



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**Introducción de plantas de *Dodonaea  
viscosa* al Parque Ecológico de la  
Ciudad de México con la aplicación de  
tratamientos robustecedores y silos de  
agua, con fines de restauración  
ecológica.**

**Tesis para obtener el título de:**

**Biólogo**

**Presenta:**

**Luis Vidal Pedrero López**

**Laboratorio de Ecología Fisiológica  
del Instituto de Ecología, UNAM**

**Directora de tesis Dra. Alma Delfina  
Lucia Orozco Segovia**



México D.F.

21 de Junio de 2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**En este lugar perdemos demasiado tiempo mirando hacia atrás. Camina hacia el futuro, abriendo nuevas puertas y probando cosas nuevas, sé curioso... porque nuestra curiosidad siempre nos conduce por nuevos caminos.”**

**Walt Disney.**

## **Agradecimientos**

La presente tesis es un esfuerzo en el cual participaron muchas personas directa e indirectamente. Para todos “gracias”

Agradezco principalmente a la Dra. Alma Delfina Lucia Orozco Segovia por darme la oportunidad de trabajar con ella, haber confiado en mi persona, por la gran paciencia y disposición en la dirección de este trabajo. También agradezco a la M. en C. María Esther Sánchez Coronado por el apoyo, paciencia y ayuda en el desarrollo del análisis de datos. Al Maestro Pedro Eloy Mendoza Hernández por su apoyo y enseñanzas en las salidas al campo. Agradezco a la Dra. Alicia Gamboa de Buen por el apoyo otorgado con la beca del proyecto SEP CONACYT-60394. Al proyecto PAPIIT IN222508 por los recursos para la elaboración de mi trabajo de investigación. Al proyecto SEP CONACYT-00139658 por la beca proporcionada. Agradezco a todos mis compañeros del laboratorio con quien conviví pasando buenos momentos en el proceso de formación de mi tesis.

Agradezco a los miembros de mi jurado Dra. Esther Matiana García Amador, Dra. María Socorro Orozco Almanza, Dr. Efraín Ángeles Cervantes y M. En C. Eliseo Cantellano De Rosas; sus aportaciones y el apoyo que me dieron durante la revisión de mi tesis.

Agradezco a la M. en B. María del Rocío Graniel Parra y compañeros, por la ayuda prestada en la biblioteca para tener acceso al acervo bibliográfico que use en este trabajo.

Agradezco a los integrantes del departamento de cómputo. Al M. en I. Alejandro González Ponce y al Ing. Daniel Valle Vidal. Por el apoyo prestado al necesitar ayuda en el uso de los software y mantenimiento del equipo de cómputo.

A mi padre: Emiliano Bolívar Pedrero Pérez. Al cual prometí formarme como un profesionista e intentar seguir su ejemplo y valores como profesionista y persona.

A mi madre: Maricela López Saynes, “Maestra” gracias por haber colocado tus esperanzas en mí, darme apoyo, valor y paciencia para manejar los problemas. TU ERES MI PILAR.

A mis tíos que con ánimo y paciencia me apoyaron. A mis primos que me dieron ánimo ayudándome a no perder la esperanza de terminar mi tesis, y con ello obtener mi título de Biólogo.

<b>I. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>II. INTRODUCCION</b>	<b>2</b>
<b>III. MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
<b>1. Sucesión ecológica</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Facilitación</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Tolerancia</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Inhibición</b>	<b>5</b>
<b>2. Sucesión en el Parque Ecológico de la Ciudad de México</b>	<b>6</b>
<b>3. Restauración ecológica</b>	<b>7</b>
<b>4. Reproducción por semillas</b>	<b>9</b>
<b>4.1 Viabilidad</b>	<b>10</b>
<b>4.2 Semillas ortodoxas</b>	<b>10</b>
<b>4.3 Semillas recalcitrantes</b>	<b>11</b>
<b>5. Latencia</b>	<b>11</b>
<b>5.1. Tipos de latencia en las semillas</b>	<b>12</b>
<b>5.1.1. Latencia fisiológica</b>	<b>13</b>
<b>5.1.2. Latencia no profunda</b>	<b>13</b>
<b>5.1.3. Latencia intermedia</b>	<b>13</b>
<b>5.1.4. Latencia profunda</b>	<b>13</b>
<b>5.1.5. Latencia morfológica</b>	<b>13</b>
<b>5.1.6. Latencia morfofisiológica</b>	<b>14</b>
<b>5.1.7. Latencia física</b>	<b>14</b>
<b>5.1.8. Latencia combinada</b>	<b>14</b>
<b>6. Tratamientos robustecedores para mejorar la germinación de las semillas y el crecimiento</b>	<b>14</b>
<b>7. Deforestación y fragmentación</b>	<b>17</b>
<b>8. El efecto de borde.</b>	<b>18</b>
<b>9. Facilitación y efecto de borde en el PECM</b>	<b>20</b>
<b>10. Hidrogel</b>	<b>20</b>
<b>IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>21</b>
<b>V. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>22</b>
<b>1. Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM)</b>	<b>22</b>
<b>1.1 Bosque denso</b>	<b>25</b>
<b>1.2 Bosque abierto (o borde del bosque)</b>	<b>25</b>
<b>1.3 Matorral perturbado</b>	<b>25</b>
<b>1.4 Matorral de Sedum</b>	<b>25</b>
<b>2. Descripción de <i>Dodonaea viscosa</i></b>	<b>27</b>
<b>3. Importancia de <i>Dodonaea viscosa</i> y su uso en la restauración</b>	<b>29</b>

<b>VI. HIPÓTESIS</b>	<b>30</b>
<b>VII. OBJETIVOS</b>	<b>30</b>
<b>VIII. OBJETIVOS PARTICULARES</b>	<b>31</b>
<b>IX. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO</b>	<b>31</b>
<b>X. MATERIALES Y METODO</b>	<b>33</b>
1. Recolección de semillas de <i>D. viscosa</i>	33
2. Ruptura de latencia	34
3. Robustecimiento hídrico	34
4. Germinación	35
5. Transplante y Crecimiento en Vivero	35
6. Trasplante al campo	36
7. Tasa de crecimiento en temporadas	36
<b>XI. RESULTADOS</b>	<b>39</b>
Germinación de <i>D. viscosa</i>	39
Supervivencia de las plántulas en el campo	40
Crecimiento de las plantas en el campo	43
Altura	45
Cobertura	47
Diámetro a la base del tallo	48
Número de hojas	49
Velocidad de crecimiento	52
Altura	53
Cobertura	54
Diámetro a la base del tallo	54
Número de hojas	55
<b>XII. DISCUSIÓN</b>	<b>58</b>
Germinación	58
Supervivencia	60
Crecimiento	61
Velocidad de crecimiento	63
<b>XIII. CONCLUSIONES</b>	<b>65</b>

<b>XIV. SUGERENCIAS</b>	<b>65</b>
<b>XV. LITERATURA CITADA</b>	<b>66</b>

### **Índice de imágenes y tablas**

Figura 1. Mecanismo de sucesión ecológica, en el que se muestran los procesos de interacción en la sucesión ecológica, diagrama modificado de Connell y Slatyer (1977).	<b>5</b>
Figura 2. Modelo hipotético de la sucesión ecológica en el Pedregal de San Ángel propuesto por Cano-Santana y Meave (1996).	<b>7</b>
Figura 3. Eventos metabólicos que ocurren en las semillas de acuerdo al patrón trifásico de la absorción de agua (modificado de Bewley 1997).	<b>17</b>
Figura 4. Precipitación y Temperaturas (mínima, media y máxima) durante el periodo en que se realizó proyecto (datos tomados de la Estación Meteorológica Universidad Nacional Autónoma de México).	<b>24</b>
Figura. 5: Ubicación geográfica del Parque Ecológica de la Ciudad de México (Tomado de Araíza-Ramírez 2007).	<b>26</b>
Figura 6. <i>Dodonaea viscosa</i> : A) rama femenina. B) flor femenina. C, rama masculina. D, flor masculina. E, fruto (Saleem 2011).	<b>28</b>
Figura. 7 Diagrama de flujo de la metodología seguida para la introducción de plantas de <i>D. viscosa</i> al Parque Ecológico de la Ciudad de México.	<b>33</b>
Figura 8. Germinación acumulada de <i>D. viscosa</i> bajo dos tratamientos de robustecimiento (de 24 y 48 h) y tratamiento control. Las letras indican las diferencias significativas.	<b>40</b>
Figura. 9 Efecto del año de recolecta, del hidrogel y del fragmento al que se introdujeron los brinzales de <i>Dodonaea viscosa</i> en sus probabilidades de supervivencia en el campo.	<b>43</b>
Figura 10. Efecto de los tratamientos indicados en la Figura sobre el crecimiento en altura, cobertura, DBT y NH. Observaciones mensuales durante el año del estudio.	<b>45</b>
Figura 11. Crecimiento en campo de los brinzales en las distintas temporadas en que se evaluó el crecimiento (lluviosa, secas y lluviosa).. Las letras en minúsculas muestran las diferencias significativas entre los tratamientos, al interior de cada época	<b>52</b>
Figura 12. Velocidad de crecimiento en campo de los brinzales de <i>Dodonaea viscosa</i> observado entre temporadas (lluviosa, seca y lluviosa) Las letras en minúsculas muestran las diferencias significativas entre tratamientos, dentro de cada temporada.	<b>57</b>
Cuadro. 1. Cuadro. 1. Resultados estadísticos del GLM sobre la supervivencia en campo evaluada mensualmente, mostrando la significancia de los factores en cada mes.	<b>42</b>

## I. RESUMEN

*Dodonaea viscosa* es una especie representativa matorral xerófilo, potencialmente es útil para emplearla para facilitar el establecimiento de especies sucesionales tardías, en el Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM). Esta área tiene una gran importancia ecológica por su papel en el abastecimiento de agua para el manto freático de la cuenca de la ciudad México. Debido a esto, el PECM ha estado sujeto a labores de restauración ecológica desde 1989, año en el que se le decretó como una zona sujeta a conservación ecológica.

Con el propósito de mejorar el establecimiento en campo de *Dodonaea viscosa*, se aplicaron tratamientos de robustecimiento a semillas recolectadas en diferentes años (2003 y 2009). El robustecimiento hídrico se aplicó para mejorar el vigor de las semillas y el crecimiento de los brinzales en campo. Por último, se utilizó hidrogel (silos de agua) para reducir el déficit de humedad que se observa en el parque en la estación seca, la cual limita el establecimiento de nuevos individuos.

Se observó que los tratamientos de robustecimiento aplicados en *D. viscosa* proporcionan ventajas en la germinación de semillas, el crecimiento y la supervivencia de los brinzales en campo. Demostrando que la aplicación de tratamientos de robustecimiento en semillas viejas o jóvenes pueden mejorar su vigor. Cabe mencionar que la utilización del hidrogel estimula la supervivencia y el crecimiento en campo al compensar la pérdida de humedad a las plantas.

Concluimos que los tratamientos aplicados pueden promover que *D. viscosa* tenga una mayor supervivencia en campo, lo que aumenta su potencial para ser usada en la restauración del Parque Ecológico de la Ciudad de México. El uso de técnicas que promuevan el establecimiento y adaptación en campo, como el robustecimiento y el hidrogel, deberían introducirse de manera amplia en el diseño de estrategias de restauración.

## II. INTRODUCCIÓN

El Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM) presenta un conjunto muy representativo de la vegetación del Valle de México. Éste fue rescatado de la urbanización y se le protegió mediante un decreto, creándose el Parque en 1989 (González-Hidalgo *et al.* 2001). Sin embargo, en algunas zonas el parque presenta diversos grados de degradación ecológica, el cual debe revertirse a través de estrategias de restauración ecológica. Con este propósito se aplicaron en brinzales (Padilla-García 1987) de *Dodonaea viscosa* técnicas que pueden facilitar el reestablecimiento de la vegetación nativa de la zona, lo que ayudaría a largo plazo a recuperar el equilibrio del ecosistema. Estas técnicas son el uso de tratamientos robustecedores y silos de agua, que son de uso común en la agricultura y la fruticultura.

*D. viscosa* es una planta nativa del Valle de México, que se distribuye en selva baja caducifolia, bosque de pino-encino y matorrales xerófilos. Esta especie pionera puede crear condiciones que faciliten el establecimiento de otras especies; además aporta materia orgánica al suelo contribuyendo a la formación de éste y a formar una isla de recursos, como sombra y nutrimentos (Monroy-Ata *et al.* 2007).

Los tratamientos robustecedores se han utilizado con éxito en otros esfuerzos realizados para restaurar el PECM (Benítez-Rodríguez 2005; Castro-Colina 2007), al igual que en zonas tropicales, principalmente de Cuba (Sánchez *et al.* 2006). Su función es vigorizar a los embriones de las semillas para que sean más resistentes a condiciones adversas del medio, tal como altas temperaturas. En semillas viejas se ha aplicado para recuperar el vigor de éstas (Sánchez *et al.* 2001). Resulta común que al implementar programas de revegetación, reforestación o restauración de áreas perturbadas se carezca de germoplasma recién colectado y en suficientes cantidades, por lo que es importante probar la eficiencia de los tratamientos

de robustecimiento en la revigorización de germoplasma viejo. Dado que *D. viscosa* es una especie que presenta latencia física, es necesario volver permeable su testa para exponerla a los tratamientos de robustecimiento que consisten en la hidratación regulada de las semillas seguida de deshidratación (Kigel 1995) Con el propósito de hacer permeables las semillas de *D. viscosa* se ha probado con éxito la inmersión en agua caliente (Martínez-Pérez 2006). En semillas permeables la hidratación regulada permite la activación de procesos bioquímicos y fisiológicos relacionados con la germinación, y el incremento en el vigor de las plántulas (Sánchez *et al.* 2001).

El clima en el PECM es marcadamente estacional con periodos de sequía prolongados; además presenta aridez edáfica, dado que el sustrato volcánico permite la percolación rápida del agua hacia el manto freático y el escaso suelo tiene poca retención de ésta. Por estos motivos es importante probar la eficiencia del uso de silos de agua (materiales inertes que retienen una gran cantidad de agua) en esfuerzos de revegetación, reforestación o restauración ecológica en el PECM. Los silos de agua son empleados principalmente en fruticultura y se ha visto que incrementan la supervivencia de las plantas. Esto sugiere que adicionar el material de los silos a las cepas durante la reintroducción de una especie nativa a zonas perturbadas, como el Parque, puede incrementarse la supervivencia de los brinzales de *D. viscosa*, al actuar como reservorio de agua para los brinzales.

### III.MARCO TEÓRICO

#### 1. Sucesión ecológica

La sucesión ecológica es un proceso apoyado en interacciones directas entre especies y modificaciones en el ambiente en donde ocurren cambios en la composición y estructura del ecosistema a través del tiempo y el espacio (Cano-Santana *et al.* 1996). El concepto de sucesión ecológica fue expresado por primera vez por Clemens en 1916, él describió a la sucesión como una serie progresiva de cambios en la flora y la fauna que conducen al establecimiento de una comunidad clímax. Un modelo de sucesión es una construcción conceptual para explicar patrones de las sucesiones, combinando varios mecanismos y especificando sus interacciones, y las diferentes etapas de estos patrones. Los modelos de sucesiones tratan de explicar trayectorias o eventos pasados y de predecir eventos futuros. Hay varias maneras de definir y clasificar los modelos de sucesión, pero su clasificación es arbitraria. La manera en que se conciben los cambios que ocurren en el tiempo durante la sucesión ecológica, y los procesos que los conducen, ha cambiado en el tiempo y se han desarrollado nuevos modelos para explicarla. Connell y Slatyer (1977) proponen un modelo hipotético por el cual se especula el desarrollo de la sucesión ecológica como un proceso ordenado y cíclico de cambios que ocurren en la composición de la comunidad de un ecosistema a través del tiempo y el espacio, mediante tres pasos básicos que pueden determinar su trayectoria:

**1.1 Facilitación:** Las especies pioneras mejoran la condición ambiental aumentando la disponibilidad de recursos, lo que favorece el establecimiento de otras especies de sucesión tardía. El crecimiento de las especies tardías promueve que con el tiempo las pioneras sean

eliminadas. Este fenómeno se repite hasta que se dé la tolerancia o la inhibición del crecimiento de alguna especie.

**1.2 Tolerancia:** Las especies pioneras modifican el ambiente disminuyendo el reclutamiento de especies de sucesión temprana sin afectar el establecimiento de las especies tardías capaces de tolerar las condiciones ambientales presentes.

**1.3 Inhibición:** Una especie impide el establecimiento y el desarrollo de otra evitando la colonización de otras especies o promoviendo su desaparición local, mientras que la primera especie continua regenerándose.

También se pueden dar las combinaciones entre los tres mecanismos, los cuales actúan simultáneamente o cambian a través del tiempo porque las condiciones también lo hacen (Fig.1).

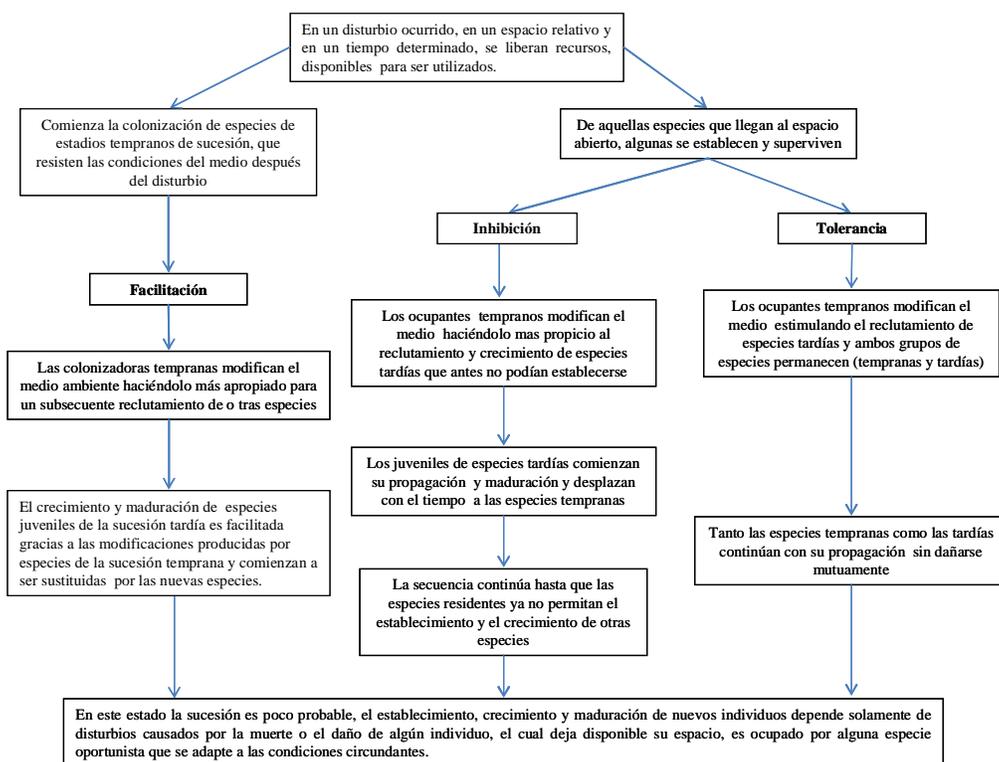


Figura 1. Mecanismo de sucesión ecológica, en el que se muestran los procesos de interacción en la sucesión ecológica, diagrama modificado de Connell y Slatyer (1977).

## **2. Sucesión en el Parque Ecológico de la Ciudad de México**

Los procesos de sucesión ecológica primaria y secundaria se encuentran en pleno desarrollo en el Parque Ecológico, el primero es consecuencia del derrame de lava producido por el volcán Xitle hace 2400 años (Yarza 1992), el cual cubrió parcialmente el área del parque, y el segundo es consecuencia de los disturbios recientes ocasionados por la invasión urbana del área. La sucesión ecológica primaria tiene los siguientes componentes: el sustrato es predominantemente material parental, carece de vida o suelo y generalmente comienza a ser colonizado por líquenes y/o musgos. En el PECM es posible observar distintas etapas de la sucesión primaria, tempranas en las zonas donde la lava aún está expuesta y no hay suelo, y más avanzadas en las zonas donde hay mayor acumulación de suelo. La sucesión secundaria se presenta principalmente en zonas que se urbanizaron, en las que se observa un deterioro que incluye desde la destrucción del sustrato lávico, hasta solo la deforestación. El proceso de sucesión ecológica secundaria está representada en zonas donde el medio ha sido perturbado, pero que tiene componentes vivos, hay suelo y hay vegetación de cualquier tipo. Sin embargo los remanentes de vegetación indican que desde los primeros años de la recolonización predominan: líquenes, musgos; subsecuentemente hierbas, arbustos y por último árboles, provenientes de semillas y otras estructuras de propagación, dispersadas por el viento y los animales, estos elementos se distribuyen conforme a la topografía existente y el grado de disturbio (Fig. 2).

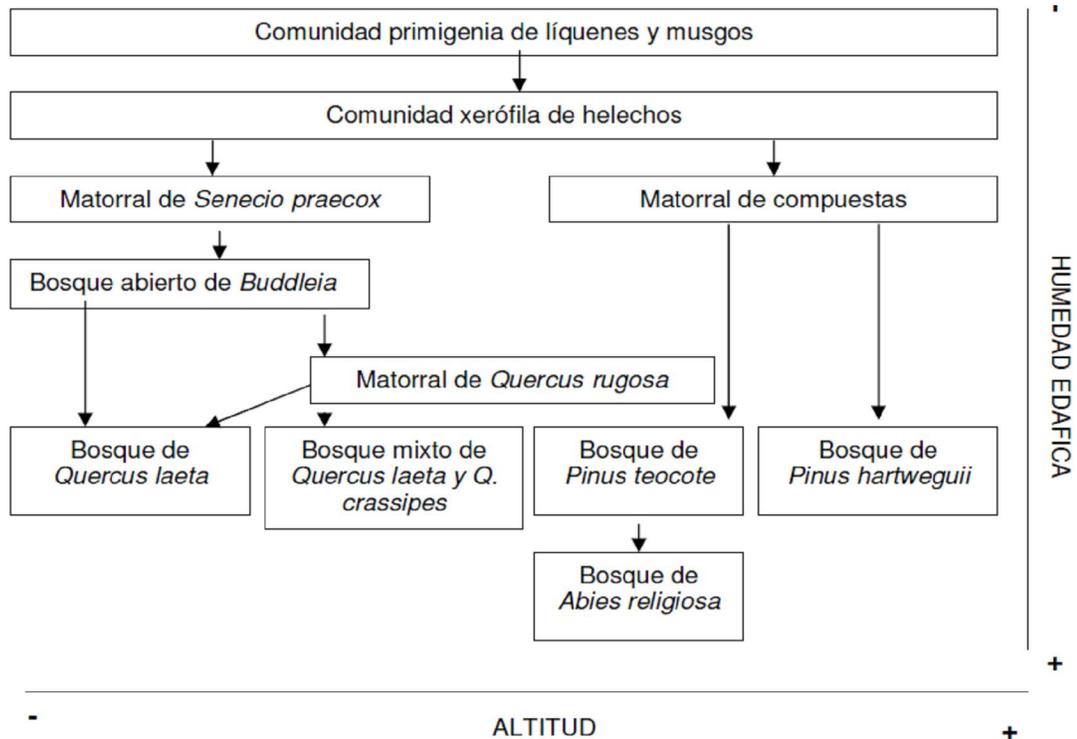


Figura 2. Modelo hipotético de la sucesión ecológica en el Pedregal de San Ángel propuesto por Cano-Santana y Meave (1996).

### 3 Restauración ecológica

Antes de definir que es la restauración ecológica hay que mencionar que está muy ligada con la sucesión ecológica y que los ecosistemas se regeneran por si solos cuando no existe barreras que impidan la regeneración del ecosistema, así que la restauración pasiva se refiere a que un ecosistemas degradado pueda disminuir factores de tensión, o los disturbios que impiden su regeneración y que se restaurare solo. Cuando un ecosistema presenta una degradación severa no puede regenerarse rápidamente desviando o deteniendo su dinámica sucesional natural; por eso es necesario la práctica de la restauración ecológica activa o asistida (sucesión dirigida o asistida) (Vargas 2008).

La Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER) define la restauración ecológica como, "el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido". Es decir, la restauración ecológica es el esfuerzo práctico por recuperar de forma asistida la dinámica de un ecosistema que presenta una tendencia a auto restablecerse mediante trayectorias posibles de los ecosistemas históricos o nativos de la zona. La tendencia natural debe estar dirigida a la recuperación, no necesariamente de la totalidad sino de los componentes más importantes para el ecosistema para tener una estructura básica, una composición de especies general, dependiendo de las condiciones que presente el ecosistema degradado (SER 2004) podemos inferir que:

Es factible que con ayuda se recuperen los mecanismos que permiten revertir la degradación del ecosistema y éste pueda volver a una o varias trayectorias posibles de regeneración, pero difícilmente llegará a la composición original del ecosistema. Las trayectorias que sigan para el ecosistema van a depender del conocimiento de los restauradores, además de los conocimientos que se tengan del ecosistema de referencia (ecosistemas modelo) y del estado actual del ecosistema perturbado (ecosistema postdisturbio). Tomando en cuenta que las condiciones del ecosistema están ligadas a la relación que presente el medio ambiente con la sociedad.

El enfoque de la restauración ecológica implica que debe de retornar el ecosistema a un estado cuyas características ecológicas garanticen la recuperación de la composición, estructura y función del ecosistema y recuperación de los de los servicios ambientales (Hobbs y Norton 1996). Se llama restauración ecológica al conjunto de acciones, cuyo objetivo final es la reconstrucción de un ecosistema que ha sufrido perturbaciones en algún grado que se ubica en una escala de degradación ecológica, pequeña o grande, tiene como objetivo reintroducir las poblaciones vegetales y animales de la zona, además restablecer las

poblaciones nativas y sus interacciones, con el fin de que se forme un ecosistema estable, por lo que la restauración será positiva (Martínez-Romero 1996).

La restauración ecológica implica una serie de pasos consecutivos, cuya secuencia responde a la estrategia de Restauración diseñada para cada lugar (Vázquez-Yanes y Batis 1999). En sitios muy deteriorados se puede iniciar con la simple revegetación del área, mientras que en sitios menos afectados por el disturbio se puede iniciar con la reintroducción de los elementos que favorezcan su reintroducción. En el PECM se han realizado varias investigaciones que responden a una estrategia de restauración que plantea la reintroducción de especies arbóreas y arbustivas que aceleren la sucesión secundaria por la vía de la facilitación. Entre estas especies se ha considerado a *Buddleia cordata*, *D. viscosa*, *Eupatorium* spp, *Sedum oxypetalum* y *Wigandia urens*, entre otras (P. E. Mendoza Hernández, I. Pisanti y A. Orozco).

#### **4. Reproducción por semillas**

La semilla tiene una importancia crítica en el ciclo de vida de las plantas vasculares superiores y en su éxito en la colonización de casi todos los ambientes del planeta. La semilla es el único medio de dispersión del individuo producido por vía sexual, además de que le provee los nutrientes esenciales para su crecimiento y posterior establecimiento (Vázquez-Yanes 1990; Bewley y Black 1994). Consiste en un embrión que se desarrolla a partir de la ovocélula fecundada, la reserva de alimento presente en el endospermo, los cotiledones u otros tejidos y la testa; que es la cubierta de la semilla que se desarrolla de la capa o capas más externas del óvulo. Las semillas funcionan como herramienta para la renovación, la dispersión y persistencia de las plantas, así como para la regeneración de comunidades vegetales y la sucesión ecológica siendo un recurso importante para la agricultura, reforestación, la conservación del

germoplasma vegetal, además para la recuperación de las especies en riesgo por ser explotadas (Vázquez-Yanez *et al.* 1997). Los mecanismos de dispersión de las semillas dependen de las características morfológicas y de la historia de vida de las plantas y de la biomasa de las semillas, ambas son determinantes en el proceso de dispersión y en el reclutamiento de las poblaciones vegetales. Por ejemplo existen diferencias de magnitud de tamaño de semillas desde las más pequeñas como las de las orquídeas con un peso de 0.1 mg, y las más grandes como sería el caso de los cocos de las palmas de los del pacífico 10 kg (Vázquez-Yanes *et al.* 1997).

#### **4.1 Viabilidad**

La viabilidad de las semillas se define como el tiempo en que pueden permanecer vivas. Se ha dividido en dos grupos principales: viabilidad potencial y viabilidad ecológica. La primera depende del método de almacenamiento, que puede ser óptimo, subóptimo o circunstancial; mientras que la viabilidad ecológica es la que se expresa en el campo, de manera natural o en condiciones semicontroladas, cuando se colocan semillas en el suelo en tela de organza, la cual permite que las semillas estén expuestas a todas las variables ambientales (Vázquez-Yanes y Orozco 1996b, 1993). De acuerdo con la viabilidad de las semillas expresada en condiciones de almacén las semillas se han dividido en dos grupos principales: ortodoxas y recalcitrantes (Hong y Ellis 1996).

#### **4.2 Semillas ortodoxas**

Estas semillas pueden ser desecadas hasta contenidos de humedad muy bajos sin sufrir daños, al menos hasta un nivel de humedad constante que se mantenga en equilibrio con una

humedad ambiental relativa de 10% (Vázquez–Yanes *et al.* 1997). Su longevidad se prolonga a los factores de almacenamiento y también cuando se disminuye el contenido de humedad y la temperatura durante el almacenamiento, en una forma cuantificable. Algunos ejemplos de semillas ortodoxas y su longevidad son los expuestos por Telewski *et al.* (2002) de la germinación de semillas almacenadas durante 120 años y también de Matthew *et al.* (2007) de semillas germinadas después de haber sido almacenadas durante 200 años.

### **4.3 Semillas recalcitrantes**

En contraste con las semillas ortodoxas, las recalcitrantes no pueden ser desecadas por debajo de un punto relativamente alto en el contenido de humedad sin causarles daño. A pesar de que existe gran variación en el contenido de humedad crítico entre las especies, bajo el cual la viabilidad se reduce, algunas especies comienzan a morir rápidamente aun en equilibrio con una humedad relativa ambiental de 98-99%, y la mayoría de las semillas muere cuando su contenido de humedad está en equilibrio con una humedad ambiental de 60-70%. Todavía no existe un método eficiente para mantener la posibilidad de viabilidad de las semillas de estas especies por arriba de un periodo largo y su esperanza de vida en condiciones óptimas de almacenamiento depende de la especie (Vázquez–Yanes *et al.* 1997).

## **5. Latencia**

Una vez que la semilla ha completado su desarrollo se inician los cambios que darán lugar al establecimiento del reposo en las semillas. Este reposo o reducción del metabolismo se denomina quiescencia cuando la causa de que no ocurra la germinación es fundamentalmente la falta de agua. El reposo de las semillas se denomina latencia cuando las semillas no germinan a pesar de encontrarse en condiciones óptimas de temperatura y humedad. Las

causas por las que no germinan pueden deberse a la existencia de un periodo cronológicamente regulado de interrupción del crecimiento del embrión y de disminución del metabolismo durante su desarrollo. Ésta es una estrategia adaptativa de supervivencia frente a condiciones ambientales desfavorables que se presenta en algunos seres vivos. El establecimiento de la latencia está regulado por factores hereditarios que determinan los mecanismos físicos, morfológicos y/o fisiológicos de las plantas, los cuales interactúan con factores del ambiente en el que las plantas crecen; esto da lugar, a la larga, a cambios evolutivos en las plantas. Entre las condiciones más importantes del ambiente se encuentran las variaciones climáticas de temperatura y humedad, las variaciones microclimáticas de aspectos abióticos y bióticos, como la calidad espectral de la luz y el termoperiodo, la microflora y microfauna edáfica, así como las características específicas del lugar a las que las plantas se han adaptado para establecerse y crecer. Las variaciones micro y macroclimáticas, así como las condiciones hormonales y nutricionales de la planta progenitora tienen gran influencia en el establecimiento de la latencia de sus semillas durante su desarrollo, por lo cual pueden existir variaciones entre cosechas de semillas de una especie, según la época y el lugar de producción. (Hartmann y Kester 1988; Willan 1991; Vleeshowers *et al.* 1997)

### **5.1 Tipos de latencia en las semillas**

Se cataloga a la latencia como el bloqueo a la germinación promovido por algún factor interno y/o externo a la semilla, por lo que puede ser de origen endógeno y/o exógeno (Nikolaeva 1977). En la latencia endógena el obstáculo para la germinación se debe a las características del embrión, y la latencia exógena a las características de estructuras como el endospermo, el perispermo, la testa o las paredes del fruto que frenan la germinación. (Baskin y Baskin 1998,

2004), de esa definición de latencia endógena y exógena, modificaron y extendieron la categorización de (Nikolaeva 1977) y propusieron la siguiente clasificación:

**5.1.1 Latencia fisiológica.** Es motivada por la inhibición fisiológica del embrión, que frena la emergencia de la radícula. Se distinguen tres niveles:

**5.1.2. Latencia no profunda.** Los embriones desnudos producen plántulas normales. Las giberelinas pueden promover la germinación en especies con este tipo de latencia, y en algunos casos, también la escarificación mecánica. Las semillas pueden completar su maduración (postmaduración) en almacenamiento seco. También los tratamientos de estratificación fría (0–10 °C) o caliente (>15 °C) pueden romper la latencia dependiendo de la especie.

**5.1.3. Latencia intermedia** Como en el caso anterior, los embriones desnudos producen plántulas normales. Las giberelinas pueden promover la germinación sólo en algunas especies. Se requieren de 2 a 3 meses de estratificación en frío para romper este tipo de latencia.

**5.1.4. Latencia profunda.** En este tipo de latencia el único tratamiento para que la germinación se logre es mediante una estratificación con frío durante periodos prolongados (entre 3 y 4 meses). En este caso, los tratamientos con giberelinas no promueven la germinación, y los embriones extirpados producen plántulas anormales.

**5.1.5. Latencia morfológica.** Este tipo de latencia se describe porque, una vez que la semilla es dispersada, el embrión todavía no ha terminado de crecer, siendo un embrión subdesarrollado, aunque está diferenciado ya que se pueden distinguir los cotiledones y el eje hipocótilo–radícula. Suelen presentarse en muchas especies del trópico y regiones templadas. Los embriones no necesitan tratamientos para romper la latencia, sólo tiempo para que

terminen de crecer. En algunos casos alternar periodos con estratificación caliente y fría, durante la incubación pueden romper esta latencia.

**5.1.6. Latencia morfofisiológica.** Esta latencia se caracteriza por tener embriones de semillas semidesarrollados con latencia fisiológica. En algunos casos los embriones germinan normalmente y la latencia se rompe por las condiciones ambientales, mientras que en otros casos se necesitan tratamientos con calor, o bien con calor seguido por frío durante la incubación

**5.1.7. Latencia física.** Esta latencia está definida por la impermeabilidad al agua de una cubierta seminal característica que se encuentra asociada con la presencia de capas impermeables de esclereidas y macroesclereidas. Esta latencia puede ser rota cuando la semilla pasa por el tracto digestivo de ciertos animales y por altas temperaturas, por ejemplo, en lugares donde los incendios son frecuentes, y también por fracturas que sufre la testa (Vázquez–Yanes *et al.* 1997).

**5.1.8. Latencia combinada.** Las semillas que la presentan tienen una combinación de latencia fisiológica y física (con testas impermeables al agua y con embriones con algún tipo de latencia endógena). Las temperaturas altas con amplias oscilaciones hacen que la testa se vuelva permeable, mientras que las bajas temperaturas de invierno o las altas temperaturas de verano hacen que el embrión salga de su estado latente (Baskin y Baskin 1989).

## **6. Tratamientos robustecedores para mejorar la germinación de las semillas y el crecimiento**

La germinación se define como la emergencia de la radícula u otra estructura del embrión de las cubiertas de la semilla. Las semillas maduras muestran un patrón trifásico de absorción de

agua que determina el potencial hídrico de las células durante los procesos fisiológicos y bioquímicos que preceden a la emergencia del embrión tal como se muestra en la (Fig. 3).

**Fase I**, al poner a la semilla en contacto con el agua, las fuerzas osmóticas del sustrato y la semilla determinan la velocidad de imbibición, cuando el potencial osmótico de la semilla es más bajo que el del sustrato la velocidad de hidratación es rápida, lo cual en las semillas vivas permite el incrementar la tasa respiratoria de un 40 a un 45%; el inicio de la movilización de los carbohidratos y proteínas de las reservas del embrión en un 4.5%, así como el inicio de la síntesis de proteínas, y de otros procesos requeridos para que ocurra la germinación.

**Fase II**, o estacionaria. El potencial osmótico de la semilla entra en equilibrio con el ambiente que la rodea. Durante esta fase se realizan los principales cambios metabólicos que preparan al embrión para la emergencia de la radícula por medio de varios mecanismos: la acumulación de sustancias osmóticamente activas en las células, lo que aumenta el contenido de humedad hasta un 65%; la activación de la bomba de protones que aumenta la plasticidad estructural de las paredes celulares incrementando el contenido de agua en la semilla hasta un 73%, la síntesis de ARNm, el inicio de la vacuolización, el ensamblaje de nuevo DNA, RNA y mitocondrias y el crecimiento celular (por elongación).

**Fase III**, emergencia de la radícula. Después de que protruye la radícula, el embrión absorbe rápidamente agua del sustrato y comienza a elongarse, durante esta fase se inicia la movilización de las sustancias de reserva de los cotiledones que aseguran el establecimiento de la nueva plántula (Bewley y Black 1994; Sánchez *et al.* 2001).

Las semillas que entran en la fase III son las que germinan, ya que las semillas no viables pueden presentar las dos fases anteriores. La semilla conserva su tolerancia a la desecación

mientras se encuentra en la fase II y puede permanecer así debido a la presencia de algún mecanismo de latencia (Sánchez *et al.* 2001). El avance en el conocimiento de la germinación ha permitido que se desarrollen técnicas que implican el manejo de las semillas antes de que germinen, como el almacenamiento y el mejoramiento de las semillas, por medio de tratamientos de robustecimiento (Hartmann *et al.* 1997).

En estas fases se observa que la germinación se inicia con la toma de agua por la semilla (imbibición, fase I) (Bewley y Black 1994) lo cual está determinado por la permeabilidad de la cubierta, la capacidad de los tejidos de la semilla para tomar agua y por las condiciones del sustrato: temperatura, disponibilidad de agua, aireación, las características químicas del suelo, la duración de la imbibición y la pérdida de viabilidad o deterioro de la semilla por envejecimiento gradual. Una vez embebida la semilla se da inicio a una variedad de actividades anabólicas y catabólicas, que incluyen la respiración, la síntesis de proteínas y la movilización de reservas después de que absorben el agua.

Aplicar tratamientos robustecedores tiene la intención de mejorar la germinación y el vigor de las plántulas y de restaurar el daño sufrido por semillas viejas, mediante un proceso de hidratación regulada de las semillas, el cual puede ir acompañado por choques térmicos. Durante la fase II, o estacionaria de la germinación (cuando no hay un cambio observable en la toma de agua), se activan los procesos metabólicos que restauran la integridad de las células de las semillas por medio de la síntesis: de lípidos, proteínas, ARN y ADN, reensamblando mitocondrias y otros organelos, por último ayudando a soportar el estrés ambiental a través de la síntesis de proteínas estables al calor, como las LEA (proteínas de la embriogénesis tardía), que les permite tolerar la sequía y por ende incrementar la sobrevivencia y el establecimiento de las plantas.

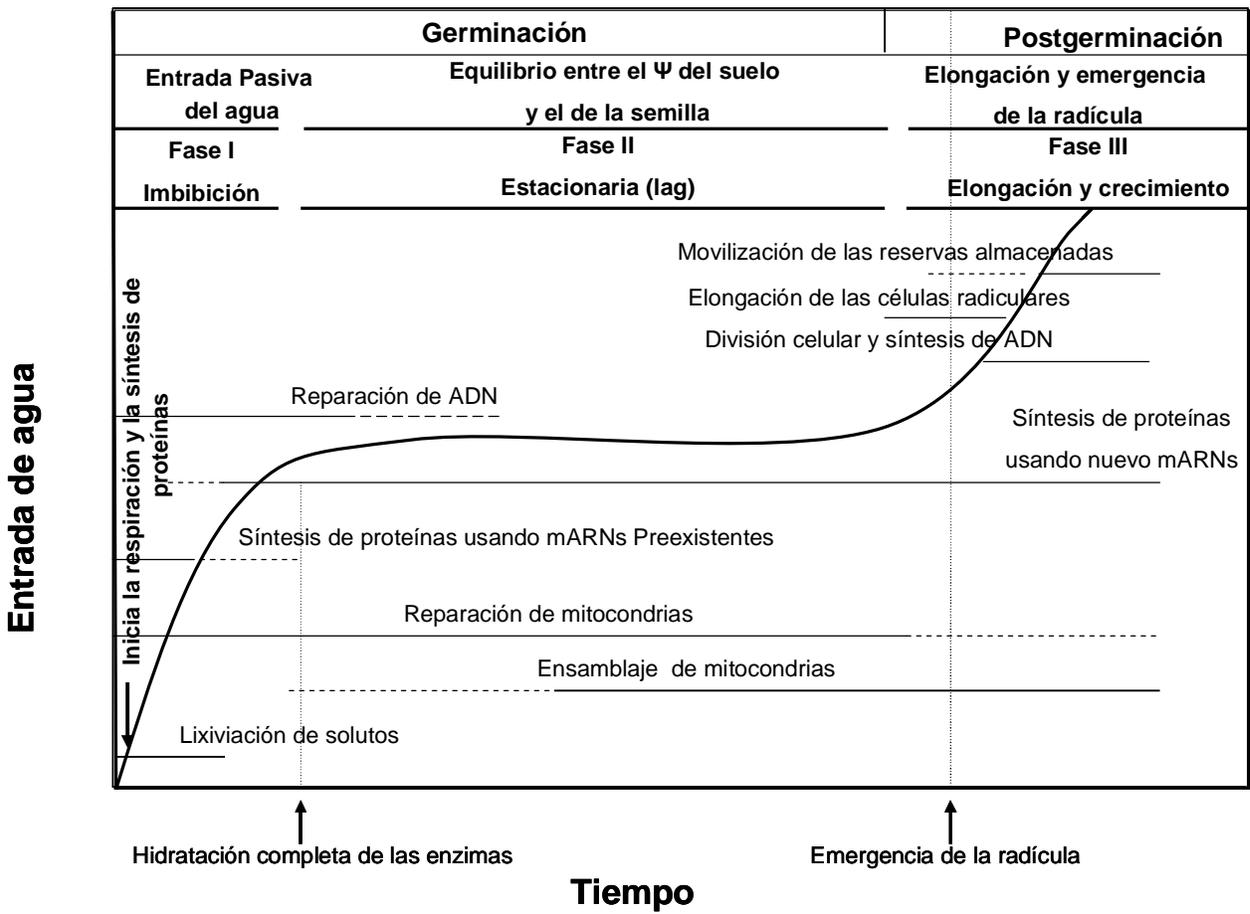


Figura 3. Eventos metabólicos que ocurren en las semillas de acuerdo al patrón trifásico de la absorción de agua (modificado de Bewley 1997).

### 7. Deforestación y fragmentación

La destrucción humana sobre los ecosistemas se remonta al inicio de la historia del hombre, y a partir de entonces pueden haber ocurrido eventos sucesivos de impacto sobre los ecosistemas y la biodiversidad. En la última mitad del siglo XX ha ocurrido una rápida deforestación de grandes extensiones, debido a los cambios de uso de la tierra, lo cual se considera una de las más grandes amenazas para el mundo (Dirzo y Raven 2003). La pérdida de diversidad en el mundo ha hecho que esta época sea catalogada como de gran extinción, llamada por algunos Antropoceno (Dirzo y Raven 2003). De acuerdo con la

Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) se especula que cada año alrededor de 13 millones de hectáreas de la superficie forestal mundial se pierden por la deforestación siendo casi la mitad de esta superficie (<http://www.fao.org/forestry/fra2005/en/>).

La deforestación se ve acompañada de la fragmentación del hábitat, debido a que la deforestación no ocupa superficies continuas, sino que deja fragmentos forestados de diversos tamaños y formas inmersos en una matriz deforestada con una biodiversidad menor que el ecosistema original (Fahrig 2003). En México, al igual que en los países en desarrollo, la presión por el cambio de uso de la tierra es fuerte. Debido principalmente por el creciente incremento en la población humana, que implica aumento en la demanda de alimentos y habitación. A esta situación se suma el cambio del modelo económico que ha promovido la explotación no regulada de los recursos naturales (Challenger y Dirzo 2009). El resultado ha sido que del total de la superficie de México ocupada por ecosistemas originales para 1976 sólo quedara el 38% y en 1993 el 54% (Challenger y Dirzo 2009). La tasa de deforestación en este intervalo de tiempo fue de 946,000 ha año<sup>-1</sup>, es decir 0.8% anual. En los ecosistemas hay redes de interacciones bióticas y abióticas, por lo que la pérdida o reducción de alguno de sus elementos pueden afectar a especies de su propio nivel trófico o de otros, modificando temporal o permanentemente la estructura y dinámica de las comunidades (Dirzo y Raven 2003).

## **8. El efecto de borde.**

El efecto de borde ocurre en la zona que circunda a la vegetación original, en la zona de contacto con el área libre de vegetación se modifican las condiciones microambientales (Murcia 1995) en un grado que depende de la extensión del área deforestada que la limita.

Un ejemplo es el efecto de borde en torno a claros, que de manera natural, se presentan en los ecosistemas, como el claro que deja la caída de un árbol, cuando los fragmentos de vegetación están distribuidos en parches rodeados de un espacio libre de vegetación, entonces el efecto de borde tiene una gran relevancia para que a partir de ellos ocurra el restablecimiento de la vegetación original del borde hacia los claros donde disminuye la humedad del suelo, y se incrementa la temperatura (Kapos 1989); al nivel del suelo, hacia el extremo exterior del borde, la evaporación aumenta y se incrementan los niveles de absorción de las raíces (Newmark 2001).

El aumento de iluminación que acompaña a la deforestación es acompañado por un incremento en la temperatura, lo que promueve una mayor germinación y establecimiento de especies heliófitas, aunque su establecimiento también depende de diferentes factores del suelo, como el pH, la humedad y la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Williams-Linera 1990a; Williams-Linera 1993). El cambio producido en las condiciones microambientales por la caída de un árbol o por la deforestación se incrementa con el tamaño del área expuesta y por el de los fragmentos, pero de manera general promueven el establecimiento de especies sucesión secundarias en la zona externa del borde ya que para su geminación necesitan: alta irradiación, por lo que son más abundantes que las especies sucesión primarias. Con el incremento de especies secundarias en el borde se incrementa la densidad arbórea y la riqueza de especies y a la larga se promueve que a partir del borde interno se establezcan individuos de la comunidad original. Las especies secundarias en su mayoría tienen altas tasas de crecimiento. En cambio, las especies primarias viven en condiciones limitantes de luz y presentan bajas tasas de crecimiento, por lo que no pueden competir eficientemente con las especies secundarias en un corto plazo (Lovejoy *et al.* 1986; Williams-Linera 1990b; Laurence 1991; Oosterhoorn y Kapelle 2000).

## **9. Facilitación y efecto de borde en el Parque Ecológico de la Ciudad de México**

En las zonas perturbadas y deforestadas el cambio de la temperatura en el tiempo es extremo y hay alta demanda evaporativa, ambos limitan la supervivencia y el establecimiento de las plantas y afectan las redes de interacciones bióticas entre los organismos y determinan los cambios en la distribución espacial de la vegetación. En el PECM los matorrales secundarios constituyen mosaicos de plantas perennes, generalmente arbustivas, a cuya sombra se pueden reclutar otras especies de una forma no azarosa (González-Hidalgo *et al.* 2001), este establecimiento está regulado por cambios microambientales similares a los que ocurren por el efecto de borde, tales como: los regímenes del agua, la dispersión de las semillas, la amortiguación de las condiciones físicas y la modificación de la fertilidad del suelo bajo su dosel, que tienen un efecto en la germinación y sobrevivencia de plántulas o brinzales (Fairén 2007). La interacción positiva que conduce al establecimiento de individuos de una especie bajo la protección de otras especies se denomina protección vegetal, el cual promueve el desarrollo de la vegetación (Castillo-Landero *et al.* 2010). Cuando este proceso no se establece entre fragmentos de vegetación y un número limitado de especies que recurrentemente están bajo la protección de las plantas ya establecidas se habla de facilitación (Connell y Slatyer 1977; Cano-Santana y Meave 1996). De igual manera cuando la protección para el establecimiento la brinda un fragmento de vegetación se habla de “efecto de borde”.

## **10. Hidrogel**

El hidrogel es un copolímero de poliacrilamida que captura decenas de veces su peso en agua, la cual gradualmente es extraída por el sistema radicular de la planta. Esto ayuda a reducir la frecuencia de riego y las pérdidas ocasionadas por sequía y estrés hídrico. Por su

presentación en gránulos, es utilizado en la agricultura, horticultura, reforestación, trasplantes y arquitectura del paisaje, su durabilidad es de 3 a 5 años en el suelo y tiene una alta capacidad de intercambio catiónico, permite fijar macro y micro elementos, incrementa la apertura estomática (por ende la asimilación de CO<sub>2</sub>) y la supervivencia bajo condiciones de estrés cuando hay suspensión de riego (Hernández-Santana *et al.* 2007).

La adición de hidrogel no solo optimiza la disponibilidad de agua, sino que reduce la pérdida de nutrientes por percolación o lixiviación y mejora la aireación y drenaje del suelo acelerando el desarrollo del sistema radicular y de la parte aérea de las plantas. Reduce el uso de agua de riego en más del 50%, absorbe fertilizantes liberándolos lentamente, se puede usar como sustrato único para el crecimiento de las raíces, mejora el drenaje si se usan como suplemento en el suelo, reduce las pérdidas por evaporación y filtración, reduce el estrés de las plantas durante el trasplante y en épocas de calor, favorece la absorción de nutrientes en solución provocando una mayor asimilación por la planta, aumenta la capacidad del suelo para retener agua sin saturar el medio radicular, el componente químico del polímero no provoca toxicidad sistémica al ecosistema al ser inerte y degradarse con la luz ultra violeta formando oligoelementos que se incorporan al ambiente sin problemas (Hernández-Santana *et al.* 2007; Nissen 1996).

#### **IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El PECM presenta un desequilibrio ecológico provocado por: la deforestación e intentos de urbanización que ocurrieron antes de su expropiación en el año de 1989. Debido a estos sucesos el parque perdió parte de su vegetación original y continúa en riesgo debido a la presión urbana sobre el área y pocas acciones de restauración en él. Por este motivo se

pretende diseñar estrategias metodológicas que permitan recuperar en forma acelerada la cobertura vegetal, con el fin de restaurar el ecosistema y recobrar su resiliencia. Para esto se utilizará *Dodonaea viscosa*, una planta nativa, formadora de suelos debido a su alta tasa de recambio de hojas, que se establece comúnmente en sustratos pobres en nutrientes. Su capacidad para modificar el ambiente edáfico y el aéreo; por la proyección de su sombra puede modificar la temperatura y la humedad del suelo de manera local; además de ser una especie de sucesión secundaria asociada a bosque de encinos. Estas características le permiten también fungir, potencialmente, como planta facilitadora para la colonización de otras especies (Camacho *et al.* 1991). Para incrementar el éxito del establecimiento se utilizará una técnica de robustecimiento de las semillas (priming, en inglés) que favorece la tolerancia a la sequía de diversas especies de plántulas. Con este mismo propósito se colocó en la base de la planta un silo de agua mediante el uso de hidrogel el cual funciona como reservorio de humedad durante parte de la época de sequía. Por último, se aprovechó la sombra proyectada por pequeños fragmentos de vegetación para proteger a las plantas de las temperaturas altas y de la excesiva transpiración.

## **V. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

### **1. Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM)**

La zona del PECM se localiza en el Distrito Federal, en la Delegación Tlalpan, al SO de la ciudad de México entre los paralelos (19°10'00'' y 19°14'30'' de latitud, 99°16'40'' y 99°13'40'' de longitud), en lo que se denomina parte media de la sierra del Ajusco, tiene una superficie de 727 ha, el parque ecológico se localiza en el kilómetro 5.5 de la carretera

panorámica Picacho-Ajusco, al sur de la cuenca del Valle de México (Fig.3), en la vertiente boreal de la sierra Chichinautzin, el parque ecológico forma parte del pedregal originado por la erupción de los volcanes Xitle, Xicotle y Cuazontle ocurrida hace aproximadamente 2400 años, la cual cubrió con una capa de lava un área de aproximadamente 80 kilómetros cuadrados, que incluye a las delegaciones Tlálpan, Coyoacán, Magdalena Contreras. La roca conformada por el derrame está constituida principalmente de basalto, cuarzo, andesita basáltica, andesita anfibola, piroxen, piedra pómez (Yarza 1992), de los cuales se originaron los suelos presentes: En el parque podemos encontrar Andosol en las partes que no fueron cubiertos por la lava y acumulado de manera somera sobre ésta, es el mismo caso de suelos clasificados como Feozem. En el área cubierta por la lava hay acumulado en mayor proporción Litosol, que es un sustrato derivado de cenizas volcánicas. En general los suelos presentes son suelos con poco contenido de materia orgánica, con un pH ligeramente ácido. La profundidad de los suelos es muy variable, existen desde someros, donde la roca madre puede aflorar, hasta profundos, ricos en materia orgánica producto de una lenta acumulación a través de cientos de años.

El tipo de clima en el área es Cb' (w2) (w) ig, (templado semifrío, el más húmedo de los subhúmedos y con lluvias en verano; García 1981), es un clima templado húmedo con verano caluroso y con temporadas largas de lluvia. La temperatura anual promedio es de 18 °C, la época mas más calurosa se presenta durante os meses de marzo a mayo, las temperaturas mínimas se presentan en los meses de noviembre a febrero con una temperatura media el mes mas frio 9.1 °C y el mes mas caliente 13.9 °C. La precipitación anual es de alrededor de 1000 mm, con los meses de junio a septiembre como los más húmedos. La temperatura media anual oscila entre los 12 y 18 °C y los meses más calurosos son de marzo a junio. La precipitación del mes más seco es de 8.9 mm y del mes más húmedo es de 229.5 mm (González-Hidalgo *et*

al. 2002). La precipitación pluvial durante el verano fluctúa entre los 900 y 1500 mm, según la altitud (Fig. 4), no se acumula y se infiltra a los mantos acuíferos en las áreas verdes que rodean al Valle, por lo que el PECM es una zona importante de recarga de mantos acuíferos.

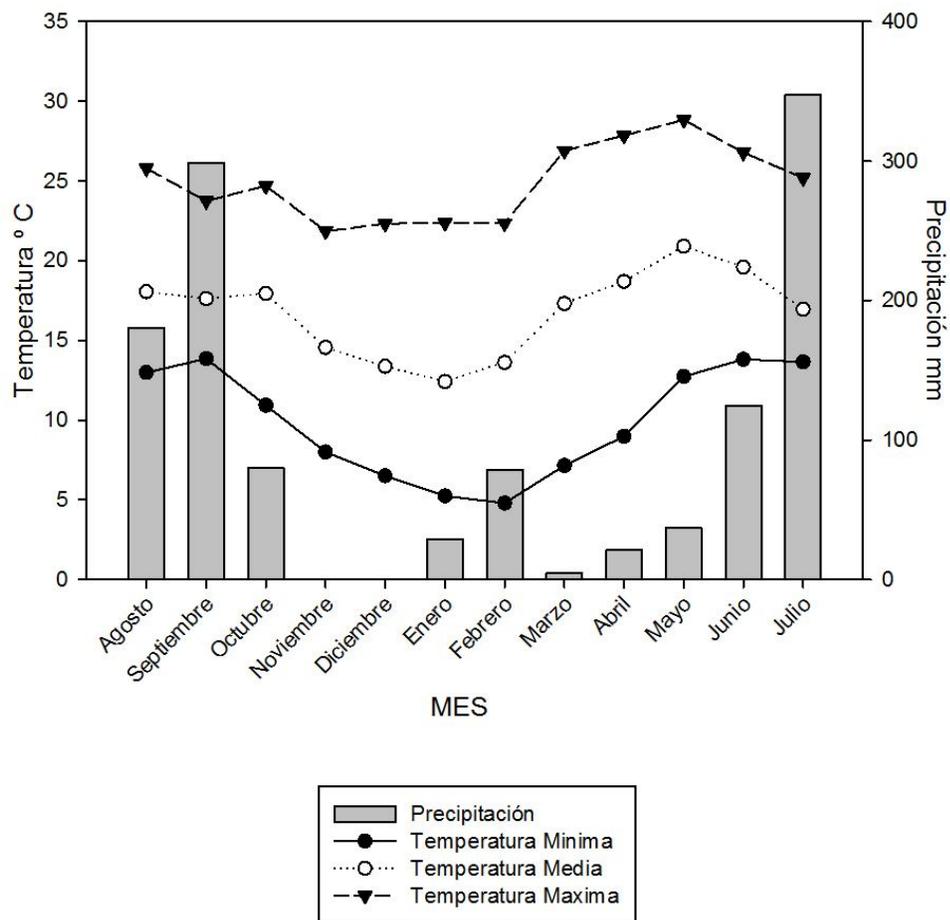


Figura 4. Precipitación y Temperaturas (mínima, media y máxima) durante el periodo en que se realizó proyecto (datos tomados de la Estación Meteorológica Universidad Nacional Autónoma de México).

Las cotas altitudinales en el Parque van de 2360-2860 msnm. A lo largo de este gradiente altitudinal se puede observar 4 tipos de vegetación (Martínez 2009):

**1.1 Bosque denso.** Ocupa una superficie de 10 ha y se encuentra dominada por *Q. rugosa* y *Q. laurina*, principalmente, con una alta densidad de 800 individuos por hectárea y un suelo bien desarrollado (Mendoza–Hernández 2002).

**1.2 Bosque abierto (o borde del bosque):** Tiene una superficie de 10 ha, y representa una zona de transición entre el bosque denso y el matorral perturbado. Los encinos tienen densidades un poco menores que el bosque denso con una densidad de 150 individuos por hectárea. En los márgenes de esta zona se puede apreciar *S. oxypetalum*, *Buddleia cordata*, *Agave* sp., *Eupatorium* sp., *Loeselia* sp., *Opuntia* sp., *Penstemon* sp., *Salvia* spp., *Verbesina virgata*, y algunas gramíneas y compuestas pequeñas (González-Hidalgo 2001).

**1.3 Matorral perturbado.** El sustrato es de roca fragmentada, hay poca formación de suelo y la vegetación es poco densa. Presentaba un bosque de encinos dentro del matorral xerófilo, y se perdió cerca del 60% de su cobertura vegetal como consecuencia del disturbio ocasionado por el asentamiento de un predio irregular. Se puede encontrar *S. oxypetalum*, *B. cordata*, *Dodonaea viscosa* y en temporada de lluvias algunas plantas ruderales de la familia Compositae. La disponibilidad de luz es muy alta, las temperaturas del aire y el suelo oscilan entre 10 y 40° C y la humedad del aire es muy baja, incluso en temporada de lluvias (Mendoza–Hernández 2002).

**1.4 Matorral de *Sedum*.** Es un tipo de vegetación muy abundante en la zona, y se localiza entre las laderas y en las zonas altas del parque, donde la formación de suelo es escasa. Aún en la época seca, es un matorral muy denso en el que *Sedum oxypetalum* es la especie dominante. También se encuentran algunos individuos de *Senecio praecox*, *Agave* sp., *Lamourouxia* sp., *Salvia mexicana*, *Opuntia* sp. y varias especies de helechos. Esta zona

pertenece a la comunidad vegetal que Rzedowski (1954) denominó como *Senecionetum praecosis* del Pedregal de San Ángel. Sin embargo, a pesar de pertenecer a la formación del Pedregal del Xitle, las condiciones de altitud y clima son diferentes entre la zona del Pedregal de San Ángel y el PECM, por lo que se han generado diferencias en la composición y abundancia de la vegetación de ambas zonas. Entre éstas destaca que *S. praecox* domine en las partes bajas y *S. oxypetalum* en las altas.

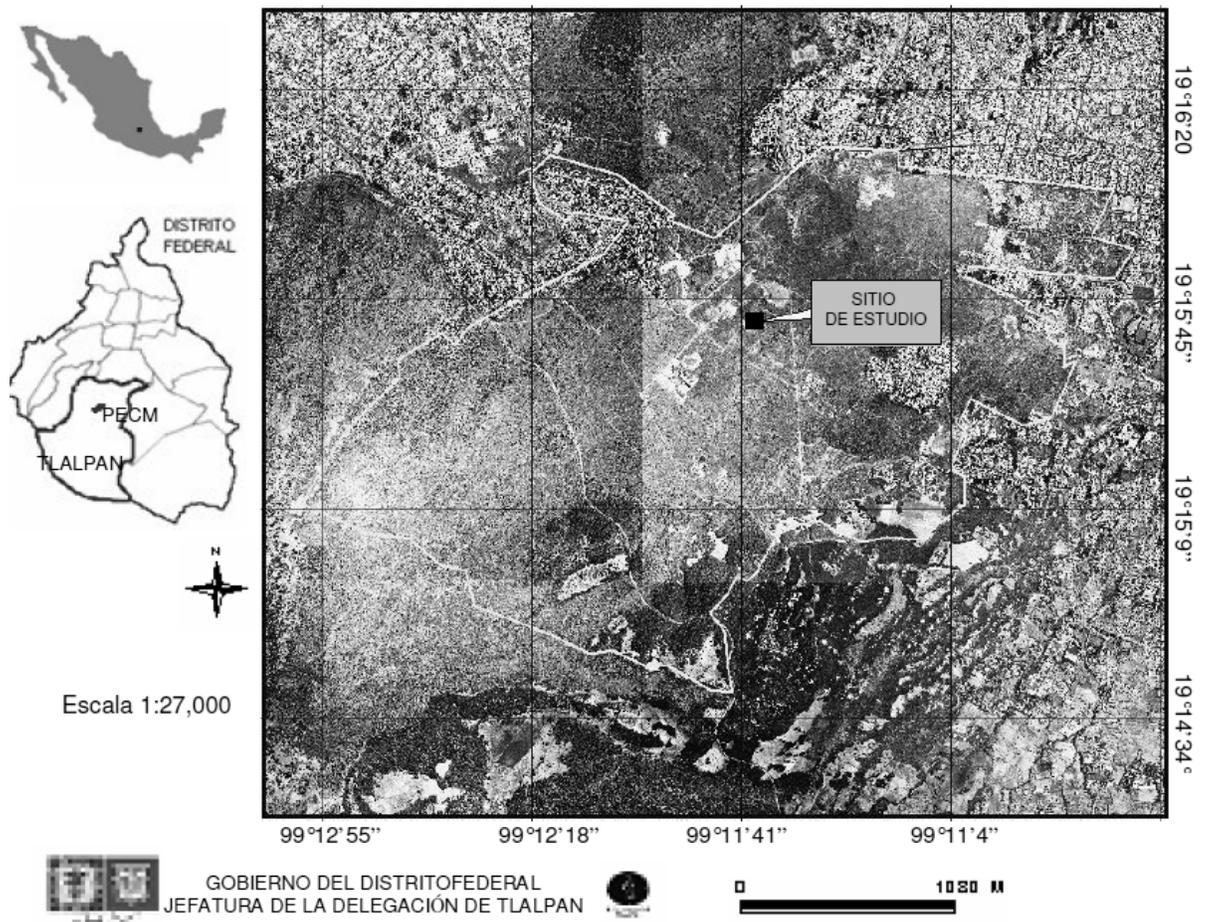


Figura. 5: Ubicación geográfica del Parque Ecológica de la Ciudad de México

(Tomado de Araiza-Ramírez 2007).

El PECM se estableció en un área forestal que estuvo sujeta entre 1987 y 1989 a la presión ejercida por la demanda de vivienda y por lo tanto con distintos grados de urbanización, en la delegación Tlalpan. El asentamiento urbano irregular conocido como “Lomas del Seminario” perturbó al ecosistema y en algunas zonas destruyó incluso el suelo, con lo que se perdió la estabilidad del ecosistema. Por este motivo en noviembre de 1987 se expropió el predio y el 28 de julio de 1989 se decretó como Parque Ecológico, en el Diario Oficial de la Federación en un intento por rescatar la zona y recuperar la funcionalidad del ecosistema.

## **2. Descripción de *Dodonaea viscosa***

*D. viscosa* (L.) Jacq., pertenece a la familia Sapindaceae, es una dicotiledónea pertenece al grupo Eurosidae II, es un árbol perenne que mide de 1 a 5 m de alto. Las flores son amarillentas, unisexuales y monoicas. El fruto es de forma capsulosa y membranosa, de color rojizo con 3 divisiones y 3 alas. Su floración se presenta de septiembre a octubre. Su semilla es esferoide de 2.44 mm de diámetro de color negro o café oscuro brillante (Rzendowski 1954), su medio de propagación principal es la producción de semillas, presenta una latencia física, lo que evita el contacto del agua con el embrión (Martínez-Pérez *et al.* 2006) y latencia fisiológica, impuesta por mecanismos inhibidores del metabolismo en el embrión, lo que impidiendo que este se desarrolle y ocurra la geminación (Benítez-Rodríguez 2005 ), es una planta cosmopolita, se distribuye de manera natural casi en todo México. Su distribución incluye zonas templadas, subtropicales y tropicales. *D. viscosa* (Chapulixtle) crece en una gran variedad de suelos que incluye los someros, rocosos, con fuertes pendientes y en suelos de alta erosión. Además puede estar en zonas con limitación de agua. En la cuenca de México se encuentra con frecuencia en zonas bajas, como es el caso del Pedregal de San Ángel en la

Ciudad de México. Se asocia con comunidades secundarias, etapas sucesionales de bosques perturbados, especialmente de los encinares y tipos de vegetación mesófila, bordes de arroyos, barrancos y taludes, claros de bosques, lugares expuestos, pastizales deteriorados, terrenos erosionados y matorrales (Rzedowski 1954). También se han encontrado ejemplares creciendo sobre suelos endurecidos (tepetate) alcanzando alturas promedio de 1.7 m, mientras que en toba removida alcanzaron tallas de 4 m (Camacho *et al.* 1991). Según Rzedowski (2006), el Chapulixtle forma los matorrales más típicos que aparecen después de la destrucción de los encinares, sin embargo, no se deben considerar como una etapa sucesional del bosque de encinos, aunque si se trata de una pionera de vegetación secundaria en zonas perturbadas.

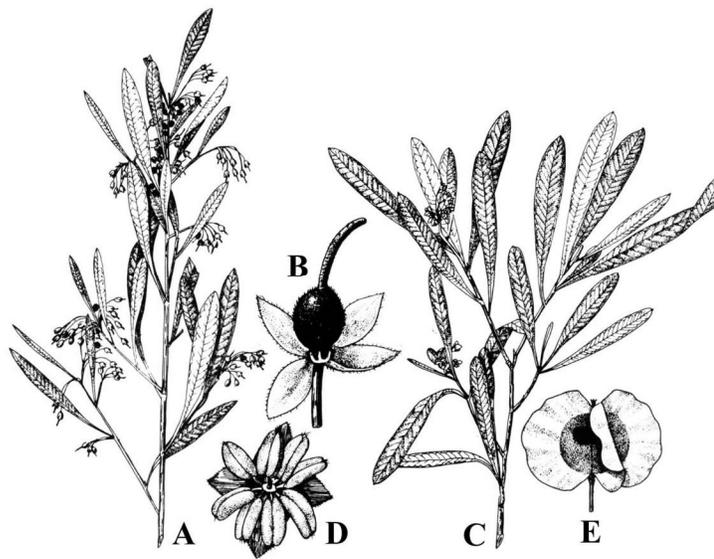


Figura 6. *Dodonaea viscosa*: A) rama femenina. B) flor femenina. C, rama masculina.

D, flor masculina. E, fruto (Saleem 2011).

### **3. Importancia de *Dodonaea viscosa* y su uso en la restauración**

*Dodonaea viscosa* es una especie que tiene características idóneas para la restauración ecológica; es una especie de comunidades secundarias, de etapas sucesionales de bosques perturbados (especialmente en encinares y matorral xerófilo) y vegetación mesófila es capaz de crecer en suelos erosionados, con altas pendientes, sobre tepetate y toba removida, es tolerante a suelos arcillosos y susceptible a suelos muy salinos y compactados (Plata-Álvarez 2002; PRONARE 1998), es un arbusto perennifolio y aporta constantemente materia orgánica al suelo, lo que contribuye a la formación de suelo; es una especie demandante de luz, tolerante a las sequías, sombra, viento y heladas (Martínez Pérez *et al.* 2006).

## VI. HIPÓTESIS

- Las semillas de *D. viscosa* recolectadas en el año 2009 no han sufrido deterioro durante el almacenamiento, entonces tendrán una viabilidad más alta y mejor germinación que las semillas recolectadas en el año 2003 que pueden haber perdido su vigor o su viabilidad durante el almacenamiento.
- La aplicación de tratamientos robustecedores promueven la vigorización de los embriones de las semillas, entonces promoverán la vigorización de las semillas de *D. viscosa* recolectadas en el 2009 y revigorizarán a las semillas recolectadas en el 2003, reparando los daños sufridos durante el almacenamiento. Por lo tanto, esto optimizará la germinación de las semillas, el crecimiento y la supervivencia de las brinzales en campo de las plántulas provenientes de ambos lotes de semillas.
- El hidrogel aplicado a la cepa en que se siembran los brinzales actúa como silo de agua, entonces incrementará la supervivencia y crecimiento de *D. viscosa* en áreas perturbadas del PECM debido a que reducirá el estrés hídrico de las plantas durante el estiaje.

## VII. OBJETIVOS

Evaluar el efecto de ecotecnias (robustecimiento hídrico, aplicación de hidrogel y nodrizaje vegetal) en la capacidad de los brinzales de *D. viscosa* para establecerse y crecer dentro del PECM, con el propósito de desarrollar mejores técnicas de restauración ecológica, que se puedan extrapolar a mayor escala.

## VIII. OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar el efecto de los tratamientos de robustecimiento en el porcentaje, velocidad e inicio de la germinación de las semillas de *D. viscosa* y en la posterior supervivencia y crecimiento de los brinzales en campo.
- Verificar si el uso de hidrogel como reservorio de humedad incrementará la supervivencia y el crecimiento en campo de las brinzales de *Dodonaea. Viscosa*.
- Analizar si las interacciones entre los tratamientos utilizados optimizan la supervivencia y el crecimiento de los brinzales de *D. viscosa* al ser reintroducidas en el Parque Ecológico de la Ciudad de México.

## IX. JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de México las áreas verdes están en peligro de desaparecer por el impacto de la demanda de urbanización de la ciudad, debido a esta situación las áreas verdes se están perdiendo continuamente. Sin embargo, para enfrentar la problemática, el gobierno estimulado por instituciones de conservación como (UNAM, CONABIO), promovió la creación de áreas naturales protegidas como el PECM, en el Ajusco Medio, ya que este tipo de zonas prestan a la ciudad diversos servicios como la absorción de agua, la recarga de agua de los mantos acuíferos, es un pulmón para la ciudad gracias a que absorben el CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis y captura de carbono en el suelo, entre otros. Así, con este trabajo se tiene la intención de ayudar a los esfuerzos de conservación y restauración que se han hecho para recuperar la cubierta vegetal de las zonas del PECM afectadas por la deforestación. Esto se hará aplicando estrategias agronómicas y aspectos de la ecología que incrementen el éxito de establecimiento y sobrevivencia de plántulas de *D. viscosa* introducidas al PECM. Se

manipulará el nodrizaje proporcionado por fragmentos pequeños de vegetación, se aplicarán también técnicas de robustecimiento a las semillas para favorecer el establecimiento de las plántulas en condiciones de stress hídrico, temperatura y exposición solar. La aplicación hidrogel como reserva de agua se utilizará también para reducir el estrés hídrico de la planta.

## X. MATERIALES Y MÉTODO

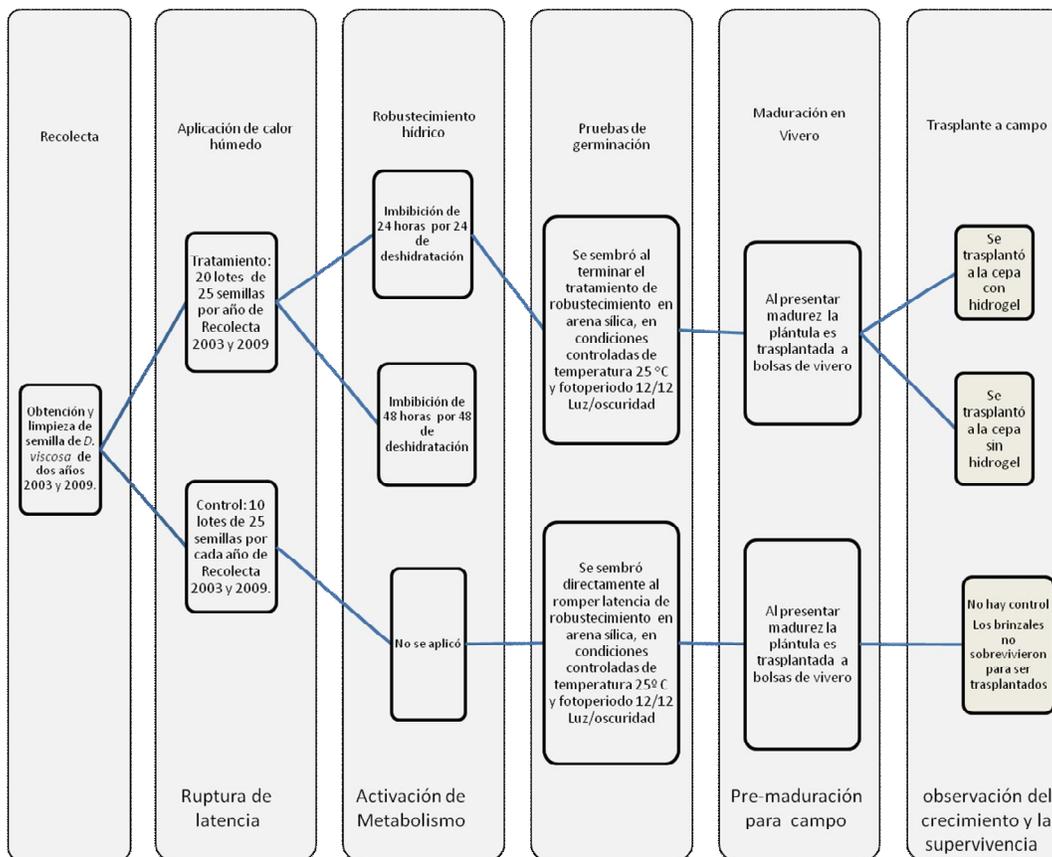


Figura. 7 Diagrama de flujo de la metodología seguida para la introducción de plantas de *D. viscosa* al Parque Ecológico de la Ciudad de México.

### 1. Recolección de semillas de *D. viscosa*

En diciembre de 2008 y enero de 2009, se recolectaron frutos maduros de al menos 10 individuos de *D. viscosa* en el PECEM. Se seleccionaron individuos con frutos sanos, se extendieron mantas en el piso alrededor de cada uno. Los arbustos se sacudieron para que cayeran los frutos maduros y también se removieron manualmente de sus ramas. En el laboratorio se extrajeron y limpiaron las semillas de los frutos mediante un tamiz y canicas para romper los frutos y que las semillas cayeran a través del tamiz.

También se usaron semillas recolectadas de frutos maduros en el PECM, en el periodo de diciembre de 2002 a diciembre de 2003, las cuales estuvieron almacenadas en frascos de vidrio con sílica gel, en el laboratorio, hasta su siembra (Benítez-Rodríguez 2005).

## **2. Ruptura de latencia**

Se prepararon 30 bolsas de tela de organza con 25 semillas cada una; diez bolsas con la recolecta de 2003, 10 con la de 2009 y 5 de cada procedencia se usaron como control. A diferencia de las semillas de 2003 (almacenadas por 6 años), las semillas recolectadas en 2009 se usaron inmediatamente. Con la finalidad de romper la latencia física de las semillas de ambos lotes se les aplicó calor húmedo a las semillas de todas las 30 bolsas; para lo cual, éstas se introdujeron en un vaso de precipitado de 1000 ml con 600 ml de agua a 75-80 °C. Después de 5 minutos se extrajeron y se secaron a temperatura ambiente (Martínez-Pérez 2006).

## **3. Robustecimiento hídrico**

Se aplicaron dos tratamientos de robustecimiento hídrico

- a) Para los tratamientos de robustecimiento hídrico 5 bolsas con semillas sin latencia física se sumergieron en charolas de agua a temperatura ambiente durante 24 horas, seguidas por 24 horas de deshidratación a temperatura ambiente.
- b) Otras 5 bolsas con semillas, de cada recolecta, se sumergieron en charolas de agua a temperatura ambiente durante 48 horas, seguidas por 48 horas de deshidratación.
- c) Para las semillas control se prepararon 5 lotes de cada recolecta sin pasar por ningún tratamiento de robustecimiento hídrico.

#### **4. Germinación**

Las semillas sometidas a los dos tratamientos de robustecimiento hídrico y las semillas control se sembraron en charolas con arena sílica húmeda para evitar daños radiculares al trasplantar las plántulas al vivero. Las charolas se colocaron dentro de una cámara de ambiente controlado (844 Lab-line Instruments, Inc., Melrose Park, IL, USA), a 25 °C con un fotoperiodo de 12 horas luz/obscuridad hasta su geminación. La germinación se consideró completa con la emergencia de la radícula y fue evaluada cada tercer día.

El diseño experimental fue el siguiente:

Dos años de recolecta × tres tratamientos (dos de robustecimiento y un control) × 10 lotes de semillas × 25 semillas

La respuesta germinativa se evaluó a través del porcentaje final de germinación, la velocidad de germinación y el tiempo de inicio de germinación. Se registro la germinación durante 30 días.

#### **5. Trasplante y Crecimiento en Vivero**

Las plántulas resultantes de todos los tratamientos, al presentar los cotiledones expuestos y fotosintéticos, se sacaron de la incubadora y se colocaron individualmente en bolsas de plástico negras para vivero (14×25 cm), perforadas en la parte inferior para facilitar el drenaje. El sustrato consistió de tierra negra y arena sílica 1:1, v:v. Las bolsas sembradas se colocaron en la casa de sombra del Laboratorio de Ecofisiología Vegetal del Instituto de Ecología. Durante 5 meses, se regaron cada tercer día a capacidad de campo (máximo capacidad del suelo para contener agua). De los brinzales se seleccionaron los más homogéneos en talla antes de ser sembrados en campo.

## **6. Trasplante al campo**

Se seleccionó un área del Parque Ecológico de la Ciudad de México, alterada por la deforestación y fragmentación de la roca volcánica, y por la consecuente pérdida de suelo. En la actualidad esta zona presenta una recuperación lenta y pobre o nula en algunos fragmentos de vegetación. Dentro de esta área, se seleccionaron cinco fragmentos similares en pendiente, tamaño, fragmentación de la roca, vegetación y proximidad y orientación con respecto a fragmentos de vegetación arbórea, cuyo componente principal fueron encinos. La plantación de las brinzales de *Dodonaea viscosa* se realizó bajo la sombra que proyectan, de 8:00 a 12:00 h los fragmentos de vegetación seleccionados. La sombra se ubicó hacia el NE, durante la época seca del año, desde el solsticio de invierno hasta el solsticio de primavera. En cada fragmento de vegetación se sembraron 20 brinzales de cada tratamiento, los brinzales del tratamiento control se murieron en el periodo de vivero. Las plantas se sacaron de las bolsas y se colocaron en cepas previamente preparadas con el sustrato original de las bolsas. A 10 de las cepas de cada fragmento se le colocó 1000 mL de hidrogel, mezclado con el sustrato. Las cepas se cavaron al azar dentro del fragmento, en sitios en que la roca volcánica estaba triturada o finamente fragmentada.

La medición de las variables de crecimiento y supervivencia se realizaron mensualmente durante un año (agosto de 2009 a julio 2010). Se midió el Crecimiento de cada planta, a través de su Altura, Cobertura, Diámetro a la Base del Tallo (DBT) y por último Número de Hojas (NH). La supervivencia se midió simultáneamente.

### **Tasa de crecimiento en temporadas**

Se calcularon 3 tasas de crecimiento durante el año de medición. La primera evaluación, de agosto a noviembre de 2009, periodo que incluyó la época de lluvias de ese año. Segunda

evaluación de diciembre de 2009 a marzo de 2010, y la tercera de abril a Julio (cuando ya se habían iniciado las lluvias). Con los datos obtenidos se calculó, para cada variable, las tasas relativas de crecimiento, con el enfoque clásico (Hunt 1982):

$$[(\ln \text{ del valor final} - \ln \text{ del valor inicial}) \times \Delta \text{ tiempo}].$$

A los resultados obtenidos de cada tratamiento se les calculó el porcentaje y se les aplicó una transformación a arcoseno para cumplir los supuestos del análisis de varianza (Zar 1984). Con el programa estadístico (Statgraphics Centurion XV versión 15.2.05), se hicieron análisis de varianza de una y dos vías, y se utilizó un nivel de confianza de  $\leq 0.05$ , utilizando. En los casos donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, se hizo una comparación múltiple con la prueba de Tukey (HSD).

Se ajustaron los porcentajes de germinación acumulada, de cada tratamiento y réplica, a un modelo exponencial sigmoide para obtener la velocidad y el inicio de la germinación. Se transformaron los porcentajes al arcoseno y se ajustaron con el programa TableCurve 2D, v. 3 (AISN Software, Chicago, IL, USA). Para todos los ajustes se obtuvo una  $r^2$  mayor a 0.90. La velocidad de germinación se definió como la primera derivada en el punto de inflexión de la curva ajustada a la germinación acumulada. El tiempo de inicio se obtuvo del modelo, como el tiempo en que germina la primera semilla.

La supervivencia en campo se analizó con un modelo lineal generalizado, usando una regresión lineal con una función de enlace logística. Los modelos lineales generalizados integran los componentes que describen la relación entre una variable de respuesta y una o más variables explicativas, incluye a menudo variables discretas. Es útil para modelar la

probabilidad de un evento que ocurre como función de otros factores, el entendimiento de los modelos y su construcción busca el mejor y más parsimonioso ajuste que sea biológicamente razonable. La particularidad de un modelo de regresión logística es la regresión lineal de un modelo en la cual una variable respuesta de la regresión logística es binomial o dicotómica (Hosmer 2000), por este motivo se seleccionó este modelo al saber que se obtendrían la respuesta de probabilidades de supervivencia y mortalidad.

La supervivencia se introdujeron al programa en forma binomial (individuos vivos e individuos muertos). Los datos se analizaron con el programa JMP ver. 8 Software SAS Institute Inc., Cary, NC., USA. Se obtuvieron las probabilidades de supervivencia de cada tratamiento.

Dentro de cada temporada de crecimiento, a través de análisis de varianza de una y dos vías se evaluó el efecto del año de recolecta, y los tratamientos de robustecimiento en las variables de respuesta del crecimiento (altura, cobertura, Diámetro a la Base del Tallo (DBT), Numero de Hojas (NH)) de los brinzales de *D. viscosa*. En los casos donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, se hizo una comparación múltiple con el método de Tukey HSD.

## XI.RESULTADOS

### Germinación de *D. viscosa*

La fecha de recolecta y el robustecimiento hídrico afectaron significativamente el porcentaje de germinación de las semillas de *D. viscosa* ( $F_{1, 23} = 37.00, P = 0.0001$ ;  $F_{1, 23} = 60.82, P = 0.0001$ ; respectivamente). La interacción de estos factores también tuvo un efecto significativo ( $F_{(1, 23)} = 28.90, P = 0.0001$ ). La germinación fue significativamente más baja en las semillas control de ambas cosechas (28% y 34% para 2003 y 2009, respectivamente) y significativamente más alta en el tratamiento de robustecimiento por 24 h, aplicado a las semillas de la cosecha de 2009 (85%); siendo el mejor tratamiento de todos. Las semillas de la cosecha 2003 con 48 h de robustecimiento incrementaron su germinación significativamente (53%) con respecto al control y a las semillas con robustecimiento de 24 h (44%), de la misma cosecha. Por otra parte, las semillas del 2003 y robustecimiento de 48 h no presentaron diferencia significativa cuando se comparó su germinación con la de semillas recolectadas en el 2009 y con robustecimiento de 48 h (51%), pero sí con las que recibieron robustecimiento de 24 h (85%). El control de las semillas de la cosecha 2009 tuvo también una germinación significativamente más baja que la que tuvieron estas semillas con ambos tratamientos de robustecimiento. Entre los controles de ambas cosechas no hubo diferencia significativa. Ni el robustecimiento ni la fecha de recolecta afectaron el tiempo de inicio o la velocidad de germinación ( $P > 0.05$ ; Fig. 8).

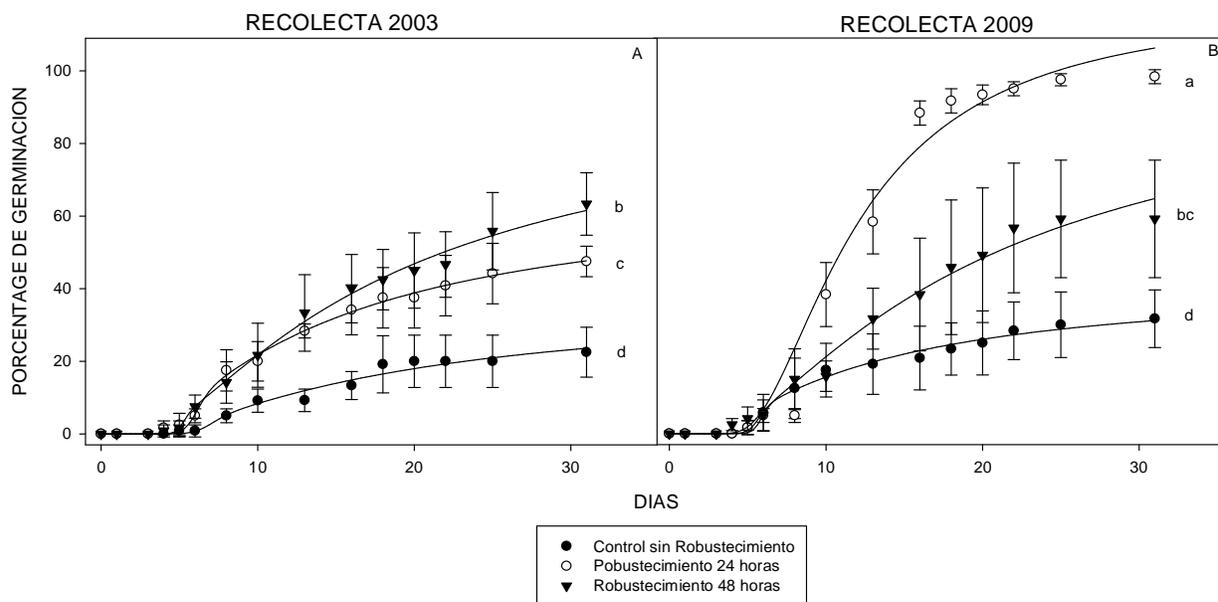


Figura 8. Germinación acumulada de *D. viscosa* bajo dos tratamientos de robustecimiento (de 24 y 48 h) y tratamiento control. Las letras indican las diferencias significativas.

### Supervivencia de las plántulas en el campo

En todo el año no hubo efecto significativo del robustecimiento hídrico en la supervivencia, por lo cual se eliminó del cálculo y del análisis de probabilidades de supervivencia. Todo el año de muestreo hubo un efecto significativo del hidrogel (excepto en el primer mes de permanencia en el campo –agosto, y en el antepenúltimo –mayo); pero éste efecto no fue igual ni para las dos cosechas de semillas ni para los brinzales creciendo en todos los fragmentos, ni constante a lo largo del tiempo.

Los resultados del análisis lineal generalizado se encuentran en la Tabla 1. La interacción entre hidrogel y cosecha no produjo efecto significativo en la supervivencia de octubre a abril, pero no fue significativo en los meses restantes. El sitio por si mismo no tuvo un efecto

significativo en la supervivencia, únicamente en abril se encontró una interacción significativa entre la cosecha, el sitio y el hidrogel. El hidrogel tuvo un efecto significativo positivo en la supervivencia de ambas cosechas, especialmente en las semillas de 2009. En relación al efecto de las condiciones ambientales de cada fragmento, sobre las probabilidades de supervivencia, de los individuos sembrados en ellos, solo tuvieron un efecto significativo (en interacción con la cosecha y la presencia de hidrogel) en el mes de abril. Al término del experimento, para la cosecha 2003, los fragmentos con menor supervivencia fueron el 2, para el tratamiento con hidrogel (0.16) y el 4 (0.02) sin hidrogel; la de éste fragmento fue la mínima para esa cosecha. Mientras que, para la cosecha del año 2009, con hidrogel la supervivencia más baja se presentó en los fragmentos 1 (0.55) y 3 (0.53), y la mínima fue para el fragmento 5 (0.02), sin hidrogel. La mayor supervivencia fue para la recolecta de 2009, con hidrogel, en los fragmentos 2 (0.78) 1 (0.75) y 4 (0.72). Para la cosecha 2003 la mayor supervivencia se presentó en el fragmento 3, en el tratamiento con hidrogel (0.63), pero fue menor que la mayor supervivencia presentada por los individuos de la cosecha 2009. Las probabilidades de supervivencia se muestran en la Figura 9.

Cuadro. 1. Resultados estadísticos del Modelo Lineal Generalizado sobre la supervivencia en campo evaluada mensualmente, mostrando la significancia de los factores en cada mes.

Mes	Factor	N	Df	Chi cuadrada	Probabilidad chicuadrada
Agosto	Modelo no significativo				
Septiembre	Hidrogel	1	1	17.9004858	<.0001*
Octubre	Hidrogel	1	1	12.9927198	0.0003*
	año*hidrogel	1	1	9.02122122	0.0027*
Noviembre	Hidrogel	1	1	15.1560849	<.0001*
	año*hidrogel	1	1	15.1560849	<.0001*
Diciembre	Hidrogel	1	1	16.1033709	<.0001*
	año*hidrogel	1	1	12.1337355	0.0005*
Enero	Hidrogel	1	1	18.3347578	<.0001*
	año*hidrogel	1	1	5.49377573	0.0191*
Febrero	Hidrogel	1	1	30.4589971	<.0001*
	año*hidrogel	1	1	5.83667072	0.0157*
Marzo	Hidrogel	1	1	34.6700116	<.0001*
	año*hidrogel	1	1	13.032637	0.0003*
Abril	Hidrogel	1	1	49.3038856	<.0001*
	año*hidrogel	1	1	12.6408246	0.0004*
	año*hidrogel*sitio	4	4	15.9294739	0.0031*
Mayo	no presenta semejanza al modelo				
Junio	Hidro	1	1	72.0604409	<.0001*
	Año	1	1	15.9544242	<.0001*
Julio	Hidrogel	1	1	67.7656082	<.0001*
	Año	1	1	14.9566084	0.0001*

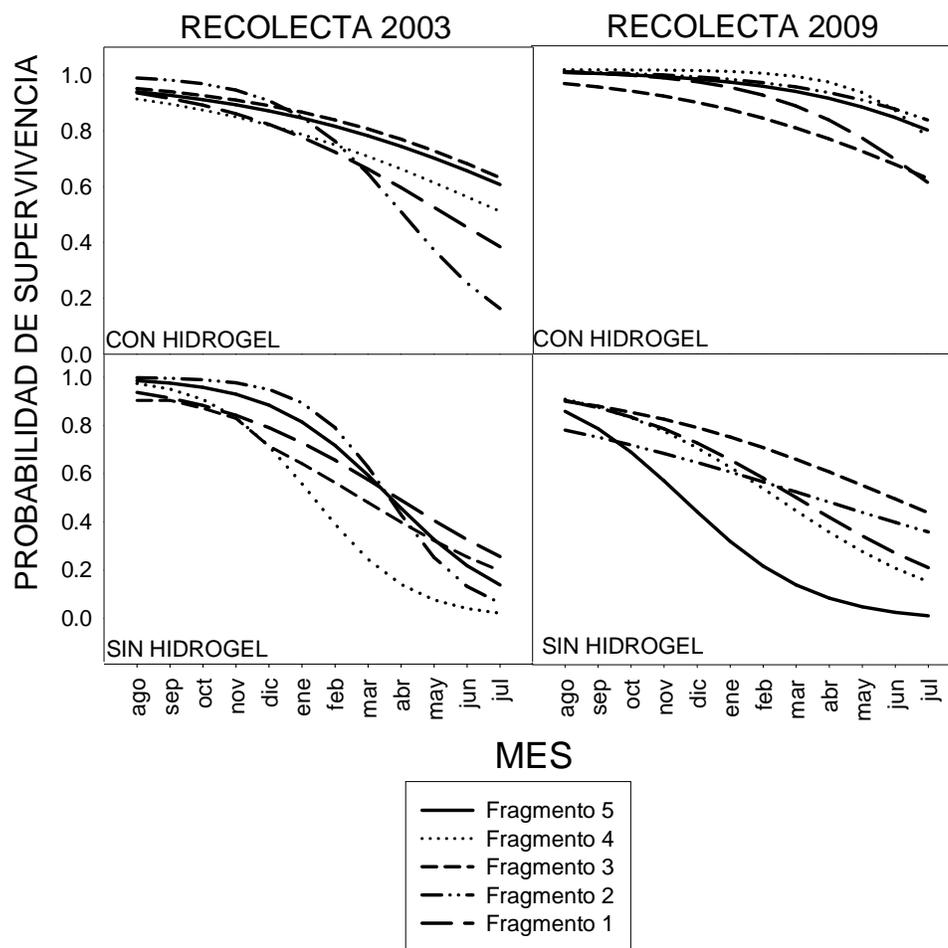


Figura. 9 Efecto del año de recolecta, del hidrogel y del fragmento al que se introdujeron los brinzales de *Dodonaea viscosa* en sus probabilidades de supervivencia en el campo.

### Crecimiento de las plantas en el campo

Las mediciones fueron realizadas mensualmente a lo largo del año y para su análisis se dividieron los datos en tres fenofases, dos de crecimiento, durante los periodos de lluvias (Agosto-Noviembre (A-N) y Abril a Julio (A-J)) y una en la época seca del año, en la que

incluso puede haber pérdida de biomasa (Diciembre-Marzo (D-M)). Sin embargo, se puede decir que a lo largo del año, el robustecimiento y el hidrogel produjeron un efecto favorable sobre el crecimiento de las plantas provenientes de semillas recolectadas, tanto del año 2003 como en el año 2009. También en general a lo largo del año los brinzales de las semillas recolectadas en el año 2009 tuvieron un mayor crecimiento. Los fragmentos no produjeron diferencias significativas (Fig. 10).

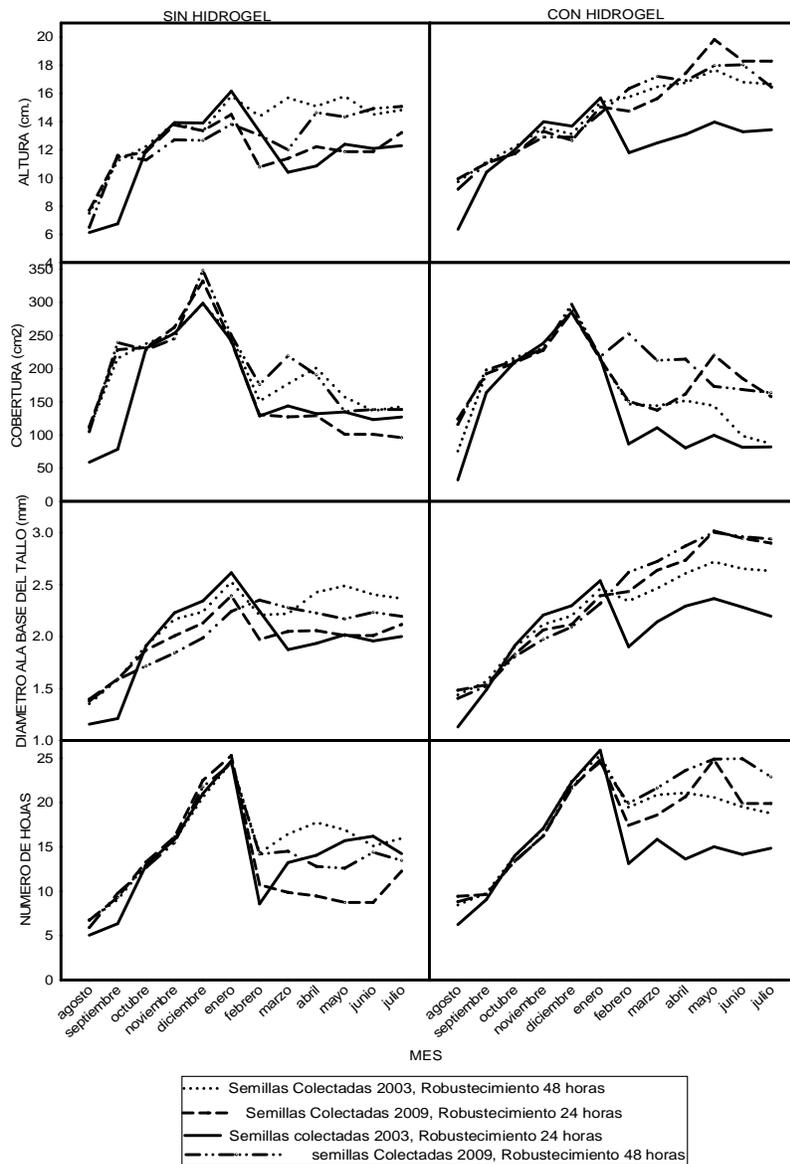


Figura 10. Efecto de los tratamientos indicados en la Figura sobre el crecimiento en altura, cobertura, DBT y NH. Observaciones mensuales durante el año del estudio.

### Altura

En la primera temporada Agosto-Noviembre (A-N) se observó que las fechas de recolecta no tuvieron diferencias significativas entre ellas, pero hubo un efecto significativo del

robustecimiento ( $F_{(1,309)} = 11.7$ ,  $P = 0.001$ ) siendo el mejor tratamiento el robustecimiento de 48 horas. El efecto del hidrogel también fue significativo ( $F_{(1,309)} = 13.20$ ,  $P = 0.0003$ ) siendo el mejor, la presencia de hidrogel en la cepa. Las interacciones también fueron significativas, ya que los brinzales de semillas recolectadas en el año 2009 tuvieron un mayor crecimiento cuando se les aplicó hidrogel en la cepa; ( $F_{(1,309)} = 6.60$ ,  $P = 0.0107$ ), sin importar el tratamiento de robustecimiento (12.81 cm de altura y 13.44 cm de altura, para el robustecimiento de 24 y 48 h, respectivamente; Fig. 11. B); mientras que los brinzales de semillas recolectadas en el año de 2003 tuvieron un mayor crecimiento cuando a las semillas se les aplicó robustecimiento por 48 horas ( $F_{(1,309)} = 10.33$ ,  $P = 0.0014$ ; Fig. 11. A) independientemente de la presencia de hidrogel (12.7 cm y 9.37 cm para los brinzales con y sin hidrogel, respectivamente; Fig. 11. B).

En la segunda temporada de Diciembre-Marzo (D-M) tampoco hubo un efecto significativo entre las recolectas de las semillas, pero si se presentaron diferencias significativas dentro de ellas debido al robustecimiento ( $F_{(1,230)} = 10.71$ ,  $P = 0.0012$ ) siendo el mejor tratamientos el robustecimiento por 48 h y la presencia de hidrogel ( $F_{(1,230)} = 11.62$ ,  $P = 0.0008$ ), a pesar de que las interacciones no fueron significativas. La prueba de Tukey muestra que para los brinzales de las semillas recolectadas en el 2003 el robustecimiento de 48 horas fue más favorable (16.31 cm y 15.09 cm para los brinzales con y sin hidrogel, respectivamente; Fig. 11. B), mientras que la aplicación de hidrogel fue mejor para los brinzales de semillas recolectadas en 2009, sin importar el tratamientos de robustecimiento (16.6 cm y 15.16 cm para los brinzales con 48 y 24 h de robustecimiento, respectivamente Fig. 11. B), los menores crecimientos fueron observados en los brinzales de las semillas de los

años 2003 y 2009, con robustecimiento de 24 h sin la aplicación de hidrogel 10.5 cm y 11.38 cm respectivamente.

Tercera temporada Abril-Julio (A-J); no hubo efectos significativos entre los brinzales de las dos fechas de recolecta o debidos a el robustecimiento. Se observó que hubo un efecto significativo del tratamiento con hidrogel ( $F_{(1,186)} = 5.61$ ,  $P = 0.0189$ ), siendo la aplicación del hidrogel en campo el factor que produjo un mejor crecimiento (Fig. 11 C), en especial para la cosecha de 2009 con robustecimiento de 24 h y la aplicación de hidrogel (18.29 cm de altura). El menor crecimiento se observó en semillas de 2003, con 24 h de robustecimiento sin hidrogel (12.29 cm).

### **Cobertura**

En la temporada A-N el análisis de varianza multifactorial indica que los brinzales de las distintas recolectas presentaron diferencias significativas entre ellos ( $F_{(1,309)} = 4.47$ ,  $P = 0.0353$ ) teniendo mayor cobertura los brinzales de las semillas recolectadas en el año 2009, el robustecimientos también produjo diferencias significativas ( $F_{(1,309)} = 6.43$ ,  $P = 0.0117$ ). El Robustecimiento por 48 h fue mejor y la aplicación de hidrogel también produjo un efecto positivo significativo ( $F_{(1,309)} = 7.87$ ,  $P = 0.0054$ ), de igual manera fue significativa la interacción entre el año de recolecta de las semillas y la aplicación de hidrogel ( $F_{(1,309)} = 7.95$ ,  $P = 0.0051$ ). Tuvieron mayor cobertura los brinzales de semillas recolectadas en al año 2009 con 48 h de robustecimiento con y sin la aplicación de hidrogel, 240.97 cm<sup>2</sup> de cobertura y 218.78 cm<sup>2</sup> de cobertura respectivamente (Fig. 11. D). Los brinzales de 2003 y 2009 con

robustecimiento de 24 h sin hidrogel tuvieron las coberturas menores (116.15 cm<sup>2</sup> y 124.44 cm<sup>2</sup>, respectivamente)

Para la temporada D-M se observó que el único factor que indujo diferencias significativas fue el robustecimiento por 48 horas ( $F_{(1,230)} = 8.30$ ,  $P = 0.0043$ , Fig. 11. E). El mejor tratamiento para los brinzales de 2009 fue tener 48 h de robustecimiento e hidrogel (233.028 cm<sup>2</sup>) y el que indujo menor crecimiento de los brinzales fue de la misma cosecha, 24 h de robustecimiento y no tener hidrogel (127.37 cm<sup>2</sup>). Los brinzales restantes tuvieron un crecimiento intermedio entre estos valores.

Por último en la tercera temporada (A-J) no hubo efecto significativo individual de los factores, pero si de la interacción entre la fecha de recolecta y el hidrogel ( $F_{(1,186)} = 6.24$ ,  $P = 0.0134$ ); los brinzales de las semillas recolectadas en el año 2009 y la aplicación de hidrogel en las cepas produjeron plantas con mayor cobertura para ambos tratamientos de 48 y 24 h robustecimiento (190.85 cm<sup>2</sup> y 186.13 cm<sup>2</sup>; Fig. 11. E). En los brinzales de 2003 con robustecimiento de 48 h, con hidrogel (142.87 cm<sup>2</sup>) y en los brinzales de 2009 con robustecimiento de 24 h, sin hidrogel (96.13 cm<sup>2</sup>) se obtuvieron las coberturas menores.

### **Diámetro a la base del tallo**

En la temporada A-N, los brinzales producidos por semillas recolectadas en los diferentes años presentaron diferencias significativas ( $F_{(1,309)} = 14.44$ ,  $P = 0.0002$ ), en los brinzales de 2009 se observó un crecimiento mayor del DBT. El efecto del robustecimiento también fue significativo ( $F_{(1,309)} = 24.74$ ,  $P = 0.000$ ) con un mejor crecimiento de los brinzales de las semillas con robustecimiento de 48 horas. El efecto de la aplicación de hidrogel en campo no produjo diferencias significativas pero si su interacción con el año de recolecta ( $F_{(1,309)} =$

5.87,  $P = 0.016$ ; Fig. 11. G): los brinzales con mayores DBT son de los brinzales de semillas del 2009 con la aplicación de hidrogel y robustecimiento de 24 y 48 h (1.96 mm y 2.17 mm, respectivamente). El menor crecimiento de DBT se presentó en brinzales de 2003 con 24 h de robustecimiento con y sin hidrogel (1.46 mm y 1.51 mm, respectivamente).

Durante la temporada D-M se presentaron efectos estadísticos significativos debidos a los tres factores principales. Los brinzales de semillas recolectadas en el año 2009 ( $F_{(1,230)} = 7.82$ ,  $P = 0.0056$ ), el robustecimiento por 48 horas ( $F_{(1,230)} = 7.62$ ,  $P = 0.006$ ) y la aplicación del hidrogel ( $F_{(1,230)} = 19.11$ ,  $P = 0.000$ ) produjeron plantas con mayores DBT. Las interacciones no fueron significativas (Fig. 11. H). El mejor crecimiento en DBT se obtuvo en los brinzales de 2009, con 48 h de robustecimiento e hidrogel (2.72 mm) y los menores crecimientos en los brinzales de los años 2003 y 2009 con robustecimiento de 24 h sin hidrogel (1.87 mm y 2.05 mm, respectivamente).

En la temporada A-J se observaron diferencias significativas debidas a los tres factores principales, la fecha de recolectadas ( $F_{(1,186)} = 5.48$ ,  $P = 0.0203$ ), el robustecimiento por 48 ( $F_{(1,186)} = 5.09$ ,  $P = 0.0253$ ) y la aplicación del hidrogel ( $F_{(1,186)} = 23.87$ ,  $P = 0.0000$ ), así como la interacción entre año de recolecta y la aplicación de hidrogel ( $F_{(1,186)} = 6.86$ ,  $P = 0.0096$ ). El mejor tratamiento fue recolectar a las semillas en 2009 y aplicar hidrogel, y los robustecimientos de 48 y 24 h (2.93 mm y 2.9 mm, respectivamente; Fig. 11. I). Los demás tratamientos presentaron menores crecimientos y los resultados fueron similares entre ellos.

### **Número de hojas**

En la temporada A-N Los brinzales producidos por semillas recolectadas en los diferentes años presentaron diferencias significativas ( $F_{(1,309)} = 4.39$ ,  $P = 0.0369$ ) teniendo los brinzales

de semillas recolectadas en 2009 un mayor NH, el robustecimiento por 48 h ( $F_{(1,309)} = 20.5$ ,  $P = 0.000$ ), al igual que la aplicación del hidrogel ( $F_{(1,309)} = 9.30$ ,  $P = 0.0025$ ) incrementaron el número de hojas. La interacción entre el año de recolecta y la aplicación de hidrogel se observó en el mayor NH de los brinzales de semillas recolectadas en 2009 con la aplicación de hidrogel en campo ( $F_{(1,309)} = 9.30$ ,  $P = 0.025$ ; Fig. 11. J). El mejor crecimiento en el NH fueron los brinzales de las semillas recolectadas en el año 2009, con el robustecimiento de 48 horas y la aplicación de hidrogel en campo (NH = 15.1). Los demás tratamientos presentaron menor número de hojas y los resultados fueron similares entre ellos.

En D-M se observó que las fechas de recolecta no tuvieron diferencias significativas entre ellas, pero hubo un efecto significativo del robustecimiento ( $F_{(1,230)} = 10.7$ ,  $P = 0.0017$ ), el mayor NH lo tuvieron los brinzales de semillas con 48 h de robustecimiento. También hubo diferencias significativas debidas a la aplicación de hidrogel ( $F_{(1,230)} = 12.71$ ,  $P = 0.0004$ ), Las interacciones no fueron significativas. El mayor crecimiento en NH se observó en los brinzales de las semillas de 2009, con 48 h robustecimiento y sembradas con hidrogel en la cepa (NH = 20.025). El menor crecimiento de NH se encontró en los brinzales de las semillas recolectadas en 2009 con 24 h de robustecimiento sin la aplicación de hidrogel (NH = 9.86; Fig. 11. K).

En la temporada (A-J), sobre NH, sólo se presentó efecto significativo de la aplicación de hidrogel en las cepas ( $F_{(1,186)} = 6.97$ ,  $P = 0.009$ ) y la interacción de éste con la fecha de recolecta ( $F_{(1,186)} = 5.31$ ,  $P = 0.0223$ ). El mejor tratamiento para el NH se encontró en los brinzales de las semillas recolectadas en el año 2009, con 48 h robustecimiento y con aplicación de hidrogel (NH = 21.19). EL menor NH se presentó en los brinzales de las

semillas de la recolecta del 2009 con 24 h de robustecimiento, sin la aplicación de hidrogel  
(NH = 12.25; Fig. 11. L).

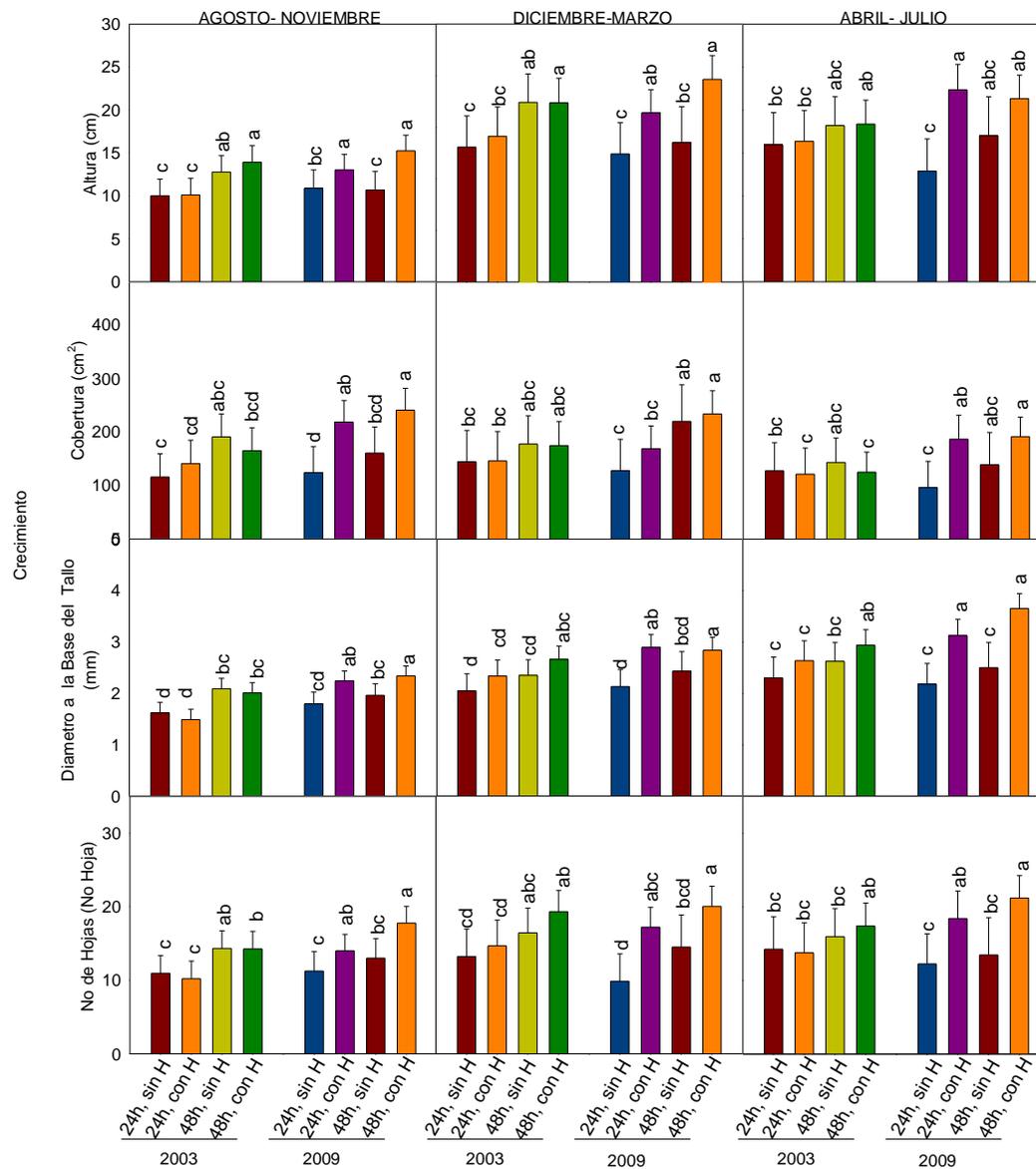


Figura 11. Crecimiento en campo de los brinzales en las distintas temporadas en que se evaluó el crecimiento (lluvioso, seco y lluvioso). Las letras en minúsculas muestran las diferencias significativas entre los tratamientos, al interior de cada época...

### Velocidad de crecimiento

Los análisis de varianza multifactorial realizados mostraron diferencias significativas para la velocidad de crecimiento en los diferentes factores analizados: altura, cobertura, DBT y NH,

La velocidad de crecimiento para todas las variables fue positiva para el periodo A-N, sin embargo, en los otros periodos sólo en algunos tratamientos las tasas fueron positivas y en esos casos las plantas crecieron a velocidades de crecimiento menores que las que se observan en el primer periodo, de hecho en las temporadas D-M y A-J no hay diferencias significativas entre los tratamientos para la tasa de crecimiento de cobertura y en la temporada A-J para la tasa de crecimiento en altura y DBT.

### **Altura**

En la temporada A-N sólo hubo diferencias estadísticas para el tratamiento de robustecimiento ( $F_{(1,321)} = 10.39$ ,  $P = 0.0014$ ) siendo mejor para la velocidad de crecimiento, el tratamiento de 48 h de robustecimiento, la interacción entre el robustecimiento y el hidrogel fue significativa ( $F_{(1,186)} = 8.91$ ,  $P = 0.0031$ ), el mejor tratamiento es tener robustecimiento de 48 horas y sembrar a los brinzales sin hidrogel. Sin embargo cuando hubo hidrogel no importó cual fue el tipo de robustecimiento que recibieron. La fecha de recolecta no tuvo ningún efecto (Fig. 12. A) la mayor velocidad observada fue para los brinzales de las semillas recolectadas en el año 2009 y 2003, con 48 h de robustecimiento sin aplicarles hidrogel ( $0.232 \text{ cm}\cdot\text{mes}^{-1}$  y  $0.220 \text{ cm}\cdot\text{mes}^{-1}$  respectivamente) y para los brinzales de las semillas de 2003, con 24 h de robustecimiento con la aplicación de hidrogel ( $0.212 \text{ cm}\cdot\text{mes}^{-1}$ ). Los brinzales con menor velocidad de crecimiento se encontraron en las semillas recolectadas en 2003, con 24 h de robustecimiento, sin hidrogel ( $0.043 \text{ cm}\cdot\text{mes}^{-1}$ ).

En la temporada D-M el único factor que produjo diferencias significativas fue el hidrogel ( $F_{(1,222)} = 7.24$ ,  $P = 0.0077$ ) donde la aplicación de hidrogel indujo un incremento en altura de las plantas sembradas en el campo. Los demás factores e interacciones no tuvieron diferencias significativas y tuvieron tasa negativas de crecimiento en altura (Fig. 13. B). La mayor

velocidad observada fue para los brinzales de las semillas recolectadas en el año 2009 y 2003, con 48 h de robustecimiento con la aplicación de hidrogel ( $0.042 \text{ cm} \cdot \text{mes}^{-1}$  y  $0.036 \text{ cm} \cdot \text{mes}^{-1}$  respectivamente) y los brinzales de las semillas de 2009, con 24 h de robustecimiento con la aplicación de hidrogel ( $0.036 \text{ cm} \cdot \text{mes}^{-1}$ ). Los brinzales con menor velocidad de crecimiento fueron de las semillas recolectadas en 2003, con 24 h de robustecimiento sin hidrogel teniendo una tasa negativa de ( $-0.096 \text{ cm} \cdot \text{mes}^{-1}$ ).

En la temporada A-J no se encontró diferencia significativa atribuible a algún factor (Fig. 12. C).

### **Cobertura**

En la temporada A-N se observó que únicamente el factor robustecimiento produjo diferencias significativas ( $F_{(1,222)} = 6.37$ ,  $P = 0.0121$ ) donde el mejor tratamiento es el robustecimiento de 48 horas (Fig. 12 D). Los brinzales con mayor velocidad de crecimiento en cobertura son de las semillas de 2003 con 24 h robustecimiento y la aplicación de hidrogel ( $0.395 \text{ cm}^2 \cdot \text{mes}^{-1}$ ) y las semillas de 2003, con 48 h de robustecimiento, sin hidrogel ( $0.332 \text{ cm}^2 \cdot \text{mes}^{-1}$ ). La menor velocidad de crecimiento en cobertura fue con los brinzales de las semillas de 2009, con 24 h robustecimiento, con hidrogel ( $0.103 \text{ cm}^2 \cdot \text{mes}^{-1}$ ). Las dos temporadas restantes no mostraron diferencias estadísticas significativas y las tasas de crecimiento en general fueron negativas (Fig. 12 E, F).

### **Diámetro a la base del tallo**

En la temporada A-N las tasas de crecimiento fueron positivas, sin embargo no hubieron diferencias significativas debidas a los tratamientos ( $H = 7.28$ ,  $P = 0.4$ ; Fig. 12. G).

En la segunda temporada (D-M) las diferencias estadísticas únicamente se debieron al efecto del hidrogel ( $F_{(1,210)} = 17.56$ ,  $P = 0.0000$ ), la aplicación del hidrogel favoreció tasas de crecimiento (Fig. 12. H). Las mayores velocidades de incremento en DBT se encontró en los brinzales de las semillas de 2003 y 2009, con 24 h robustecimiento y la aplicación de hidrogel ( $0.07 \text{ mm} \cdot \text{mes}^{-1}$  y  $0.07 \text{ mm} \cdot \text{mes}^{-1}$ , respectivamente) las menores velocidades de crecimiento de DBT observadas estuvieron en los brinzales de las semillas de los años 2009 y 2003, con 48 h de robustecimiento, sin hidrogel ( $-0.29 \text{ cm}^2 \cdot \text{mes}^{-1}$  y  $-0.019 \text{ cm}^2 \cdot \text{mes}^{-1}$  respectivamente). En la temporada A-J no se encontraron diferencias significativas y en su mayoría las tasas fueron negativas (Fig. 12 I).

### **Número de hojas**

En la temporada A-N I todas las velocidades de crecimiento fueron positivas, los datos de este periodo no cumplieron con los supuestos para realizar un análisis de varianza por esto se hizo un análisis de Kruskal-Wallis, el análisis mostró diferencias significativas ( $H = 29.6852$ ,  $P = 0.000$ ) se observó que los mejores tratamientos fueron 48 h de robustecimiento y sin hidrogel para las plantas de las semillas del 2003 ( $0.283 \text{ NH} \cdot \text{mes}^{-1}$ ) y los brinzales con la menor velocidad de crecimiento son de las semillas de 2009, con 24 h de robustecimiento, con la aplicación de hidrogel ( $0.15 \text{ NH} \cdot \text{mes}^{-1}$ ).

En la temporada D-M únicamente se observaron diferencias significativas por el efecto del hidrogel ( $F_{(1,210)} = 19.93$ ,  $P = 0.0000$ ) siendo la aplicación de éste el mejor tratamiento para las plantas provenientes de ambas cosechas, las plantas o tuvieron una tasa positiva o menos negativas que en el resto de los tratamientos. Los brinzales de las semillas de 2003, con 48 h de robustecimiento y la aplicación de hidrogel presentaron la mayor velocidad de crecimiento

de NH ( $0.082 \text{ NH}\cdot\text{mes}^{-1}$ ) y los brinzales con la menor velocidad de crecimiento son de las semillas de 2009, con 24 h de robustecimiento sin aplicación de hidrogel ( $-0.133 \text{ NH}\cdot\text{mes}^{-1}$ ).

En A-J se observó que el año de recolecta ( $F_{(1,162)} = 7.31, P = 0.076$ ) y el tratamiento de hidrogel ( $F_{(1,210)} = 14.71, P = 0.0002$ ) produjeron diferencias significativas en NH, así como su interacción ( $F_{(1,210)} = 12.43, P = 0.0006$ ), al igual que la interacción, robustecimiento, hidrogel y año de recolecta ( $F_{(1,210)} = 19.59, P = 0.00001$ ). De manera que el mejor tratamiento fue para los brinzales de la recolecta de 2009, con 24 h de robustecimiento y sin hidrogel ( $0.06 \text{ NH}\cdot\text{mes}^{-1}$ ) y la menor velocidad fue para los brinzales de las semillas de 2009, con 24 h de robustecimiento y la aplicación de hidrogel ( $-0.103 \text{ NH}\cdot\text{mes}^{-1}$ ), las otras tasas fueron negativas.

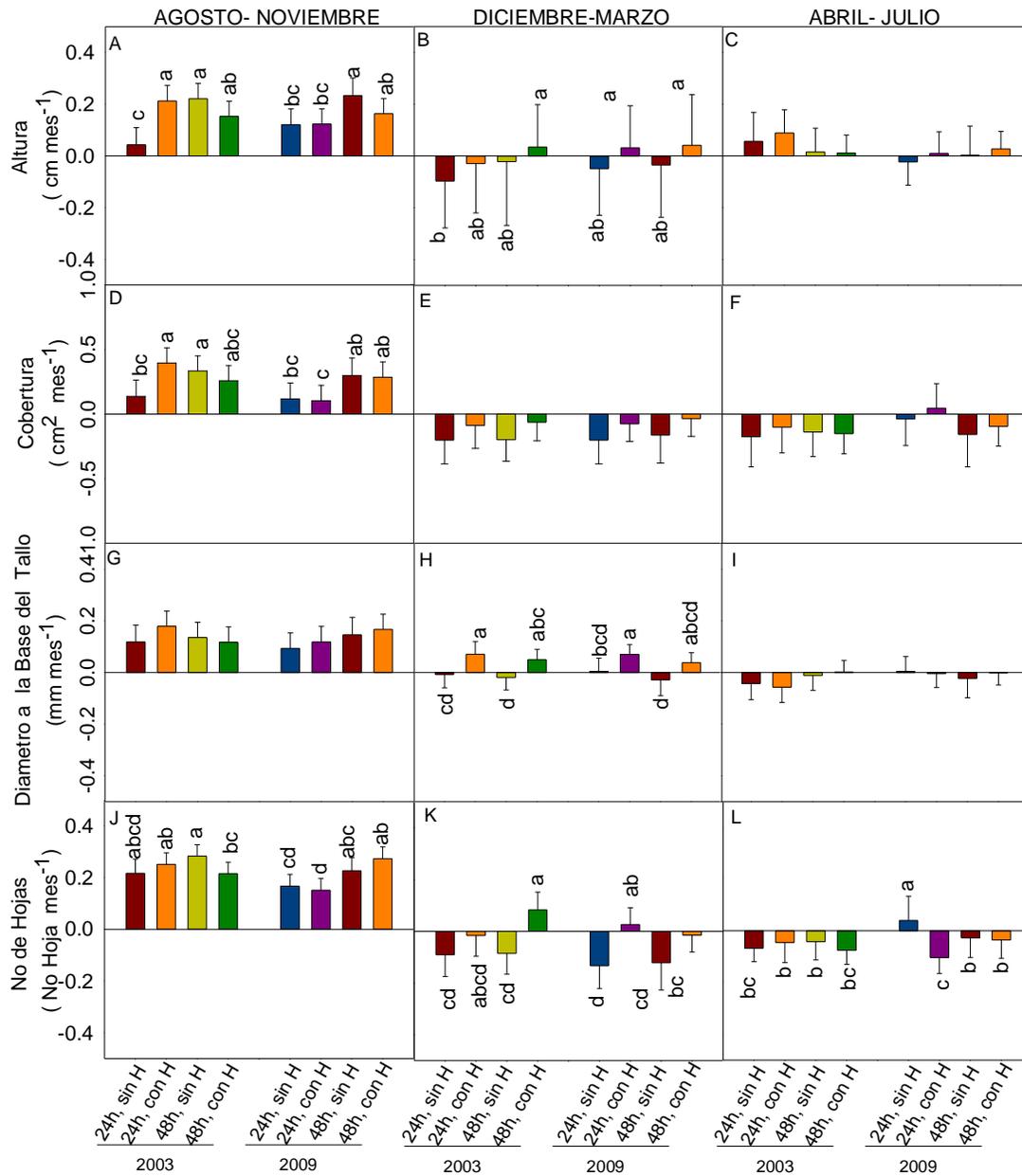


Figura 13. Velocidad de crecimiento en campo de los brinzales de *Dodonaea viscosa* observado entre temporadas (lluviosa, seca y lluviosa) Las letras en minúsculas muestran las diferencias significativas entre tratamientos, dentro de cada temporada.

## XII. DISCUSIÓN

### **Germinación**

En general, las semillas de *D. viscosa* presentan latencia física y fisiológica (Benítez-Rodríguez 2005; Martínez-Pérez *et al.* 2006) debido a esto se aplicó calor húmedo para hacer que la testa se hiciera permeable y que el embrión pudiera tomar agua del sustrato de germinación, con lo que se rompió la latencia física, como han reportado varios autores (Baskin y Baskin 2004), sin embargo esto no fue suficiente para que ocurriera la germinación de la mayor parte de las semillas, ya que la latencia fisiológica presente en una fracción de la población de semillas no se rompió. A diferencia de los tratamientos control (recolectas 2003 y 2009, sólo con aplicación de agua caliente), con los tratamientos de robustecimiento se tuvo mayor germinación, debido a que éstos rompieron la latencia fisiológica, al vigorizar al embrión inmaduro (Blench-Arnold 2004; Araiza-Ramírez 2007; Sánchez 2006).

Los tratamientos de robustecimiento tuvieron un efecto relativamente distinto en las semillas de cada recolecta, siendo mejor para las semillas recolectadas en el año 2009, cuyas semillas tenían un letargo más superficial o sus semillas al ser jóvenes probablemente tenían menos daños que las semillas almacenadas por 6 años en condiciones subóptimas (semillas del 2003), las cuales durante este periodo podrían haber sufrido daños propios del proceso de envejecimiento. Probablemente por esto, la activación de los procesos bioquímicos y celulares, y la reparación en daños de las membranas y macromoléculas que ocurren durante la fase de imbibición (McDonald 2004), del tratamiento de robustecimiento, requirió menos tiempo para las semillas del 2009 que para las semillas del 2003. Por esto el tratamiento de 24 horas de imbibición fue suficiente para las semillas del 2009 y de 48 h para las semillas

recolectadas en el año 2003. El fracaso en la germinación puede ser debido a de los procesos de envejecimiento, los cuales finalmente conducen a la muerte de la semilla (Paula-Ruiz 1994). No obstante, la edad no puede ser considerada sólo como función del tiempo, sino también de los factores del entorno de las semillas durante el almacenamiento. Las semillas son susceptibles a la temperatura y humedad durante el almacenamiento, lo que se refleja en alteraciones en la permeabilidad celular, y otros procesos, lo que las lleva finalmente a una pérdida de la capacidad germinativa de las mismas semillas y finalmente a la muerte del embrión (Ellis *et al.* 1981; Gutiérrez-Hernández *et al.* 2007) los cambios ocurridos en las semillas que se deterioran a lo largo del tiempo incrementa la vulnerabilidad y disminuye la capacidad de que la semilla sobreviva, es como ocurrió en las semillas control 2003. Sin embargo, en *D. viscosa* la revigorización sólo se reflejó en un incremento de la capacidad germinativa en las semillas de ambas cosechas, por lo que podemos inferir que el efecto principal del robustecimiento consistió en el rompimiento de la latencia fisiológica de las semillas con latencia en ambas cosechas. Sin embargo, si tomamos en cuenta el tiempo de exposición al tratamiento de robustecimiento requerido por las semillas 2003 (48 h), podemos asumir que en este tiempo también pudo haber ocurrido la reparación del daño producido por el almacenamiento.

Los brinzales de los tratamientos control no soportaron las condiciones ambientales del vivero de forma adecuada, no sobrevivieron al trasplante de las bolsas para el vivero ni llegaron a ser sembradas en el campo, debido a su incapacidad de adaptarse al ambiente del vivero, y a que las semillas no fueron objeto de un tratamiento de vigorización como las otras semillas, a las que se les aplicaron los tratamientos de robustecimiento y/o revigorización que estimula la tolerancia a condiciones ambientales fluctuantes (Kigel 1995)

## Supervivencia

Las probabilidades de supervivencia en campo de *D. viscosa* fue más alta en los brinzales de semillas del año 2009, este resultado se dio, en parte, por el mayor vigor de las semillas, la supervivencia es también una expresión de este estado funcional (Rice *et al.* 2001), el cual, en semillas viejas, es afectado por factores como el deterioro genético, aletargamiento metabólico del embrión a lo largo del tiempo, pérdidas de adaptación ecológicas y producción de sustancias tóxicas como ácidos grasos libres (Sánchez *et al.* 2001; Gutiérrez-Hernández *et al.* 2007). En el trabajo del Dr. Beal's diseñado para tener una duración mayor a 100 años, menciona que la forma de medir el vigor de las semillas es considerar la morfología y supervivencia de las plántulas de semillas desenterradas a los 90, 100 y 120 años de enterramiento (Kivilaan y Bandurski 1973, 1981; Telewski y Zeevaart 2002). La probabilidad de supervivencia de los brinzales producidos por las semillas del 2003 fue más baja que las del 2009 desde el inicio de los tratamientos en campo, posiblemente debido a que provenían de semillas con deterioro, provocado por el tiempo y el tipo de almacenamiento, lo que disminuye la viabilidad de las semillas y la pérdida de vigor de los brinzales, más que a los factores ambientales en el micrositio que ocuparon al ser sembradas, lo que redujo la plasticidad fenotípica y resistencia requeridas para poder establecerse en condiciones naturales (Sánchez *et al.* 2004; Paula-Ruiz 1994; Vázquez-Yáñez *et al.* 1996). En la zona en que se introdujeron las plántulas de *D. viscosa* las variaciones diarias y anual de los elementos del clima es amplia (ver Fig. 4), al igual que las condiciones del sustrato, tales como la humedad y temperatura del suelo, y por ende la disponibilidad de los nutrientes.

La aplicación de hidrogel fue el otro factor que favoreció la supervivencia de los brinzales sembrados en el campo, en los que se observó que las probabilidades de supervivencia a lo largo

del tiempo fueron mayores para los brinzales que se plantaron con hidrogel con una probabilidad de supervivencia de 0.56, en comparación con los brinzales a los que no se les aplicó hidrogel, que tuvieron una probabilidad de 0.19. El hidrogel funciona como un reservorio de agua disponible que amortigua las condiciones adversas de la época seca (Hernández-Santana *et al.* 2007; Buzetto *et al.* 2002; Wadas-López *et al.* 2010). La supervivencia de *D. viscosa* demostró que la aplicación del hidrogel ayuda a compensar la reducción de humedad edáfica durante la sequía, ocasionada por las altas temperaturas de esa época, la mayor evapotranspiración y la escasa precipitación disponible. En el PECM la aplicación de hidrogel tiene gran relevancia, debido a que durante la sequía hay un déficit de agua disponible para la vegetación y el sustrato es pedregoso con poco suelo que la retenga (Jaramillo 2002).

La siembra de los brinzales en los diferentes microsítios no tuvo un efecto significativo entre sitios la mayor parte del año, por lo que se pueden considerar que los sitios son homogéneos en su estructura y características bióticas y abióticas. Sin embargo, en el mes de abril, cuando se reinició la época lluviosa si se presentaron diferencias significativas entre los microsítios, el sitio 4 con los brinzales de las semillas de 2009, con hidrogel, tuvo un mayor efecto en la supervivencia de los brinzales. Esto puede deberse a variaciones en el dosel relacionadas con la estacionalidad, ya que aunque los encinos y otras especies arbóreas de los fragmentos no son caducifolia, si pierden una parte de su follaje, dependiendo de la especie, durante la época seca.

## **Crecimiento**

Los resultados observados en las épocas de lluviosa demostraron patrones semejantes en las diferentes variables del crecimiento evaluadas: altura, DBT, están relacionados con el

almacenamiento y transportación de nutrientes y minerales, mientras que la cobertura y el NH se relacionan con la captación de luz para sintetizar materia orgánica mediante la fotosíntesis; y a su vez, de ello depende el desarrollo de cada variable medida en la planta, lo cual es relevante para el establecimiento y adaptación en campo (Terradas 2001); los patrones observados mostraron que los tratamientos de los brinzales germinados de las semillas colectadas en 2009 y la aplicación del hidrogel fueron los factores que al interactuar produjeron mejores resultados. Esto permite elucidar que al igual que la presencia de los silos de agua, la edad de las semillas es un aspecto a considerar cuando se desea mejorar el vigor de las semillas, incrementar el establecimiento de las plántulas y tener un crecimiento óptimo de los brinzales en campo; y por lo tanto ambos factores deben de utilizarse en la restauración ecológica, en especial las semillas, de la colecta reciente, son eficientes ya que no tienen un daño adicional a los producidos por el secado, durante la maduración, en sus componentes genéticos y metabólicos como la reducción en reservas (McDonald 2004; Vázquez-Yáñez 1997 ). La función del hidrogel fue que los brinzales sembrados en campo no soportaran condiciones excesivas de estrés hídrico, ya que forman un almacén de agua disponible para la planta, de fácil absorción por las raíces, lo que permitió compensar la pérdida de humedad ocasionada por la transpiración en el proceso de la fotosíntesis que se realiza en las hojas de *D. viscosa* (Pimienta-Barrios 2003; Ramírez-Gerardo 1997).

El otro patrón observado es la interacción positiva entre el robustecimiento por 48 horas y las semillas de la cosecha 2003, las que mostraron una revigorización con este tratamiento, lo que se expresó en campo en el crecimiento de los brinzales. Esto también es una muestra de que hubo la reparación del ADN, RNA, proteínas, membranas celulares, enzimas y reparación de los daños ocasionados durante el almacenamiento (entre otros la peroxidación de los lípidos en semillas), cuando las semillas se embebieron, en el tratamiento de robustecimiento

aplicado a las semillas 2003 y en gran medida esto también pasó en las semillas 2009, las que se recuperan del daño producido durante la etapa de secado de las semillas en la planta madre, como mencionan McDonald (2004); Sánchez (2006); Gutiérrez-Hernández *et al.* (2007).

### **Velocidad de crecimiento**

La velocidad de crecimiento observada para las variables evaluadas en campo de *D. viscosa*, durante las temporadas de lluvias, mostró que durante la sequía hay una tendencia a disminuir la velocidad de crecimiento de las plantas debido a la disminución de humedad disponible para las plantas, lo que en el suelo repercute también en la disponibilidad de nutrimentos en el suelo. El estrés ambiental afectó en general a todos los individuos sin importar el tratamiento empleado o el micrositio de siembra, en estas circunstancias los brinzales utilizan sus recursos en el desarrollo de mecanismos de supervivencia, como la síntesis de compuestos contra patógenos, mientras que el crecimiento no es prioritario para sobrevivir (Villar *et al.* 2004). Esto impacta el equilibrio entre la producción y la asignación de recursos por la planta, ya que la subsistencia es prioritaria se reducen los recursos asignados a la producción de biomasa. Si los recursos disponibles son suficientes la planta puede disponer de energía suficiente para incrementar su tasa de crecimiento y/o reproducirse (Terradas 2001).

Por otra parte, la reducción en la tasa de crecimiento no necesariamente implica que la planta no crezca, puede ser que lo haga a una velocidad distinta a la inicial. Esto suele suceder entre las primeras etapas de crecimiento de la plántula o brinjal y la etapa de planta adulta, aunque los individuos de *D. viscosa* evaluados aún podían ser considerados como brinzales, esta desaceleración del crecimiento es lo que se observó en la especie estudiada en el periodo A-N con respecto a los posteriores D-M y A-J, a pesar de que hubieron precipitaciones en la época seca del año, en enero, febrero, abril y mayo. Por lo que las bajas tasas de crecimiento,

e incluso tasas negativas no necesariamente implican letargo en la planta, pudo en este tiempo haber habido incremento en la tasa de crecimiento de la biomasa subterránea, la cual no se evaluó. En el PECM los brinzales de las semillas *D. viscosa* recolectadas en 2009 presentaron tasas mayores de crecimiento con robustecimiento de 48 h y en menor proporción con 24 h ambos con hidrogel, también, los brinzales de las semillas de 2003 con robustecimiento de 48 h, e hidrogel fueron las que tuvieron tasas de crecimiento aéreo menos negativas, lo que refleja la ventaja del uso de hidrogel. El efecto del hidrogel en campo hizo una ventaja en la disponibilidad del agua del suelo al mantener, probablemente, potenciales hídricos adecuados en las hojas de la plantas, para que sigan siendo funcionales y por lo tanto creciendo (Ramírez-Gerardo 1997; Hernández-Santana *et al.* 2007; Buzetto *et al.* 2002; Wadas-López *et al.* 2010).

El robustecimiento en general permitió una mejor aclimatización de los brinzales en las condiciones de campo, aumentando la supervivencia y el crecimiento y el incrementó de los porcentajes de germinación de las semillas al promover una reparación de daños en las semillas antes de germinar, como ha sido descrito para otras especies silvestres (McDonald 2004; Sánchez 2004; Gutiérrez-Hernández 2007; Hernández-Santana *et al.* 2007).

### **XIII. CONCLUSIONES**

- La impermeabilidad de las semillas de *Dodonaea viscosa* es el principal factor que mantiene su latencia. La aplicación de calor húmedo rompe la latencia parcialmente sin embargo se necesita la reactivación y maduración de los embriones inmaduros para que germine la mayor parte de la muestra de semillas, como ocurrió con los tratamientos de robustecimiento hídrico.
- El robustecimiento hídrico aumenta el vigor de las semillas y el crecimiento y velocidad de crecimiento de las plántulas, así como su capacidad de aclimatizarse en el campo, en las condiciones adversas, estacionales, que se presentan en el parque.
- El hidrogel en campo también favoreció el desempeño de las plantas, lo que nos permite sugerir que, al igual que el robustecimiento hídrico, es una técnica barata que permitiría amortiguar el déficit de humedad del suelo, por lo que su uso debe introducirse a las estrategias de restauración ecológica, para asegurar el establecimiento exitoso de las plantas introducidas.

### **XIV. SUGERENCIAS**

Es importante generar nuevas ecotecnias para la recuperación de la cubierta vegetal como las utilizadas en este trabajo y difundirlas para promover un mejor manejo de las plantas durante las labores de revegetación, reforestación o restauración ecológica; además las herramientas utilizadas pueden ser aplicadas con recursos asequibles. La adaptación de estas ecotecnias debe transmitirse a las dependencias gubernamentales involucradas en las tareas de revegetación, reforestación y/o restauración para que las utilicen de manera más amplia en el país.

## XV. Literatura Citada

- Araiza-Ramírez E. 2007. Efecto del endurecimiento natural precondicionamiento hídrico y acolchados en la supervivencia y establecimiento de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. en el Ajusco con fines de restauración ecológica México, D.F. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Baskin, C. C. y J. M. Baskin. 1998. *Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, Nueva York.
- Baskin, J. M. y C. C. Baskin. 1989. Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. En: Leck, M. A., V. T. Parker y R. L. Simpson (edits.). *Ecology of Soil Seed Banks*. pp. 53–66. Academic Press Inc. EUA.
- Baskin, J. M. y C. C. Baskin. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* 14: 1–16.
- Benech-Arnold R. L., Sánchez R. A. 2004. *Handbook of seed physiology applications to agriculture*. Food Products Press. New York. US.
- Benítez-Rodríguez J. L. 2005. Estudio ecofisiológico de Germinación y crecimiento de *Dodonaea viscosa* (L) JACQ. Con fines en zonas perturbadas del Valle de México. Tesis de maestría. Instituto de ecología UNAM
- Bewley J D. 1997. Seed Germination and Dormancy. *American Society of Plant Physiologists* 9: 1055-1066.
- Bewley J. C., Black M. 1994. *Seeds physiology of development and germination*. 2° ed. Plenum Press, New York, 445 pp.

- Buzetto, F.A., Bizon, J.M.C., Seixas, F. 2002. Avaliação de polímero adsorvente a base de arcilla no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla* após-plantio. Piracicaba. Circular Técnica No.195, pp 1-5.
- Camacho M. F., Bustillo O.H. y González V. K. 1991. Potencial del Chapulixtle (*Dodonea viscosa*) para la formación de setos en áreas sin riego. II Reunión Nacional sobre Ecología y Reforestación Urbana. Naucalpan, Edo. De México S/P. Academia Nacional de Ciencias Forestales, A.C. México.
- Cano-Santana Z., Meave J. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. Ciencias. Vol. 41: 58-68.
- Castillo-Landero Juan Pablo, Valiente-Banuet A. 2010 Species-specificity of nurse plants for the establishment, survivorship, and growth of a columnar cactus. American Journal of Botany. Vol 97(8): 1289–1295
- Castro-Colina L.R. 2007. Endurecimiento de semillas y sus consecuencias en el establecimiento y crecimiento de plántulas e *Quercus rugosa* Née con fines en la restauración en zonas perturbadas del Ajusco. Tesis de Maestría. México. D.F.
- Challenger, A., R. Dirzo *et al.* 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, pp. 37-73.
- Connell J. H., Slatyer R. O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. The American Naturalist. **111**: 1119–1144.

- Dirzo, R. y P. Raven. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual Environment Resources* 28:137-167.
- Ellis, R., H. and Robert & E., H. (1981) The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology. Technol.* 9, 373-409.
- Fahrig. L. 2003 Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Ottawa-Carleton Institute of Biology, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada* 34:487–515
- Fairén Le Lay. V. 2007. Autoorganización de la vegetación en tierras áridas y semiáridas. Departamento de Física Matemática y fluidos. Madrid.
- García E. 1981. Modificaciones al Sistema Climático de Köppen: para adaptarlo a las Condiciones Climáticas de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- González-Hidalgo B., Orozco-Segovia A., Diego-Pérez N. 2001. La vegetación de la reserva ecológica Lomas del Seminario. Ajusco México. Laboratorio Ecofisiología, Instituto De Ecología. México.
- Gutiérrez-Hernández G. F., Virgen-Vargas J., Arellano-Vázquez J.L. 2007. Germinación y crecimiento inicial de semillas de maíz con envejecimiento natural. *Agronomía mesoamericana* Vol 18(2) pp163-170.
- Hartmann H. T., Kester D. E., Davies F.T., Geneve R.L. 1997. *Plant propagation. Principles and practices.* Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 770 pp.

- Hernández-Santana B., Peralta-Martínez A., Santos Eméstica O. A., Gutiérrez-Reyes G. 2007. Efecto del hidrogel sobre el rendimiento de semilla en tres cultivares de *Brachiaria spp* en el valle de Iguala. gro. Revista electrónica de Veterinaria. Volumen VIII Número 9. México.
- Hobbs R. J., Norton D. A. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4:93-110.
- Hong T., D. and Ellis R., H. 1996. A Protocol to Determine Seed Storage Behaviour. IPGRI Technical bulletin No. 1. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Housner D.W. 2000. Applied Logistic Regression. Second edition. John Wiley & Sons INC. United States of America. pp 1.
- Hunt R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Publisher Edward Arnold LTD. UK 1982 pp. 248.
- Jaramillo J., D. 2002 Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medellín.
- Kapos, V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology* 5: 173-185.
- Kivilaan, A., and R. S. Banduski. 1973. The ninety-year period for Dr. Beal's seed viability experiment. *American Journal of Botany* 60: 140-145.
- Kivilaan, A., and R. S. Banduski. 1981. The one hundred-year period for Dr. Beal's seed viability experiment. *American Journal of Botany* 68: 1290-1292.

- Martínez-Pérez G., Orozco-Segovia A., Martorell C., 2006. Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la mixteca alta oaxaqueña con características relevantes para la restauración. Boletín de la Sociedad Botánica de México. Sociedad Botánica de México. A.C. Distrito Federal. México. 79:9-20
- Martínez-Romero E. 1996. La restauración ecológica. Ciencias: 43, 56-61.
- Martínez-Villegas J., A. 2009. Germinación de *Sedum oxypetalum* H.B.K. (Crassulaceae) en ambientes contrastantes del Ajusco Medio, D.F. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias.
- Matthew I. D., Davies J., Vaes E., Gelder R., Pritchard H. 2007. Two-hundred-year seed survival of *Leucospermum* and two other woody species from the Cape Floristic region, South Africa. Seed Science Research. vol 17, 73–79
- McDonald M. B. 2004. orthodox seed deterioration and repair. Benech-Arnold R. L., Sánchez R. A. (edits). Handbook of seed physiology applications to agriculture. Food Products Press. pp 273-304 New York. US.
- Mendoza-Hernández, P. E. 2002. Supervivencia y crecimiento de los estadios iniciales de *Buddleia cordata* (tepozán) en ambientes contrastantes del Ajusco medio, D.F. México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Monroy-Ata A., Estévez-Torres J., García-Sánchez R., Ríos-Gómez R. 2007. Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. Boletín de la Sociedad Botánica de México. Sociedad Botánica de México A.C. 80:49-57

- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 58-62.
- Newmark, W. D. 2001. Tanzanian forest edge microclimatic gradients: Dynamic and patterns. *Biotropica*. 33:2-1.
- Nikolaeva MG. 1977. Factors controlling the seed dormancy pattern. In: *The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination*. Khan AA, Ed. New York, North-Holland Publishing Company: pp. 51–74
- Nissen J.; Tapia J. 1996. Efecto de la aplicación de una poliacrilamida sobre la nutrición de ballico (*Lolium multiflorum*) en un suelo volcánico. *Agro Sur*, V.24, N.2. pp 206-212
- Oosterhoorn M. y Kappelle M. 2000. Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rican montane cloud forest. *Forest Ecology and Management* **126**:291-307
- Padilla-García H. 1987. *Glosario Práctico de Términos Forestales*. Editorial LIMUSA. México
- Paula-Ruiz M. 1994. Alteraciones bioquímicas en semillas envejecidas de girasol *Helianthus annuus L.* cv. Peredovik relacionadas con la viabilidad, funcionalidad de membranas y cambios asociados con la capacidad antioxidante. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de farmacia, Departamento de bioquímica y biología molecular II. Madrid.

- Pimienta-Barrios E., Loza-Cornejo S., González-Del-Castillo E. 2003. Caracterización anatómica y conductividad hidráulica teórica de los elementos de vaso de variedades silvestres y cultivadas de nopal tunero (*opuntia*). Acta Botánica Mexicana, número 062. Instituto de Ecología A.C. Pátzcuaro, México pp. 21 - 30
- Plata-Álvarez M.A. 2002. Estudio ecofisiológico de la germinación de dos especies arbustivas del pedregal de San Ángel *Dodonaea viscosa* Jacq (sapindaceae) y *Senna multiglanulosa (jacq)* Irwin & Barnaby (Caesalpinaceae). Tesis de maestría en ciencias. UNAM. 77pp.
- PRONARE.1998. Red Mexicana de Germoplasma Forestal. SEMARNAP pp75-78
- Ramírez-Gerardo M. G. 1997. Comportamiento estomático en *Senecio praecox* D.C. (Compositae) y *Dodonaea viscosa* Jacq (sapindaseae) de la reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM.
- Rice K. J., Dyer A. R. 2001. Seed aging, delayed germination and reduced competitive ability in *Bromus tectorum* Plant Ecology vol:155: pp 237–243
- Rzedowski G. C., Rzedowski J., y cols. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). Anales de la Escuela de Ciencias Biológicas 8: 59–130.

- Sánchez J., A., Orta R., Muñoz B. C. 2001. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense*. Universidad de Costa Rica San José. Costa Rica. 25: 67-91
- Sánchez J., A.; Muñoz B., C.; Hernández L.; Montejo L.; Suárez A., G.; Torres-Arias Y. 2006. Tratamientos robustecedores de semillas para mejorar la emergencia y el crecimiento de *Trichospermum mexicanum*, Árbol tropical pionero. . revista agronomía costarricense Universidad costarricense. Costa rica Vol: 30(1) Enero – Junio.
- Sánchez R., A. 2004 The Exit from Dormancy and the Induction of Germination: Physiological and Molecular Aspects. Benech-Arnold R. L., Sánchez R. A. (edits). *Handbook of seed physiology applications to agriculture*. Food Products Press. pp 221-244 New York. US.
- Telewski F.,W., Zeevaart J. A. 2002 The 120-yr period for dr. beal's seed viability experiment. *American Journal of Botany*. vol. 89(8): 1285–1288
- Terradas J. 2001. *Ecología de la vegetación: de la Ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Omega. Barcelona. pp145-195.
- Vargas O. 2008. Los Pasos Fundamentales de la Restauración Ecológica. En Vargas. *Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino*. pp. 17 a 25. Grupo de Restauración Ecológica. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Vázquez–Yanes, C. 1990. Ecología y conservación de semillas. *Ciencias*, especial 4: 30–33.

- Vázquez–Yanes, C. y A. Orozco–Segovia. 1996 A. Physiological ecology of seed dormancy and longevity. En: Mulkey, S. S., R. L. Chazdon y A. P. Smith (edits.) *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. pp. 535–558. Chapman & Hall. Nueva York.
- Vázquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia A. 1993. Patterns of seeds longevity and germination in the tropical rainforest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 69-87.
- Vázquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia, A. 1996 B. Comparative longevity of seeds of five tropical rain forest woody species stored under different moisture conditions. *Canadian Journal of Botany* 74: 1635-1639.
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM.
- Vázquez–Yanes, C., A. Orozco, M. Rojas, M. E. Sánchez y V. Cervantes. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemas. FCE. México
- Villar R., Ruiz-Robledo J., Quero J. L., Poorter H., Valladares F., Marañón T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En Valladares (Edit). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. pp 191-227.

- Villaseñor-Ríos J. L., y. Espinosa-García F. J. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario y Fondo de Cultura Económica. México. D.F.
- Vleeshowers, L. M., H. J. Bouwmeester y C. M. Karssen. 1995. Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *Journal of Ecology* 83: 1031–1037.
- Wadas-Lopes J. L., Ribeiro-da-Silva M., Cury-Saad J. C. 2010. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. *Ciencia Florestal*, Santa Maria, vol. 20, n. 2, pp. 217-224
- Willan, R.L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales, estudio con especial referencia a los trópicos. FAO Montes 20/2. 502 p.
- Williams-Linera, G. 1990a. Origin and early development of forest edge vegetation in Panama. *Biotropica* 22: 235-241.
- Williams-Linera, G. 1990b. Vegetation structure and environmental conditions of forest edges in Panama. *Journal of Ecology* 78: 356-373.
- Williams-Linera, G. 1993. Vegetación de bordes de un bosque nublado en el Parque Ecológico Clavijero, Xalapa, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical* 41:443-453.
- Yarza T.E. 1992. Volcanes de México. Universidad Nacional Autónoma De México. México.
- Zar, J. H. 1984. *Bioestatistical Analysis*. Prentice–Hall Inc. Englewood Cliffs.

- Kigel J & Galili G. 1995. Seed Development and Germination. Marcel Dekker, Inc., EUA.

### **Paginas de Internet**

- Acua-gel, Cristales inteligentes de agua. <http://www.Hidrogel.com.mx>. revisión hecha 20/06/09.
- Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) <http://www.fao.org/forestry/fra2005/en/> Revisión 29/03/2011b
- Saleem M. Y. FLORA OF PAKISTAN [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=5&taxon\\_id=200013193](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=5&taxon_id=200013193). 07/03/2011
- SER. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working. Group 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org) & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Vibrans H. 2006, Malezas de México <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/sapindaceae/dodonaeviscosa/fichas/ficha.htm>. revisión hecha 20/06/09