



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Restauración Ecológica de la Zona de  
Amortiguamiento 8 de la Reserva Ecológica del  
Pedregal de San Ángel, D.F. (México)**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :**

**B I Ó L O G O**

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

**Jonathan Israel Antonio Garcés**



**FACULTAD DE CIENCIAS  
UNAM**

**TUTOR: DR. ZENÓN CANO SANTANA  
CO-TUTOR: DRA. ALMA OROZCO SEGOVIA**

**2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

1. Datos del alumno  
Antonio  
Garcés  
Jonathan Israel  
56 84 10 52  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
097125552
2. Datos del tutor  
Dr  
Cano  
Santana  
Zenón
3. Datos del sinodal 1 (Cotutor)  
Dra  
Orozco  
Segovia  
Alma Delfina Lucia
4. Datos del sinodal 2  
Dr  
Lot  
Helgueras  
Antonio
5. Datos del sinodal 3  
M en C  
Pisanty  
Baruch  
Irene
6. Datos del sinodal 4  
M en C  
Mendoza  
Hernández  
Pedro Eloy
7. Datos del trabajo  
Restauración Ecológica de la Zona de Amortiguamiento 8 de la Reserva  
Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. (México)  
61 p  
2008

## DEDICATORIA

*A la Memoria de mis Ángeles de la Guarda  
Abuelita Chabela, Abuelita Martina, Tía Tere y José Carlos*

A mis Padres quienes me dieron la vida y me han guiado a través de ella.

*A mi mamá Licha  
A mi mamá Cheli  
A mi papá Martín*

A Todos mis Maestros que me han guiado y sobre todo inspirado.  
En especial a quienes han dejado en mi la pasión y el gusto por aprender.

*Araceli Antonio, Martín Antonio, Alicia Garcés,  
Zenón Cano, Pilar Chiappa, Eberto Novelo, Carlos Cordero, Luis Medrano,  
Carmen Loyola, Pilar Segarra, Carlos Cortes, Víctor Monroy, Aldi de Oyarzabal,  
Vladimir Suarez y Guillermo Hoffner.*

*A mis Amigos*

*Al Arte*

*A la Ciencia*

## AGRADECIMIENTOS

A mi Familia

A mis Asesores y Sinodales

Dr. Zenón Cano Santana, Dra. Alma Orozco Segovia, Dr. Antonio Lot Helgueras, M. en C. Pedro Mendoza Hernández e Irene Pisanty Baruch.

A todo el Grupo de Ecología de Artrópodos Terrestres: Marce, Maritza, Mau, León, Moni, Ariana, Isael, Lety, Laura, Mariana, Melina, Xochitl, Fica, Erandi, Isabel, Adriana, Yesenia, Miguel, Jaime, Brian, Vic e Iván. Y a los que estuvieron: Jessica, Omar, Sonia, Marcos, Coa, Ale, Esteban, Vania, Ángela, Jocelyn y Ernesto.

Al instituto de Ecología muy en especial a la Dra. Alma Orozco Segovia, Esther Sánchez Coronado, Sarai, Esther y por supuesto Michelle.

A la Facultad de Ciencias, en especial a la Coordinación del Departamento de Ecología y Recursos Naturales, al Dr. Enrique Cantoral Uriza. Al departamento de Difusión y Divulgación de la Ciencia, a Patricia Magaña, Moisés Robles Aguirre, María Angélica Macias Oliva y Nancy Mejia Moran. Al departamento de Servicios Editoriales, a Mercedes Pereyo.

A la Dirección General de Obras y Conservación, en especial a la Coordinación de Áreas verdes y Forestación, al Ing. Alfredo Martínez Sigüenza, Ivonne Olalde Omaña, Javier Montoya y Teresa Castaño Roa. A la Cuadrilla 1 a Maximino Varela, Ricardo Ávila, Carlos Ávila, Rene Pedraza, Héctor Perdomo, Alfredo Cordero, Andrés Valenzuela, Javier Zarazua y Justo Ledesma. A la Cuadrilla 2 a Jesús Ávila, Sofronio Ávila, Donato Lozada, Luis Arias, Victoriano Gallegos, Jerónimo Ramírez, Antonio Torres y Erasmo Silva. A la Planta de Composta de CU a Manuel Centeno, Victoriano Silva, Jorge Rodríguez y Francisco Silva.

A la Dirección General de Servicios Generales, al Lic. Ignacio Medina Bellmunt. A la Dirección de Protección Civil, a la Dra. Ma. Elena Llarena del Rosario.

A la Secretaria Ejecutiva de la Reserva del Pedregal, al Dr. Antonio Lot Helgueras, Arq. Pedro Camarena y Xochitl.

Al Observatorio Meteorológico de Ciudad Universitaria, Colegio de Geografía al Mtro. Francisco Hernández Hernández, "Don Benito" y Telly

Al Club PUMITAS C.U. Futbol, A.C. Lic. Luis de Buen y "Don Pablo".

A toda la Banda de Universum, a mis amigos y a todos aquellos que me apoyaron y que hicieron más feliz y alegre mi existencia, a Cinthya, Héctor, León, Emmanuel, Pau (Chinitos), Ángel, Marce, Pau A.C., Jenny, Lizeth, Nancy, Karla, Jessica, Héctor, Pame, Michelle, Omar, Michel, Caro, Fede, Rosaura, Vero, Mari, Adriana y etc. etc.

A Todos los Voluntarios de las Jornadas de Limpieza:

Aguado Bautista Oscar, Alejandro Grimaldo Susana, Alvarado Suárez Jesús, Aranguren S. Ainara, Arce Chavez Rodrigo, Arellano Jorge, Baltazar Hernández José Ángel, Barba Medina Helga, Barragán Magos Andrea, Barrales Bruno, Barrera Medina Magda Elena, Bascuñan García Priscila, Becerra Baños Víctor, Bernal Rodríguez Lorena, Calderón Aguilar Cecilia, Camacho B. Aurora, Camacho Romero Armando, Cano Santana Zenón, Carmona Moreno Diego, Castañeda Aguado Diana, Castañón Barrientos Antonio, Chávez Ruiz Jorge Adrián, Chevez Zendejas Pamela, Cid Fernández Ricardo, Cuellar Lugo Erika, de Rivero Gómez de la Torre Alberto, Delfín Milton Palacios, Díaz Soto Laura Daniela, Domínguez Álvarez Alejandra, Duran Murrieta Jocelyn, Duran Ramírez Carlos, Espino del Castillo Rodríguez Adriana, Flores López Marco, Flores Reygadas Damaris, Flores Rodríguez Claudia, Gaona Toraya Héctor, García Sierra José Luis, García Jiménez Coatlicue, García Tello Iris Dinorah, Gómez Rivera Oscar, Gómez Sánchez Saúl, González Arzate David, González González Ángel Rodrigo, González Rodríguez Juan Carlos, Granados Hernández Vladimir, Heras Sandoval Oscar Augusto, Heredia López Isadora, Heredia Morales Abril, Hernández Baltazar Iván, Hernández Cardona Alfonsina, Hernández Pedrera Román, Hernández Rosales Abel, Hernández Ruiz Patricia, Hidalgo Medina Verónica, Jasso Escutia Laura Verónica, Juárez Orozco Sonia, Kun Sainz Odette, Lara Díaz Nalleli, López Araujo Marisol, López Giamal Alfredo, López Gómez Víctor, Loyo Espíndola Erika, Lujano Marin Billy, Maldonado Ruiz Cesar Uriel, Mariscal Borbolla Alfredo Romero, Márquez, Estévez Miryam, Martínez García Laura Lucia, Massa Anaya Hiram, Mastretta Yáñez Alicia, Mata Mejia Erick Iván, Mata Mejia Laura Leticia, Mejia Espíndola Luz María, Monroy García Elis, Montoya V. Luis Eduardo, Morales Huitron Violeta, Morales Mejia Diana Gabriela, Moyers Arévalo Leticia, Núñez Rojo María Paulina, Olivares Ceja Xicotencatl, Oropeza Rivera Jesús Manuel, Ortega Hernández Javier, Ortiz Sánchez Verónica, Padilla Laura, Padrón Estrada Omar, Palacios Delfín Milton, Paredes Villegas Tania, Peláez Rocha Cinthya, Peña Mendoza Maritza, Pérez Escobedo Hilda Marcela, Pérez Nieto Pavel Isaac, Pérez Segura David Jesús, Puente Tapia Alejandro, Queijeiro Bolaños Mónica, Quintero Martínez Violeta, Ramírez Godoy Liliana, Ramírez Hernández Octavio, Ramírez Jarquin Uri Nimrod, Ríos Carrillo Jorge Eduardo, Rivera B. María de los Ángeles Gabriela, Rivera Téllez Emmanuel, Rodríguez Castañón Diana, Rodríguez Pérez Ana Cecilia, Romero Mata Ariana, Rosas Luna Mónica, Ruiz Martínez Maira Sueli, Salvador Santamaría Damián, Sánchez Cabrera Francisco, Sánchez Navarro Marco Antonio, Sánchez Villaseñor Gabriela, Solano Zabaleta Israel, Tovilla Sierra Rosa Daniela, Urbano Alonso Brian, Vázquez Alberto Edith, Victoria Salazar Isael, Vidalez Dávila Guillermina, Villanueva Aguilera Jessica, Westendarp Ortega Pedro, Yáñez Thomas Pablo Enrique, Zarco Perelló Salvador.

A todas aquellas personas Anónimas que participaron directa o indirectamente y que por alguna razón no se encuentran aquí citadas, Mil Disculpas.

A la Reserva.

A la Máxima Casa de Estudios, la UNAM.

A todos Muchísimas Gracias.

## ÍNDICE

Resumen	2
Abstract	3
I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Restauración Ecológica	5
1.2. Disturbio por especies introducidas: Eucaliptos y especies arvenses	9
1.3. Germinación	11
1.4. Tratamientos pregerminativos	13
1.5. Acondicionamiento Natural ( <i>natural priming</i> )	14
1.6. El Pedregal de San Ángel	16
1.7. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel	17
II. OBJETIVOS	20
III. SITIO DE ESTUDIO	21
IV. SISTEMA DE ESTUDIO	24
V. MATERIAL Y MÉTODOS	
5.1. Acciones de restauración	27
5.1.1. Remoción de eucaliptos	28
5.1.2. Retiro de desechos	28
5.2. Estructura de la comunidad vegetal	28
5.3. Colecta de semillas de especies nativas	29
5.4. Tratamiento e introducción de plántulas aclimatizadas	
5.4.1. Acondicionamiento natural	30
5.4.2. Germinación	31
5.4.3. Aclimatización	31
5.4.4. Siembra de plántulas y monitoreo de supervivencia	31
5.5. Costos	32
VI. RESULTADOS	
6.1. Estructura de la comunidad vegetal	33
6.1.1. subzona I	36
6.1.2. subzona II	38
6.1.3. subzona III	40
6.2. Introducción de plántulas acondicionadas naturalmente	41
6.3. Costos	43
VII. DISCUSIÓN	
7.1. Cambios en la estructura de la comunidad vegetal	45
7.1.1. Retiro de eucaliptos	45
7.1.2. Retiro de desechos	45
7.2. Introducción de plántulas acondicionadas naturalmente	46
7.3. Costos	48
7.4. Discusión final	48
7.5. Perspectivas y recomendaciones	49
7.6. Conclusiones	51
LITERATURA CITADA	53
ANEXO 1. Tratamientos por especie	59

Antonio-Garcés, J. I. 2008. Restauración Ecológica de la Zona de Amortiguamiento 8 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. (México). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 61 pp.

### **Resumen**

La restauración ecológica pretende revertir el daño ocasionado a los ecosistemas. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, localizada en el campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México dentro de la ciudad de México, está asentada en un sustrato de roca basáltica de 1670 años de edad sobre el que crece un matorral xerófilo. Esta reserva ha estado sujeta a varios disturbios, los que han ocasionado la reducción de área y de la riqueza específica. La región noreste de la zona de amortiguamiento 8, conocida como “Biológicas” ha estado sujeta a severos disturbios como la acumulación de desechos de jardinería, la siembra de eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) y la acumulación de basura inorgánica y cascajo. En este trabajo se busca determinar el grado de recuperación de una zona de pedregal de 0.51 hectáreas con base en distintas acciones de restauración, como la extracción de eucaliptos, de materiales extraños y la introducción de plántulas nativas sometidas a un acondicionamiento natural. Se extrajeron 164.3 m<sup>3</sup> de tierra, hojarasca, cascajo y basura inorgánica, con lo que aumentó un 21.9% el sustrato volcánico original. Se introdujeron 430 plántulas aclimatizadas derivadas de semillas acondicionadas de nueve especies nativas del Pedregal de San Ángel. Después de once meses se registró una supervivencia del 7.7% de las plántulas introducidas, las supervivientes muestran un gran vigor. El retiro de eucaliptos redujo su dominancia de 48 a 9.7%. La apertura de espacios permitió que en un año (entre marzo de 2005 y marzo de 2006) se

incrementara la riqueza específica de 16 a 21 especies no arvenses, así como la cobertura relativa de otras especies, incluyendo al pasto exótico *Pennisetum clandestinum*. Una de las especies más beneficiadas fue *Montanoa tomentosa*, que incrementó su cobertura relativa de 9.5 a 29.3%. La siembra directa de plántulas derivadas de semillas acondicionadas naturalmente no garantizó la supervivencia de todas las plántulas pero sí un gran vigor a las plántulas supervivientes después de una temporada de lluvias. El éxito del establecimiento de especies nativas introducidas depende de la historia natural de cada especie y del microhábitat al que se van a enfrentar. Los costos de la restauración, ascendieron a \$76,386.00 M.N., considerando insumos y mano de obra con un salario mínimo de \$5.85 M.N. por hora.

### **Abstract**

Ecological restoration is the process of assisting the recovery of an ecosystem that has been degraded, damaged, or destroyed. In this study we assess the recovery process of a 0.51 ha zone of xerophytic scrub settled on 1670 years old a lava field in Mexico City. Within the zone we implemented a restoration plan based on control of exotic species (*Eucalyptus* spp.), removal of foreign material and seedling introduction obtained from seeds buried in soil. In order to increase the original volcanic substrate in more than 21% we extracted 164.3 m<sup>3</sup> of soil, gravel, litter and inorganic wastes. In 2005, we introduced 430 seedlings of nine native species in the study zone produced by natural priming seeds. Eleven months after, we recorded a survival of 7.7% most of them showing high vigor. The removal of *Eucalyptus* spp. reduced its cover from 48 to 9.7%. This allowed an increase from 16 to 21 native species in one year

(2005-2006) and a relative increase of cover of several exotic and native plant species like *Pennisetum clandestinum*. The relative cover of *Montanoa tomentosa* increased from 9.5 to 29.3%. Direct sowing does not guarantee high survival, but some individuals showed high vigor. The costs of restoration was \$6,928 dls. The success of the introduction of seedlings depends on the biology of each plant species, as well as on the microhabitat selected for its introduction.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Restauración Ecológica

La ecología de la restauración es la ciencia sobre la cual se basa la práctica de la restauración ecológica e idealmente proporciona conceptos claros, modelos, metodologías y herramientas para este fin (SER, 2004). Los ecólogos contribuyen a los esfuerzos de conservación desarrollando formas para restaurar las comunidades naturales, incluso aquellas que se encuentran inmersas en las áreas urbanas, en términos de diversidad, estructura y composición de especies (Primack y Massardo, 2001).

La restauración ecológica ayuda al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido, como resultado directo o indirecto de las actividades del hombre cuyos efectos en algunos casos han empeorado por causas naturales (SER, 2004).

La restauración ecológica tiene como objetivo la reintegración de ecosistemas y paisajes fragmentados y se puede realizar en una amplia gama de escalas y satisfacer una variedad de criterios (Hobbs y Norton, 1996; SER, 2004). La combinación de conocimientos sobre la estructura, composición y funcionamiento preexistentes de un ecosistema dañado o de ecosistemas comparables, así como el análisis de esta información permiten sugerir la trayectoria histórica en la que se pretende reintegrar al sistema en restauración (SER, 2004).

Primack y Massardo (2001) y SER (2004) discuten que la capacidad para restaurar un ecosistema dependerá del grado de conocimiento que se tenga acerca de él, así como de qué magnitud es la perturbación que sufre, de

la disponibilidad de la biota nativa circundante, necesaria para la restauración y de su grado de variabilidad genética; también dependerá del grado de alteración de la hidrología, la geomorfología y del suelo. Además de lo anterior, estos autores opinan que se debe considerar la velocidad de restauración, la confiabilidad de los resultados, la capacidad del ecosistema para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional y por último, considerar los costos, las fuentes de financiamiento y la voluntad política.

Algunos puntos básicos necesarios para llevar a cabo actividades de restauración se enumeran a continuación (Hobbs y Norton, 1996; SER, 2004):

1. Descripción ecológica del sitio a restaurar.
2. Identificación de los procesos que han llevado a la degradación .
3. Desarrollo de metas, objetivos y métodos para revertir o aminorar la degradación.
4. Determinar metas realistas para el restablecimiento de especies y ecosistemas funcionales reconociendo las limitaciones ecológicas y las barreras socioeconómicas y culturales para su implementación.
5. Desarrollar protocolos de monitoreo mediante los cuales se puede evaluar el proyecto a corto, mediano y largo plazo.
6. Planear el itinerario, el presupuesto y la duración del proyecto
7. Establecer las estrategias para la protección y mantenimiento a largo plazo del ecosistema restaurado.
8. Monitorear las variables clave del sistema, mediante la estimación del progreso de la restauración relativo a las metas acordadas, de manera que se permita el ajuste de los procedimientos si es necesario.

Se han distinguido cuatro aproximaciones referidas a la recuperación de ecosistemas (Bradshaw, 1997):

1) Ausencia de acción debido a que la restauración es demasiado costosa, por que los intentos previos de restauración han fallado o por que la experiencia ha demostrado que el sistema se recuperará solo.

2) Reemplazo de un ecosistema degradado por uno productivo (también llamado “creación de hábitat”), en el que se establece una comunidad biológica no original en un sitio, pero que restaura ciertas funciones ecológicas, como el control de inundaciones y la retención del suelo.

3) Rehabilitación de un ecosistema dañado, buscando más bien su reparación, mas no su recuperación total. En este proceso se busca la recuperación de algunas de las especies nativas y ciertas funciones del ecosistema.

4) Restauración o reconstrucción de un ecosistema degradado, considerando la estructura comunitaria, la composición de especies y el restablecimiento de procesos ecológicos a través de un programa activo de modificación del sitio y de reintroducción de especies. De las anteriores, el reemplazo y la rehabilitación constituyen aproximaciones más habituales de las medidas de restauración. Una política de reducción, eliminación o control de especies exóticas invasoras y dañinas que compiten con las especies nativas es parte de las medidas de restauración desde luego conforme a realidades biológicas, económicas y logísticas (SER, 2004). Resulta básico, eliminar o minimizar la fuente de disturbio, con ello, las comunidades originales pueden restablecerse por procesos de sucesión natural a partir de poblaciones remanentes sin embargo, dependiendo del daño, el proceso de sucesión puede ser lento y azaroso (Primack y Massardo, 2001).

Mucha de la información y las metodologías usadas en la restauración ecológica son conducidos en sitios particulares o reducidos. Sin embargo, estos sitios sujetos a restauración deben de ser situados en un contexto amplio y flexible, ya que estos sitios particulares son importantes para lograr un éxito en la restauración, a largo plazo, a nivel del paisaje (Bradshaw, 2002; Hobbs, 2002; SER, 2004).

Una estrategia fundamental para la restauración ecológica de ecosistemas terrestres la constituye la reintroducción intencional de especies vegetales nativas que tengan la potencialidad de crecer en zonas profundamente alteradas, ya que las plantas que sobreviven en una localidad están adaptadas a los microambientes en los que se encuentran y poseen características que les permiten responder a condiciones ambientales adversas. Su presencia permitirá la recuperación de la fertilidad del suelo, así como la modificación de un microclima favorable para otras especies y un ciclo hidrológico lo mas similar al preexistente; así como el restablecimiento de al menos parte de la flora y fauna nativa que aún sobrevive en algunos sitios (Vázquez-Yanes y Batis, 1996; González-Zertuche *et al.*, 2000; SER, 2004). Pero, la reintroducción muchas veces requiere del acondicionamiento del sitio a restaurar, así como promover los procesos involucrados en la recuperación de la vegetación (González-Zertuche *et al.*, 2000). En esta perspectiva, una estrategia para la reintroducción de especies nativas es el uso y manejo de semillas mediante procesos que incrementen la probabilidad de establecimiento de las plantas como la germinación y el uso de tratamientos pre-germinativos.

## **1.2. Disturbio por especies introducidas: Eucaliptos y especies arvenses**

Espinosa-García (1996) revisa el problema de la alelopatía de los eucaliptos. El registra que los extractos o lixiviados de hojas, corteza, hojarasca y semillas de varias especies de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) contienen sustancias aleloquímicas capaces de afectar negativamente a varias especies de plantas, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos. Muchas de estas sustancias aleloquímicas son muy solubles en agua y pueden concentrarse en el suelo o en la superficie de las hojas y troncos interfiriendo con la germinación y el crecimiento de varias especies de plantas. El eucalipto se caracteriza por producir continuamente hojarasca, que tiene una tasa de descomposición más baja que la de la hojarasca de otras especies. Por lo anterior, se puede esperar que un eucalipto va a introducir continuamente sustancias aleloquímicas al suelo lo cual tiene repercusiones en la composición florística del sotobosque, de modo que las especies poco sensibles y capaces de competir con el eucalipto podrán persistir.

Las plantas silvestres que crecen en los campos agrícolas se conocen como plantas arvenses o, más comúnmente, como malezas o malas hierbas. Este último término se refiere al efecto nocivo que algunas de estas especies tienen sobre las plantas cultivadas, ya que pueden reducir el rendimiento en cantidad y calidad causando pérdidas al agricultor (Espinosa-García, 1997). El adjetivo “arvense” solo significa que la planta “crece en forma silvestre en terrenos cultivados” sin ninguna connotación respecto a la nocividad o bondad de estas plantas para los agricultores (Espinosa-García, 1997). Las especies de plantas de este tipo corresponden, desde el punto de vista de la ecología de

la sucesión, a plantas pioneras que arriban primero a un sitio donde están disponibles espacios de colonización para ser ocupados (Morris, 1992), por lo que también se les conoce como especies de etapas tempranas de sucesión (Pianka, 1994). Asimismo, estas especies de plantas pueden ser catalogadas como especies oportunistas, ya que toman ventaja en el interior de comunidades que han experimentado un disturbio reciente (Morris, 1992), por lo que su factor preponderante de regulación poblacional es densoindependiente (Pianka, 1994). De forma accidental y dirigida se han introducido en el *campus* de Ciudad Universitaria varias especies de eucaliptos que han tenido que ser manejados para controlar sus poblaciones, lo mismo ha ocurrido con especies oportunistas que han entrado y colonizado rápidamente sitios alterados por los disturbios humanos en el Pedregal de San Ángel (P.E. Mendoza-Hernández, com. pers.). En este trabajo se define como plantas arvenses a aquéllas especies silvestres o exóticas oportunistas cuyas poblaciones se desarrollan primordialmente en ambientes sujetos a disturbios antropogénicos que colonizan espacios en las primeras etapas sucesionales, las cuales pueden tener un potencial efecto invasivo o nocivo sobre el ecosistema en el que se encuentran. Para diferenciar a las plantas arvenses nativas de México de las exóticas, en este trabajo se éstas separarán, considerando a las plantas exóticas en un grupo aparte, a pesar de su carácter arvense, tomando en cuenta el listado que presentan Villaseñor *et al.* (2004), quienes enlistan las plantas exóticas a la República Mexicana.

El eucalipto se comenzó a plantar 1951 en terrenos que ahora son parte de la actual Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, principalmente a lo largo de los circuitos vehiculares de Ciudad Universitaria y de la avenida de los

Insurgentes. Este hecho dio como resultado la introducción de una especie arbórea a una comunidad en proceso de sucesión primaria, carente aun de un estrato arbóreo desarrollado. La población de *Eucalyptus resinifera* creció a una tasa promedio anual de 9.2% durante 33 años, cubriendo una extensión cercana al 8% del área total de la reserva (Segura, 1995).

Segura y Meave (2001) demostraron que la riqueza específica de especies nativas en la REPSA es más alta en sitios sin eucaliptos que la encontrada en los sitios afectados por estos árboles, y que la remoción de eucaliptos parece cambiar de manera inmediata el paisaje del sotobosque, pues las coberturas de plantas de especies nativas se incrementaron en mayor proporción que las de plantas malezoides durante la temporada de lluvias.

### **1.3. Germinación**

La germinación se inicia con la toma de agua de la semilla (imbibición) y termina con el comienzo de la elongación de la radícula (Bewley y Black, 1994). Este proceso está determinado por la permeabilidad de la cubierta y las condiciones del sustrato, la temperatura, la respuesta a la luz, la disponibilidad de agua, la aireación, las características químicas del suelo y la duración de la imbibición (Fenner y Thompson, 2005). Las semillas maduras muestran un patrón trifásico de absorción que se correlaciona con las variaciones en los componentes del potencial hídrico ( $\Psi$ ) de las células durante los procesos fisiológicos y bioquímicos que preceden a la emergencia de la radícula (Bewley y Black, 1994).

A continuación se describe el proceso fisiológico de la germinación, según Bewley y Black (1994) y Sánchez *et al.* (2001). En la Fase I se presenta

una imbibición rápida debida a las fuerzas osmóticas, la cual permite la activación de la respiración; se inicia la movilización de los carbohidratos y proteínas de las reservas del embrión en un 45% y se inicia la síntesis de proteínas. En la fase II (conocida como fase estacionaria) el potencial osmótico de la semilla se mantiene 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 procesos. Uno de ellos es la acumulación de sustancias osmóticamente activas en las células que incrementan el contenido de humedad hasta un 65%; otro es la activación de la bomba de protones que aumenta la plasticidad estructural de las paredes celulares incrementando la humedad en un 73%. Otros procesos que ocurren en esta fase son la síntesis de ARNm, el inicio de la vacuolización y el crecimiento celular. En la fase III ocurre la emergencia de 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 (figura 1.2).

Las semillas que entran en la fase III son las que germinan; 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. 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 los tratamientos pregerminativos (Sánchez *et al.*, 2001), los cuales se revisarán a continuación.

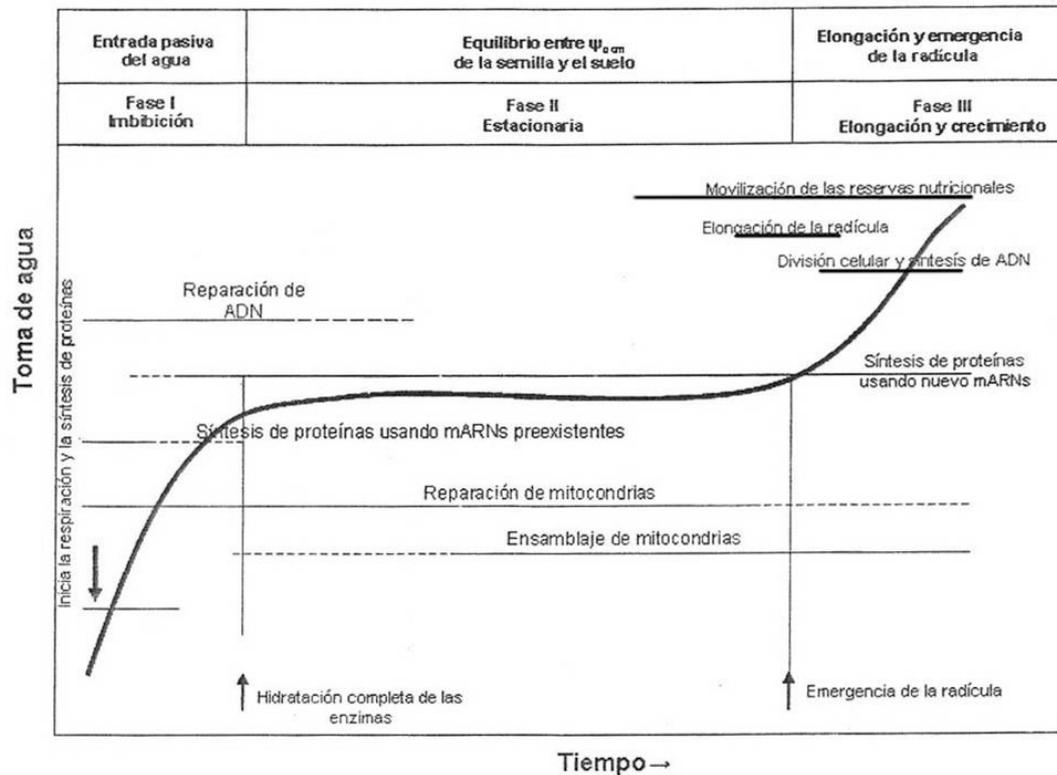


Figura 1.2. Esquema de los eventos metabólicos que ocurren en las semillas durante la germinación (Bewley y Black, 1994, modificado por A. Orozco-Segovia, com. pers.).

#### 1.4. Tratamientos Pregerminativos

Un camino fisiológico que ha probado ser eficiente para mejorar el comportamiento germinativo de muchas especies, es el tratamiento pregerminativo de hidratación-deshidratación de las semillas, los cuales podemos clasificar de la manera siguiente (Sánchez *et al.*, 2001):

- Tratamientos de revigorización (*seed reinvigoration*) para incrementar la germinación de semillas envejecidas.
- Tratamientos de robustecimiento (*seed hardening*) para incrementar la tolerancia de las plantas resultantes de las semillas tratadas a condiciones adversas del medio como la sequía, las altas

temperaturas, la salinidad y otros factores desfavorables del ambiente.

- c) Tratamientos de acondicionamiento (*seed priming*) para incrementar, acelerar y sincronizar la germinación de las semillas.

Estos tratamientos pregerminativos consisten en la inmersión de las semillas en soluciones osmóticas o en agua (osmoacondicionamiento e hidroacondicionamiento respectivamente) durante cierto tiempo con o sin deshidratación previa a la siembra. Estos tratamientos permiten que una gran proporción de ellas alcance rápidamente el nivel de humedad y estado metabólico deseado como consecuencia de la activación de numerosos procesos bioquímicos-fisiológicos relacionados con la fase pregerminativa, la tolerancia al estrés ambiental y la auto reparación enzimática de las membranas celulares a través de la síntesis de lípidos, proteínas, ARN y ADN que permiten que éstas maduren pero no germinen por limitaciones hídricas; lo que resulta ventajoso para acelerar la germinación al ser rehidratadas (Bewley y Black, 1997; Sánchez *et al.*, 2001).

### **1.5. El acondicionamiento natural (*natural priming*)**

González-Zertuche *et al.* (2000, 2001, 2002) resumen cómo los tratamientos de acondicionamiento (*priming*, en inglés) han sido ligados a los eventos que en forma natural ocurren en el banco de semillas, en donde las semillas están sujetas a ciclos de hidratación y deshidratación que no necesariamente concluyen con la germinación, según se discute a continuación.

Este acondicionamiento natural, análogamente al acondicionamiento en laboratorio da como resultado una germinación más rápida y sincronizada y

una mayor tolerancia de las plántulas a las condiciones de estrés y, por lo tanto, mayor supervivencia.

Durante el acondicionamiento natural por enterramiento de las semillas en el suelo se inducen, cambios más favorables que los que ocurren durante el osmo- e hidroacondicionamiento en laboratorio, debido a que las fluctuaciones de temperatura que ocurren en el sustrato también favorecen el rompimiento de la latencia. Además, las condiciones microambientales y las relaciones hídricas que se establecen entre el suelo y la semilla son más parecidas a las que prevalecen durante la aplicación del acondicionamiento en sustratos sólidos en el laboratorio, el cual ha demostrado tener una mayor efectividad en inducir cambios favorables en las semillas y plántulas debido a que ocurre en condiciones de mejor oxigenación y el sustrato aporta algunos minerales, como el calcio, que favorecen el acondicionamiento.

Desde el punto de vista ecológico, los cambios funcionales, bioquímicos y moleculares que acompañan al acondicionamiento, deben haber evolucionado en el suelo en respuesta a presiones de selección generadas por el ambiente, tales como las fluctuaciones en la disponibilidad de agua en el suelo y la presencia de temperaturas que favorecen la evapotranspiración, las cuales son adversas para el mantenimiento, por ejemplo, de la turgencia de los tejidos vegetales y desde luego afectan a procesos biológicos como la germinación y el desarrollo de la plántula.

El acondicionamiento natural se puede relacionar fácilmente con la emergencia rápida y sincrónica que ocurre después del establecimiento de las lluvias en ambientes estacionales, lo cual favorece el aprovechamiento de la estación lluviosa y, por lo tanto, la oportunidad de completar el ciclo de vida de

especies anuales o de concluir el establecimiento en el caso de las especies perennes.

El uso de especies nativas para la restauración ecológica y los resultados obtenidos con el acondicionamiento natural de estas especies plantean la posibilidad de tener mayor éxito que con tratamientos de acondicionamiento en el laboratorio, no sólo por la sencillez de su aplicación en el campo, sino por que probablemente permitirá una aclimatización temprana de la futura planta a las condiciones del área que se piensa restaurar, debido a que durante la permanencia de las semillas en el suelo podrían estarse canalizando características que serían ventajosas para la supervivencia en condiciones desfavorables.

### **1.6. El Pedregal de San Ángel**

El Pedregal de San Ángel o Pedregal del Xitle es un ecosistema que originalmente tenía una extensión aproximada de 80 km<sup>2</sup> con un sustrato basáltico producto de la erupción del volcán Xitle y conos adyacentes ocurrida hace 1670 ± 35 años (Carrillo, 1995; Siebe, 2000). Rzedowski (1954) distinguió dentro de este derrame nueve tipos de vegetación, entre los que dominan el matorral de palo loco (*Senecio praecox*) y los bosques de encinos (*Quercus* spp.).

Dentro del Pedregal del Xitle se encuentran cinco zonas protegidas: el Parque Ecoguardas, el Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), el Parque Urbano Bosque de Tlalpan, el Parque Ecoarqueológico Cuicuilco y la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. Estas

zonas suman 1,312 ha, que representan 12.3% del área sujeta a protección en el sur de la ciudad de México (Cano-Santana *et al.*, 2006).

La vegetación de México ha sufrido extensas alteraciones antropogénicas y muy pocas áreas del territorio nacional contienen aún comunidades ecológicas inalteradas, estos cambios en la cuenca de México se deben al crecimiento descontrolado de la zona metropolitana, la dependencia de productos de otras regiones, el intenso desarrollo urbano y a presiones que ejercen las siempre crecientes necesidades de habitación y servicios de sus habitantes (Ezcurra, 1991; Vázquez-Yanes y Batis, 1996; Cano-Santana *et al.*, 2006). Este cambio del uso del suelo se traduce, por ejemplo, en que sólo 6% esté protegido actualmente, de las 4,000 hectáreas originalmente cubiertas por el matorral de palo loco (Cano-Santana *et al.*, 2006).

### **1.7. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel**

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) de Ciudad Universitaria fue decretada como zona ecológica inafectable en septiembre de 1983 (UNAM, 1983) y actualmente cubre un área de 237 ha 3,323 m<sup>2</sup> (UNAM, 2005). La REPSA está caracterizada por una vegetación de tipo matorral xerófilo (Rzedowski, 1954) en la cual dominan hierbas y arbustos y algunos elementos arbóreos de poca altura, y alberga al menos 337 especies de plantas (Castillo-Argüero *et al.*, 2004).

La REPSA, al encontrarse en las partes bajas del derrame del Xitle (2,240-2,350 m s.n.m.), presenta condiciones más secas que las zonas de las partes más altas por lo cual la velocidad sucesional es menor (Cano-Santana y Meave, 1996). Esta baja velocidad sucesional ha sido adjudicada tanto a los

bajos niveles de precipitación (870 mm) como a las perturbaciones permanentes asociadas a las actividades de los habitantes de los asentamientos humanos que desde su origen han rodeado al derrame (Carrillo, 1995; Cano-Santana y Meave, 1996). Otra causa de esta baja velocidad sucesional parecen ser los incendios recurrentes (de origen antropogénico o no) que determinan pulsos de retroceso en el proceso sucesional natural. El fuego tiene un efecto sobre la estructura del ecosistema, ya que la diversidad de hierbas y la abundancia de artrópodos epífitos disminuye después de un incendio (Juárez-Orozco, 2005). La acumulación de desechos de jardinería, la siembra de eucaliptos y a la acumulación de basura inorgánica y cascajo han estimulado el crecimiento masivo del pasto "kikuyo" (*Pennisetum clandestinum*) lo cual favorece la incidencia de incendios al acumular gran cantidad de material combustible durante la temporada de secas (Z. Cano-Santana, obs. pers.). La gran incidencia de incendios en la Reserva se debe principalmente a la cercanía de la reserva con la zona urbana que incrementa las probabilidades de contacto con las actividades humanas (Rojo, 1994; Cano-Santana y Meave, 1996). Es menos conocido y también del mayor interés, saber de qué manera se recupera un área de pedregal que ha quedado aislada del resto de la reserva, ha tenido disturbios humanos sistemáticamente y que ahora es considerada una zona de amortiguamiento (P. E. Mendoza-Hernández, com. pers.).

La REPSA contiene tres zonas núcleo y 13 zonas de amortiguamiento. Estas zonas de amortiguamiento suelen estar sujetas a un mayor nivel de disturbio humano, lo que junto con la fragmentación y aislamiento deben complicar la recuperación de la vegetación, durante un proceso de restauración

ecológica. La zona de amortiguamiento A8, es conocida como “Biológicas”, en su región noreste tiene una superficie de 0.51 ha. Esta zona cubre una hondonada que ha estado sujeta durante cerca de 10 años a la acumulación de desechos, en su mayoría de jardinería, generados por el manejo que se les da a las canchas de fútbol que están adyacentes. Adicionalmente, se han detectado promontorios de cascajo en sus bordes y la presencia de una carpeta de pasto kikuyo en su parte norte en una franja de 3-5 metros, así como de varios individuos adultos de eucaliptos.

## II. OBJETIVOS

Este trabajo forma parte de un proyecto de restauración ecológica a largo plazo de la región noreste de la zona de amortiguamiento A8 (Biológicas), cuyos objetivos son: 1) recuperar el sustrato volcánico original y volverlo apto para la introducción de especies nativas, 2) reducir la presencia de especies exóticas y arvenses a través de deshierbes controlados, 3) reducir el riesgo de incendios favorecidos por la acumulación de desechos de jardinería, así como la presencia y dominancia del pasto “kikuyo” *Pennisetum clandestinum*, y 4) recuperar la diversidad vegetal propia del pedregal y el paisaje de la zona de amortiguamiento A8.

En particular, los objetivos de este trabajo fueron: (1) Determinar los cambios en la estructura de la comunidad vegetal en una área durante todo el proceso de implementación de acciones de restauración ecológica. (2) Aplicar la técnica de acondicionamiento natural utilizada para inducir la germinación rápida y sincrónica de nueve especies de plantas nativas que presentan latencia, por lo tanto poca o ninguna germinación. Estas plantas fueron: *Brickellia veronicifolia* (Kunth) A.Gray (Asteraceae), *Cardiospermum halicacabum* L. (Sapindaceae), *Dahlia coccinea* Cav. (Asteraceae), *Eupatorium petiolare* Moc. et Sessé ex DC. (Asteraceae), *Dodonaea viscosa* Jacq. (Sapindaceae), *Muhlenbergia robusta* (E.Fourn.) Hitchc. (Poaceae), *Manfreda scabra* (Ort.) McVaugh (Agavaceae), *Senecio praecox* (Cav.) DC. (Asteraceae) y *Verbesina virgata* Cav. (Asteraceae). El último objetivo fue (3) cotizar los costos de llevar a cabo las labores de restauración en el primer año.

### III. SITIO DE ESTUDIO

#### 3.1. Localización

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel está ubicada al suroeste de la cuenca hidrográfica del Valle de México (19°18'31"-19°19'17" norte, 99°10'20"-99°11'52" oeste, a 2200-2277 m s.n.m.), dentro del campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México. Cubre un área total de 237.3 ha; 171.1 ha de zonas núcleo y 66.2 ha de zonas de amortiguamiento (UNAM, 2005; figura 3.1).

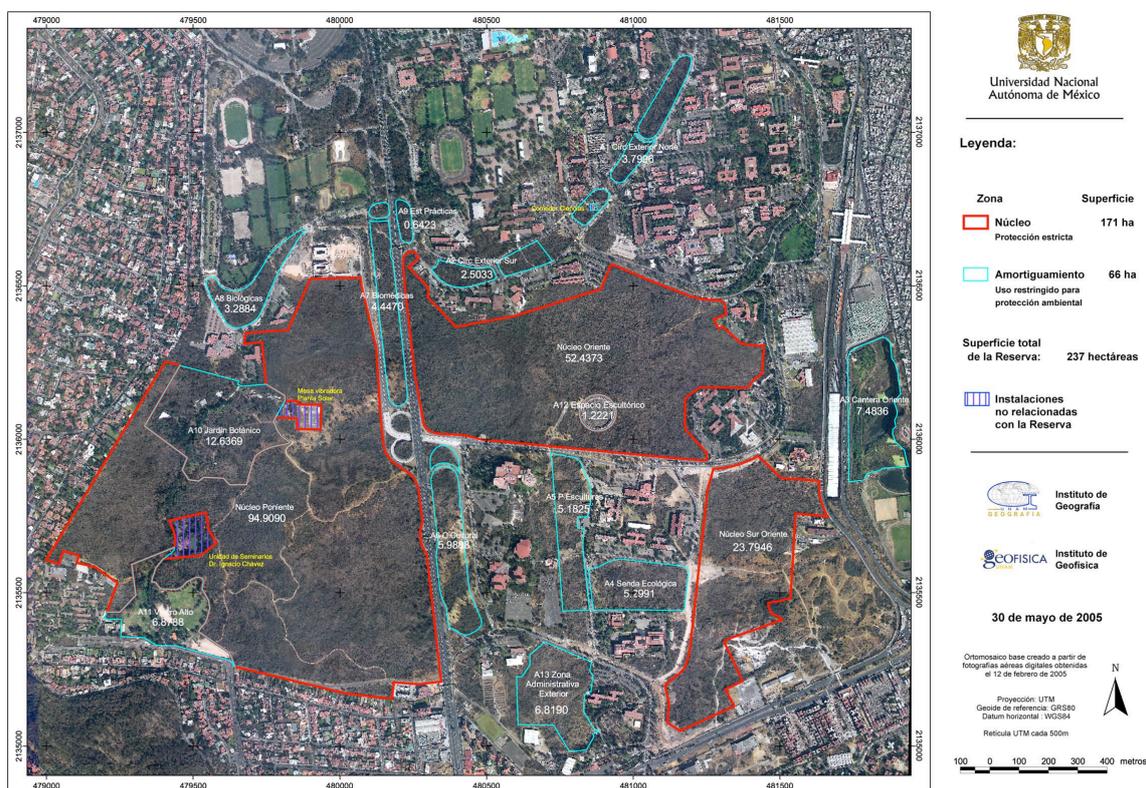


Figura. 3.1. Mapa de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (UNAM, 2005).

El clima de la zona es templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano [Cb ( $w_1$ )(w) de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988)]. Tiene una temperatura media anual de 15.5° C y la precipitación promedio anual es de 870 mm (Valiente-Banuet y De Luna, 1990).

Existe una estacionalidad marcada, presentándose la temporada seca de noviembre a mayo, y una temporada lluviosa de junio a octubre (Rzedowski, 1954; Meave *et al.*, 1994).

La Zona de Amortiguamiento A8 (Biológicas) tiene una superficie total de 3 ha 2,884 m<sup>2</sup> y conforma el camellón central de la avenida conocida como Circuito Exterior. Está limitada en sus cuatros costados por el circuito de la zona deportiva poniente frente a los Institutos de Biología, de Ecología y de Investigaciones Biomédicas, y las canchas de fútbol soccer (UNAM, 2005). La zona esta cubierta por vegetación natural y constituye una zona forestada con eucaliptos, aunque su porción occidental estuvo sujeta a un programa de remoción de estos árboles en 1998.

La región noreste de la zona A8 tiene una superficie de 0.51 ha. Esta zona cubre una hondonada que ha estado sujeta durante cerca de 10 años a la acumulación de desechos, en su mayoría de jardinería, generados por las canchas de fútbol adyacentes. Adicionalmente, se ha detectado promontorios de cascajo en sus bordes y la introducción de una carpeta de pasto kikuyo en su parte norte en una franja de 3-5 metros. Su región noreste constituye el área de estudio de este trabajo, la cual está ocupada por una hondonada de profundidad variable (2.5 a 4 m de profundidad). En la zona de estudio se reconocieron cuatro subzonas con base en la magnitud de disturbio que presentaban y en el tipo de acciones que se llevaron a cabo en cada una. La subzona I de 495 m<sup>2</sup> que en general posee una vegetación conservada; la subzona II de 604 m<sup>2</sup>, que se caracteriza por tener un sustrato de roca volcánica expuesta, carente de vegetación debido a la poda constante; la subzona III de 1,196 m<sup>2</sup>, en cuyos bordes se concentra la mayor acumulación

de montículos de cascajo y pasto kikuyo; una subzona IV de 464 m<sup>2</sup> que fue sometida a actividades de extracción de cascajo y desechos de jardinería (figura 3.2). Las actividades de restauración en cada subzona se presentan en el capítulo VI. El área de cada subzona fue determinada a partir del programa ArcView GIS ver. 3.1 (Environmental System Research Institute, Inc., 1992-1998.).



Figura 3.2. Mapa de la región noreste del área de amortiguamiento A8 (Biológicas) y las cuatro subzonas que se distinguieron.

#### IV. SISTEMA DE ESTUDIO

##### 4.1. Características de las especies de estudio.

Se seleccionaron nueve especies de plantas nativas para iniciar los trabajos de introducción de especies. La selección de especies se hizo buscando que fueran dominantes en la Reserva Ecológica de acuerdo con su aporte a la producción primaria neta aérea (PPNA) de acuerdo con Cano-Santana (1994) o a la fitomasa aérea (Z. Cano-Santana, datos no publ.) y que dichas especies tuvieran una baja cobertura en el sitio. Las especies seleccionadas y su descripción se presenta a continuación en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Características generales de las especies de estudio. Listado de especies introducidas a partir de semillas sometidas a acondicionamiento natural. **FV** = Forma de Vida: He = hemicriptofita, Cr = criptofita, Fa = fanerofita, Ca = camefita. **FC** = Forma de Crecimiento: H-e = hierba erecta, H-a = hierba arrosetada, H-tr = hierba trepadora, Ar = arbusto, Ar-su = arbusto suculento. **TV** = Tipo de Vegetación: MX = matorral xerófilo, VS = vegetación secundaria, BM = bosque mixto, E = encinar, P = pastizal. Todas las especies son perennes. Las formas de vida se determinaron bajo el sistema de clasificación creado por Raunkiaer (1937) modificado por Müeller-Dombois y Elleberg (1974). Los datos de PPNA provienen de Cano-Santana (1994). Modificado de Castillo-Argüero *et al.* (2004). n.d. = no hay datos.

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>FV</b>	<b>FC</b>	<b>TV</b>	<b>PPNA (%)</b>
<i>Brickellia veronicifolia</i>	Asteraceae	Ca	Ar	MX-P	0.5%
<i>Cardiospermum halicacabum</i>	Sapindaceae	He	H-tr	MX-P	n.d.
<i>Dahlia coccinea</i>	Asteraceae	Cr	H-e	MX-BM	9.6%
<i>Eupatorium petiolare</i>	Asteraceae	Fa	Ar	MX-E-VS	2.5%
<i>Dodonaea viscosa</i>	Sapindaceae	Fa	Ar	MX-E-P	2.2%
<i>Muhlenbergia robusta</i>	Poaceae	Ca	H-a	MX-E-BM-P	16%
<i>Manfreda scabra</i>	Agavaceae	He	H-a	MX-E	5.4%
<i>Senecio praecox</i>	Asteraceae	Fa	Ar	MX	4.8%
<i>Verbesina virgata</i>	Asteraceae	Fa	Ar	MX-P	15.1%

*Brickellia veronicifolia* es un arbusto, perenne de tallo muy ramificado de 60 a 90 cm de alto (Rzedowski y Rzedowski, 2001). *Cardiospermum halicacabum*, por su parte, es una enredadera de tallos herbáceos anuales, a veces semileñosos en la base (Rzedowski y Rzedowski, 2001). *Dahlia coccinea* es una hierba criptofita y hermafrodita de porte erecto (Rojo y Rodríguez, 2002); mide de 1 a 1.5 m de altura, florece de junio a octubre y fructifica de agosto a noviembre (Rojo y Rodríguez, 2002). *Eupatorium petiolare* es un arbusto hermafrodita perenne de porte erecto que tiene 1 a 1.5 m de altura y crece en lugares perturbados; florece de enero a mayo y fructifica de mayo a junio (Rojo y Rodríguez, 2002). *Dodonaea viscosa*, por su parte, es un árbol o arbusto fanerofito, monoico, de uno a cinco metros de altura, con las ramas glabras y aglutinantes que florece de septiembre a octubre (Rojo y Rodríguez, 2002). *Muhlenbergia robusta* es un pasto, camefita y hermafrodita de tallos rígidos, que llega a medir hasta dos metros de altura y florece de agosto a febrero mientras que fructifica de noviembre a abril y sus semillas son dispersadas por el viento (Rojo y Rodríguez, 2002); es la planta dominante en términos de la PPNA y biomasa que aporta al ecosistema, ya que contribuye con el 16% (Tabla 4). *Manfreda scabra* es una hierba perenne, iterópara y monoica, con un bulbo subterráneo del cual salen numerosas hojas ascendentes que cuando florece, de julio a septiembre, posee un escapo muy alargado que puede llegar hasta dos metros de altura y fructifica de septiembre a noviembre (Rojo y Rodríguez, 2002). *Senecio praecox* es un arbusto fanerofito, hermafrodita y caducifolio, mide de dos a tres metros de altura, sus tallos están adaptados para almacenar grandes cantidades de agua; florece de

febrero a junio, fructifica de junio a enero y pierde sus hojas de mayo a septiembre (Rojo y Rodríguez, 2002). Finalmente, *Verbesina virgata* es un arbusto fanerofito, monoico, de porte erecto que mide menos de dos metros y medio de altura, florece de agosto a abril y fructifica de diciembre a mayo (Rojo y Rodríguez, 2002).

## V. MATERIAL y MÉTODO

### 5.1. Acciones de restauración

Para revertir el daño y acelerar la recuperación estructural de la comunidad vegetal y el paisaje de la región noreste de la zona A8, se plantearon las siguientes acciones: (1) el retiro de eucaliptos y su sustitución por árboles nativos de la especie *Dodonaea viscosa*, (2) el retiro de desechos orgánicos, basura inorgánica y cascajo; y (3) la introducción de nueve especies nativas mediante el transplante de plántulas aclimatizadas obtenidas de invernadero derivadas de semillas acondicionadas naturalmente. Estas acciones constituyeron la base para disparar la recuperación de la diversidad vegetal y el sustrato volcánico original, así como reducir el riesgo de incendios.

Mientras que en la subzona I sólo se removieron eucaliptos, en la II, además de retirar eucaliptos (única especie exótica registrada en esta subzona), se extrajeron materiales orgánicos e inorgánicos y se reintrodujeron plántulas de ocho especies (ver adelante). En la subzona III, por su parte, se removieron eucaliptos y desechos orgánicos e inorgánicos. Por último, en la subzona IV (libre de eucaliptos, pero bajo la influencia de la sombra de árboles de esta especie adyacentes al lugar) se recuperó sustrato volcánico mediante la extracción de desechos de jardinería y cascajo. La idea de esta zonación es que en la subzonas II y III se abrieran espacios de colonización para propágulos provenientes sobre todo de la subzona I.

Los detalles de las acciones de restauración se describen a continuación. Sin embargo, los detalles de el proceso que permitió la reintroducción de plántulas se presentan en los subcapítulos 5.3 y 5.4.

5.1.1. *Remoción de eucaliptos.* Se hizo un censo de los eucaliptos presentes en el sitio de estudio en el cual se registraron 74 individuos. Se realizó la gestión necesaria con la Dirección General de Obras y Conservación, Coordinación de Áreas Verdes y Forestación de la U.N.A.M. para la remoción de 62 eucaliptos (el 83.7% del total) de el sitio del 11 al 14 de julio de 2005, con la finalidad de reducir el efecto alelopático y de sombra que produce esta especie exótica sobre la comunidad y las plantas introducidas.

5.1.2. *Retiro de desechos.* Se organizaron siete “Jornadas de Limpieza de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel” que consistieron en invitaciones generales a estudiantes y profesores de la U.N.A.M., así como al público en general para participar en actividades de extracción de desechos de jardinería, basura inorgánica y cascajo, así como de control de eucaliptos. Estas jornadas se llevaron a cabo desde el 23 de abril hasta el 20 de noviembre de 2005, en la región noreste de la zona A8, intensificándose en un área de 464 m<sup>2</sup> (subzona IV; figura 3.2). Durante estas jornadas se extrajeron 164.3 m<sup>3</sup> de tierra, hojarasca, cascajo y basura inorgánica. En ellas participaron 235 asistentes, principalmente estudiantes de la Facultad de Ciencias de la U.N.A.M. El esfuerzo de trabajo fue de 1,410 horas-hombre. Los desechos orgánicos fueron llevados a la planta de composta de Ciudad Universitaria (tabla 5.1).

## **5.2. Estructura de la comunidad vegetal**

Para determinar los cambios en la estructura de la comunidad vegetal durante las acciones de restauración, se registró la cobertura de cada especie con el método línea de Canfield, tomando en cuenta simultáneamente los tres estratos de vegetación. Se trazó una línea longitudinal de 135 m por el centro

del sitio de estudio y cinco líneas transversales separadas de 7 a 20 m de una longitud de entre 32 y 54 m distribuidas por toda la zona. En total se registraron 347 m de línea. Se registró la cobertura de cada especie en cada tramo de 1 m en cada transecto. Se obtuvieron cuatro registros cada tres meses de marzo de 2005 a marzo de 2006.

Para la determinación de especies arvenses se consideraron aquellas que fueran catalogadas como tales en al menos tres de cuatro autores, con base en Castillo-Argüero *et al.* (2004), Espinosa-García (1997), Villaseñor *et al.* (1998) y Rzedowski y Rzedowski (1979, 1985 y 1990; ver referencias en Espinosa-García, 1997). La determinación de especies exóticas se hizo con base a Villaseñor *et al.* (2004).

Tabla 5.1. Material retirado durante las “jornadas de limpieza” de 23 de abril al 20 de noviembre de 2005.

<b>Jornada</b>	<b>Fecha</b>	<b>No. Asistentes</b>	<b>h hombre</b>	<b>Material Retirado (m<sup>3</sup>)</b>
1	23/abr/05	76	456	57.73
2	07/may/05	34	204	25.03
3	21/may/05	20	120	21.85
4	27/ago/05	3	18	6.00
5	10/sep/05	56	336	22.07
6	24/sep/05	22	132	12.00
7	20/nov/05	24	144	19.62
<b>Total</b>		<b>235</b>	<b>1,410</b>	<b>164.3</b>

### **5.3. Colecta de semillas de especies nativas**

Se colectaron semillas de nueve especies nativas de la REPSA. Se realizaron ocho colectas (dos en la zona núcleo Oriente, dos en la zona núcleo Poniente, tres en las zonas de amortiguamiento A4 y una en la zona A8) durante los

meses de febrero a abril de 2005. Las especies colectadas fueron: *Brickellia veronicifolia*, *Cardiospermum halicacabum*, *Dahlia coccinea*, *Eupatorium petiolare*, *Dodonaea viscosa*, *Muhlenbergia robusta*, *Manfreda scabra*, *Senecio praecox* y *Verbesina virgata*. El número de semillas colectadas por especie se obtuvo a partir del número de infrutescencias colectadas. Se estimó el número de semillas por infrutescencia, a partir del promedio de diez infrutescencias colectadas al azar durante los ocho muestreos.

#### **5.4. Tratamiento e introducción de plántulas aclimatizadas**

5.4.1. *Acondicionamiento natural*. Se empaquetó el 100% de las semillas colectadas de cada especie en 2 ó 4 bolsas (dependiendo de la cantidad de semillas) de tela organza de 10 x 10 cm y se enterraron en la subzona I del sitio de estudio, donde se existiera por lo menos 5 cm de suelo.

Un primer lote de las semillas colectadas (Lote 1), fue enterrado a finales de marzo de 2005 y un segundo lote (Lote 2) se enterró a mediados de abril. Las semillas se desenterraron al inicio de la temporada de lluvias (15 de junio de 2005), cubriendo las bolsas de organza con papel aluminio para evitar el contacto con la luz solar y así evitar la germinación de las semillas. Inmediatamente se llevaron a un cuarto oscuro donde se extendieron y dejaron secar durante 4 días.

El 100% de las semillas de *Muhlenbergia robusta* y aproximadamente una quinta parte de las semillas de las ocho especies restantes, ya desecadas, fue sembrada al voleo en la subzona II del sitio de estudio durante el inicio de la temporada de lluvias.

En el lote 2 ocurrió germinación *in situ* de tres especies (*Dahlia*, *Senecio* y *Manfreda*) durante el acondicionamiento natural (Anexo 1).

5.4.2. *Germinación*. El resto de las semillas de las ocho especies restantes ya desecadas se sembraron en bolsas negras de polietileno (10 x 15 cm), en una mezcla de tierra negra y arena 1:1, dentro de una casa de sombra localizada en las instalaciones del Instituto de Ecología, U.N.A.M. Se mantuvo un riego constante a capacidad de campo. Cabe reafirmar que *M. Robusta* no fue puesta a germinar ya que se introdujeron sus semillas al sitio mediante voleo.

5.4.3. *Aclimatización*. Una vez que las plántulas alcanzaban una longitud de 3-5 cm de altura se colocaban fuera de la casa de sombra, donde permanecieron una semana para su aclimatización.

5.4.4. *Siembra de plántulas y monitoreo de supervivencia*. Superada la etapa de aclimatización, las plántulas se introdujeron en distintos microambientes de la subzona II del sitio de estudio, abriendo por la parte inferior las bolsas de polietileno para que la raíz de la plántula se estableciera en el terreno, mientras conservaban el sustrato de las bolsas. Se marcó individualmente cada bolsa identificando el lote y la especie, y se monitoreó cada tres meses el crecimiento de las plántulas de cada especie y la supervivencia de éstas (figura 5.4). Los tratamientos por especie se describen en el anexo 1. El análisis de las tasas de mortalidad de las plántulas se realizó con el programa *Table Curve 2D*, versión 5.0 (2000 AISN Software Inc., Chicago, Illinois, EUA).

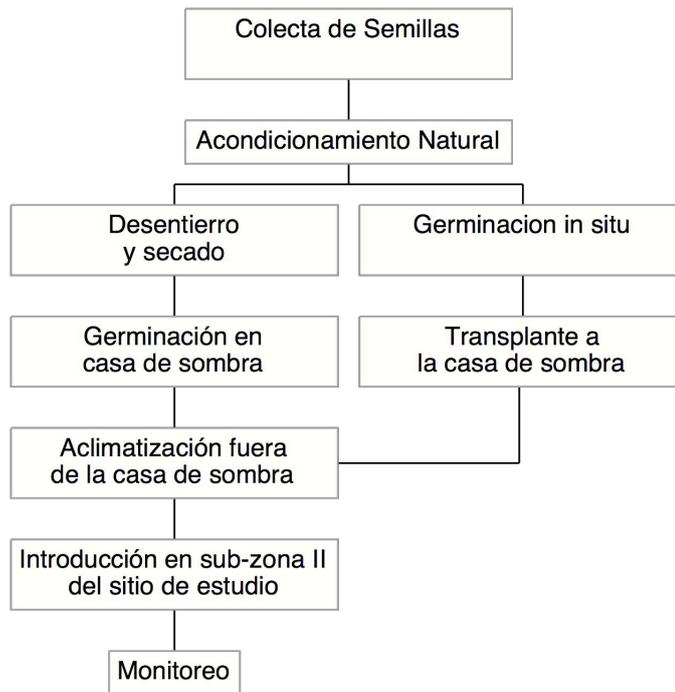


Figura 5.4. Diagrama de flujo de tratamiento e introducción de plántulas aclimatizadas.

### 5.5. Costos

Los costos para este proyecto fueron calculados con base a servicios privados. El salario mínimo (2005) fue considerado de acuerdo al Diario Oficial de la Federación. Este análisis no toma en cuenta la depreciación del uso de equipo y materiales por lo que sólo es una aproximación de los valores reales. Sin embargo, gracias al apoyo de diversas instituciones de la Universidad Nacional Autónoma de México y la mano de obra proporcionada por decenas de voluntarios, la mayoría de estos servicios fueron subsidiados.

## VI. RESULTADOS

### 6.1. Estructura de la comunidad vegetal

La remoción de eucaliptos afectó al 84% de los árboles de esta especie registrados en la zona. Este retiro de árboles significó una disminución del 87.1% de su cobertura vegetal inicial, reduciendo su cobertura relativa de 48 a 9.7% (figura 6.1). La jornadas de limpieza permitieron incrementar la exposición del sustrato volcánico original un 21.9% y disminuir en un 10.7% cobertura total del sustrato orgánico, proveniente de desechos de jardinería.

En el muestreo de las zonas por Línea de Canfield se registraron 32 especies no arvenses, ocho arvenses y siete exóticas (tabla 6.1). La remoción de eucaliptos permitió que en un año (entre marzo de 2005 y marzo de 2006) se incrementara la cobertura relativa de especies no arvenses de 25.8 a 52.9% (figura 6.2), así como la riqueza específica registrada con la línea de Canfield de 16 a 21 especies (figura 6.3). *Montanoa tomentosa* incrementó su cobertura relativa de 9.5 a 29.3% (figura 6.1). De igual manera algunas plantas arvenses incrementaron su cobertura de 0.3 a 5.5%; en contraste, se registró la disminución de las demás especies exóticas de 73.9 a 41.5% (figura 6.2). La cobertura de *Pennisetum clandestinum* se incrementó ligeramente en el periodo de 23.2 a 26.8%. (figura 6.1).

La riqueza registrada en la región NE de la zona A8 comparte el 49.5% de las 47 especies reportadas por C.M. Maravilla-Romero (datos no publ.) en la región SO de la zona A8, que este autor describe como una región en buen estado, sin acumulación de basura y vegetación conservada en general.

Tabla 6.1. Listado de especies no arvenses (NA), arvenses (A) y exóticas (E) de la zona de amortiguamiento 8, registradas entre marzo de 2005 y marzo de 2006. Ver definiciones en subcapítulo 1.2.

Espece	Familia	Tipo de planta
<i>Asclepia linaria</i> Cav.	Asclepiadaceae	NA
<i>Baccharis sordescens</i> DC.	Asteraceae	NA
<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltld.	Rubiaceae	NA
<i>Buddleia cordata</i> Kunth	Loganiaceae	NA
<i>Cissus sicyoides</i> L.	Vitaceae	NA
<i>Crusea longiflora</i> (Willd. ex Roem. et Schult.) W.R.Anderson	Rubiaceae	NA
<i>Cyperus odoratus</i> L.	Cyperaceae	NA
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	Asteraceae	NA
<i>Datura stramonium</i> L.	Solanaceae	NA
<i>Dioscorea galeottiana</i> Kunth	Dioscoreaceae	NA
<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Sapindaceae	NA
<i>Echeveria gibbiflora</i> DC.	Crassulaceae	NA
<i>Eupatorium petiolare</i> Moc. et Sessé ex DC.	Asteraceae	NA
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg.	Fabaceae	NA
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Olaceae	NA
<i>Iresine diffusa</i> Humb. et Bonpl. ex Willd.	Amaranthaceae	NA
<i>Montanoa tomentosa</i> Cerv.	Asteraceae	NA
<i>Muhlenbergia robusta</i> (E.Fourn.) Hitchc.	Poaceae	NA
<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck	Cactaceae	NA
<i>Oxalis divergens</i> Benth. ex Lindl.	Oxalidaceae	NA
<i>Passiflora subpeltata</i> Ortega	Passifloraceae	NA
<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	Asteraceae	NA
<i>Plumbago pulchella</i> Boiss.	Plumbaginaceae	NA
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Rosaceae	NA
<i>Salvia mexicana</i> Sessé et Moc.	Lamiaceae	NA
<i>Senecio praecox</i> (Cav.) DC.	Asteraceae	NA
<i>Sphaeralcea angustifolia</i> (Cav.) G.Don	Malvaceae	NA
<i>Verbesina virgata</i> Cav.	Asteraceae	NA
<i>Cupressus lusitanica</i>	Cupressaceae	NA
<i>Anoda cristata</i> (L.) Schltld.	Malvaceae	A
<i>Bidens odorata</i> Cav.	Asteraceae	A
<i>Commelina coelestis</i> Willd.	Commelinaceae	A
<i>Conyza coronopifolia</i> Kunth	Asteraceae	A
<i>Dicliptera peduncularis</i> Nees	Acanthaceae	A
<i>Mirabilis jalapa</i> L.	Nyctaginaceae	A
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Phytolaccaceae	A
<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl	Lamiaceae	A
<i>Eucalyptus resinifera</i> Smith	Myrtaceae	E
<i>Eucalyptus</i> spp.	Myrtaceae	E
<i>Schinus molle</i> L.	Anacardiaceae	E
<i>Leonotis nepetifolia</i> (L.) R.Br.	Lamiaceae	E
<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst. ex Chiov.	Poaceae	E
<i>Reseda luteola</i> L.	Resedaceae	E
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	E
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Asteraceae	E

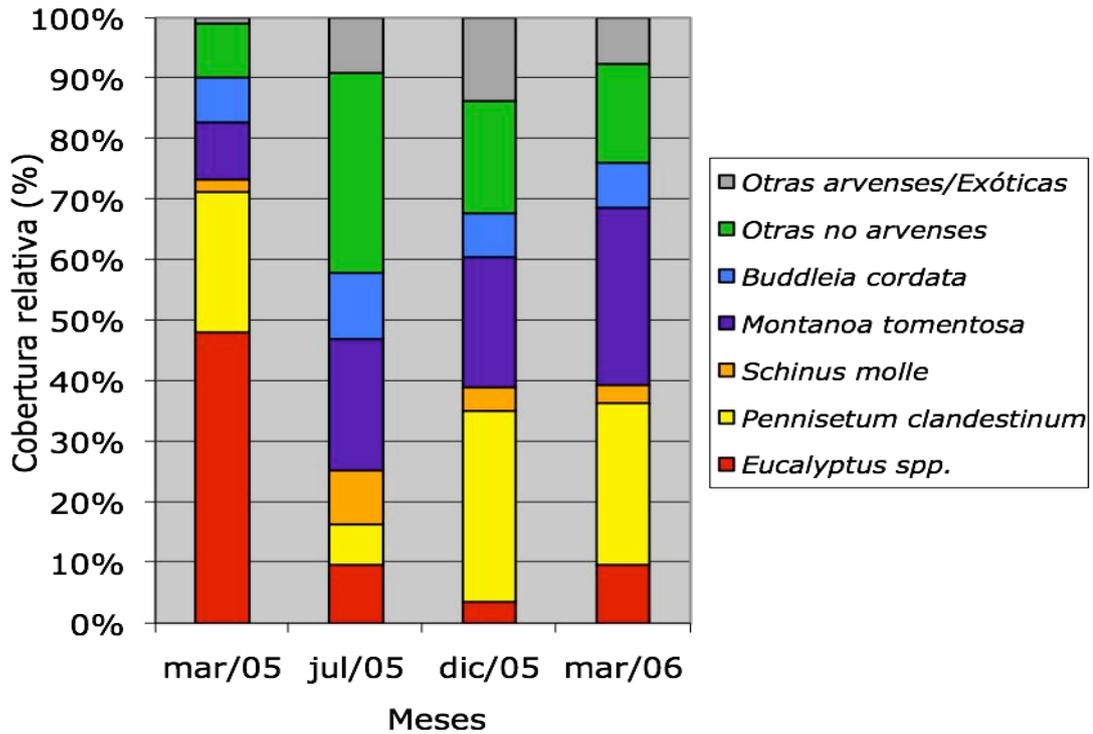


Figura 6.1. Cambio en la cobertura relativa de la comunidad vegetal de la región noreste del área de amortiguamiento 8 de la Reserva del Pedregal.

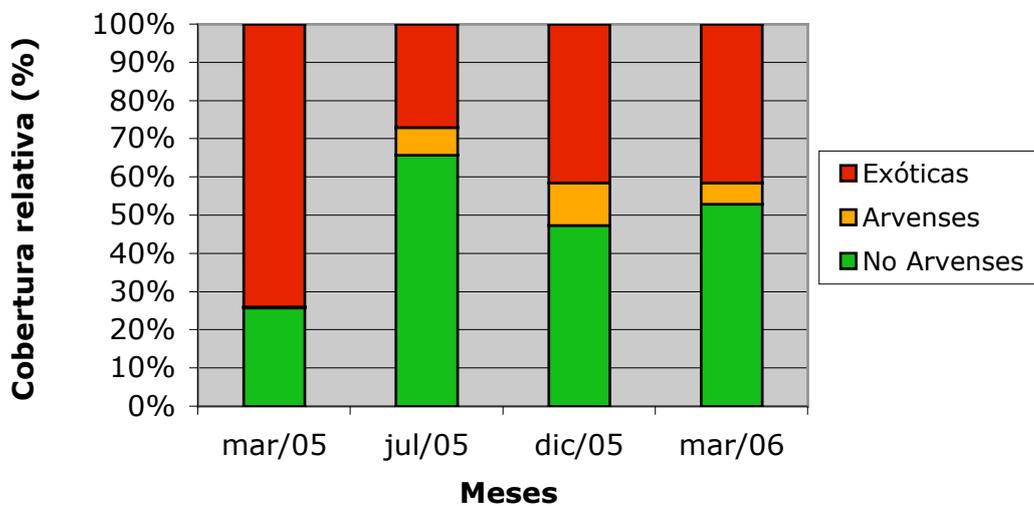


Figura 6.2. Cambio en la cobertura relativa de diferentes tipos de plantas entre marzo de 2005 y marzo de 2006 en la región noreste de la zona de amortiguamiento 8 de la Reserva del Pedregal.

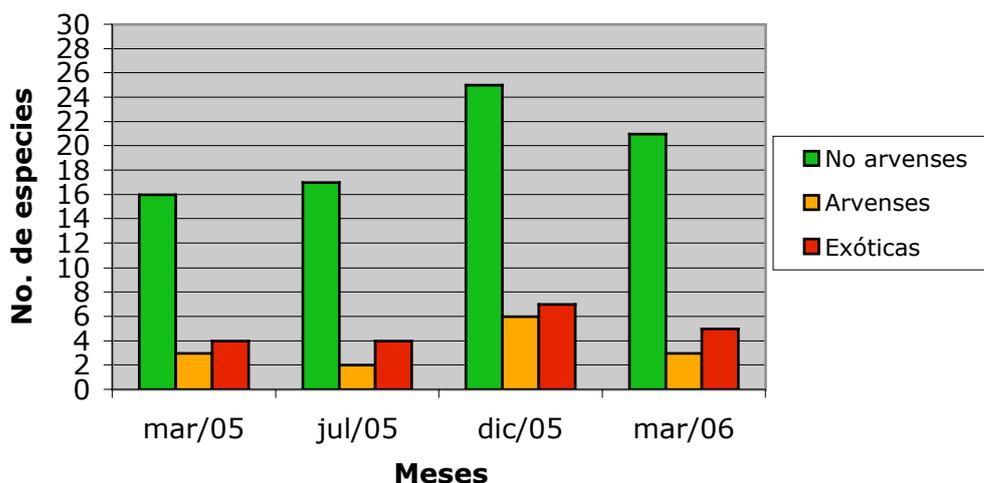


Figura. 6.3. Cambio en la riqueza específica de especies no arvenses, arvenses y exóticas entre marzo de 2005 y marzo de 2006 en la región noreste de la zona de amortiguamiento 8 de la Reserva del Pedregal.

La estructura de la comunidad vegetal, por subzonas, se presenta a continuación.

6.1.1. *Subzona I*. En esta zona se retiraron eucaliptos, lo cual redujo su cobertura relativa de 19.9 a 0%. Por otro lado, se registró un incremento en la cobertura relativa de *Buddleia cordata* (38.6 a 51.7%) y *Eupatorium petiolare* (12.6 a 21.2%) (figura 6.4). Así mismo, la cobertura relativa de especies no arvenses de la zona se incrementó de 72.7 a 80.2% y la de plantas exóticas disminuyó de 27.3 a 16.8%. Sin embargo, se favoreció la entrada de plantas arvenses como *Bidens odorata* y *Phytolacca icosandra*, que aportaron, cada una 3.1% de la cobertura vegetal en marzo de 2006 (figura 6.5).

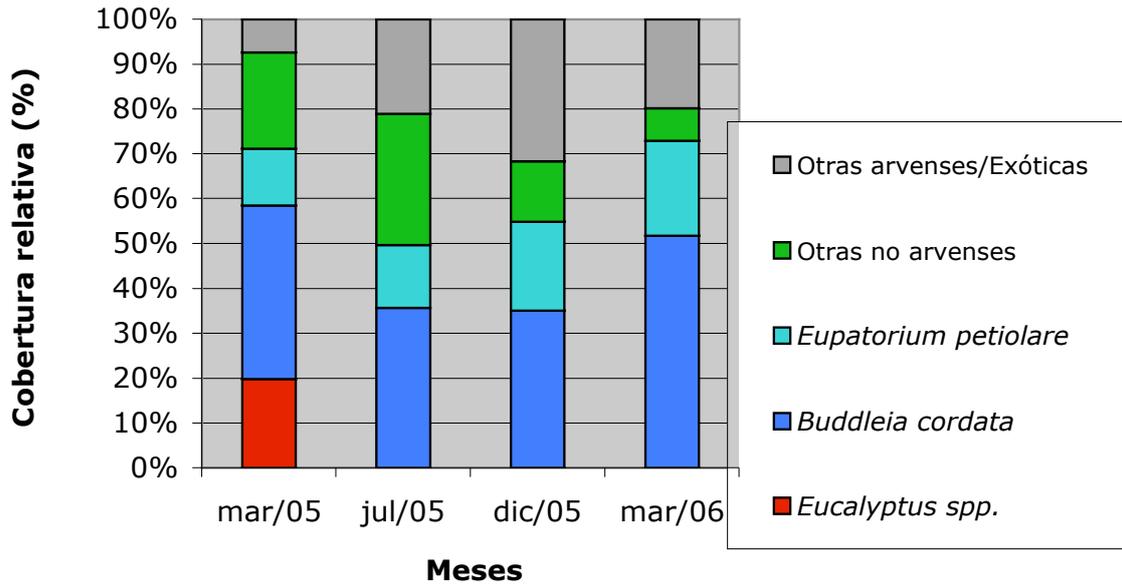


Figura 6.4. Cambio en la cobertura relativa de la comunidad vegetal de la subzona I de la zona de amortiguamiento 8.

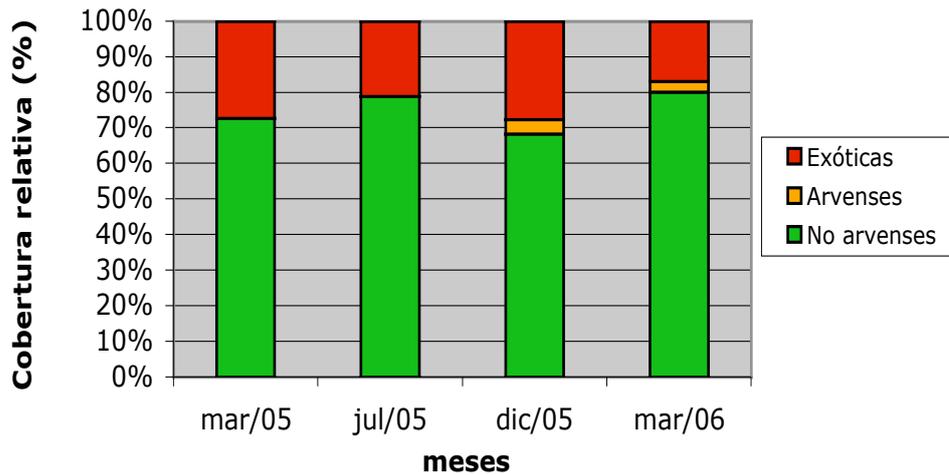


Figura 6.5. Cambio en la cobertura relativa de diferentes tipos de plantas entre marzo de 2005 y marzo de 2006 en la subzona I del área de amortiguamiento 8.

6.1.2. *Subzona II*. Las acciones realizadas en esta zona fueron el retiro de eucaliptos (única especie exótica registrada en la subzona), las jornadas de limpieza y la introducción de plántulas. El retiro de eucaliptos permitió el decremento de la cobertura relativa de esta especie de 75.5 a 2.1% (figura 6.6). En contraste, la cobertura relativa de especies no arvenses aumentó de 24.5 a 92.3% (figura 6.7). De igual manera que en la zona I, se registró el ingreso de *Bidens odorata* y *Phytolacca icosandra* aportando entre las dos 5.5% de la cobertura vegetal en marzo de 2006 (figura 6.7). La riqueza específica de la zona también registró un incremento de 6 a 13 especies no arvenses (figura 6.8). *Eupatorium petiolare*, por su parte, aumentó su cobertura relativa de 6.3 a 7.6% (figura 6.6).

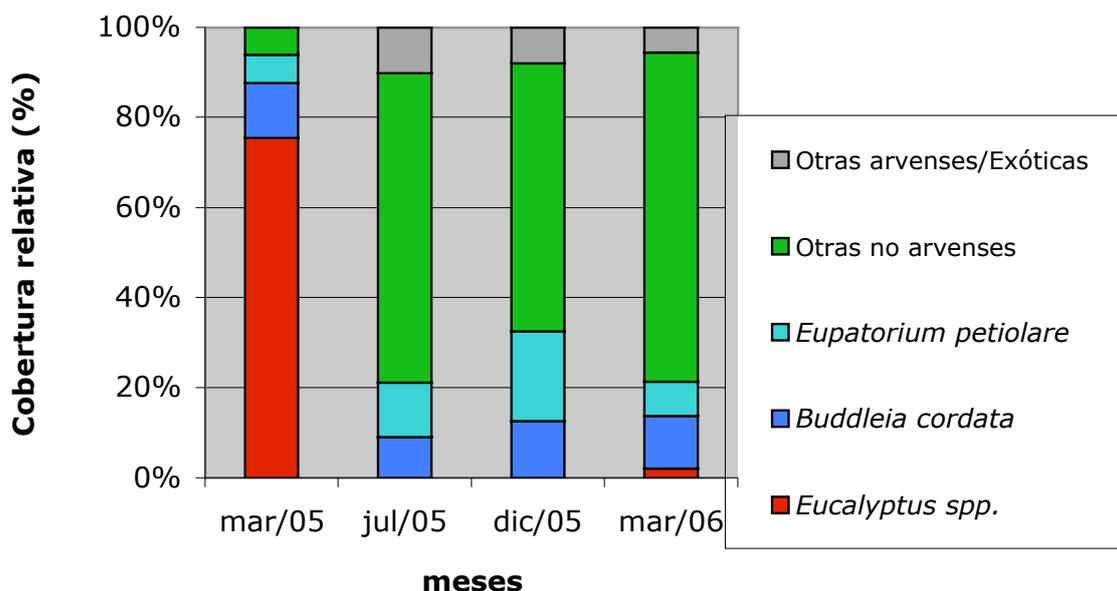


Figura 6.6. Cambio en la cobertura relativa de la comunidad vegetal de la subzona II del área de amortiguamiento 8.

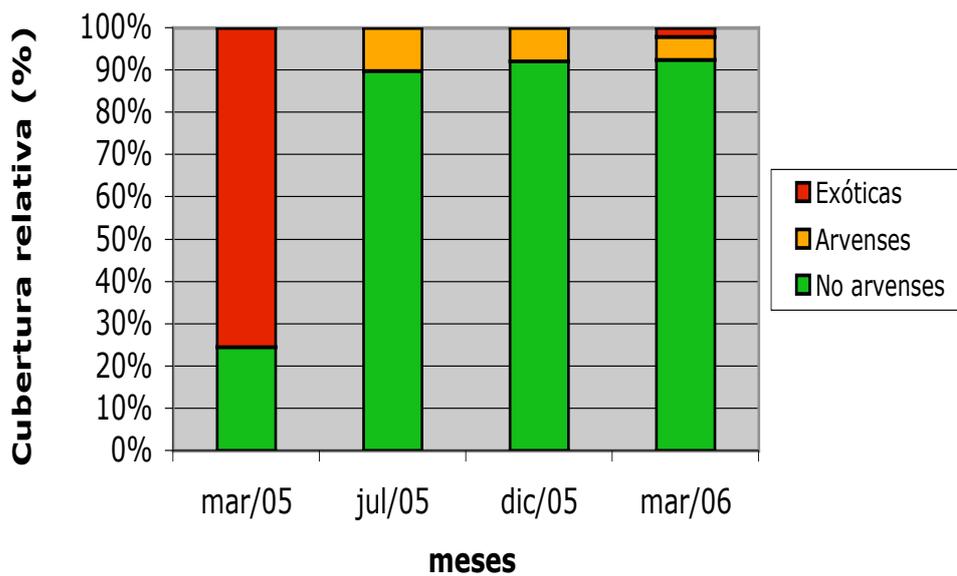


Figura 6.7. Cambio en la cobertura relativa de diferentes tipos de plantas entre marzo de 2005 y marzo de 2006 en la subzona II del área de amortiguamiento 8.

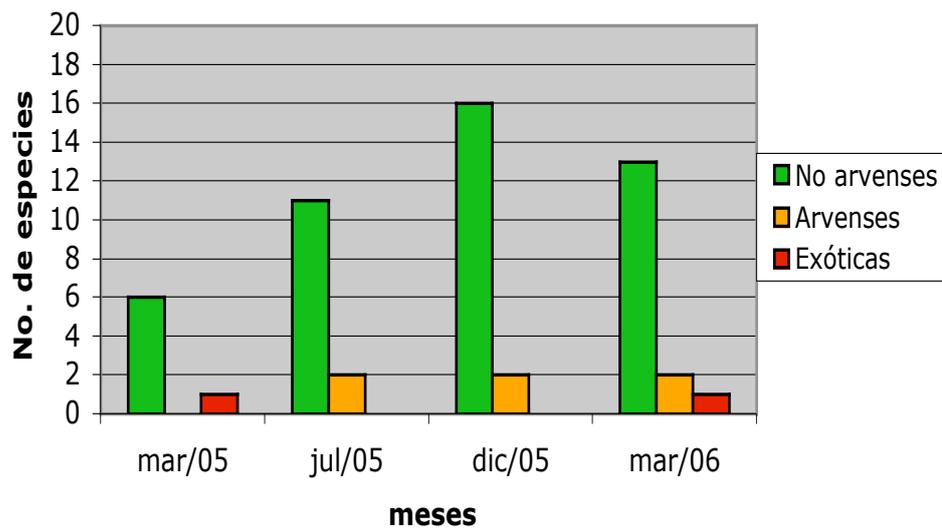


Figura 6.8. Cambio en la riqueza de especies entre marzo de 2005 y marzo de 2006 en la subzona II del área de amortiguamiento 8.

6.1.3. *Subzona III*. Las acciones realizadas en la subzona III fueron el retiro de eucaliptos y las jornadas de limpieza. La cobertura relativa de eucaliptos se redujo de 62.9 a 31.6%, *Pennisetum clandestinum* incrementó su cobertura de 23.5 a 33.0% y *Montanoa tomentosa* tuvo un mayor incremento en su cobertura de 9.9 a 26.4% (figura 6.9). La cobertura relativa de plantas no arvenses aumentó de 13.2 a 35.0% en contraste con especies exóticas, la cual disminuyó de 86.4 a 64.6%, mientras que la de plantas arvenses se mantuvo en 0.4% (figura 6.10).

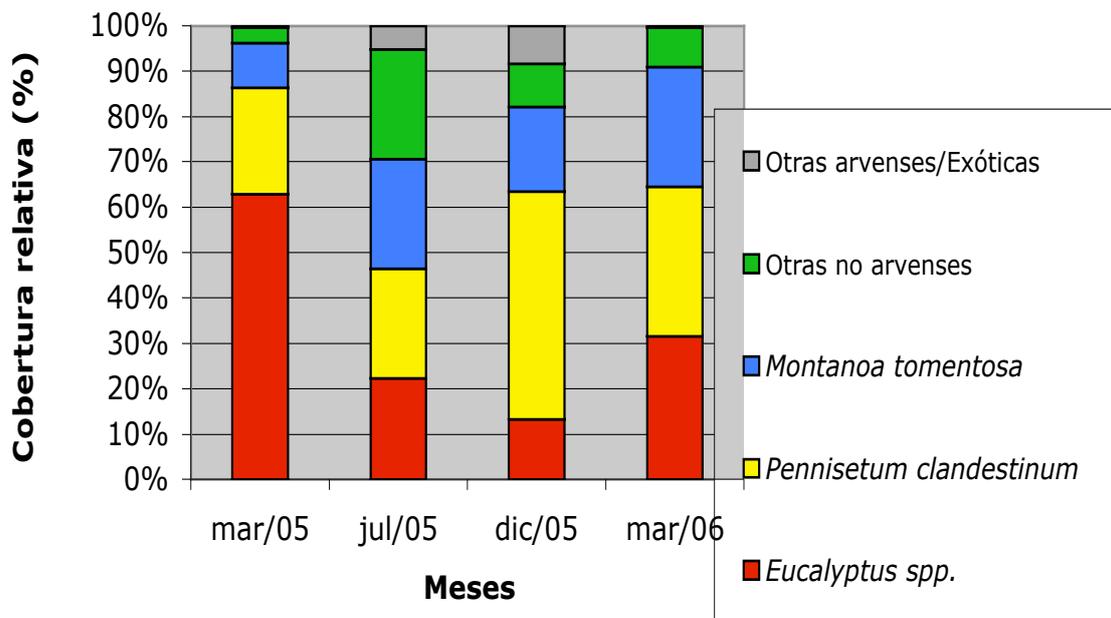


Figura 6.9. Cambio en la cobertura relativa de la comunidad vegetal de la subzona III del área de amortiguamiento 8.

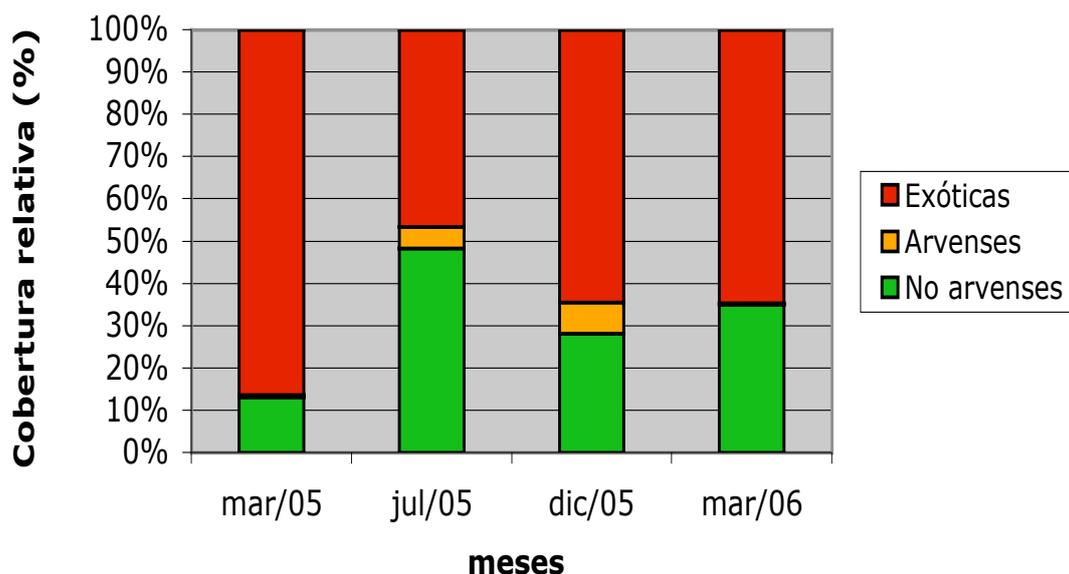


Figura 6.10. Cambio en la cobertura relativa de diferentes tipos de plantas entre marzo de 2005 y marzo de 2006 en la subzona III del área la zona de amortiguamiento 8.

## 6.2. Introducción de plántulas acondicionadas naturalmente

Se colectaron 265,242 semillas de las nueve especies seleccionadas. Mismas que fueron sometidas a un tratamiento de acondicionamiento natural.

Entre agosto y septiembre de 2005, se introdujeron en la subzona II del sitio de estudio 430 plántulas. En once meses (entre agosto de 2005 y julio de 2006) se registró una supervivencia del 7.7% de las plántulas introducidas, la mayoría de las cuales muestran gran vigor. El 33.3% de estas plántulas supervivientes se obtuvieron a partir de la germinación *in situ* ocurrida durante el acondicionamiento natural de las semillas del lote 2 (*Dahlia coccinea*, *Manfreda scabra* y *Senecio praecox*). *Manfreda scabra* registró un 19.4% de supervivencia, *Dahlia coccinea* el 8.3% y *Cardiospermum halicacabum* el 16.7%. *Eupatorium petiolare* registró una supervivencia de 0% desde marzo de

2006 y una tasa de mortalidad de 0.304 plántulas mes<sup>-1</sup> (tabla 6.2, figura 6.11).

En las cuatro especies restantes la supervivencia varió de 3.0 a 3.9%.

Tabla 6.2. Porcentajes de supervivencia (%S) y tasas de mortalidad registradas en julio de 2006 de nueve especies de plántulas nativas introducidas en la subzona II.

<b>Especie</b>	<b>Semillas colectadas</b>	<b>Plantas introducidas en ago/05</b>	<b>%S</b>	<b>Tasa de mortalidad (ind/mes)</b>
<i>Manfreda scabra</i>	25,776	93	19.4	0.074
<i>Cardiospermum halicacabum</i>	1,005	6	16.7	0.137
<i>Dahlia coccinea</i>	10,634	85	8.3	0.077
<i>Verbesina virgata</i>	99,445	51	3.9	0.185
<i>Dodonaea viscosa</i>	1,403	60	3.5	0.152
<i>Senecio praecox</i>	33,600	94	3.2	0.088
<i>Brickellia veronicifolia</i>	26,255	33	3.0	0.084
<i>Eupatorium petiolare</i>	14,061	8	0	0.304
<i>Muhlenbergia robusta</i>	53,063			
<b>N total</b>	<b>265,242</b>	<b>430</b>	<b>33</b>	

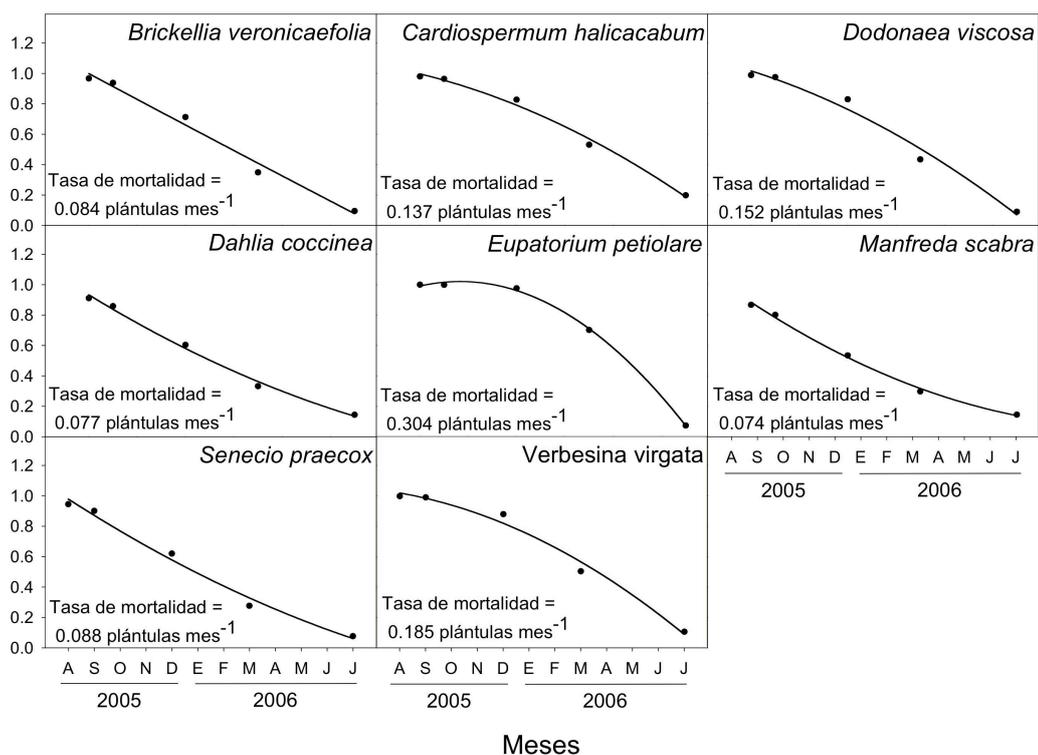


Figura 6.11. Tasas de mortalidad (julio de 2006) de ocho especies de plántulas nativas introducidas en la subzona II.

### 6.3. Costos

El costo calculado de las acciones de restauración de este proyecto fue de \$76,386.00 (setenta y seis trescientos ochenta y seis pesos M.N. (tabla 6.3). El 47% de los costos fue en concepto de remoción de eucaliptos, el 44% por retiro de desechos y el 9% por tratamiento e introducción de plántulas.

Tabla 6.3. Costos del proyecto de restauración ecológica de la zona de amortiguamiento 8 de la REPSA subsidiado en su mayor parte por instituciones y direcciones generales de la UNAM.

Actividad	Herramientas y materiales	Costo (pesos)	Apoyo Institucional
<b>Retiro de eucaliptos</b>			
	Cuadrilla 1	12,000	D.G.O.C. <sup>1</sup>
	Cuadrilla 2	12,000	D.G.O.C. <sup>1</sup>
	Planta de composta	12,000	D.G.O.C. <sup>1</sup>
	<b>Subtotal</b>	<b>36,000</b>	
<b>Retiro de desechos</b>			
	Camión retiro desechos	12,800	D.G.S.G. <sup>2</sup>
	Carteles de difusión	910	F. Ciencias <sup>3</sup>
	Equipo de jardinería	5,916	F. Ciencias <sup>3</sup>
	Mano de obra	8,249	Voluntarios
	Viveres	5,600	F. Ciencias <sup>3</sup>
	<b>Subtotal</b>	<b>33,474</b>	
<b>Tratamiento e introducción de plántulas</b>			
	Colecta de semillas	187	Voluntarios
	3 millares bolsas (1000)	4,000	I. Ecol <sup>4</sup>
	Casa de sombra x mes	1,000	I. Ecol <sup>4</sup>
	Costal arena	1,280	I. Ecol <sup>4</sup>
	Costal tierra negra	400	I. Ecol <sup>4</sup>
	Organiza/metro	45	F. Ciencias <sup>3</sup>
	<b>Subtotal</b>	<b>6,912</b>	
	<b>TOTAL</b>	<b>76,386</b>	

<sup>1</sup> D.G.O.C.: Dirección General de Obras y Conservación

<sup>2</sup> D.G.S.G.: Dirección General de Servicios Generales

<sup>3</sup> F.Ciencias: Facultad de Ciencias

<sup>4</sup> I. Ecol: Instituto de Ecología

## VII. DISCUSIÓN

### 7.1. Cambios en la estructura de la comunidad vegetal

Los cambios ocurridos durante marzo de 2005 a marzo de 2006 en la estructura de la comunidad vegetal de la zona A8 fueron resultado de varias acciones de restauración ecológica. Se observó que la intensificación de estas acciones en las distintas subzonas, permiten cambios más favorables al sitio.

7.1.1. *Retiro de eucaliptos.* El retiro de eucaliptos favoreció cambios en la estructura de la comunidad vegetal del sitio, debido a la reducción de la dominancia de esta especie, así como de sus lixiviados aleloquímicos capaces de afectar negativamente a varias especies de plantas (Espinosa-García, 1996). De igual manera, como lo demuestran Segura y Meave (2001), la remoción de eucaliptos parece cambiar de manera inmediata el paisaje del sotobosque e incrementar la riqueza específica de especies nativas en la REPSA. Por otro lado, también se redujo el efecto negativo de su sombra, lo cual permitió el crecimiento de las plántulas introducidas. La reducción de la abundancia y cobertura de esta especie exótica invasora y dañina permitió que se abrieran espacios de colonización, lo cuales fueron favorecieron el desarrollo de especies arvenses y no arvenses.

7.1.2. *Retiro de desechos.* El esfuerzo realizado en las jornadas de limpieza demostró el interés de la comunidad universitaria y del público en general por el rescate de zonas protegidas por la Reserva del Pedregal, sin embargo el daño que ha sufrido esta área a través de los años supera el esfuerzo realizado, por lo que es importante buscar alternativas para poder retirar todo aquel desecho dentro de la zona, ya sea con maquinaria o algún otro equipo especializado y

así recuperar el sustrato volcánico original. La creación de condiciones adecuadas para la reintroducción y el establecimiento de plántulas nativas es de vital importancia en zonas perturbadas, pues permite que avance naturalmente la sucesión (Bonfil, 1997). Una vez que el agente de daño se remueve o se controla, las comunidades originales pueden restablecerse por procesos de sucesión natural a partir de poblaciones remanentes (Primack y Massardo, 2001) o mediante la introducción directa de semillas (Mendoza-Hernández, 2003).

Las jornadas de limpieza, además de recuperar el sustrato volcánico, permitieron el acercamiento, integración y sensibilización de la comunidad universitaria sobre las acciones de restauración ecológica, así como para evitar el depósito clandestino de desechos inorgánicos de diversa índole y conocer cómo éstos afectan la conservación de ecosistemas naturales. Esto permite comprender que es más sencillo y económico prevenir el deterioro de nuestras áreas verdes y naturales, que tratar de recuperarlas después de que han sido perturbadas. Así mismo, las jornadas de limpieza favorecieron la creación de vigilantes o monitores universitarios de la zona. Las actividades de educación ambiental acerca del valor y los servicios que proporcionan los ecosistemas naturales, dirigidos a estudiantes permite una participación más activa de esta comunidad (Bradshaw, 2002).

## **7.2. Introducción de plántulas acondicionadas naturalmente**

La germinación *in situ*, de especies que sin este tratamiento tienen una germinación nula como *Senecio praecox* (A. Orozco-Segovia, com. pers.), ocurrida durante el acondicionamiento natural de las semillas constituye una

técnica aceptable para la obtención de plántulas que posteriormente pueden ser aclimatizadas en una casa de sombra para su propagación, debido a su sencillez y bajo costo.

La siembra directa de plántulas derivadas de semillas acondicionadas naturalmente no garantizó la supervivencia de todas las plántulas (7.7%), pero sí ofrece la posibilidad de que las supervivientes presenten un gran vigor a las plántulas supervivientes después de una temporada de lluvias, en contraste con la supervivencia de los estadios iniciales de *Buddleia cordata* en campo la cual fue alrededor de 0.08 a 0.1% después de dos años de seguimiento (Mendoza-Hernández, 2002). El éxito del establecimiento de especies nativas introducidas depende de la historia natural de cada especie y del microhábitat al que se van a enfrentar. El tamaño y vigor de las plántulas al momento de su introducción y su exposición a la temporada de lluvias, son un factor vital para su establecimiento y supervivencia en el sitio de estudio, tal y como lo reporta Mendoza-Hernández (2002) en donde plántulas de *Buddleia cordata* menores de 4 cm de altura presentan mayor probabilidad de morir.

Otro factor importante para el establecimiento de las plántulas introducidas fue su forma de vida, ya que las especies con mayor porcentaje de supervivencia fueron especies hemicriptofitas (*Manfreda scabra* y *Cardiospermum halicacabum*), cuyos brotes de perennación, están ubicadas a nivel de suelo y *Dahlia coccinea*, especie criptofita cuyas estructuras persistentes quedan completamente protegidas bajo el nivel del suelo. Esto contrasta con las tasas de mortalidad de *Eupatorium petiolare* y *Verbesina virgata*, especies fanerofitas cuyas yemas de perennación se localizan a más de 25 cm sobre el suelo.

### **7.3. Costos**

Los costos de las acciones de restauración ecológica pueden ser elevados, sin embargo si se fomenta la participación de instituciones, autoridades y comunidad universitaria, estos costos pueden ser muy reducidos. Debido al apoyo interinstitucional en la U.N.A.M. fue posible el subsidio de la mayor parte de los gastos. Las acciones de restauración ecológica no pueden prosperar si no cuentan con el apoyo a largo plazo de la sociedad en que se inscriben ya que la participación social es crítica para el éxito de proyectos de restauración (SER, 2004).

### **7.4. Discusión final**

Todas las zonas de amortiguamiento de la REPSA tienen un gran valor intrínseco que hay que conservar, sin embargo el gran deterioro en el que se encontraba la zona A8, propició la acción inmediata y urgente de acciones de restauración ecológica.

Después de doce meses de estudio, indicadores como el desarrollo e incremento de la cobertura relativa de especies no arvenses y la disminución de la cobertura relativa de especies exóticas, nos permiten determinar de manera cualitativa que la región noreste de la zona de amortiguamiento 8 se encuentra en un proceso de recuperación natural y debe seguir siendo asistido con acciones de restauración como: retiro de desechos, introducción de especies nativas, monitoreo y gestión. Este diagnóstico sobre los cambios en la estructura de la comunidad vegetal y la introducción plántulas aclimatizadas naturalmente permite generar propuestas para enfocar de manera adecuada

las acciones de restauración ecológica. Es necesario también llevar a cabo el monitoreo a mediano y largo plazo para determinar el alcance de las acciones de restauración ecológica del ecosistema del Pedregal de San Ángel.

Las acciones de restauración ecológica ofrecen oportunidades para proyectos interdisciplinarios que involucran a una amplia gama de especialistas, incluyendo ecólogos del paisaje, arquitectos, sociólogos, educadores, abogados, ingenieros ambientales, biólogos de la conservación y ciudadanos no expertos (Bradshaw, 2002).

### **7.5. Perspectivas y Recomendaciones**

A partir de la experiencia obtenida en este trabajo, se recomienda lo siguiente:

1. Los estudios a mediano y largo plazo (5, 10 y 20 años, respectivamente) permitirán conocer de manera más detallada los cambios en la estructura de la comunidad vegetal, continuando con el monitoreo de la zona A8 y de las especies introducidas, así como con acciones de restauración ecológica.
2. Se debe contar con una estrategia de retiro y control de especies exóticas, como *Pennisetum clandestinum* y *Ricinus communis* y de especies arvenses como *Bidens odorata* y *Phytolacca icosandra* lo cual favorecerá la entrada y establecimiento de plantas nativas.
3. La recuperación del sustrato volcánico original es vital para el establecimiento ya sea tanto de plántulas introducidas como de un banco de semillas de especies nativas que se recluten al sitio o se introduzcan mediante voleo.
4. La germinación *in situ* durante el acondicionamiento natural de las semillas constituye una técnica aceptable para la obtención de plántulas que

posteriormente pueden ser aclimatizadas en una casa de sombra para su propagación, debido a su sencillez y bajo costo.

5. El tamaño y vigor de las plántulas al momento de su introducción y su exposición a la temporada de lluvias, son un factor vital para su establecimiento y supervivencia en el sitio de estudio. La utilización de semillas previamente acondicionadas durante una temporada anterior permitiría acortar su estancia dentro de una casa de sombra logrando que las plántulas introducidas tengan mayor tamaño y vigor, antes de que inicien las lluvias e incrementando sus probabilidades de establecimiento y permanencia en el sitio de estudio.

6. Se propone un estudio más detallado del efecto del ambiente físico y del acondicionamiento sobre la germinación y el establecimiento de las plantas de cada especie de interés.

7. La reintroducción de un mayor número de elementos florísticos y faunísticos ausentes en la zona puede favorecer un incremento en la diversidad.

8. La divulgación científica y la educación ambiental a distintos niveles, permitirán dar a conocer a la comunidad universitaria de la existencia y posteriormente de la importancia de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en la Ciudad de México y el campus de Ciudad Universitaria. Es importante sensibilizar a los universitarios y visitantes de Ciudad Universitaria para que no contaminen sus camellones con desechos sólidos, y rescatar el interés ya generado por conocer, proteger y conservar la REPSA, ya que es más sencillo y barato prevenir el deterioro de nuestras áreas verdes, que tratar de recuperarlas después del daño ya provocado.

9. La restauración ecológica tiene como meta ayudar o iniciar la recuperación, mientras que el manejo del ecosistema tiene la intención de garantizar el

bienestar constante del ecosistema restaurado a futuro. Por lo anterior, es importante la creación de un plan de manejo del ecosistema del Pedregal de San Ángel.

## 7.6. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

1. El retiro de una especie exótica dominante como *Eucalyptus* spp. permitió la apertura de espacios de colonización lo cual favoreció el desarrollo e incremento en mayor proporción de la cobertura relativa de plantas no arvenses respecto a plantas arvenses.
2. El retiro de desechos orgánicos e inorgánicos y material extraño permitieron recuperar el sustrato volcánico original, apto para la introducción de especies nativas y colonización de otras especies.
3. Las jornadas de limpieza permitieron el acercamiento, integración y sensibilización de la comunidad universitaria a las acciones de restauración ecológica y favorecieron la creación de vigilantes o monitores universitarios de la zona.
4. La germinación *in situ* ocurrida durante el acondicionamiento natural de las semillas es una adecuada técnica para la obtención de plántulas.
5. La siembra directa de plántulas derivadas de semillas acondicionadas naturalmente no garantizó la supervivencia de todas las plántulas pero sí un gran vigor a las plántulas supervivientes después de una temporada de lluvias.
6. La forma de vida de las especies introducidas es un factor importante para el establecimiento de las plántulas en el sitio de estudio.
7. El esfuerzo coordinado y la suma de acciones interdisciplinarias e interinstitucionales fueron factores importantes para minimizar costos y favorecer las acciones de restauración ecológica para la conservación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

## LITERATURA CITADA

- Bewley, J. y M. Black. 1994. *Seed physiology of development and germination*. 2<sup>a</sup>. ed. Plenum Press, Nueva York. 445 pp.
- Bonfil, C., I. Pisanty, A. Mendoza y J. Soberón. 1997. Investigación y restauración ecológica: El caso del Ajusco medio. *Ciencia y Desarrollo* **135**: 14-23.
- Bradshaw, A.D. 1997. What do we mean by restoration?. Pp. 8-14, en: Urbanska K., N.R. Webb y P.J. Edwards (eds.), *Restoration ecology and sustainable development*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bradshaw, A.D. 2002. Introduction and philosophy. Pp. 3-9, en: Perrow, M. y A. Davy (eds.), *Handbook of ecological restoration, vol. 1. Principles of restoration*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cano-Santana, Z. 1994. Flujo de energía a través de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófila. Tesis de Doctorado. UACPy P-CCH y Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 198 pp.
- Cano-Santana, Z. Y J. Meave. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xilte. *Ciencias* **41**: 41-68.
- Cano-Santana, Z., I. Pisanty, S. Segura, P. Mendoza-Hernández, R. León-Rico, J. Soberón, E. Tovar, E. Martínez-Romero, L. Ruiz y A. Martínez-Ballesté. 2006. Ecología, conservación restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del pedregal del Xitle. Pp. 203-226, en: Oyama, K. y A. Castillo (eds.), *Manejo, Conservación y Restauración de Recursos Naturales en México*. Siglo XXI y UNAM, México.

- Carrillo, C. 1995. *El Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 167 pp.
- Castillo-Argüero, S., G. Montes-Cartas, M.A. Romero-Romero, Y. Martínez-Orea, P. Guadarrama-Chávez, I. Sánchez-Gallén y O. Núñez-Castillo. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F., México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **74**: 51-75.
- Espinosa-García, F. 1996. Revisión sobre la alelopatía de *Eucalyptus* L'Herit. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **58**:55-74.
- Espinosa-García, F y J. Sarukhán. 1997. *Manual de malezas del Valle de México*. Ediciones Científicas Universitarias. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica, México. 407 pp.
- Ezcurra, E. 1991. *De las chinampas a la megalópolis*. Fondo de Cultura Económica, México. 120 pp.
- Fenner, M. y K. Thompson. 2005. *The ecology of seeds*. Cambridge University Press. 250 pp.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema climático de Köppen*. Larios, México.
- González-Zertuche, L., A. Orozco-Segovia y C. Vázquez-Yanes. 2000. El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y en la sobrevivencia de la plántula. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **65**: 73-81.
- González-Zertuche, L., A. Orozco-Segovia, C. Baskin y J.M. Baskin. 2002. Effects of priming on germination of *Buddleia cordata* ssp. *cordata*

- (Loganiaceae) seeds and posible ecological significance. *Seed Sci. & Technol.*, **30**: 535-548.
- González-Zertuche, L., C. Vázquez-Yanes, A. Gamboa, E. Sánchez-Coronado, P. Aguilera y A. Orozco-Segovia. 2001. Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: effects on germination, growth and protein expression. *Seed Science Research* **11**: 27-34.
- Hobbs, R. J. 2002. The ecological context: a landscape perspective. Pp. 24-45, en: Perrow, M. y A. Davy (eds.), *Handbook of ecological restoration, vol. 1. Principles of restoration*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hobbs, R. J. y D. A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*. **4**: 93-110.
- Juárez-Orozco, S. M. 2005. Efectos del fuego y la herbivoría sobre la biomasa aérea del estrato herbáceo de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 90 pp.
- Meave, J., J. Carabias, V. Arriaga y A. Valiente-Banuet. 1994. Observaciones fenológicas en el Pedregal de San Ángel. Pp. 91-105, en: Rojo, A. (comp.), *Reserva ecológica "El Pedregal" de San Ángel: ecología, historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Mendoza-Hernández, P. 2002. Sobrevivencia 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. 89 pp.
- Mendoza-Hernández, P. 2003. El Tepozán. *Ciencias* **70**: 32-33.

- Morris, C. (ed.). 1992. *Academic Press Dictionary OS Science and Technology*. Academic Press, San Diego. 2432 pp.
- Pianka, 1994. *Evolutionary Ecology*. Quinta Edición. HarperCollins, Nueva York. EUA. 486 pp.
- Primack, R. y F. Massardo. 2001. Restauración Ecológica. Pp. 559-582, en: Primack, R., R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo y F. Massardo (eds.), *Fundamentos de conservación biológica: Perspectivas latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Rojo, A. (comp.). 1994. *Reserva ecológica "El pedregal" de San Ángel: ecología, historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 410 pp.
- Rojo, A. y J. Rodríguez. 2002. *La flora del Pedregal de San Ángel*. Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 96 pp.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski (eds.). 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2ª. ed. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para la Conservación y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán. 1406 pp.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (Instituto Politécnico Nacional)*, México **8**: 59-129.
- Sánchez, J., R. Orta y B. Muñoz. 2001. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense* **25**:67-92.

- Segura, S. 1995. Estudio poblacional de *Eucalyptus resinifera* Smith. (Myrtaceae) en la reserva ecológica de El Pedregal de San Ángel, C.U., México, D.F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 90 pp.
- Segura, S. y J. Meave. 2001. Effect of the removal of the exotic *Eucalyptus resinifera* on the floristic composition of a protected xerophytic shrubland in Southern México City. Pp 319-330, en: Brundu, G., J. Brock, I. Camarda, L. Child y M. Wade (eds.), *Plant invasions: species ecology and ecosystem management*. Backhuys Publishers, Leiden, Holanda.
- SER, Society for Ecological Restoration International. 2004. *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. Grupo de trabajo sobre ciencias políticas. En: [www.ser.org](http://www.ser.org) y Tucson: *Society for Ecological Restoration International* versión 2.
- Siebe, C. 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **104**: 45-64.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 1983. Beneficia a la zona sur del Distrito Federal la Reserva Ecológica de Ciudad Universitaria, en: Rojo, A. (comp.), *Reserva ecológica "El pedregal" de San Ángel: ecología, historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 2005. Acuerdo por el que se rezonifica, delimita e incrementa la Zona de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. *Gaceta UNAM*, 2 de junio de 2005: 20-21.

- Valiente-Banuet, A. y E. De Luna. 1990. Una lista florística actualizada para la Reserva del Pedregal de San Ángel, México D.F. *Acta Botánica de Mexicana* **9**: 13-30.
- Vázquez-Yanes, C. y A. Batis. 1996. Adopción de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **58**: 75-84.
- Villaseñor, J. y F. Espinosa-García. 1998. *Catálogo de malezas de México*. Ediciones Científicas Universitarias. Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario y Fondo de Cultura Económica, México. 407 pp.
- Villaseñor, J. y F. Espinosa-García. 2004. The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions* **10**: 113-123.

## Anexo 1. Tratamientos por especie

1.1. *Brickellia veronicifolia*, *Eupatorium petiolare* y *Verbesina virgata*. El 100% de las semillas restantes de estas especies, se colocaron en pizcas de aproximadamente 400 a 500 semillas por bolsa en la casa de sombra. Posteriormente se continuó con el proceso de aclimatización e introducción antes mencionado.

1.2. *Cardiospermum halicacabum*. Se colocaron cinco semillas por bolsa en la casa de sombra. Al transcurrir un par semanas y no obtener ninguna respuesta germinativa, se colocaron nuevamente semillas en algunas bolsas y se marcaron como bolsas resembradas. Posteriormente se continuó con el proceso de aclimatización e introducción antes mencionado.

1.3. *Dahlia coccinea*. Debido a la germinación *in situ* de algunas semillas del lote 2 durante el proceso de acondicionamiento natural se procedió a rescatar las plántulas y colocarlas en vasitos de plástico con arena de 3 x 3 cm. Trascurridas dos semanas se transplantaron a bolsas con tierra negra y arena en la casa de sombra. Durante la germinación se colocaron pizcas de aproximadamente 64 semillas por bolsa en la casa de sombra. Al transcurrir un par semanas y no obtener ninguna respuesta germinativa, se colocaron nuevamente semillas en algunas bolsas y se marcaron como bolsas resembradas. Posteriormente, se continuó con el proceso de aclimatización e introducción antes descrito.

1.4. *Dodonaea viscosa*. A las semillas de esta especie se les realizó una prueba de viabilidad por flotación, desechando aquellas semillas hinchadas y por lo tanto inviables. Las semillas viables fueron separadas en cuatro lotes equitativos y tres de ellos fueron sometidos a diferentes tiempos de

escarificación con ácido sulfúrico (5, 10 y 15 min). Se colocó una semilla de cada tiempo de escarificación, así como una semilla sin escarificar en cada bolsa en la casa de sombra. Debido al rápido crecimiento de la raíz de esta especie las cuatro semillas se colocaron en bolsas negras de polietileno de 10 x 30 cm, en una mezcla de tierra negra y arena 1:1. Después de la germinación se procedió con el método antes descrito.

1.5. *Muhlenbergia robusta*. El 100% de las semillas de esta especie se sembró al voleo en el sitio de estudio, inmediatamente después del secado en el cuarto oscuro.

1.6. *Manfreda scabra*. Debido a la germinación *in situ* de todas las semillas del lote 2 durante el proceso de acondicionamiento natural se procedió a rescatar las plántulas y colocarlas en vasitos de plástico de 3 x 3 cm con arena. Trascurridas dos semanas se transplantaron a bolsas con tierra negra y arena en la casa de sombra. A las semillas del Lote 1 se les aplicó una prueba de viabilidad por flotación. Aquellas semillas viables se sembraron, colocando pizcas de aproximadamente 49 semillas por bolsa en la casa de sombra. Posteriormente, se continuó con el proceso de aclimatización e introducción antes mencionado.

1.7. *Senecio praecox*. Debido a la germinación de algunas plántulas del lote 2 durante el proceso de acondicionamiento natural se procedió a rescatar las plántulas y a colocarlas en vasitos de plástico de 3 x 3 cm con arena. Trascurridas dos semanas se transplantaron a bolsas con tierra negra y arena en la casa de sombra. Las semillas que no germinaron del lote 2 se sembraron colocando pizcas de aproximadamente 102 semillas por bolsa en la casa de sombra. Al transcurrir un par semanas y no obtener ninguna respuesta

germinativa, se colocaron nuevamente semillas en algunas bolsas y se marcaron como bolsas resembradas. Después de la germinación se procedió con el método antes descrito.