



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**La comunidad vegetal y abundancia de dos artrópodos en el área
A8 de la Reserva del Pedregal de San Ángel tras cuatro años de
acciones de restauración**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

MARÍA AYALA LÓPEZ DE LARA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. ZENÓN CANO SANTANA
México D.F. abril 2014**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Ayala

López de Lara

María

63667027

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

303678306

2. Datos del tutor

Dr.

Zenón

Cano

Santana

3. Datos del sinodal 1

M. en C.

Irene

Pisanty

Baruch

4. Datos del sinodal 2

Biól.

Concepción

Martínez

Peralta

5. Datos del sinodal 3

Dr.

Víctor

López

Gómez

6. Datos del sinodal 4

Dra.

Alicia

Callejas

Chavero

7. Datos del trabajo escrito

La comunidad vegetal y abundancia de dos artrópodos en el área A8 de la Reserva del Pedregal de San Ángel tras cuatro años de acciones de restauración.

66 pp.

2014

A mis abuelos, mis papás y mi hermana
por hacer de mí la persona que soy

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	viii
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Restauración ecológica	1
I.2. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel	3
I.3. La estructura de la comunidad vegetal	4
I.4. Dos artrópodos importantes en la REPSA	4
I.5. Antecedentes del deterioro y acciones previas de restauración en el área A8	5
I.6. Justificación	7
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	9
III. SITIO DE ESTUDIO	11
IV. MATERIAL Y MÉTODO	13
IV.1. Acciones de restauración	13
IV.2. Evaluación de la estructura de la comunidad vegetal	16
IV.2.1. Monitoreo de la zona sujeta a acciones de restauración ecológica.	16
IV.2.2. Evaluación de la recuperación del sustrato basáltico en 2007 y 2008	17
IV.2.3. Evaluación de la adición de semillas	19
IV.3. Seguimiento de las plántulas introducidas de 2005 a 2007	19
IV.4. Evaluación del tamaño poblacional de los artrópodos	20
V. RESULTADOS	21
V.1. Estructura de la comunidad vegetal	21
V.2. Colonización de las subzonas de sustrato basáltico recuperado	30
V.3. Efecto de la introducción de semillas	31
V.4. Seguimiento de las plántulas introducidas de 2005 a 2007	34
V.5. Densidad poblacional de los artrópodos	35
V.6. Estimación de costos de las actividades de restauración ecológica	37

VI.	DISCUSIÓN	39
VI.1.	Restauración ecológica	39
VI.2.	Indicadores	43
VI.3.	Estructura de la comunidad vegetal	44
VI.3.1.	Especies dominantes	45
VI.3.2.	Subzonas recuperadas en 2007 y 2008	46
VI.4.	Densidad poblacional de los artrópodos	48
VI.5.	Efecto de la introducción de semillas	49
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
	LITERATURA CITADA	55

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Zenón Cano Santana por el cariño, enseñanzas, apoyo y paciencia.

A mis sinodales M. en C. Irene Pisanty Baruch, Dr. Víctor López Gómez, Biól. Concepción Martínez Peralta, Dra. Alicia Callejas Chavero, por haberse tomado el tiempo de leer mi trabajo y aportar a éste su experiencia.

A los maestros del taller “Ecología terrestre y manejo de recursos naturales”: María de Carmen Mandujano, Mónica Queijeiro Bolaños, Israel Carrillo Álvarez, Jordan Golubov y Gisela Aguilar Morales; por mostrarme una visión distinta a partir de sus conocimientos.

Al hoy Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos, por hacerme parte del equipo.

A mis compañeros Erandi Saucedo, Rodrigo Muñoz, Estefanía Valdez, Georgina González, Adriana Garmendia, Daniela Fernández, Miriam San José Alcalde y Ramiro Ayala Palma, por acompañarme en este proceso y ayudarme a llevarlo a cabo.

A la M. en C. Yuriana Martínez Orea por la identificación de los ejemplares herborizados

Al M. en C. Iván Castellanos Vargas por su apoyo técnico.

