y Eavis, B. W. 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth. *Plant and soil*, 36(1-3): 623-634.
- Wild, A. 1993. *Soils and the environment: An Introduction*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zar, J. H. 1974 *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall