



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

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

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O
P R E S E N T A:

Claudia Lariza Serra Ortega



DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Pedro Eloy Mendoza Hernández
Ciudad de México, 2018



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.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno.

Serra
Ortega
Claudia Lariza
56 97 97 81
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
310654032

2. Datos del tutor.

Dr
Pedro Eloy
Mendoza
Hernández

3. Datos del sinodal 1

M en C
María Esther
Sánchez
Coronado

4. Datos del sinodal 2

Dra
Andrea
Martínez
Ballesté

5. Datos del sinodal 3

M en C
Yuriana
Martínez
Orea

6. Datos del sinodal 4

Dra
Mariana
Hernández
Apolinar

7. Datos del trabajo escrito

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
64 páginas
2018

Agradecimientos académicos

Este trabajo se realizó gracias al Laboratorio de ecofisiología funcional, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Al apoyo económico para la realización de mi trabajo por parte del Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT 221015).

Al financiamiento del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, UNAM (PAPIIT 205715).

Agradezco al Taller de Restauración de ecosistemas tropicales: un enfoque funcional; a la Dra. Alma Orozco Segovia, responsable del taller; y a todos los profesores que lo integran, quienes aportaron a mi proyecto y me apoyaron cada vez que los necesité.

Al Dr. Pedro Eloy Mendoza Hernández, por ser un tutor incondicional y acompañarme paso a paso en la elaboración de este proyecto.

A la M. en C. María Esther Sánchez Coronado, por su apoyo durante todo el proceso de mi trabajo, desde su orientación en cuestiones técnicas, sus enseñanzas en análisis estadísticos y sus aportaciones en el escrito final.

Gracias a la Dra. Andrea Martínez Ballesté, la M. en C. Yuriana Martínez Orea y a la Dra. Mariana Hernández Apolinar por sus aportaciones a este trabajo.

Agradecimientos personales

A mis papás, por su confianza, cariño y apoyo incondicional. Por todo lo que me han dado para llegar hasta aquí y por ser un gran ejemplo a seguir, siempre los amaré.

A mi hermanita, por todo lo que me compartes, por tu amistad, porque me quieres, me cuidas, me enseñas y me dejas enseñarte, te amo.

A Ricardo, por saber que siempre puedo más y no dejarme olvidarlo, porque me haces mejor persona y me haces feliz, te amo.

A mi familia Serra y Ortega, gracias a ustedes se que nunca estaré sola, los amo a cada uno de ustedes.

A Chidis, Horacio, Coquin, Ricardo y a mi incondicional familia por apoyarme en campo, sin ustedes no habría resultados que reportar. Gracias a Alan, por su ayuda durante toda la carrera y por ser un gran amigo.

A mis amigas de Ciencias quienes siempre querré por igual, Magdalena, Brenda y Patraca.

Resumen.....	1
Abstract.....	4
1. Introducción y antecedentes.....	6
2. Objetivos.....	13
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos particulares.....	13
3. Hipótesis.....	14
4. Materiales y métodos.....	14
4.1. Zona de estudio: Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM).....	14
4.2. Especie de estudio: <i>Salvia mexicana</i> L.....	16
4.3. Recolección de semillas.....	19
4.4. Tratamientos pregerminativos.....	19
4.5. Extracción del mucilago.....	20
4.6. Aplicación del AH a las semillas de <i>S. mexicana</i>	21
4.7. Germinación de semillas.....	21
4.8. Trasplante de las plántulas de <i>S. mexicana</i> al fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología, UNAM.....	21
4.9. Trasplante de las plántulas de <i>S. mexicana</i> al parche de vegetación del PEMC.....	21
4.10. Supervivencia y crecimiento aéreo de las plántulas de <i>S. mexicana</i> dentro del parche de vegetación del PEMC.....	24
4.11. Evaluación de las condiciones microclimáticas (temperatura, humedad relativa y densidad de flujo fotónico) en los microambientes dentro del parche de vegetación.....	24
4.12. Análisis estadísticos.....	25

5. Resultados.....	26
5.1. Germinación acumulada.....	26
5.2. Tasa de germinación y tiempo de inicio de germinación.....	27
5.3. Crecimiento inicial de las plántulas de <i>S. mexicana</i> en el fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología, UNAM.....	29
5.4. Ambiente abiótico.....	32
5.4.1. Temperatura y humedad relativa del aire.....	32
5.4.2. Densidad de flujo fotónico.....	34
5.5. Desempeño de las plántulas de <i>S. mexicana</i> en el PECM.....	35
5.5.1. Supervivencia.....	35
5.5.2. Crecimiento.....	37
6. Discusión.....	42
6.1. Germinación de semillas de <i>Salvia mexicana</i>	42
6.2. Papel ecológico del mucílago en las semillas de <i>Salvia mexicana</i>	43
6.3. Efecto del acondicionamiento hídrico (AH) en semillas de <i>Salvia mexicana</i>	43
6.4. Supervivencia y crecimiento inicial de las plántulas de <i>Salvia mexicana</i> en el fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología, UNAM.....	44
6.5. Desempeño de las plántulas de <i>Salvia mexicana</i> en el PECM.....	45
6.5.1. Supervivencia.....	47
6.5.2. Crecimiento.....	50
7. Conclusiones.....	52
8. Bibliografía.....	53
9. Anexo I.....	61

Lista de figuras

Figura 1. Fases de la germinación. Modificado de Bewley, 1997.....	8
Figura 2. Ubicación del Parque Ecológico de la Ciudad de México, en el Pedregal de San Ángel. Elaboración propia.....	15
Figura 3. Individuo adulto de <i>Salvia mexicana</i>	17
Figura 4. Semillas de <i>Salvia mexicana</i> . A) Morfología y color de las semillas. B y C) Estructura del mucílago formado por la hidratación de las semillas.....	18
Figura 5. Unidades espaciales de plantación de <i>Salvia mexicana</i> en PECM. A) Arbustos estacionales, B) Arbustos perennes, C) Borde de vegetación.....	23
Figura 6. Representación esquemática del diseño experimental de plantación de <i>Salvia mexicana</i> en los diferentes micrositios del PECM. Elaboración propia.....	23
Figura 7 . Germinación acumulada de las semillas de <i>S. mexicana</i> germinadas con distintos tratamientos de acondicionamiento hídrico y con o sin presencia de mucílago. Se presentan valores promedio \pm d. s. n = 15. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos.....	26
Figura 8. A) Tasa de germinación (promedio, \pm desviación estándar), a partir de la primera derivada a lo largo de la curva exponencial ajustada a la germinación. B) Tiempo de inicio de germinación (promedio, \pm desviación estándar). Las letras minúsculas sobre las barras, indican diferencias significativas entre tratamientos.....	28
Figura 9. Crecimiento aéreo (A= altura; B= cobertura y C= área basal), de las plántulas de <i>Salvia mexicana</i> durante sus dos primeros meses de vida, dentro del fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología. Las letras minúsculas sobre las barras indican	

diferencias significativas entre tratamientos, se muestra el promedio, \pm desviación estándar.....	31
Figura 10. Temperatura del aire (media \pm intervalo de confianza al 0.95) en los diferentes sitios y durante la época seca donde crecieron las plántulas de <i>Salvia mexicana</i>	32
Figura 11. Humedad relativa del aire (media \pm intervalo de confianza al 0.95) en los diferentes sitios y durante la época seca donde crecieron las plántulas de <i>Salvia mexicana</i>	33
Figura 12. Supervivencia de las plántulas de <i>Salvia mexicana</i> durante un año en el PECM. Las letras minúsculas frente las curvas indican diferencias significativas entre tratamientos.....	36
Figura 13. Crecimiento aéreo (A= altura; B= cobertura; C= área basal y D= número de hojas) de las plántulas de <i>Salvia mexicana</i> durante un año de vida bajo arbustos estacionales del PECM. Las letras minúsculas sobre los tratamientos indican diferencias significativas entre tratamientos. Promedio \pm desviación estándar.....	39
Figura 14. Crecimiento aéreo (A= altura; B= cobertura; C= área basal y D= número de hojas) de las plántulas de <i>Salvia mexicana</i> durante un año de vida bajo arbustos perennes del PECM. Las letras minúsculas sobre los tratamientos indican diferencias significativas entre tratamientos. Promedio \pm desviación estándar.....	40
Figura 15. Crecimiento aéreo (A= altura; B= cobertura; C= área basal y D= número de hojas) de las plántulas de <i>Salvia mexicana</i> durante un año de vida bajo el borde de vegetación del PECM. Las letras minúsculas sobre los tratamientos indican diferencias significativas entre tratamientos. Promedio \pm desviación estándar.....	41

Lista de tablas

Tabla 1. Tratamientos aplicados a las semillas de <i>Salvia mexicana</i>	20
Tabla 2. Análisis de varianza para probar el efecto de las variables en el porcentaje de germinación total de las semillas de <i>Salvia mexicana</i>	27
Tabla 3. Análisis de varianza de medidas Repetidas para el crecimiento aéreo (altura, cobertura y área basal) de las plántulas de <i>S. mexicana</i> en sus dos primeros meses de vida en el parche de vegetación anexo al Instituto de Ecología, UNAM.....	30
Tabla 4. Densidad de flujo fotónico ($\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en los diferentes micrositos de plantación. La desviación estándar se muestra entre paréntesis.....	34
Tabla 5. Análisis de varianza para probar el efecto del tiempo y los micrositos en el crecimiento aéreo de las plántulas de <i>Salvia mexicana</i> durante un año de vida en el PECM.....	37

RESUMEN

Se analizó el efecto del acondicionamiento hídrico (AH) y la presencia o ausencia del mucílago de las semillas de *Salvia mexicana* sobre su respuesta germinativa. Además, se evaluó si el efecto del acondicionamiento en la germinación perdura en el crecimiento inicial de la plántula y se expresa en una mayor supervivencia y crecimiento aéreo. Se recolectaron semillas en octubre del 2015 en el Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM) y se aplicaron cuatro tratamientos: semillas con mucílago y sin acondicionamiento (CMSA), semillas con mucílago y con acondicionamiento (CMCA), semillas sin mucílago y sin acondicionamiento (SMSA), y semillas sin mucílago y con acondicionamiento (SMCA). Para analizar la germinación se usaron 15 réplicas de 50 semillas para cada tratamiento. La germinación se registró por 30 días. Las plántulas obtenidas se pasaron a envases de plástico con tierra negra y agrolita 1:1v:v, y se mantuvieron durante dos meses en un fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología de la UNAM; se registró su supervivencia y crecimiento cada 15 días. Se trasplantaron 432 plantas a un fragmento de vegetación del PECM, colocándolas en tres microambientes diferentes: (a) borde de vegetación, (b) sitios bajo arbustos estacionales y (c) sitios bajo arbustos perennes. Durante un año se registró la supervivencia y el crecimiento aéreo de estas plantas en las épocas de secas de invierno (octubre 2015-enero, 2016, secas cálidas (febrero-mayo, 2016), y lluvias (junio-septiembre, 2016). Se consideraron la altura, el diámetro a la base, la cobertura y el número de hojas. El AH y la extracción del mucílago disminuyeron la germinación final de *Salvia mexicana*, mientras que el grupo CMSA presentó el mayor porcentaje de germinación (54.8%). En los primeros dos meses de vida de las plantas, la supervivencia fue >95%; la altura y la cobertura fueron mayores en plantas provenientes de semillas a las que se les aplicó algún tratamiento previo a la germinación (CMCA, SMSA y SMCA), mientras que el diámetro a la base no mostró

diferencias significativas entre tratamientos. En campo, la supervivencia de las plantas provenientes de semillas a las que se les extrajo el mucílago fue significativamente mayor; el borde de vegetación fue el sitio con menor supervivencia sin importar el tratamiento, mientras que en los arbustos perennes se obtuvo la mayor supervivencia. La ausencia del mucílago tuvo efecto positivo en la probabilidad de supervivencia durante nueve meses. La aplicación del AH influyó de manera positiva en la probabilidad de supervivencia sólo en el mes de abril. Se observaron diferencias en el crecimiento aéreo entre los tratamientos y los distintos micrositios de plantación, en general las plantas provenientes de semillas a las que se les extrajo el mucílago presentaron mayor crecimiento hasta la temporada de secas de invierno del 2016. En cuanto a las variables ambientales, en abril se alcanzaron las mayores temperaturas (20°C) y una mayor densidad de flujo fotónico (1307.7); el mes con mayor porcentaje de humedad relativa fue marzo (54%). Las condiciones bajo los arbustos estacionales fueron marcadamente diferentes a las presentadas en los otros dos micrositios de plantación. Se observó un mejor desempeño de las plantas como consecuencia de los avances metabólicos debidos a los tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas, en los que el AH y el mucílago juegan papeles relevantes. En el contexto de la restauración ecológica, la producción de plantas con estos avances metabólicos, que aumentan la resistencia y el crecimiento en condiciones estresantes, puede considerarse una herramienta que contribuye a la recuperación de la cubierta vegetal. La influencia de los micrositios en el crecimiento y supervivencia de las plantas también es un factor de importancia a considerar en los proyectos de restauración ecológica ya que la utilización de vegetación preexistente puede generar microambientes favorables para la reintroducción de especies clave en sitios perturbados.

Palabras clave

Acondicionamiento hídrico en las semillas, Mucílago, Restauración Ecológica, Bordes de avanzada, Microambientes.

ABSTRACT

We evaluated the effect on the germinative response of *Salvia mexicana* of water conditioning (AH for its initials in Spanish) and the presence or absence of mucilage, and if whether the effect of hydric conditioning on germination persists in the survival and growth of the seedlings. Seeds were collected in October 2015 in Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), and we applied four treatments: seeds with mucilage and without AH (CMSA), seeds with mucilage and AH (CMCA), seeds without mucilage without AH (SMSA), and seeds without mucilage and with AH (SMCA). For germination, we used 15 replicas, with 50 seeds each, for each treatment. Germination was recorded during 30 days. The seedlings were transplanted to plastic containers with black soil and 1:1v:v agrolite and were kept during two months in a vegetation fragment close to the Institute of Ecology, at UNAM; survival and growth were recorded every 15 days. We transplanted 432 plants to three different microenvironments in a vegetation fragment of the PECM: (a) edge of vegetation, (b) sites under seasonal shrubs and (c) sites under perennial shrubs. During one year the survival and aerial growth of these plants was registered in three clearly differentiated periods: winter drought (October 2015 to January 2016), warm drought (February-May, 2016), and rainy season (June-September, 2016). Height, basal diameter, plant cover and the number of leaves were registered. Final germination decreased with AH and with the removal of mucilage, while the CMSA group had the higher germination percentage (54.8%). In the first two months, seedling survival was > 95%. Height and plant cover were higher in plants from seeds that had undergone pre-germination treatments (CMCA, SMSA and SMCA), while there were no differences in basal diameter between the treatments. In the field, plants from seeds without mucilage survived significantly more. Survival was lower in the edge of vegetation, regardless of

the pre-germination treatment, and higher under perennial shrubs. The absence of mucilage had a positive effect on the survival probability during nine months. The application of AH positively influenced the survival probability only in April. Significant differences in growth were observed between treatments and microsites; plants produced by seeds with mucilage removal grew more until the dry winter season of 2016. Regarding environmental variables, the highest temperature (20 ° C) and the highest photon flux density (1307.7) were reached in April, while March showed the highest percentage of relative humidity (54%). Conditions under the seasonal shrubs were markedly different from those in the other two plantation microsites. We observed a better performance of the plants as a consequence of the metabolic advances due to the pre-germinative treatments applied to the seeds, in which AH and mucilage play relevant roles. In the context of ecological restoration, these metabolic advances, which increase resistance and growth under stressful conditions, can represent a useful tool for recovering plant cover. The influence of microsites on plant growth and survival is also an important factor to consider in ecological restoration projects, and the use of pre-existing vegetation can create favorable conditions for the reintroduction of important species in disturbed sites.

Keywords

Seed water conditioning, Mucilage, Ecological Restoration, Advanced borders, Microenvironments.

1. Introducción y antecedentes.

El Pedregal de San Ángel es el nombre más común que se le da al derrame de lava del volcán Xitle, ubicado al sur de la Ciudad de México. A mediados del siglo XX, este ecosistema comenzó a sufrir graves alteraciones debido a la urbanización, perdiendo aproximadamente el 70% de su extensión (Lot y Camarena, 2009). El Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), ubicado en la parte media de la sierra del Ajusco, dentro de la delegación Tlalpan, es una de las cinco zonas que se lograron conservar (Bonfil *et al.*, 1997). A pesar de ser un área de conservación (Cano-Santana *et al.*, 2006), el parque contiene áreas de pedregal en distintos grados de perturbación ocasionados por asentamientos urbanos irregulares (Mendoza-Hernández *et al.*, 2013). Por ello, el PECM es un área prioritaria para la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y los servicios ambientales en la CDMX (Cano-Santana *et al.*, 2006). Se han realizado numerosos proyectos de investigación científica, dedicados al conocimiento y descripción del ecosistema, en particular, su conservación y la restauración ecológica (Mendoza-Hernández *et al.*, 2016).

La restauración ecológica es una actividad que busca iniciar o acelerar la recuperación de un ecosistema en cuanto a su sanidad, integridad y sustentabilidad (SER, 2004). Particularmente los ecosistemas que necesitan de esta intervención son los que han sido dañados, transformados o completamente destruidos como consecuencia de las actividades humanas (Allison, 2004). Lograr en lo posible, la reconexión de los fragmentos remanentes de un ecosistema perturbado es una medida de restauración ecológica que contribuye al mantenimiento de procesos ecológicos básicos; entre ellos la conservación de la biodiversidad. Las actividades de restauración ecológica se han aplicado en distintos niveles de organización biológica; ya sea desde el individuo, por ejemplo, al manipular las

semillas durante la germinación y el establecimiento, o hasta el ecosistema en su conjunto (Hobbs y Harris, 2001). En este contexto, los bordes de vegetación que con frecuencia se ubican entre una zona conservada y una perturbada, son sitios de gran interés para las prácticas de recuperación de la vegetación (Peña-Becerril *et al.*, 2005). Los bordes de vegetación presentan condiciones bióticas y abióticas que favorecen la reintroducción y establecimiento de individuos de especies estructuralmente relevantes (Fox *et al.*, 1997). Al reintroducir individuos que enriquecen el borde de vegetación provocamos que este avance y cubra la matriz perturbada. Con base en lo señalado por Mendoza-Hernández *et al.*, (2014), en el presente trabajo se reconoce a esta técnica de plantación experimental como “borde de avanzada”

La semilla es la unidad reproductiva de las espermatofitas, constituye el inicio del ciclo de vida de las plantas. Es una estructura que se forma como resultado de la fertilización entre un grano de polen y un óvulo (Bradford, 1995). En general la semilla tiene una gran resistencia ante condiciones adversas y es capaz de permanecer viable durante largos periodos, hasta que el medio presente las condiciones adecuadas que favorezcan el establecimiento de una nueva planta, a través de la germinación (Bradford, 1995). La germinación es el reinicio de la actividad metabólica, comienza con la absorción de agua y concluye con la emergencia de la radícula (Bewley, 1997). La germinación depende de factores internos como: la madurez del embrión, las reservas nutritivas y la impermeabilidad de la testa; a demás de factores externos como: las condiciones de luz, agua, temperatura y el intercambio de gases (Bradford, 1995). Durante la germinación pueden distinguirse tres etapas (Fig. 1). La primera es la absorción de agua por imbibición, en esta fase la semilla se hincha, incrementa su volumen y peso, y se reinicia su metabolismo. En la segunda, ocurre la degradación o reemplazo de componentes dañados como mitocondrias o DNA, también se inicia la duplicación del DNA y la

movilización de sustancias de reserva. En la tercera etapa, se presenta el crecimiento del embrión y la emergencia de la radícula; con esto se marca el fin de la germinación y el inicio del crecimiento de la plántula (Bradford, 1995).

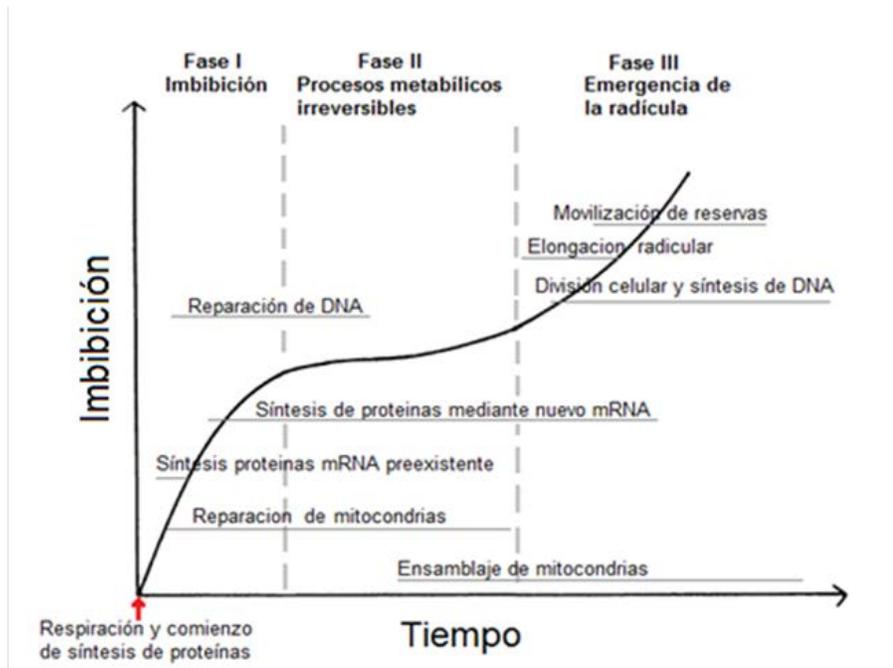


Figura 1. Fases de la germinación. Modificado de Bewley, 1997.

El establecimiento de una plántula es la etapa más vulnerable del ciclo de vida de las plantas (Lascano *et al.*, 1991). La plántula recién emergida tiene un sistema radicular muy poco desarrollado al igual que sus tejidos fotosintéticos, por ello, son muy susceptibles a la baja disponibilidad de recursos y a factores extremos del medio, que afectan su establecimiento y el crecimiento (Kitajima y Myers, 2008). Los estudios ecofisiológicos de las plántulas contribuyen a analizar las respuestas y adaptaciones de las plantas ante presiones ambientales, por ejemplo: concentraciones de dióxido de carbono, niveles de nutrientes minerales del suelo, variaciones de luz, temperatura o disponibilidad de agua; todo ello, tiene una gran relevancia ecológica y práctica (Orozco y Sánchez 2009). Evaluar el desempeño inicial (por ejemplo; supervivencia y crecimiento

durante los primeros dos meses de vida), aporta información sobre el nivel de tolerancia y/o plasticidad funcional durante esta etapa. En términos prácticos, el conocimiento adquirido sobre la diversidad funcional de la semilla y/o de la plántula, en respuesta a factores del medio, permite la manipulación de estas fases iniciales.

Por ejemplo, el acondicionamiento hídrico tiene la finalidad de aumentar los intervalos de tolerancia en las semillas y así mejorar su establecimiento y desempeño en condiciones de estrés (Orozco y Sánchez 2009).

Los tratamientos de acondicionamiento de semillas son un ejemplo de técnicas utilizadas para el mejoramiento en la calidad de estas. En especial los tratamientos de hidratación-deshidratación son los más utilizados, éstos han demostrado ser eficientes para revigorizar semillas envejecidas, incrementar, acelerar y sincronizar la germinación, estimular la auto reparación enzimática de las membranas celulares, eliminar la latencia en las semillas; así como expresar fenotípicamente la aclimatación de las plantas a condiciones de estrés ambiental, aumentando el desempeño de ellas, tanto en condiciones ecológicas óptimas como adversas (Heydecker *et al.*,1975). El acondicionamiento hídrico de semillas (AH) consiste en agregar cantidades limitadas de agua a las semillas o exponerlas a medios húmedos, por periodos variables de tiempo. La hidratación controlada permite generar un estrés hídrico que es percibido por la semilla y contribuye a activar mecanismos fisiológicos de resistencia a dicho estrés. Esta resistencia puede reflejarse o no, en un aumento del crecimiento y la supervivencia de las plantas (Busso, 2013). Producir plantas con una mayor tolerancia al estrés hídrico resulta de utilidad para generar estrategias de restauración en comunidades vegetales de ecosistemas marcadamente estacionales como las del pedregal del Xitle. Sin embargo, se ha señalado también que la resistencia evaluada en campo no siempre se presenta en otros estadios del ciclo de vida de las plantas (Sánchez y Muñoz, 2001).

Tradicionalmente, la recuperación de la cubierta vegetal se ha orientado en mayor medida a introducir especies del estrato arbóreo, usando especies de estadios sucesionales tanto tempranos como tardíos (Vázquez-Yañes y Batis 1996). El uso de elementos arbustivos es menos común o en ocasiones suele favorecerse su uso más como especies protectoras o mejoradoras de condiciones microambientales (Gómez-Aparicio *et al.* 2004). Especies arbustivas con tolerancia a condiciones de estrés ambiental, que además aporten recursos como abundantes flores y/o néctar pueden ser especies clave a utilizar en los bordes de avanzada.

En el PECM, varias especies arbustivas, estructuralmente relevantes para la comunidad biológica, se encuentran en los bordes de vegetación entre sitios con bajos y medios niveles de disturbio antrópico y en las áreas de transición entre el bosque de encino y el matorral xerófilo, por ejemplo, *Ageratina* spp., *Salvia* spp. y *Sedum oxypetalum* (Martínez, 1996). Particularmente, *Salvia mexicana* L. es un arbusto tolerante al disturbio antrópico, ya que algunos individuos pueden encontrarse en lugares abiertos o que fueron perturbados. La especie está adaptada a ocupar sitios con alta irradiación, altas temperaturas y cierto estrés hídrico; es por lo que forma parte de las especies arbustivas importantes de la estructura de estos bordes de vegetación localizados en el PECM. Sin embargo, las poblaciones más numerosas de individuos, así como el mejor desempeño de estos, en términos de su crecimiento, supervivencia y reproducción se dan en bordes de vegetación con niveles intermedios de radiación y sobre todo en asociación con el bosque de *Quercus* spp., que se presenta en el PECM (Rosete, 2011). Debido a esta aparente amplitud de tolerancia al estrés ambiental *S. mexicana* es un excelente fitómetro para evaluar su crecimiento y supervivencia (Mendoza-Hernández *et al.* 2014) en diferentes situaciones ambientales. De acuerdo con lo anterior, es viable evaluar en estas plantas su posible resistencia al estrés si consideramos diferentes tratamientos pregerminativos, es decir, al aplicar o no AH a semillas que les dieron origen.

El AH se ha usado en algunas especies nativas del Valle de México (González-Zetuche *et al.*, 2002). Es importante profundizar en el conocimiento sobre el efecto práctico de este mecanismo en otras especies vegetales por ejemplo *S. mexicana*, debido a su relevante papel ecológico como proveedor de recursos florales, asociada a bordes de vegetación sucesional. Pero, además, por la peculiaridad de las semillas de *S. mexicana* al tener un mucílago que podría participar en el proceso de hidratación/deshidratación. El mucílago es una capa de células epidérmicas que se encuentra en la testa de la semilla, está compuesto principalmente por pectina que, por su carácter hidrofílico, al ponerse en contacto con el agua forma una cápsula transparente que rodea la semilla (Hernández, 2012). Se ha reportado la presencia del mucilago en semillas de especies de 110 familias de angiospermas (Yang *et al.* 2012a), es común en familias como Asteraceae, Brassicaceae, Cistaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae y Polemoniaceae que generalmente habitan en ecosistemas marcadamente estacionales (Western, 2012). El papel funcional del mucilago parece ser muy diferente en relación con la especie y a las condiciones del medio en el que se establece (Gorai *et al.*, 2014). Por ejemplo, el mucílago juega un papel importante durante la dispersión y germinación de las semillas (Yang *et al.*, 2011). Interviene en procesos osmóticos, sobre todo, en ambientes salinos y desérticos. Retiene humedad, durante la germinación y el crecimiento temprano de las plántulas (Yang *et al.* 2010), e incrementa la disponibilidad de humedad prolongando la disponibilidad de agua mediante el aumento de área de contacto de la semilla con el suelo. La capacidad de retención de agua del mucílago contribuye a iniciar o facilitar la germinación de las semillas (Yang *et al.*, 2011).

El mucilago también puede actuar como una barrera física que regula la difusión de agua y oxígeno al interior de la semilla, esto puede inhibir la germinación cuando las semillas se encuentran bajo condiciones desfavorables (Gutterman y Shem-Tov 1997; Witztum *et al.* 1969). El mucilago puede ser biodegradado a CO₂ o a pequeñas moléculas

como azúcares a través de la interacción con comunidades microbianas (Yang *et al.* 2012b). Los polisacáridos producto de la biodegradación son absorbidos por las raíces y transportados a los brotes de las plántulas, lo cual proporciona una evidencia directa de que contribuye en el crecimiento temprano de las mismas (Engelbrecht, 2014).

El potencial hidrofílico del mucílago es marcadamente dinámico, es decir, presenta procesos de hidratación y deshidratación diurnos y estacionales; por ejemplo, durante las noches húmedas se hidrata y se vuelve a secar en las mañanas cuando la radiación es elevada. Esta hidratación y deshidratación no es suficiente para iniciar la germinación, pero sí para que las semillas reactiven procesos como la reparación del DNA, proteínas, membranas y mitocondrias (Huang *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2011). Para este trabajo, resulta particularmente relevante el parecido funcional del potencial hidrofílico del mucílago de las semillas de *S. mexicana* con el AH; por los aspectos teóricos y prácticos involucrados. Esta semejanza funcional ha sido propuesta y estudiada ya por varios autores (Gutterman y Shem-Tov, 1997; Huang *et al.*, 2008; Western, 2012; Yang *et al.*, 2011 y Zhang *et al.*, 2014).

Con base en lo mencionado, la justificación y contribución de este trabajo, se enmarca en explorar la respuesta germinativa de las semillas de *Salvia mexicana*; un arbusto estructuralmente importante de los distintos fragmentos de vegetación del PECM. Además, de evaluar el papel del mucílago, junto con la interacción de la manipulación de la hidratación y deshidratación (AH). Con esta manipulación se busca explorar la respuesta funcional de las primeras etapas de vida de las plántulas de *S. mexicana*, ante los distintos tratamientos pregerminativos, con la finalidad de evaluar la tolerancia al estrés ambiental que se presenta en áreas perturbadas, y contribuir a las estrategias de restauración ecológica de la vegetación del PECM.

2. Objetivos.

2.1. Objetivo general.

Evaluar si el acondicionamiento hídrico es una técnica funcional, de utilidad para la restauración ecológica, con la cual sea posible incrementar la producción de plantas en un menor tiempo y con alta tolerancia; de tal forma que se obtengan plantas más resistentes al estrés hídrico, condición que comúnmente se presenta en los sitios perturbados, que requieren de restauración para su recuperación.

2.2. Objetivos particulares.

2.2.1. Evaluar la influencia del AH y el mucílago en la respuesta germinativa de las semillas de *S. mexicana*.

2.2.2. Evaluar el desempeño (supervivencia y crecimiento) de los primeros dos meses de vida de las plántulas de *Salvia mexicana* provenientes de diferentes tratamientos pregerminativos en un parche de vegetación anexo al Instituto de Ecología.

2.2.3. Evaluar el desempeño (supervivencia y crecimiento) durante el primer año de vida de las plantas de *Salvia mexicana* provenientes de diferentes tratamientos pregerminativos dentro de parches de vegetación del PECM.

2.2.4. Relacionar algunas condiciones microambientales del sitio perturbado con las variables de desempeño de las plantas de *Salvia mexicana*.

3. Hipótesis.

La aplicación del AH influye en la capacidad germinativa de las semillas de *S. mexicana*.

La presencia del mucílago en las semillas de *S. mexicana* permite una hidratación controlada que favorece que la semilla experimente acondicionamiento hídrico.

Las plantas provenientes de semillas que hayan recibido AH y/o mantenido el mucílago serán más resistentes al estrés hídrico, y tendrán una mayor supervivencia y crecimiento aéreo en contraste con las plantas provenientes de semillas que no recibieron acondicionamiento y/o les fue retirado el mucílago.

Se espera una respuesta diferencial del desempeño (crecimiento y supervivencia) de *Salvia mexicana* en relación con el tratamiento pregerminativo, las condiciones microambientales del sitio perturbado y la estacionalidad.

4. Materiales y métodos.

4.1. Zona de estudio: Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM).

El Pedregal de San Ángel o Pedregal del Xitle, se encuentra en la región septentrional del campo volcánico Sierra del Chichinautzin, el cual pertenece a la Faja Volcánica Transmexicana. Originalmente dicha región tenía una extensión de 80 km². Actualmente, se encuentran cinco zonas protegidas: Parque Ecoguardas, Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), Parque Urbano Bosque de Tlalpan, la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria y el Parque Ecoarqueológico Cuicuilco. Juntas suman 2949.18 ha y representan menos del 10% del área original (Cano-Santana *et al.*, 2006).

El PECM está decretado como un área sujeta a conservación (CDMX, 2016), que abarca 727.61 ha, está ubicado en el sur-oeste de la CDMX, entre los paralelos 19°10'00" y 19°14'30" de latitud, 99°16'40" y 99°13'40" de longitud. Se localiza en el kilómetro 5.5 de la carretera Picacho-Ajusco (Fig.2).

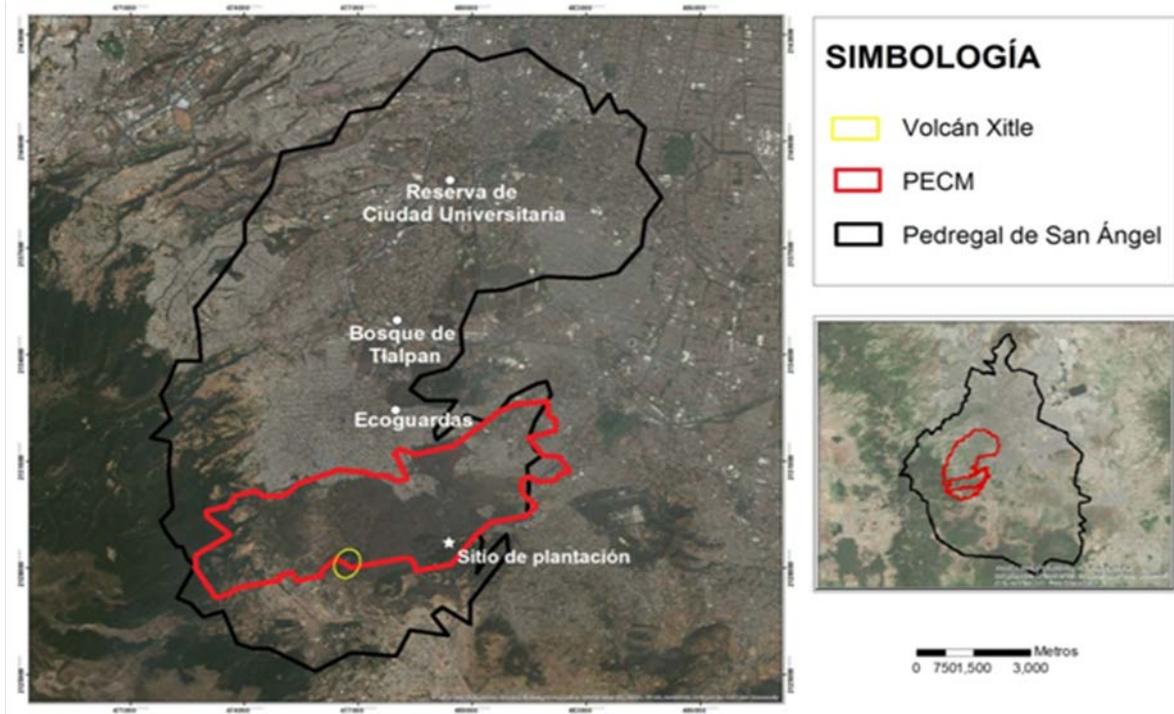


Figura 2. Ubicación del Parque Ecológico de la Ciudad de México, en el Pedregal de San Ángel. Elaboración propia.

El clima de esta región es templado subhúmedo, con una temperatura promedio de 15°C. y una precipitación media anual se aproxima a los 1000 mm. La estacionalidad es marcada en el parque al presentarse una temporada de lluvias de mayo a octubre. Su altitud oscila entre los 2500-2800 m s. n. m. (Rosete, 2011).

El terreno del PECM está conformado principalmente por roca basáltica poco desarrollada, la topografía es heterogénea. El suelo de la zona es de origen eólico y orgánico, joven y poco profundo (4.5 ± 0.27 cm) que se acumula en grietas y depresiones (Cano-Santana y Meave, 1996). El tipo de vegetación dominante del PECM es el matorral xerófilo, que también se mezcla con bosque de encino. Las especies predominantes en el bosque denso pertenecen al género *Quercus*, en las zonas de transición del bosque y el matorral se encuentran especies como *Buddleia cordata*, *Arbustus jalapensis* y *S. mexicana*; y por último en el matorral xerófilo predominan *Sedum oxypetalum*, *Senecio praecox*, *Dodonaea viscosa* y en menor abundancia *S. mexicana* (Rosete, 2011).

4.2. Especie de estudio: *Salvia mexicana* L.

Salvia mexicana es una dicotiledónea de la familia Lamiaceae. Se trata de una planta herbácea perenne o arbustiva que mide de 50 cm a 3 m de altura (Fig. 3), de tallo pubescente y hojas opuestas de forma ovalada que miden entre 6 y 8 cm de largo y de 2.5 a 12 cm de ancho (Rzedowski y Rzedowski, 1985). Sus flores están dispuestas en verticilos formando espigas y el número de flores en estas inflorescencias racemosas es muy variado. Presentan brácteas ovadas de 0.6 a 1.2 cm de largo y de 3 a 5 mm de ancho. El cáliz de 0.8 a 1.7 cm de largo, de 3 a 8 mm de ancho, pubescente a lo largo de las nervaduras. La corola es morada de 2.4 a 4.3 cm de largo y 5 mm de ancho, pilosa en general. Las flores son monoicas y tienen dos estambres y un ovario con cuatro carpelos que generaran solo una semilla cada uno. Tiene un nectario en la parte basal de la corola cerca del ovario (Rzedowski y Rzedowski, 1985).



Figura 3. Individuo adulto de *Salvia mexicana*.

Su fruto es un esquizocarpo, seco, indehisciente y de color pardo, está dividido en cuatro clusas libres. Las semillas de *Salvia mexicana* son obovadas, comprimidas, lustrosas y tienen una coloración café con manchas (Fig.4a), miden desde 0.79 a 1.44 mm de ancho y 1.54 a 2.18 mm de largo (Castillo-Argüero *et al.*, 2007). En la testa se encuentran células mucilaginosas, cuando las semillas se ponen en contacto con el agua, las fibras de mucílago se hinchan y rodean a la semilla (Fig.4b, 4c) (Hernández, 2012).

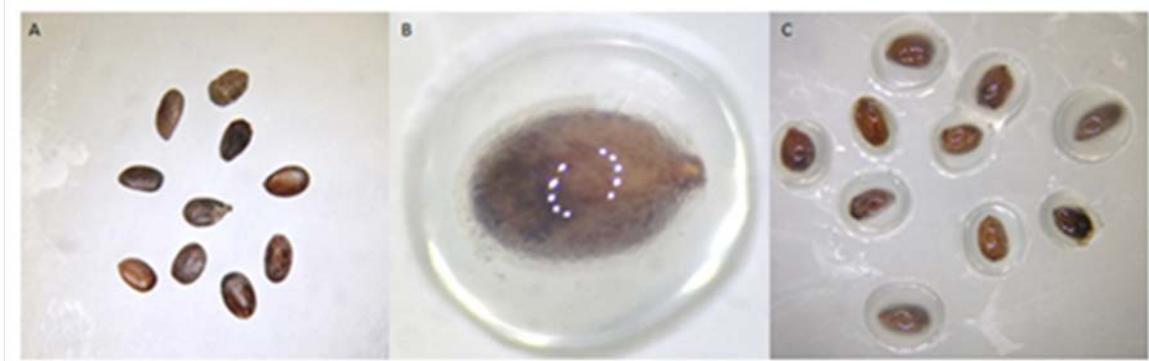


Figura 4. Semillas de *Salvia mexicana* A) Morfología y color de las semillas. B y C) Estructura del mucílago formado por la hidratación de las semillas.

La semilla de *S. mexicana* es ortodoxa, su dispersión es barócora, es decir, las semillas caen al suelo cerca o por debajo de la planta madre. Dichas estructuras presentan latencia innata, debida probablemente a la inmadurez del embrión, también pueden presentar latencia secundaria (Reyes y Orozco, 1997). Debido a lo anterior, las semillas recién colectadas pueden presentar bajos a intermedios porcentajes de germinación, por ejemplo, González (1999) realizó un estudio de germinación de *S. mexicana* bajo diferentes condiciones de sustrato, profundidad y humedad, y reportó valores entre 29 - 52%.

S. mexicana crecen en diversos tipos de vegetación, aunque se observa con mayor frecuencia en los bosques templados entre los 1500-2500 m s. n. m. Frecuentemente se asocia con géneros como *Quercus*, *Pinus* y *Abies* en bosques templados. Su distribución abarca desde Sinaloa y Chihuahua hasta Veracruz y Oaxaca, en el Valle de México crece en los bosques húmedos de *Quercus* y *Pinus* (Rzedowski, y Rzedowski, 1985).

4.3. Recolección de semillas.

Durante el mes de octubre del 2014 se recolectaron semillas de *S. mexicana* de diez individuos adultos, sanos y con abundantes inflorescencias en el PECM. Para cada individuo se contó el número de inflorescencias y se recolectó el 25% de ellas. Colocándolas en bolsas de papel estraza. En el laboratorio se separaron las semillas, para ello se trituraron las flores a secas con las manos para facilitar el desprendimiento de la semilla y con la ayuda de diferentes tipos de tamiz se recolectaron las semillas limpias. Las semillas fueron empaquetadas en grupos de 50 y se almacenaron en una bolsa de papel estraza en un lugar fresco, seco y sombreado dentro del laboratorio de la Facultad de Ciencias, UNAM.

4.4. Tratamientos pregerminativos.

Para contestar los objetivos particulares planteados, para los experimentos de germinación, se realizó el siguiente diseño factorial: 2 tratamientos de acondicionamiento (sin acondicionamiento y con AH) \times 2 niveles de mucílago (presencia o ausencia) \times 13 réplicas \times 50 semillas. Las semillas con mucílago y sin AH (CMSA) se consideraron el grupo control, las otras combinaciones fueron las semillas con mucílago y con AH (CMCA), las semillas sin mucílago y sin AH (SMSA), y las semillas sin mucílago y con AH (SMCA) (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos aplicados a las semillas de *Salvia mexicana*.

	Con mucílago	Sin mucílago
Sin AH	Grupo control Tratamiento CMSA	Tratamiento SMSA
Con AH	Tratamiento CMCA	Tratamiento SMCA

Se eligió un alto número de replicas para reducir la varianza reportada por González-Mateos, (1999) pero, además, para obtener la mayor cantidad de plantas posibles para la fase de establecimiento.

4.5. Extracción del mucílago.

Para extraer el mucílago las semillas fueron previamente hidratadas durante 10-15 min para que el mucílago se formara en su totalidad. De acuerdo con Gorai *et al.*, 2014; Huang *et al.*, 2008 y Yang *et al.*, (2012a), las semillas fueron colocadas en un tamiz de malla delgada y con ayuda de un trozo de tela magitel se frotaron sobre la malla hasta remover por completo el mucílago. Con el método de frotamiento de semillas hidratadas se logró eliminar más del 90% del mucílago sin provocar daño visible a las semillas.

Hidratar las semillas durante pocos minutos permite la formación del mucílago, en este periodo de tiempo tan corto, son las células de la capa mucilaginosa las que absorben agua. De acuerdo con la curva de imbibición, las semillas de *S. mexicana* tardan en hidratarse 12 horas, por lo que este periodo de hidratación no se considera significativo para el proceso de germinación y no se le puede comparar con el acondicionamiento hídrico que se aplicó.

4.6. Aplicación del AH a las semillas de *S. mexicana*.

Previamente a la aplicación del AH, se realizó una curva de imbibición para conocer el tiempo que tardaron en hidratarse las semillas. De acuerdo con esta, el tiempo fue de 24 horas, el mismo periodo se usó para la deshidratación. Las semillas que fueron previamente tratadas con la extracción del mucílago, inmediatamente después del tratamiento fueron embebidas en agua con la finalidad de evitar un efecto de la previa hidratación a la que se habían sometido.

4.7. Germinación de semillas.

Las semillas fueron colocadas en cajas de Petri de 5 cm de diámetro, con un sustrato de arena sílica 20/30. Las cajas fueron colocadas en una cámara de germinación Lab-line Instrument, INC. (Merlose Park, Illinois) a temperatura constante de 25°C. Se revisaron escalonadamente dos tratamientos por día para contar el número de semillas germinadas y obtener el porcentaje de germinación acumulada por tratamiento y réplica. Se aplicó un riego de cinco mililitros por caja de Petri cada que se revisaban las cajas. Se consideró que una semilla había germinado cuando aparecía la radícula.

4.8. Trasplante de las plántulas de *S. mexicana* al fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología, UNAM.

Las plántulas fueron sacadas con tres a cinco días de edad, cuando sus cotiledones estaban bien desarrollados; temporalmente se trasladaron a charolas con suelo negro y agrolita 1:1 v:v. Siete días después, fueron definitivamente trasplantadas a contenedores tubulares de 3 cm de diámetro y 15 cm de profundidad, usando el

mismo sustrato señalado. Los contenedores se mantuvieron por un periodo de dos meses en el fragmento de pedregal anexo al Instituto de Ecología.

El fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología es un remanente de pedregal circundante a la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria, UNAM (REPSA). La REPSA se encuentra a una altitud de 2,270 a 2,349 y presenta condiciones climáticas similares a las del PECM. Este fragmento se utilizó con la finalidad de esperar a que las plántulas de *S. mexicana* crecieran un poco más y tuvieran una primera aclimatación, las plántulas no estaban en condiciones de invernadero, sino en un remanente de pedregal con características semejantes a las del PECM pero con condiciones más amigables y controladas.

Durante este tiempo, cada 15 días se evaluaron variables del crecimiento aéreo como la altura, el diámetro basal del tallo y la cobertura del follaje de la plántula, así como su supervivencia. Las plántulas se regaron cada tercer día durante ese periodo.

4.9. Trasplante de las plántulas de *S. mexicana* al parche de vegetación del PECM.

Después de transcurridos los dos meses en el sitio previo al trasplante en campo, se obtuvieron un total de 356 plántulas del tratamiento CMSA, 237 CMCA, 206 SMSA y 110 de SMCA. El número total de plantas que finalmente se usaron para el trasplante en el PECM fueron 432. Para el trasplante de los individuos se eligieron tres microambientes diferentes: (a) borde de vegetación, (b) sitios bajo arbustos estacionales (*Gnaphalium spp.*, y *Piqueria trinerva*) y (c) sitios bajo arbustos perennes (Especies como *Ageratina sp.* y *Sedum oxypetalum*). Estos dos últimos micrositos se encuentran dentro de la matriz perturbada de un parche de vegetación del PECM. Para cada microambiente elegido se

realizaron seis réplicas con seis individuos de cada tratamiento, teniendo un total de 36 individuos por tratamiento en cada unidad espacial (Fig. 5 y 6).

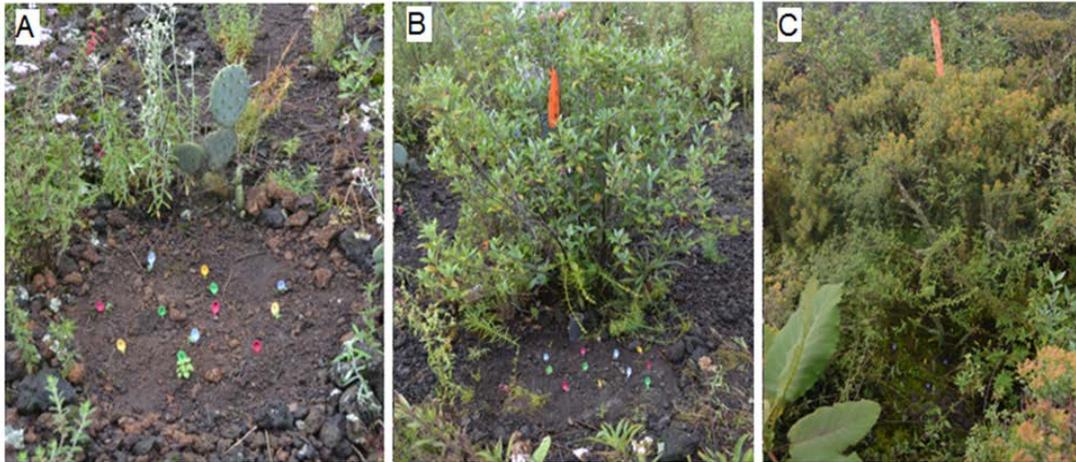


Figura 5. Unidades espaciales de plantación de *Salvia mexicana* en el PECM. A) Arbustos estacionales, B) Arbustos perennes, B) Borde de vegetación.

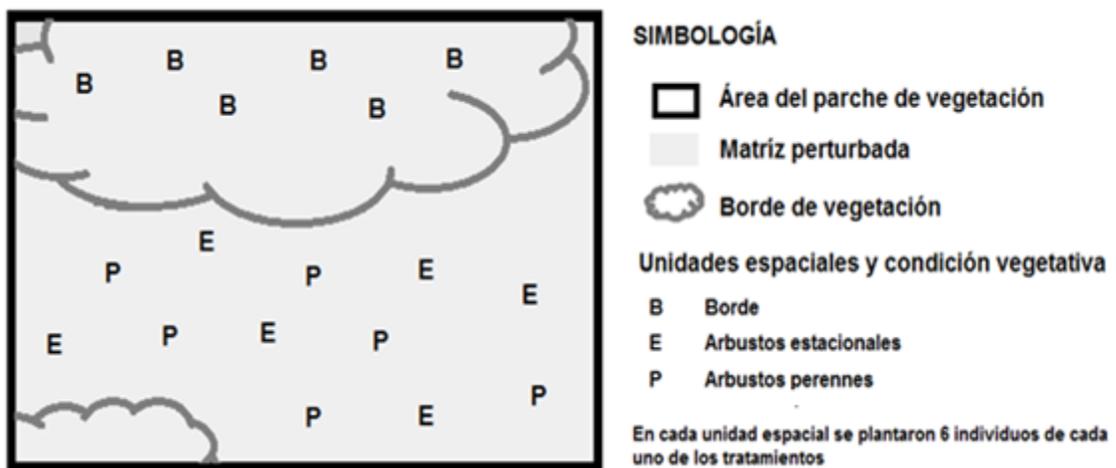


Figura 6. Representación esquemática del diseño experimental de plantación de *Salvia mexicana* en los diferentes micrositios del PECM. Elaboración propia.

Supervivencia y crecimiento aéreo de las plántulas de *S. mexicana* dentro del parche de vegetación del PECM.

Para evaluar la supervivencia y crecimiento de las plántulas de *S. mexicana*, se llevaron a cabo mediciones en tres épocas importantes de la marcada estacionalidad: secas de invierno (octubre-enero, 2016), secas cálidas (febrero-mayo, 2016), y lluvias (junio-septiembre, 2016). No fue posible hacer más mediciones debido a problemas de inseguridad en la zona. Durante las mediciones se evaluó la supervivencia con base en la presencia de individuos totalmente deshidratados y crecimiento aéreo. Se consideraron tres individuos seleccionados al azar de cada tratamiento por replica, teniendo un total de 18 individuos evaluados por tratamiento por cada micrositio. Las variables que se tomaron en cuenta fueron altura, cobertura, diámetro a la base del tallo y número de hojas.

4.10. Evaluación de las condiciones microclimáticas (temperatura, humedad relativa y densidad de flujo fotónico) en los microambientes dentro del parche de vegetación del PECM.

Se registró la temperatura del aire y la humedad relativa mediante HOBOS (U12-013 Onset Computer, Corporation, Pocasset, MA.), programados para registrar las variaciones microclimáticas cada hora. Además, se realizaron marchas diurnas de flujo fotónico con un Cuantómetro (MQ-200, Apogge, UTAH, E.U.A.), en cada cambio de estación, en cada unidad espacial, durante un lapso de las 10 a las 15 horas.

4.11. Análisis estadísticos.

Para el caso de la germinación, los porcentajes de germinación acumulada se transformaron a su arcoseno (Zar, 2010). Estos datos fueron ajustados a una función exponencial sigmoide ($y=a/[1+b(-cx)]$) en el software TableCurve 2D, v3 (AISN Software, Chicago, IL, E.U.A.). Los valores finales se compararon entre tratamientos con un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías, las comparaciones entre grupos se analizaron con la prueba de Tukey utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion (ver. 17.2.02 Statpoint Technologies, Inc. The Plains, Virginia, E.U.A.).

La tasa de germinación y el tiempo de inicio de germinación se compararon entre tratamientos con una prueba de Kruskal-Wallis (Zar, 2010).

El crecimiento de las plántulas en los primeros dos meses de vida en el parche de vegetación anexo al Instituto de Ecología y durante su primer año de vida en el PECM, se evaluó mediante un ANOVA de medidas repetidas, utilizando el paquete estadístico JMP (ver. 10.0 SAS Institute Inc., Cary, NC, E.U.A.), las comparaciones entre grupos se analizaron con la prueba de Tukey.

La supervivencia del primer año de vida de las plantas de acuerdo con el micrositio en el que se plantaron se realizó mediante una regresión logística utilizando el paquete estadístico JMP (ver. 10.0 SAS Institute Inc., Cary, NC, E.U.A.)

Del periodo anual de registro de la temperatura y humedad relativa, sólo se analizó con un ANOVA los meses más secos del año que fueron febrero, marzo y abril del 2016, con la finalidad de reconocer diferencias entre los microambientes. Para el caso de la densidad de flujo fotónico se usaron los datos obtenidos en las marchas diurnas mencionadas anteriormente, y se analizaron con un ANOVA. Ambos análisis se llevaron a cabo con el Software STATISTICA. Ink (ver. 8, TIBCO Software, Inc. California, E.U.A.).

5. Resultados

5.1. Germinación acumulada

La respuesta germinativa de *Salvia mexicana*, a través del tiempo y en cada tratamiento fue distinta. Se observó una diferencia significativa entre el grupo control CMSA, el cual mostró el porcentaje final más alto 54.8%, y el tratamiento SMCA, que tuvo el porcentaje más bajo (23.4%) (Fig. 7).

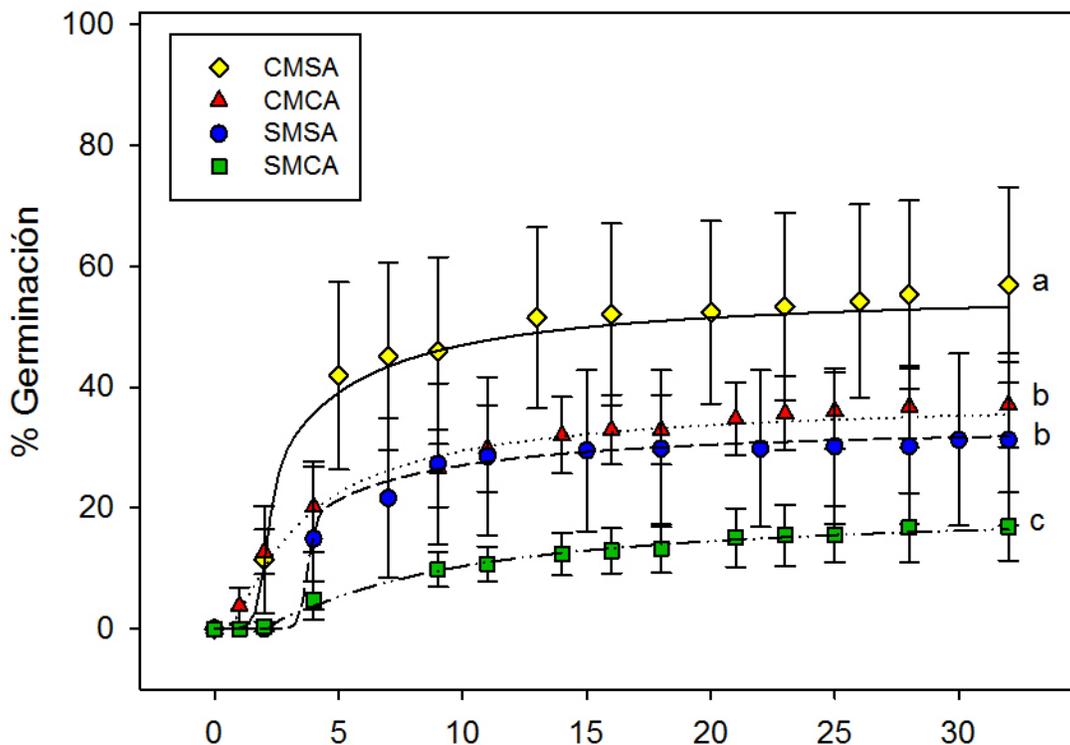


Figura 7. Germinación acumulada de las semillas de *S. mexicana* germinadas con distintos tratamientos de acondicionamiento hídrico y con o sin presencia de mucílago. Se presentan valores promedio \pm d. s. $n = 15$. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos.

Con base en los resultados obtenidos del ANOVA, se observó un efecto significativo tanto del mucílago como del AH en la germinación de semillas (Tabla 2). Sin embargo, la interacción entre ambos factores no fue significativa. Las semillas con mucílago mostraron un mayor porcentaje de germinación total ($42.56\% \pm 1.8$) en comparación con las que se les quitó el mucílago ($28.97\% \pm 1.8$). Las semillas a las que se les aplicó AH mostraron un menor porcentaje de germinación ($30.43\% \pm 1.8$) en contraste con las que no lo recibieron ($41.09\% \pm 1.8$).

Tabla 2. Análisis de varianza para probar el efecto de las variables en el porcentaje de germinación total de las semillas de *Salvia mexicana*.

Fuente de variación	F	gl	$p < 0.05$
AH	28.23	1	0.00001*
Mucílago	17.39	1	0.00001*
Mucílago x AH	0.03	1	0.86

*Diferencias significativas con una $p < 0.05$

5.2. Tasa de germinación y tiempo de inicio de germinación.

No se observaron diferencias significativas entre las tasas de germinación de los cuatro tratamientos ($H = 2.80$, $p = 0.42$), por lo tanto, no hubo efecto del AH ni del mucílago. Para el tiempo de inicio de germinación ($H = 36.32$, $p = 0.00$), el tratamiento CMCA comenzó a germinar en un tiempo significativamente menor (0.52 ± 0.55 días), mientras que los tratamientos a los que se les quitó el mucílago, tardaron hasta 3 ± 0.55 días en germinar (Fig. 8).

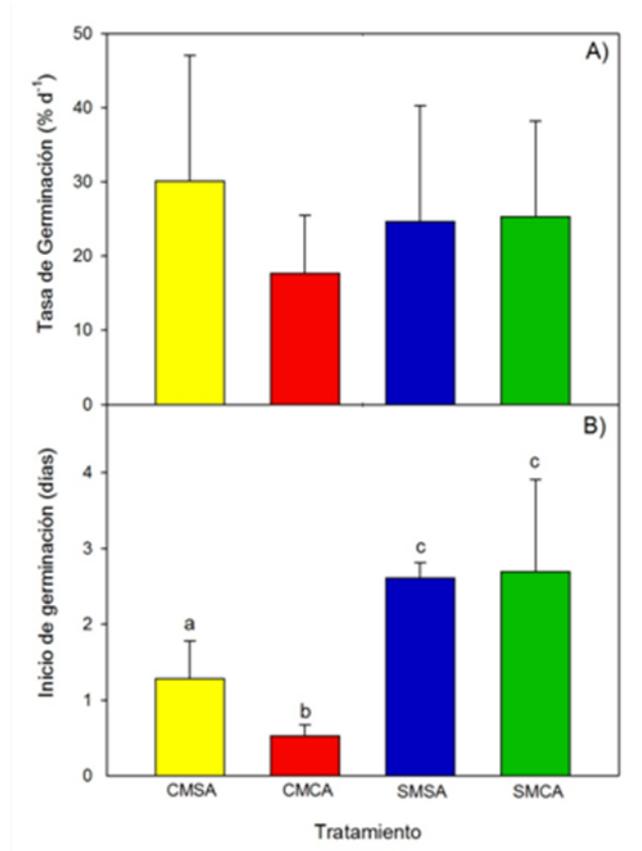


Figura 8. A) Tasa de germinación (promedio, \pm desviación estándar), a partir de la primera derivada a lo largo de la curva exponencial ajustada a la germinación. B) Tiempo de inicio de germinación (promedio, \pm desviación estándar). Las letras minúsculas sobre las barras, indican diferencias significativas entre tratamientos.

5.3. Crecimiento inicial de las plántulas de *S. mexicana* en el fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología, UNAM.

Durante los primeros dos meses de vida, los cuatro tratamientos tuvieron una supervivencia del 95%.

En términos generales las variables de crecimiento de las plántulas de *S. mexicana* trasplantadas al PECM fueron influenciadas significativamente por los tratamientos pregerminativos (Tabla 3). La ausencia del mucílago y la presencia del AH dieron como resultado plántulas más altas, frondosas y con tallos significativamente gruesos. Para el caso de la altura y el área basal, este efecto se mantuvo durante los dos meses de evaluación del crecimiento, a diferencia de la cobertura, donde el efecto solo duró los primeros 30 días (Fig. 9).

Tabla 3. Análisis de Varianza de Medidas Repetidas para el crecimiento aéreo (altura, cobertura y área basal) de las plántulas de *S. mexicana* en sus dos primeros meses de vida en el parche de vegetación anexo al Instituto de Ecología, UNAM.

Variable	Fuente de variación	F	gl	$p < 0.05$
Altura	Total	12.7998	1	<.0001*
	AH	19.3798	3	<.0001*
	mucilago	15.8959	3	0.0001*
	AH *mucilago	3.1892	3	0.0768
	Tiempo	59.6297	3	<.0001*
	Tiempo* AH	0.8023	3	0.4951
	Tiempo*mucilago	3.4795	3	0.0184*
	Tiempo*AH *mucilago	4.9109	3	0.0030*
Cobertura	Total	6.1871	3	<.0001*
	AH	1.8008	1	<.0001*
	Mucilago	16.8862	1	<.0001*
	AH *mucilago	0.1177	1	<.0001*
	Tiempo	23.5508	3	<.0001*
	Tiempo* AH	18.9120	3	<.0001*
	Tiempo*mucilago	11.1912	3	0.0052*
Área basal	Total	105.0535	3	<.0001*
	AH	78.7628	1	<.0001*
	Mucilago	129.9768	1	<.0001*
	AH *mucilago	117.2910	1	<.0001*
	Tiempo	22.0785	3	<.0001*
	Tiempo*AS	12.1596	3	<.0001*
	Tiempo*mucilago	4.4822	3	0.0052*
Tiempo* AH *mucilago	5.5312	3	0.0014*	

*Diferencias significativas con una $p < 0.05$

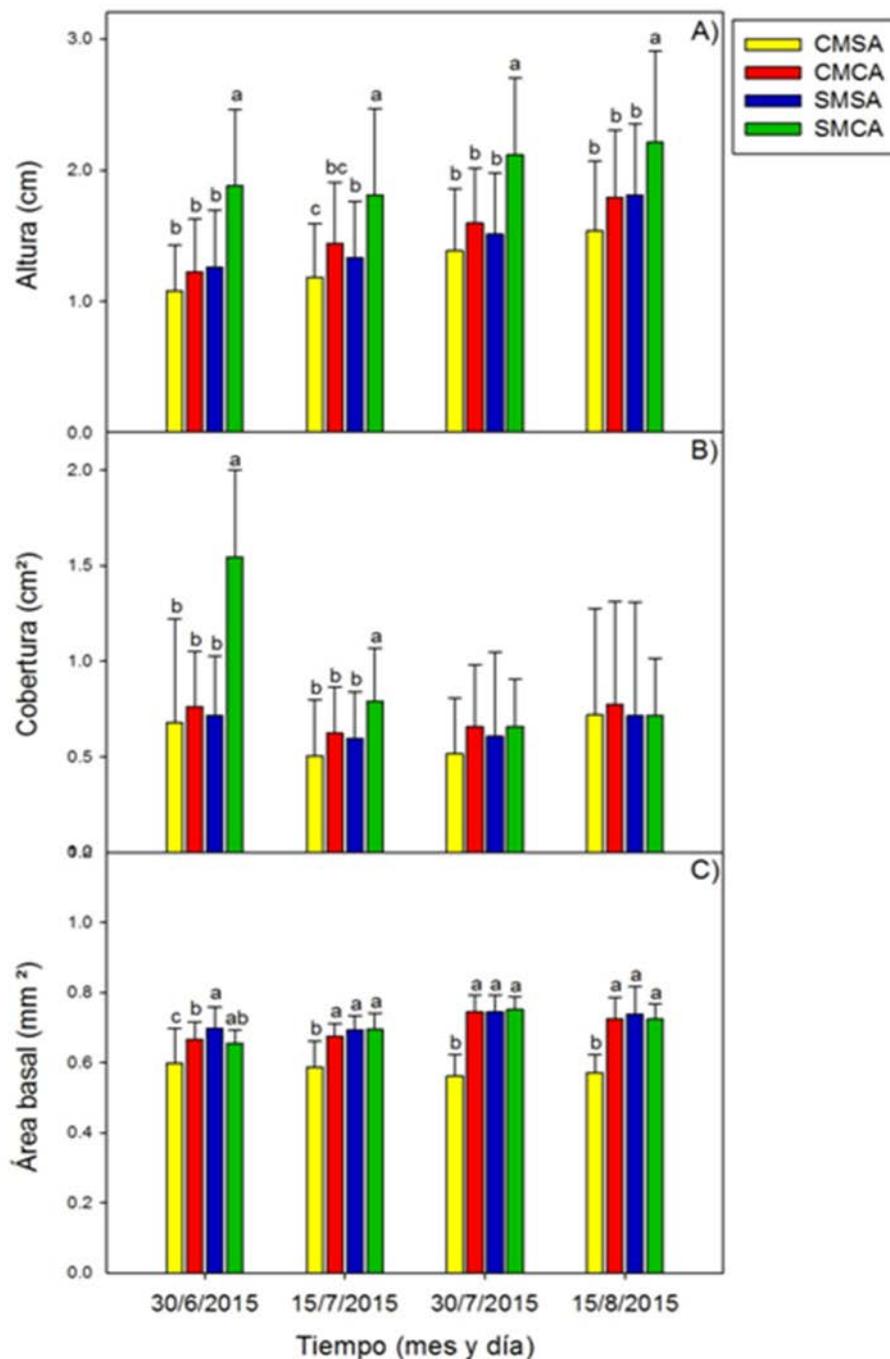


Figura 9. Crecimiento aéreo (A=altura; B= cobertura y C= área basal), de las plántulas de *Salvia mexicana* durante sus dos primeros meses de vida dentro del fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología, UNAM. Las letras minúsculas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos, se muestra el promedio, \pm desviación estándar.

5.4. Ambiente abiótico en campo

5.4.1. Temperatura y humedad relativa del aire.

Las variables ambientales temperatura y humedad relativa del aire fueron significativamente diferentes durante los meses de la temporada seca del año (febrero a abril del 2016). El mes con mayor temperatura fue abril $F=106.8$, $gl=2$, $p=0.00.$, y el micrositio con la mayor temperatura promedio fueron los arbustos estacionales $F=86.805$, $gl=2$, $p=0.00$ (Fig. 10).

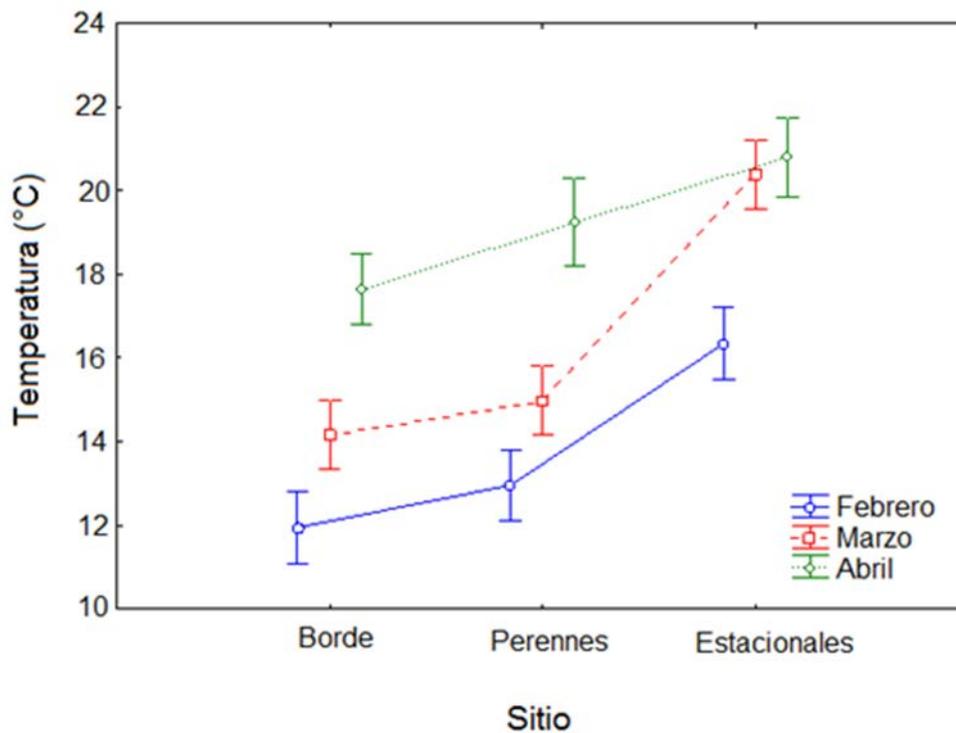


Figura 10. Temperatura del aire (media \pm intervalo de confianza al 0.95) en los diferentes sitios y durante la época seca donde crecieron las plántulas de

El mes con mayores porcentajes de humedad relativa fue marzo ($F= 35.306$, $gl= 2$, $p = 0.00$). Se observó una marcada diferencia entre los arbustos estacionales y los otros microambientes (Fig. 11).

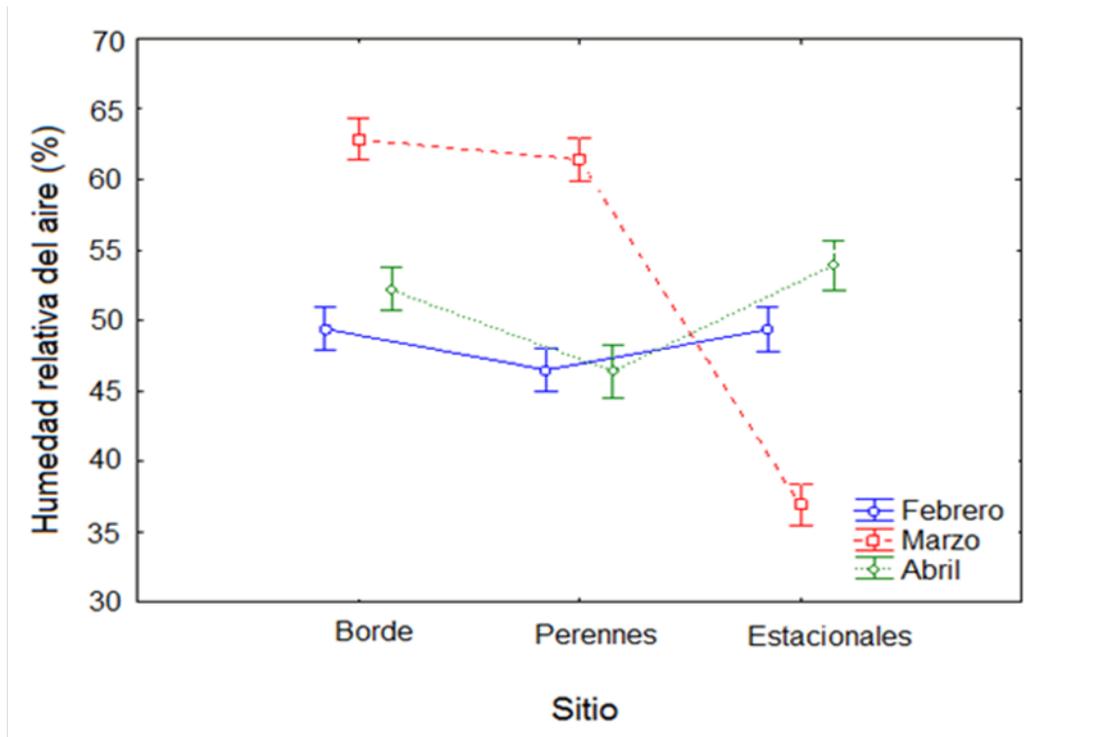


Figura 11. Humedad relativa del aire (media \pm intervalo de confianza al 0.95) en los diferentes sitios y durante la época seca donde crecieron las plántulas de *Salvia mexicana*.

5.4.2. Densidad de flujo fotónico

En cuanto a la densidad de flujo fotónico, hubo diferencias significativas en el tiempo ($F=77.25$, $gl=2$, $p = 0.00$) y entre sitios ($F=19.46$, $gl=2$, $p =0.00$). Abril del 2016 fue el mes donde hubo una mayor densidad de flujo fotónico. Los arbustos estacionales fueron el micrositio marcadamente más expuesto y como consecuencia los que reciben mayor irradiación. Entre los arbustos perennes y el borde de vegetación no hubo diferencias significativas pero los arbustos perennes mostraron tendencia a una mayor insolación que el borde de vegetación (Tabla 5).

Tabla 4 . Densidad de flujo fotónico ($\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en los diferentes micrositos de plantación. Promedio y desviación estándar entre paréntesis.

Mes	Arbustos estacionales	Borde de vegetación	Arbustos perennes
Noviembre	472.22 (343.40)	263.37 (233.91)	362.53 (291.53)
Abril	1584.06 (326.33)	1017.00 (660.80)	1322.23(493.47)
Septiembre	1079.44 (658.68)	386.20 (474.71)	456.08 (421.86)

5.5. Desempeño de las plántulas de *S. mexicana* en el PECM.

5.5.1. Supervivencia.

En general, independientemente de los tratamientos aplicados a las semillas de *S. mexicana* y de los microambientes en que se colocaron, las probabilidades de supervivencia de las plantas, después de un año de permanecer en el PECM fue baja (menor a 0.5). Durante el periodo de plantación que abarcó de septiembre del 2015 hasta septiembre del 2016, las plantas dentro del borde de vegetación tuvieron probabilidad de supervivencia significativamente menor en contraste con las plantas bajo arbustos perennes, las cuales mostraron mayor supervivencia (Fig. 12).

Con base en la regresión logística, se observó que la ausencia del mucílago en las semillas tuvo un efecto positivo en la probabilidad de supervivencia de las plantas de *S. mexicana* plantadas bajo los arbustos estacionales, sin embargo, este efecto solo se mantuvo hasta el mes de abril ($gl=1$, $X^2=4.94$, $p=0.02$) (Fig. 12). La supervivencia de las plantas bajo arbustos perennes, desde el mes de abril hasta septiembre del 2016 se vio influenciada positivamente en las plantas provenientes de semillas sin mucílago ($gl= 1$, $X^2=6.2341$, $p=0.01$), únicamente en el mes de abril, la aplicación del AH influyó positivamente en la supervivencia de estas plantas ($gl= 2$, $X^2=15.02$, $p=0.00$). Para las plantas ubicadas en el borde de vegetación, no hubo ningún efecto del mucílago o AH en la supervivencia ($gl=3$, $X^2= 4.52$, $p= 0.21$) (Fig. 12).

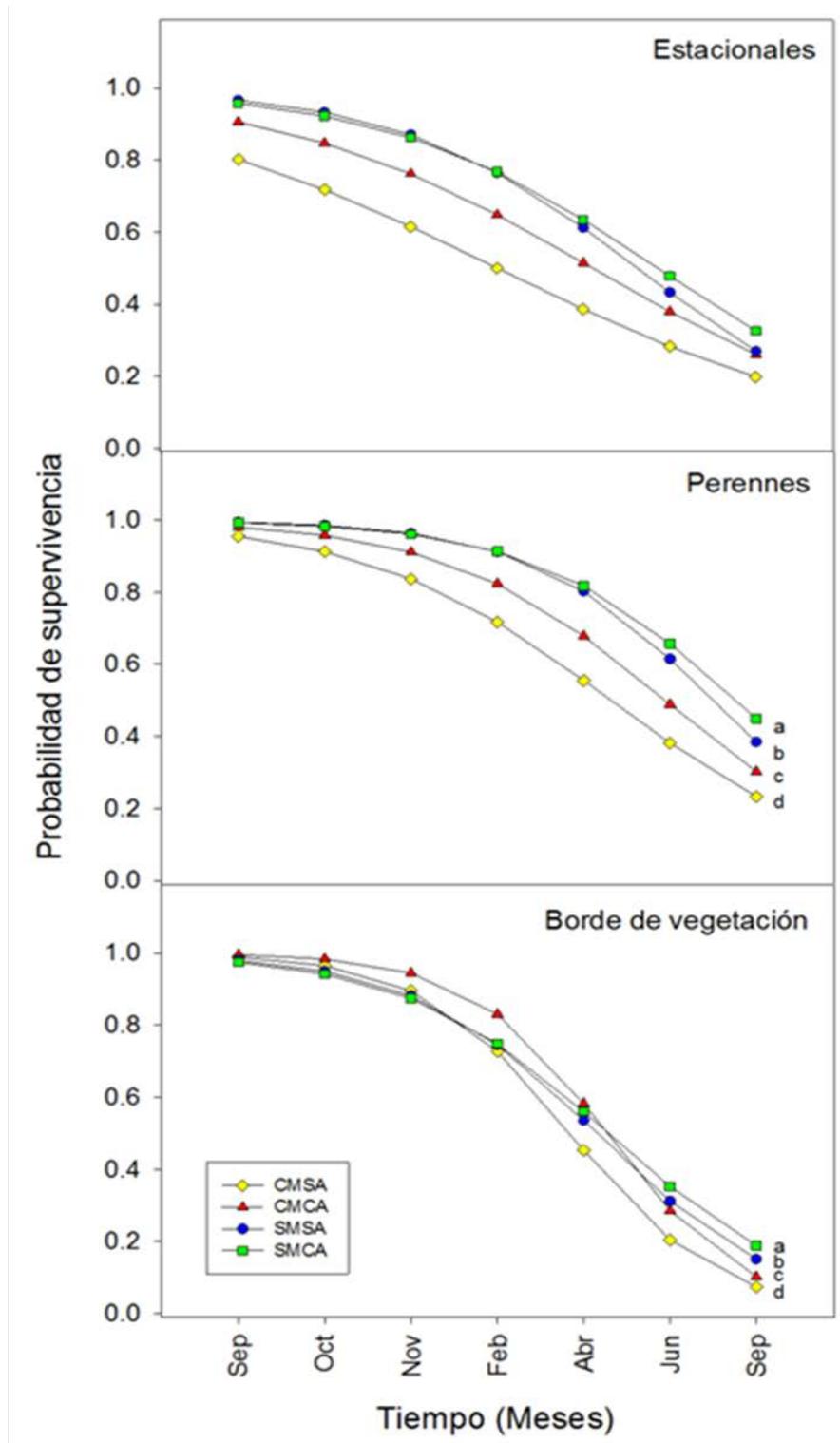


Figura 12. Supervivencia de las plántulas de *Salvia mexicana* durante un año en el PECM. Las letras minúsculas frente las curvas indican diferencias significativas entre tratamientos.

5.5.2. Crecimiento

El crecimiento aéreo varió en el tiempo, entre los tratamientos y en los distintos micrositios de plantación. Para las variables altura, cobertura y número de hojas, las plantas que crecieron bajo arbustos estacionales fueron las de menor crecimiento, mientras que las plantas que crecieron bajo arbustos perennes y el borde de vegetación crecieron más, para el área basal se observó un mayor crecimiento en las plantas creciendo bajo el borde de vegetación.

Tabla 5. Análisis de varianza para probar el efecto del tiempo y los micrositios en el crecimiento aéreo de las plántulas de *Salvia mexicana* durante un año de vida en el PECM.

Variable	Fuente de variación	F	gl	$p < 0.05$
Altura	Tiempo	0.77	2	0.4634
	Sitio	10.96	2	0.0000*
Cobertura	Tiempo	74.32	2	0.0000*
	Sitio	5.78	2	0.0033*
Área basal	Tiempo	17.27	2	0.0000*
	Sitio	14.91	2	0.0000*
Número de hojas	Tiempo	95.72	2	0.0000*
	Sitio	0.87	2	0.4190

*Diferencias significativas con una $p < 0.05$

Para las plantas que crecieron bajo arbustos estacionales, en la primera temporada (secas de invierno) se observó un efecto positivo del AH aplicado a las semillas que se expresó en el área basal de las plantas ($F=4.5$, $gl= 1$, $p = 0.03$). La interacción mucilago*AH también fue significativa ($F=3.48$, $gl=1$, $p =0.05$). El grupo CMCA fue el que alcanzó mayor área basal. En la temporada de secas, la variable número de hojas tuvo un efecto de la interacción mucilago*AH ($F=5.25$, $gl=1$, $p =0.02$), SMSA fue el grupo con mayor número de hojas. En la temporada de lluvias, fue evidente el efecto de la extracción del mucilago sobre la altura de las plantas ($F=4.63$, $gl=1$, $p =0.03$), también se observó el efecto del AH ($F=5.06$, $gl=1$, $p =0.02$) el mucilago ($F=3.61$, $gl=1$, $p =0.05$) y de su interacción ($F=3.61$, $gl=1$, $p =0.05$), en el número de hojas (Fig. 13).

Para las plantas que crecieron bajo arbustos perennes, el efecto de la extracción del mucilago a las semillas se tradujo en plantas que tuvieron una mayor altura ($F=5.51$, $gl=1$, $p =0.02$) y cobertura ($F=6.05$, $gl=1$, $p =0.01$), este efecto sólo se mantuvo en secas de invierno. En la temporada de lluvias se observó el efecto de la extracción del mucilago en el área basal de las plantas ($F=5.61$, $gl=1$, $p =0.02$) (Fig. 14).

Para las plantas que crecieron bajo el borde de vegetación, la ausencia del mucilago influyó positivamente en la altura durante la temporada de secas de invierno ($F=5.07$, $gl=1$, $p =0.02$). En la temporada de secas se observó el efecto del mucilago en el área basal de las plantas ($F=3.85$, $gl=1$, $p =0.05$), las plantas sin mucilago fueron las de mayor área basal, este efecto se perdió en la siguiente temporada (Fig. 15).

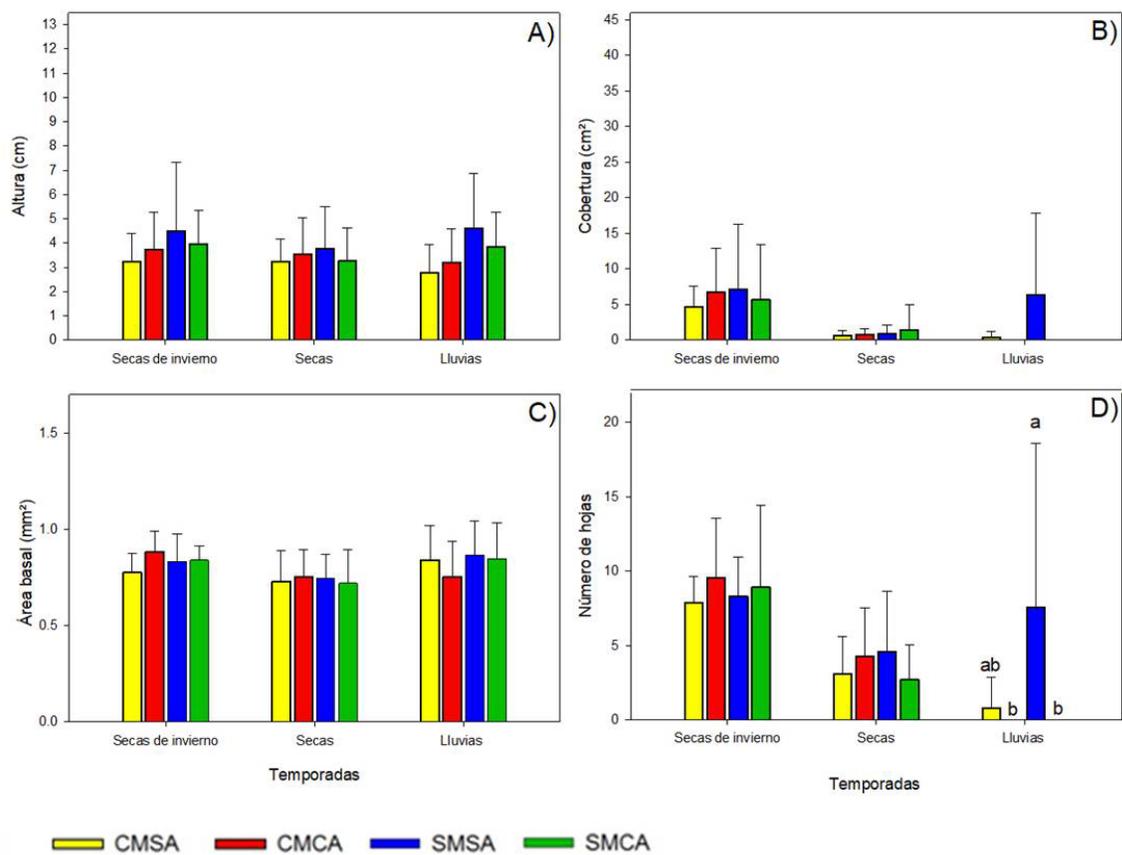


Figura 13. Crecimiento aéreo (A=altura; B= Cobertura; C= área basal y D= Número de hojas) de las plántulas de *Salvia mexicana* durante un año de vida bajo arbustos estacionales del PECM. Las letras minúsculas sobre los tratamientos indican diferencias significativas. Promedio \pm desviación estándar.

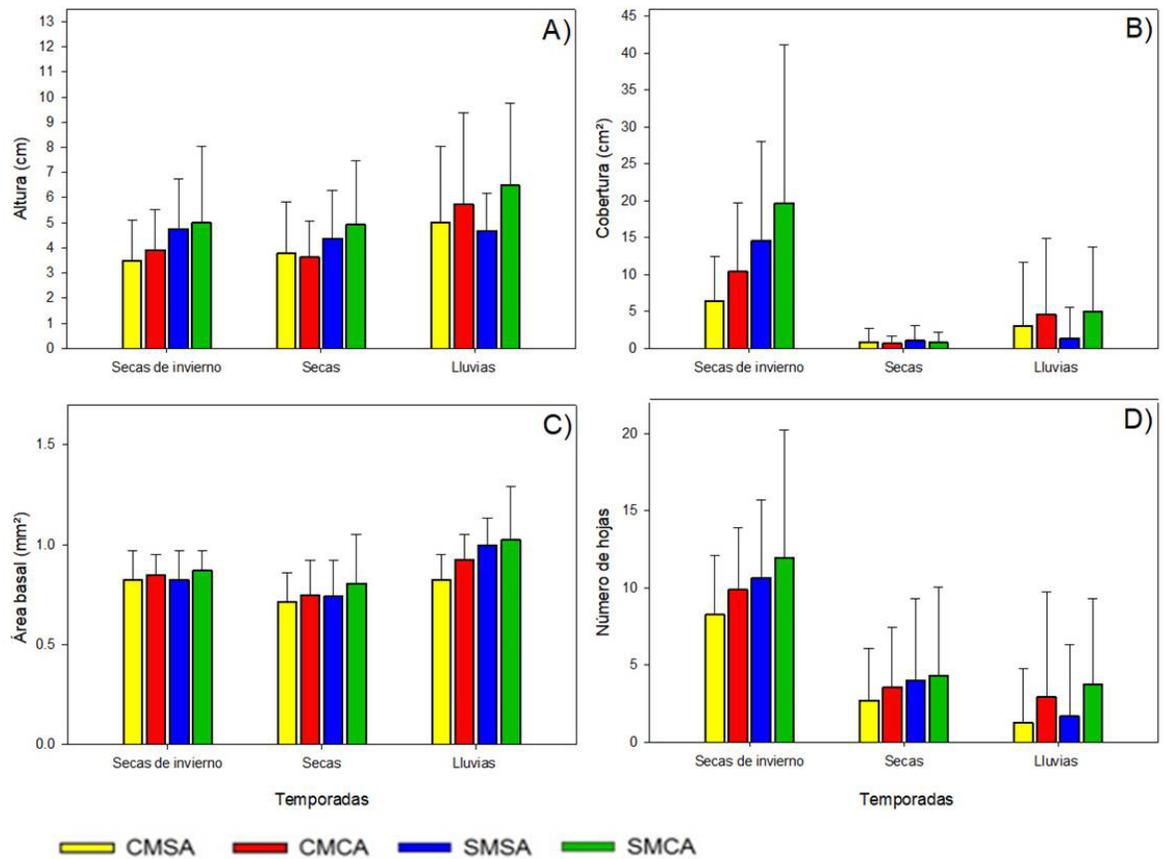


Figura 14. Crecimiento aéreo (A=altura; B= Cobertura; C= área basal y D= Número de hojas) de las plántulas de *Salvia mexicana* durante un año de vida bajo arbustos perennes del PECM. Las letras minúsculas sobre los tratamientos indican diferencias significativas. Promedio \pm desviación estándar.

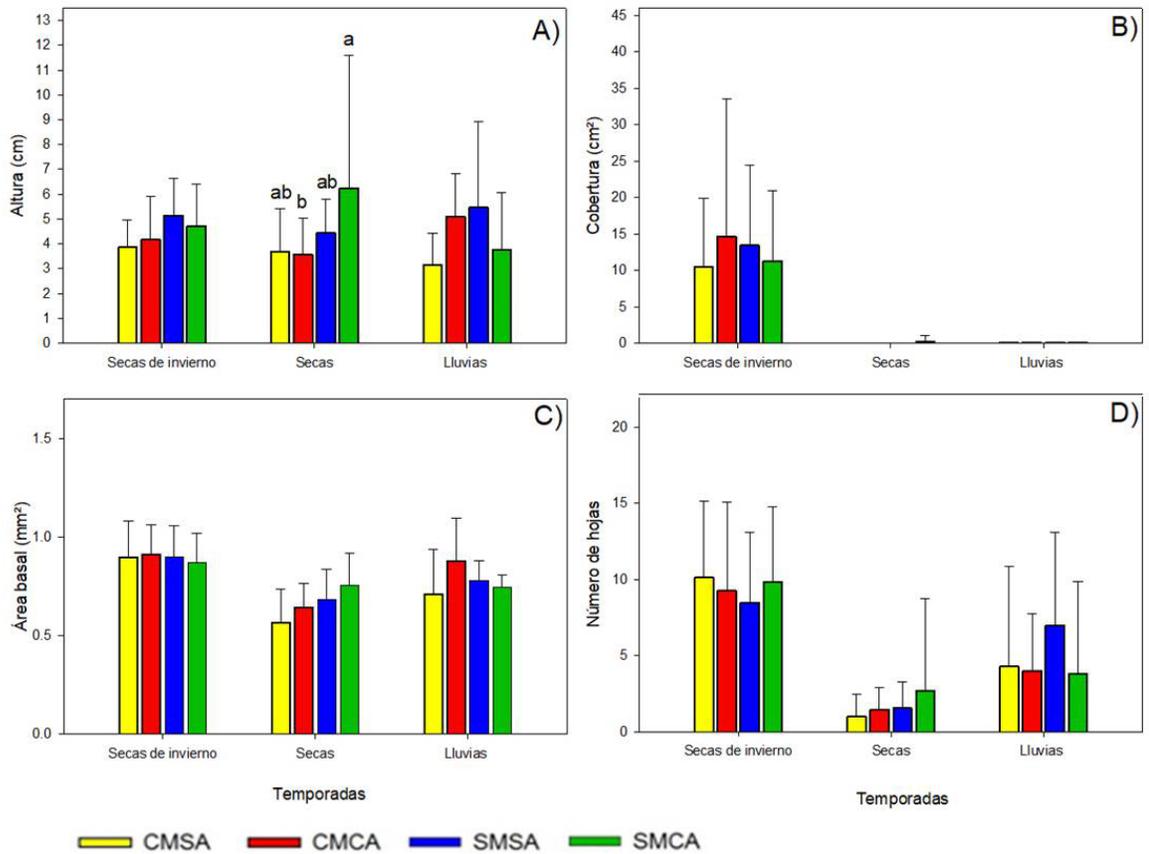


Figura 15. Crecimiento aéreo (A=altura; B= Cobertura; C= área basal y D= Número de hojas) de las plántulas de *Salvia mexicana* durante un año de vida en el borde de vegetación del PECM. Las letras minúsculas sobre los tratamientos indican diferencias significativas. Promedio \pm desviación estándar.

6. Discusión

6.1. Germinación de semillas de *Salvia mexicana*

La respuesta germinativa de *Salvia mexicana* se vio influenciada por algunos factores abióticos y bióticos, por ejemplo; el mucílago y el acondicionamiento hídrico. Con sustrato como la arena sílica y a temperatura constante de 25°C se obtuvieron porcentajes de germinación que variaron entre 23 a 54%. González (1999) reportó porcentajes de germinación de *S. mexicana* similares a los encontrados en este trabajo. Sin embargo el autor también reportó que los diferentes tipos o mezclas de sustratos provocan diferencias en los porcentajes de germinación: en arena sílica fue del 34%, 47% en arena y tezontle 50:50 v:v, 46% en tezontle y 45% en tierra negra. En otro estudio y con semillas colectadas en el Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), Rosete (2011), reportó un porcentaje de germinación de 35% para las semillas de *S. mexicana* que uso como control, mientras que a las semillas a las que les aplicaron diferentes concentraciones de giberelinas reportó porcentajes de germinación entre 30 a 43%.

Los porcentajes de germinación obtenidos, con los tratamientos utilizados, fueron siempre más altos que los reportados por Rosete y González *op. cit.*, excepto en el tratamiento sin mucílago con acondicionamiento (SMCA). Es posible que entre un 40% y 50% de las semillas presentaron latencia innata, lo que provocó variaciones en la respuesta germinativa de las semillas de *S. mexicana* (Reyes-Ortega y Orozco-Segovia, 1997). La presencia de latencia en la población de semillas de *S. mexicana* tiene relevancia ecológica porque amplía la respuesta germinativa de la especie, distribuyendo genotipos en el tiempo y el espacio, lo que contribuye al papel estructuralmente relevante de la especie en el PECM (Orozco- Segovia y Sánchez-Coronado 2009).

6.2. Papel ecológico del mucílago en las semillas de *Salvia mexicana*.

La extracción del mucílago provocó un efecto negativo en la germinación de semillas y en el tiempo de inicio de la germinación (Fig. 7). El mucílago, es una capa pectinosa con afinidad hidrofílica que cubre a la testa de la semilla, como se ha mencionado, el mucílago jugó un papel relevante en la germinación de *S. mexicana*, ya que retiene la humedad y mantiene a las semillas hidratadas constantemente, lo que favoreció su germinación. Se sabe que 110 familias, y al menos 230 géneros (Yang *et al.*, 2012a), presentan en sus semillas mucílago. Esta característica participa de forma relevante en aspectos de dispersión, crecimiento inicial e incluso en procesos de reparación de DNA (Huang *et al.*, 2008). La relevancia ecológica del mucílago de las semillas de *S. mexicana* aún requiere de futuras investigaciones, debido a la importancia que tiene en diversas especies de ecosistemas estacionales (Yang *et al.*, 2011; Western, 2012); como es el caso del PECM.

6.3. Efecto del acondicionamiento hídrico (AH) en semillas de *Salvia mexicana*.

El AH de semillas es una herramienta que ha demostrado ser eficiente incrementando los porcentajes y el tiempo de germinación en diversas especies (Pedrero *et al.*, 2016). A pesar de que la técnica de AH es exitosa para favorecer la respuesta germinativa, también es cierto que varía entre distintas especies, y hasta entre diferentes lotes de semillas de una misma especie (Bradford *et al.*, 1990). Para las semillas de *S. mexicana*, haber aplicado AH con 24 horas de hidratación, influyó negativamente en su respuesta germinativa. Como ya se discutió anteriormente, las semillas de *S. mexicana* tienen la peculiaridad de formar mucílago, el cual retiene humedad. Además de esta hidratación constante, las semillas a las que se les aplicó el AH se mantuvieron hidratadas durante 24 horas; es probable que, como consecuencia del exceso de agua, hayan

ocurrido condiciones anoxicas, o alteraciones en el intercambio de gases, que dificultaron la respuesta germinativa de la especie (Ajouri *et al.*, 2004; Dastanpoor *et al.*, 2013).

La reducción en los porcentajes de germinación como respuesta a la aplicación de AH en las semillas se ha reportado ya para varias especies y se han propuesto diversas causas. Por ejemplo, que la hidratación parcial de las semillas puede causar la degradación de proteínas que confieren a las semillas tolerancia a la desecación durante los últimos estados de desarrollo del embrión (Capron *et al.*, 2000) lo que provoca que las semillas se dañen al ser deshidratadas y el proceso de germinación falle; es por ello que, la duración óptima del AH debe ser particular, para cada especie (Ajouri *et al.*, 2004).

6.4. Supervivencia y crecimiento inicial de las plántulas de *Salvia mexicana* en el fragmento de vegetación anexo al Instituto de Ecología, UNAM.

En los primeros dos meses de vida las plántulas de *S. mexicana* tuvieron una supervivencia mayor del 95%, sin importar el tratamiento pregerminativo del que provenía la plántula, lo que sugiere que la fase de manejo de los individuos a un sustrato de vivero durante el trasplante fue exitosa. Se sabe que el establecimiento de las plántulas se ve afectado por factores intrínsecos y extrínsecos, por ejemplo, el tamaño, la longitud de raíz, la tolerancia al estrés y las características del hábitat (Leck *et al.*, 2008). Es importante mencionar que las plántulas se mantuvieron en un fragmento de vegetación de pedregal, espacio que presentó las variaciones estacionales, diurnas y mensuales características del valle de México, a pesar de estas condiciones ambientales, el sustrato de vivero y el riego cada tercer día aumentó en buena medida el éxito del establecimiento inicial de esta especie.

En cuanto al crecimiento inicial de las plántulas, aquellas que provenían de semillas a las que se les extrajo el mucílago y a las que se les aplicó AH, produjeron

plántulas significativamente más grandes (Fig. 9). Un vigoroso crecimiento temprano de las plántulas se asocia a una buena calidad de las semillas (Ajouri *et al.*, 2004). Como se ha mencionado, en este trabajo, la aplicación del AH no propició efectos positivos en la germinación, pero si causó un aparente estrés hídrico, que posiblemente influyó de manera positiva en la aclimatación de las semillas durante la germinación. Este estrés contribuyó a un arranque germinativo, que es parte de las ventajas que tiene la aplicación del AH, ya que es una técnica que ha demostrado mejorar la calidad de las semillas, y en algunos casos incrementar el establecimiento y crecimiento de las plantas (Busso, 2013).

De forma sinérgica y no del todo clara, la extracción del mucílago, también se considera una fuente de estrés fisiológico que influyó como ya se dijo, en la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas. Con base en los resultados, se sugiere que existe una “herencia” fisiológica de los distintos tratamientos pregerminativos que se expresa en los primeros meses de vida y puede mantenerse en fases posteriores. Lo anterior, se puede semejar a lo encontrado por Yang y colaboradores (2011) quienes señalan que semillas que se les eliminó el mucílago no tienen la posibilidad de reparar su DNA durante la germinación; lo que sugiere nuevamente un efecto estresante para un proceso clave. Los efectos sinérgicos a ésta y otras escalas, en la variación de la respuesta germinativa de las especies tiene fuertes implicaciones en el mantenimiento y renovación de las poblaciones de las especies de plantas, que mantienen y renuevan a las comunidades vegetales (Mendoza-Hernández 2004).

6.5. Desempeño de las plántulas de *Salvia mexicana* en el PECM.

Como se ha señalado, el estudio de la diversidad funcional de las semillas en particular de aquellas especies nativas y potencialmente útiles para la restauración de las

comunidades vegetales resulta relevante en el contexto del manejo. Este manejo tiene además que contemplar características edáficas, climáticas y paisajísticas que influyen en el desempeño (supervivencia y crecimiento) de los individuos que son usados para introducirse en sitios con distintos niveles de disturbio (Mendoza-Hernández *et al.*, 2013). Por ejemplo, la estacionalidad en regiones áridas es un aspecto importante a considerar durante las actividades de restauración, ya que es el principal factor limitante en el establecimiento y la supervivencia de las plantas (Álvarez-Aquino y Williams-Linera, 2012). En el caso del PECM, existe una aridez edáfica causada por el delgado espesor del suelo y su reciente formación, relacionada con una alta infiltración del agua sobre el sustrato de origen basáltico, por lo que sin duda este efecto es una limitante para la restauración (Siebe *et al.* 2016).

Además, el PECM resguarda dos ecosistemas clave del derrame de lava del Xitle: el matorral xerófilo y el bosque de encino. Estos, han sido modificados por actividades humanas provocando diferentes niveles de disturbio y fragmentación, por lo tanto, distintos niveles de prioridad y uso de especies nativas para la restauración ecológica de la vegetación (Bonfil *et al.*, 1997). *S. mexicana* es un arbusto estructuralmente importante entre las zonas de transición del bosque y del matorral del parque, existen pocas evidencias de su uso como parte de plantaciones de recuperación de la vegetación (Rosete, 2011; Mendoza-Hernández *et al.*, 2014). No obstante, que es una especie susceptible de resistir a sitios abiertos con alta irradiación, pero también puede desempeñarse bien en condiciones de sombra, es sin duda una especie prospecto para incluir en las plantaciones de las áreas transformadas del PECM. Estas áreas son una mezcla de la matriz perturbada y remanentes de vegetación que tienen distintas condiciones microclimáticas, con alto potencial de manejo para enriquecer la estructura de las comunidades vegetales (Peña-Becerril *et al.*, 2005). Con base en lo antes

mencionado, a continuación, se discute el desempeño (supervivencia y crecimiento) de *S. mexicana* en condiciones de campo, durante el primer año de establecimiento, a través de una plantación experimental en el PECM.

6.5.1. Supervivencia.

La supervivencia de las plantas en la zona fragmentada del PECM varió de acuerdo con el micrositio de plantación: es decir, entre los arbustos estacionales, los arbustos perennes y dentro del borde de vegetación. De acuerdo con Castro y colaboradores (2002), los microambientes juegan un papel relevante en el mantenimiento de la diversidad biológica, ya que proporcionan una amplia gama de condiciones ambientales que pueden o no ser favorables para la germinación, supervivencia y el crecimiento de individuos de diferentes especies. En los micrositos arriba señalados, la probabilidad de supervivencia después de un año de seguimiento fue de: 0.19 a 0.32 en arbustos estacionales, de 0.23 a 0.44 en arbustos perennes y de 0.07 a 0.18 dentro del borde de vegetación. Estos valores reflejan que la mortalidad de las plantas de *S. mexicana*, durante el primer año es alta, pero variable, ya que puede ir del 60 al 99%. Los datos también muestran parte de los requerimientos ambientales y los intervalos de tolerancia de *S. mexicana*, lo que contribuye al conocimiento de su manejo y utilización en proyectos de restauración (Gorai et al., 2014). El porcentaje final, sin importar los tratamientos, de la supervivencia de *S. mexicana* en el PECM fue del 11.1%. Aunque no se saben las implicaciones ecológicas de la incorporación de ocho plantas por cada 100 que se planten, dentro de un área aproximadamente de 800 m², es un esfuerzo de enriquecer la sucesión secundaria ya que es posible que después del primer año, estos individuos logren completar su ciclo de vida y en dos o tres años aportar nuevas semillas a los sitios fragmentados. Un establecimiento exitoso de las plántulas es determinante en

la estructura, desarrollo y sustentabilidad de las comunidades vegetales (Leck *et al.*, 2008) ya que contribuyen al incremento en las coberturas de la vegetación, a la riqueza del ecosistema y a diversos factores abióticos, por ejemplo, a la calidad del suelo.

Para el caso del PECM, se había reportado que la cobertura de la vegetación de los bordes podría tener un papel relevante durante la restauración ecológica de la vegetación (Mendoza-Hernández *et al.*, 2014), por ello, se esperaba que el borde de vegetación favoreciera la supervivencia de las plantas de *S. mexicana*, sin embargo, este fue el sitio con la menor probabilidad de supervivencia. De acuerdo con la caracterización abiótica realizada a través de la instalación de los dispositivos de registro llamados HOBOS y las marchas diurnas de flujo fotónico para los diferentes micrositios, el borde de vegetación mostró bajas temperaturas y una mayor humedad relativa del aire en comparación con los otros dos micrositios, sin embargo, la cobertura de la vegetación disminuyó en gran medida la disponibilidad de luz fotosintéticamente activa. De acuerdo con Mendoza-Hernández y colaboradores (2014), la densidad de flujo fotónico es un factor muy influyente en *S. mexicana*. En su estudio sobre el establecimiento de *S. mexicana* bajo distintos fragmentos de vegetación en el PECM reportaron un rango de densidad de flujo fotónico de $491 \pm 301 \mu\text{moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ bajo la sombra, durante algunos meses el crecimiento de *S. mexicana* se vio afectado por dichas condiciones. Según Taiz y Zeiger (2006), este es un rango que puede ser óptimo para la fotosíntesis de las plantas, pero a la vez puede inhibirla, lo que pudiera explicar por qué en el presente trabajo, hubo una menor supervivencia en las plantas que crecieron bajo el borde de vegetación.

Las plantas que crecieron bajo arbustos estacionales mostraron también una baja supervivencia, este sitio es el más expuesto de todos, de acuerdo con la caracterización abiótica realizada, la irradiación solar y la temperatura fueron las más altas, lo que provocó una baja humedad relativa y un alto estrés hídrico en las plantas. En contraste,

los arbustos perennes, al parecer actuaron como especies facilitadoras, ya que aumentaron la probabilidad de supervivencia de *S. mexicana*. En este sitio las plantas de *S. mexicana* no estuvieron tan expuestas al sol, las temperaturas fueron más bajas, hubo mayor conservación de humedad, pero hubo mayor disponibilidad de luz que en el borde de vegetación, aumentando así la supervivencia de las plantas. La vegetación preexistente aminora las condiciones microclimáticas extremas que se presentan en los sitios abiertos (alta irradiación, altas temperaturas, bajos porcentajes de humedad), sobre todo en los que se encuentran en áreas perturbadas, lo que facilita el establecimiento de los individuos en zonas a reforestar (Castro *et al.* 2004). Por lo que plantar bajo arbustos será una estrategia útil para contribuir a la regeneración de la vegetación en el PECM.

La supervivencia de los individuos de *S. mexicana* también varió en función de los tratamientos que se les aplicaron a las semillas, por lo que, al parecer se presentó una “herencia” fisiológica que se expresó en la supervivencia de las plantas en campo. Tanto en los arbustos estacionales como en los arbustos perennes, las plantas que provenían de semillas a las que se les extrajo el mucílago, mostraron una mayor supervivencia, esto puede deberse a que las semillas fueron sometidas a un estrés hídrico cuando se les quitó el mucílago. Un aspecto que deberá de ser explorado a futuro es, que la “herencia” de los distintos arranques fisiológicos de las semillas y plántulas se expresa o dura diferentes tiempos, por ejemplo, para las plantas de *S. mexicana* que crecieron bajo arbustos estacionales, este efecto se mantuvo hasta el mes de abril; en cambio, cuando comenzaron las lluvias, el estrés hídrico disminuyó, por lo que el incremento en la resistencia causado por la ausencia del mucílago ya no fue notorio. En el caso de los arbustos perennes, el efecto de la “herencia” duró desde el mes de abril hasta septiembre. En el caso de los arbustos perennes, el tiempo del efecto de la herencia fisiológica es

relevante, en términos prácticos, ya que va más allá, de la época más difícil del año en el PECM (Mendoza-Hernández *et al.* 2013).

En cuanto al AH aplicado a las semillas de *S. mexicana*, no tuvo influencia clara sobre la supervivencia de las plantas establecidas bajo arbustos estacionales, esto puede deberse a que la resistencia al estrés inducida por el AH, no fue suficiente para mantener o incrementar la presencia de individuos en condiciones tan estresantes. En contraste, las plantas que se encontraban bajo arbustos perennes, provenientes de semillas que recibieron AH mostraron mayor supervivencia en el mes de abril, de acuerdo con la caracterización abiótica realizada, abril fue uno de los meses con más altas temperaturas, mayor densidad de flujo fotónico y menores porcentajes de humedad relativa del aire, por lo que hay un estrés hídrico mucho mayor. Al parecer, éste resultado sugiere que el AH de semillas induce la resistencia de las plántulas a la desecación (Pedrero *et al.*, 2016), sin embargo, después de este mes, el efecto se pierde.

En el borde de vegetación, la supervivencia de todos los tratamientos en general fue muy baja, no se observaron efectos ni del mucilago ni del AH.

6.5.2. Crecimiento

El crecimiento de *S. mexicana* durante su primer año de vida en el PECM también se vio influenciado por el micrositio de plantación, tanto el borde de vegetación como los arbustos perennes favorecieron el crecimiento. Esto concuerda con resultados reportados por varios trabajos, donde se plantea la eficiencia de arbustos facilitadores como una técnica que aumenta la supervivencia y el crecimiento de las plantas que se introducen a un sitio perturbado como parte de las actividades de reforestación y restauración (Castro *et al.* 2002, Castro *et al.* 2004, Mendoza-Hernández *et al.* 2013).

Además de la influencia del micrositio, el crecimiento de *S. mexicana* se vio determinado por el tiempo, en donde está involucrada la marcada estacionalidad del PECM y por la extracción del mucílago; en algunas de las variables de crecimiento aéreo evaluadas. Desde la temporada de secas de invierno (la primera medición), el efecto positivo del AH en el crecimiento desapareció, excepto en el área basal de las plantas creciendo bajo arbustos estacionales, que fue significativamente mayor.

En general, y sin importar el micrositio, se presentó un efecto positivo de la extracción del mucílago que se expresó en un mayor crecimiento de las plantas, sin embargo, no fue constante en las variables de crecimiento, ni en el tiempo.

7. Conclusiones

La manipulación del mucílago y del acondicionamiento hídrico aplicado a las semillas de *S. mexicana* afecta su respuesta germinativa.

La capa mucilaginososa que se forma con la hidratación de las semillas de *Salvia mexicana* prolonga la disponibilidad de agua y favorece la germinación.

La extracción del mucílago, se considera una fuente de estrés fisiológico que induce la aclimatación de las semillas e influye positivamente en el crecimiento inicial de las plántulas de *Salvia mexicana*.

La aplicación del AH con 24 horas de hidratación, influye de forma negativa en la respuesta germinativa de *Salvia mexicana* y de forma heterogénea (positiva y neutra) durante el crecimiento de las plántulas.

La aplicación del AH y la extracción del mucílago en las semillas de *Salvia mexicana*, son técnicas importantes para la reintroducción de vegetación en sitios perturbados.

Los tratamientos pregerminativos inducen la aclimatación de las semillas a condiciones adversas, confieren a las plántulas mayor resistencia a sitios perturbados, y con ello aumentan sus probabilidades de supervivencia y establecimiento.

Los distintos microambientes presentes en un ecosistema fragmentado influyen significativamente en la supervivencia y el crecimiento de individuos de diferentes especies, ya que proporcionan diversas condiciones ambientales que pueden o no ser favorables en el primer año de vida.

Realizar plantaciones bajo arbustos y vegetación ya establecida aumenta la supervivencia y el crecimiento de las plantas que se introducen en ambientes perturbados, por lo que es una técnica favorable para las actividades de restauración ecológica del PECCM.

8. Referencias

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.

Allison, S. K. (2004). What Do We Mean When We Talk About Ecological Restoration? *Ecological Restoration*, 22(4), 281-286.

Alvarez-Aquino, C., y Williams-Linera, G. (2012). Seedling survival and growth of tree species: site condition and seasonality in tropical dry forest restoration. *Botanical Sciences*, 90(3), 341-351.

Bewley, J. D. (1997). Seed germination and dormancy. *The plant cell*, 9(7), 1055.

Bonfil, C., Pisanty, I., Mendoza, A., y Soberón, J. (1997). Investigación y restauración ecológica: El caso del Ajusco Medio. *Ciencia y Desarrollo*, 135, 14-23.

Bradford, K. J., Steiner, J. J., y Trawatha, S. E. (1990). Seed priming influence on germination and emergence of pepper seed lots. *Crop Science*, 30(3), 718-721.

Busso C. A. (2013). Botanical research and practices from seed germination to young plants ecology, growth and environmental influences. New York. Nova Science Publishers, Inc.

Cano-Santana, Z. y Meave, J. (1996). Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias* (041).

Cano-Santana, Z., Pisanty, I., Segura, S, Mendoza-Hernández. P. E., León-Rico, R., Soberón, J., Tovar, E., Martínez-Romero, E., Ruíz, L. Del C. y Martínez-Ballesté A. (2006). Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del

pedregal del Xitle. P.p. 203-226. En: Ken Oyama y Alicia Castillo (Coord.) "Manejo, Conservación y Restauración de Recursos Naturales en México". Siglo XXI México. Editores, S.A. de C.V.

Capron, I., Corbineau, F., Dacher, F., Job, C., Côme, D., y Job, D. (2000). Sugarbeet seed priming: effects of priming conditions on germination, solubilization of 11-S globulin and accumulation of LEA proteins. *Seed Science Research*, 10(03), 243-254.

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. Primera Edición. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A., y Gómez, J. M. (2002). Use of shrubs as nurse plants: a new technique for reforestation in Mediterranean mountains. *Restoration Ecology*, 10(2), 297-305.

Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A., Gómez, J. M., y Gómez-Aparicio, L. (2004). Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean Mountains: A 4-Year Study. *Restoration Ecology*, 12(3), 352-358.

CDMX, S. (2016). Suelo de Conservación. [online] Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX. Available at: <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/suelo-de-conservacion>.

Dastanpoor, N., Fprimingimi, H., Shariati, M., Davazdprimingemami, S., y Hashemi, S. M. M. (2013). Effects of hydropriming on seed germination and seedling growth in sage (*Salvia officinalis* L.). *African Journal of Biotechnology*, 12(11), 1223-1228.

Engelbrecht, M. (2014). *Hipótesis sobre el origen y la función de la secreción de mucílago en semillas de especies mediterráneas* (Tesis de Doctorado) Universidad Complutense de Madrid).

Fox, B.J., Taylor, J.E. Fox, M.D., y Williams, C. (1997). Vegetation changes across edges of rainforest remnants. *Biological Conservation*, 82(1), 1-13.

González Mateos S. N. (1999). Estudio ecofisiológico de la germinación y emergencia de *Marrubium vulgare*, *Reseda luteola* y *Salvia mexicana* en distintos microambientes. ENEP Iztacala, UNAM.

González-Zertuche, L., Orozco-Segovia, A., Baskin, C., y Baskin, J. M. (2002). Effects of AH on germination of *Buddleja cordata* ssp. *cordata* (Loganiaceae) seeds and possible ecological significance. *Seed science and technology*, 30(3), 535-548.

Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., Gómez, J.M., Hódar, J.A., Castro, J. y Baraza, E. (2004). Applying plant positive interactions to reforestation in Mediterranean mountains: a meta-analysis of the use of shrubs as nurseplants. *Ecological Applications*, 14, 1128–1138.

Gorai, M., El Aloui, W., Yang, X., y Neffati, M. (2014). Toward understanding the ecological role of mucilage in seed germination of a desert shrub *Henophyton deserti*: interactive effects of temperature, salinity and osmotic stress. *Plant and soil*, 374(1-2), 727-738.

Gutterman, Y., y Shem-Tov, S. (1997). Mucilaginous seed coat structure of *Carrichtera annua* and *Anastatica hierochuntica* from the Negev Desert highlands of Israel, and its adhesion to the soil crust. *Journal of Arid Environments*, 35(4), 695-705.

Hernández, L. M. (2012). Mucilage from chia seeds (*Salvia hispanica*): Microestructure, physico-chemical characterization and applications in food industry (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile).

Herrera Jorge, Alizaga Ramiro, Guevara Eric y Jiménez Víctor (2006). Germinación y Crecimiento de la Planta. Editorial Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Heydecker, W., Higgins, J., y Turner, Y. J. (1975). Invigoration of seeds. *Seed Science and Technology*, 3(3/4), 881-888.

Hobbs, R. J., y Harris, J. A. (2001). Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, 9(2), 239-246.

Huang, Z., Boubriak, I., Osborne, D. J., Dong, M., y Gutterman, Y. (2008). Possible role of pectin-containing mucilage and dew in repairing embryo DNA of seeds adapted to desert conditions. *Annals of Botany*, 101(2), 277-283.

Kitajima, K., y Myers, J.A. (2008). *Seedling Ecology and Evolution*, M.A. Leck, T. Parker, R.L. Simpson (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 172.

Lascano C. E., y Spain J. M. (1991). Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de la investigación, Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales, Sexta Reunión del Comité Asesor. CIAT. Colombia.

Leck, M. A., Parker, V. T., y Simpson, R. L. (Eds.). (2008). *Seedling ecology and evolution*. Cambridge University Press.

Lot A. y Camarena P. (2009). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. El Pedregal de San Ángel de la ciudad de México: reserva ecológica urbana de la Universidad Nacional. En Lot, A., y Cano-Santana, Z. (Eds.) 2009. Biodiversidad del

ecosistema del Pedregal de San Ángel. *Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.*

Martínez-Romero E. (1996). La restauración ecológica. *Ciencias*, 43.

Mendoza-Hernández, P. E., Orozco-Segovia, A., Meave, J. A., Valverde, T., y Martínez-Ramos, M. (2013). Vegetation recovery and plant facilitation in a human-disturbed lava field in a megacity: searching tools for ecosystem restoration. *Plant Ecology*, 214(1), 153-167.

Mendoza-Hernández, P. E., Rosete-Rodríguez, A., Sánchez-Coronado, M. E., Orozco, S., Pedrero-López, L., Méndez, I., y Orozco-Segovia, A. (2014). Vegetation patches improve the establishment of *Salvia mexicana* seedlings by modifying microclimatic conditions. *International Journal of Biometeorology*, 58(5), 853-866.

Mendoza-Hernández, P. E., Rosete-Rodríguez, A., Pedrero-López, L., Martínez-Villegas, J. A., Sánchez-Coronado, M. E., y Orozco-Segovia, A. Estrategias ecofisiológicas para la restauración de un pedregal urbano: el caso del Parque Ecológico de la Ciudad de México. En Cecon E. y Martínez-Garza, C. (2016). Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas. *Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.*

Orozco-Segovia A, y Sánchez-Coronado, M.E. (2009). Functional diversity in seeds and its implications for ecosystem functionality and restoration ecology. En: Gamboa-de Buen A, Orozco-Segovia A, Cruz-García F (eds) Functional diversity of plant reproduction. *Research Singpost, Kerala*, pp 175–216.

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.

Peña-Becerril, J. C., Monroy-Ata, A., Álvarez-Sánchez, F. J., y Orozco-Almanza, M. S. (2005). Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 8(2).

Reyes Ortega, M. I., y Orozco Segovia, A. (1997). Estudio sobre la germinación de semillas de tres especies de lamiaceas del sur del Valle de México.

Rosete-Rodríguez A. (2011). Efecto del acolchado plástico y sombra de vegetación de *Salvia mexicana* en el Parque Ecológico de la Ciudad de México. (Tesis de pregrado). México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM.

Rzedowski, J. y C. de Rzedowski. 1985. Flora fanerogámica del Valle de México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología.

Sánchez V, J. A., Orta, R., y Muñoz, B. C. (2001). Tratamientos Pregerminativos de Hidratacion-deshidratacion de las semillas y sus efectos en plantas de interés agricola. *Agronomía Costarricense*, 25(1), 67-92.

SER. Society for Ecological Restoration International Science & Polocy Working Group (2004). Disponible en: www.ser.org

Siebe, C., P.E. Mendoza-Hernández, S.M. Juárez-Orozco, L. Vázquez-Selem y S. Cram. (2016). Consecuencias de la actividad volcánica del Xitle y el disturbio antrópico sobre las propiedades del suelo y la diversidad vegetal del Parque Ecológico de la Ciudad de México en el Ajusco medio. En: La biodiversidad en la Ciudad de México, vol. i. conabio/sedema, Mexico, pp. 75-91.

Taiz, L., y Zeiger, E. (2006). Plant physiology. 4th. *Sinauer Associate, Sunderland, Mass., EUA.*

Vázquez-Yañes C., Batis A.I. (1996) La restauración de la Vegetación, árboles exóticos vs. Árboles nativos. *Ciencias* 43.

Western, T. L. (2012). The sticky tale of seed coat mucilages: production, genetics, and role in seed germination and dispersal. *Seed Science Research*, 22(01), 1-25.

Witztum, A., Gutterman, Y., y Evenari, M. (1969). Integumentary mucilage as an oxygen barrier during germination of *Blepharis persica* (Burm.) Kuntze. *Botanical Gazette*, 130(4), 238-241.

Yang, X., Baskin, J. M., Baskin, C. C., y Huang, Z. (2012a). More than just a coating: ecological importance, taxonomic occurrence and phylogenetic relationships of seed coat mucilage. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 14(6), 434-442.

Yang, X., Baskin, C. C., Baskin, J. M., Zhang, W., y Huang, Z. (2012b). Degradation of seed mucilage by soil microflora promotes early seedling growth of a desert sand dune plant. *Plant, cell & environment*, 35(5), 872-883.

Yang, X., Dong, M., y Huang, Z. (2010). Role of mucilage in the germination of *Artemisia sphaerocephala* (Asteraceae) achenes exposed to osmotic stress and salinity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(2), 131-135

Yang, X., Zhang, W., Dong, M., Boubriak, I., y Huang, Z. (2011). The achene mucilage hydrated in desert dew assists seed cells in maintaining DNA integrity: adaptive strategy of desert plant *Artemisia sphaerocephala*. *PLoS One*, 6(9), e24346.

Zar, J.H. (2013). *Biostatistical Analysis: Pearson New International Edition*. Pearson Higher Ed.

Zhang, C. P., Wu, C. X., Song, Y. C., Tian, C. Y., y Feng, G. (2014). Effects of mucilage on seed germination of the desert ephemeral plant *Plantago minuta* Pall. under osmotic stress and cycles of wet and dry conditions. *Plant Species Biology*, 29(2), 109-116.

9. Anexo I

Análisis de varianza para la altura de las plantas de *Salvia mexicana* durante un año de vida en los diferentes micrositios (arbustos estacionales, arbustos perenes y borde de vegetación) del PECM.

Sitio	Temporada	Fuente de variación	F	gl	p<0.05
Arbustos estacionales	1	Mucílago	2.40	1	0.1267
		AH	0.03	1	0.8527
	2	Mucílago	0.06	1	0.8046
		AH	0.22	1	0.6412
	3	Mucílago	4.63	1	0.0396*
		AH	0.10	1	0.7486
Arbustos perennes	1	Mucílago	4.58	1	0.0366*
		AH	0.38	1	0.5399
	2	Mucílago	5.51	1	0.0210*
		AH	0.33	1	0.5669
	3	Mucílago	0.07	1	0.7934
		AH	2.28	1	0.1390
Borde de bosque	1	Mucílago	5.07	1	0.0284
		AH	0.01	1	0.9165
	2	Mucílago	2.07	1	0.1589
		AH	0.64	1	0.4301
	3	Entre grupos (AH)	1.98	1	0.2325

*Diferencias significativas con una $p<0.05$

Análisis de varianza para la cobertura de las plantas de *Salvia mexicana* durante un año de vida en los diferentes micrositios (arbustos estacionales, arbustos perennes y borde de vegetación) del PECM.

Sitio	Temporada	Fuente de variación	F	gl	$p < 0.05$
Arbustos estacionales	1	Mucílago	0.15	1	0.6983
		AH	0.00	1	0.9553
	2	Mucílago	1.19	1	0.2793
		AH	0.80	1	0.3726
	3	Mucílago	2.15	1	0.1529
		AH	3.22	1	0.0829
Arbustos perennes	1	Mucílago	6.05	1	0.0170*
		AH	1.61	1	0.2099
	2	Mucílago	0.46	1	0.4984
		AH	0.62	1	0.4327
	3	Mucílago	0.06	1	0.8059
		AH	1.22	1	0.2758
Borde de bosque	1	Mucílago	0.01	1	0.9321
		AH	0.09	1	0.7593
	2	Mucílago	1.06	1	0.3111
		AH	0.69	1	0.4114
	3	Entre grupos (AH)	0.40	1	0.5604

*Diferencias significativas con una $p < 0.05$

Análisis de varianza para el área basal de las plantas de *Salvia mexicana* durante un año de vida en los diferentes micrositios (arbustos estacionales, arbustos perenes y borde de vegetación) del PECM.

Sitio	Temporada	Fuente de variación	F	gl	$p < 0.05$
Arbustos estacionales	1	Mucílago	0.05	1	0.8237
		AH	4.50	1	0.0380*
		Mucílago*AH	3.48	1	0.05*
	2	Mucílago	0.11	1	0.7430
		AH	0.01	1	0.9053
	3	Mucílago	1.04	1	0.3165
AH		0.68	1	0.4170	
Arbustos perennes	1	Mucílago	1.41	1	0.2392
		AH	1.04	1	0.3122
	2	Mucílago	1.18	1	0.2799
		AH	1.69	1	0.1974
	3	Mucílago	5.61	1	0.0229*
		AH	1.04	1	0.3148
Borde de bosque	1	Mucílago	0.22	1	0.6413
		AH	0.03	1	0.8661
	2	Mucílago	3.85	1	0.05*
		AH	1.15	1	0.2914
	3	Entre grupos (AH)	0.01	1	0.9467

*Diferencias significativas con una $p < 0.05$

Análisis de varianza para el número de hojas de las plantas de *Salvia mexicana* durante un año de vida en los diferentes micrositios (arbustos estacionales, arbustos perenes y borde de vegetación) del PECM.

Sitio	Temporada	Fuente de variación	F	gl	$p < 0.05$
Arbustos estacionales	1	Mucílago	0.02	1	0.8990
		AH	1.30	1	0.2586
	2	Mucílago	0.00	1	0.9732
		AH	0.28	1	0.5992
		Mucílago*AH	5.25	1	0.0244*
	3	Mucílago	3.61	1	0.05*
		AH	5.37	1	0.0278*
		Mucílago*AH	3.61	1	0.05*
	Arbustos perennes	1	Mucílago	2.35	1
AH			1.05	1	0.3109
2		Mucílago	1.26	1	0.2641
		AH	0.13	1	0.7216
3		Mucílago	0.15	1	0.6969
		AH	1.35	1	0.2523
Borde de bosque	1	Mucílago	0.14	1	0.7090
		AH	0.03	1	0.8704
	2	Mucílago	0.52	1	0.4767
		AH	0.53	1	0.4718
	3	Entre grupos (AH)	0.75	1	0.4348

*Diferencias significativas con una $p < 0.05$