Esta tesis se llevó a cabo gracias a los apoyos financieros del proyecto P APIIT IN222006 “Evaluación del estado de conservación y restauración ecológica de la Reserva del Pedregal de San Ángel” y el proyecto PAPIME PE204809 “Regeneración ecosistémica de áreas de vegetación natural de Ciudad Universitaria y su Reserva Ecológica sujetas a Restauración” ambos a cargo del Dr. Zenón Cano Santana. Asimismo, este proyecto contó con el apoyo financiero de l Dr. César Domínguez Pérez, director del Instituto de Ecología, UNAM y del Dr. Javier Caballero Nieto, director del Jardín Botánico, y de la Secretaría Ejecutiva de la REPSA.

Por dedicar algunas horas y muchas gotas de sudor, agradezco a todos los voluntarios de las jornadas de restauración: Cecilia Ayala Zambrano, Fernando Torres Rojas, Regina Ayala Chávez, Esperanza Josefina Espino Carmona, Daniel Torres Rojas, Eduardo Torres Rojas, Sara Ayala López de Lara, Casandra Esther Sepúlveda Pintado, Alejandra Marlén Márquez, Ramiro Ayala Palma, Uzi García Ventura, Oscar Jiménez, Daniel Torres Orozco, Andrea Cetina Palma, Ernesto Llamas Pámanes, Melba Aguilar Ruiz, Miriam San José Alcalde, Claudia Itzel Pedraza, Jorge Alfonso Maciel Ruiz, Rodrigo Muñoz Saavedra, Jimena Sánchez Battenberg, María Guadalupe Guzmán, Marco Benítez, Lidia García Rodríguez, María Aguilar Morales, Tania Marines Macías, Oscar de Lázaro López, Georgina González Rebeles Guerrero, Agustín Becerril, Erick Israel Pérez García, Rocío Martínez González, Ana Isabel López Silva, María Isabel Hernández, Iris Coronado Martínez, María Teresa García Gallardo, Moisés Cervantes Galicia, Jonathan Herrera, Stephanie Espinosa García, Nahúm Calderón, Sara Amozorrutia, Berenice Ruani, Crysia Marina Rvero Hernández, Casiano Arenio, Hugo Salgado Garrido, Mariana Rivera, Iván Castellanos Vargas, Axel Maldonado, Eduardo Álvarez, Estefanía Lezama Barquet, María del Mar Garciadiego San Juan, Yezenia García Bermúdez, César Gaona Gaona, Wendy Villamizar Gálvez, Gabriela Ávila, Karina Evangelista, Mariví Ramírez Luna, Aidé Franco Martínez, Cecilia Ayala Zambrano, Ixchel González Ramírez, María de la Garza, Juan Carlos Pérez, Omar García Millán, Aura Leonor Flores Venegas, Carmina de la Luz Ramírez, Erandi Saucedo Morquecho, Erandi Tzayani Rodríguez Pérez, María de Lourdes Vázquez Cruz, Valerie

Yoelle de Anda Torres, Axel Rodríguez, Perla Eugenia Ugalde Muñiz, Hugo Sumano Escobedo, Juan Pablo García, Elizabeth Sánchez Martín, Oscar Fernández, Sebastián Block Munguía, Lucrecia Pedroza Comings, Aurora Albarrán Hernández, Luis Alberto Orozco Flores, Ana Susana Estrada Márquez, Mariana Isabel Cavita Castro, Briseira Monarres, Iván Quezada, Ana Itzel Montesinos Laffont, Esteban Contreras Navarrete, Jesús Migueus Blanco, Daniel Torres González, Gustavo Herrera Díaz, Fernando Cázares, Víctor López Gómez, Iliana Monserrat Alcalá Moreno, David García Ortiz, Luis Ángel Martínez Martínez, Iván Cortés Romero, Ariana Romero Mata, Federico Miranda, Daniel Eduardo Rodríguez, Jonás Aguirre, Cipatli Jiménez Vera, Daniela Fernández, Miroslavich Martínez Arvizu, Viridiana Lizardo Briseño, Antonieta Battenberg Galindo, Diana Reynada Nava, José Manuel Salazar, León Felipe Chávez Salcedo, Gabriela Romo Díaz, Gerónimo Barrera de la Torre, Oscar Jiménez, Rebeca Iris Fuentes, Estefanía Valdés del Ángel, Adriana Garmendia, Tania Fonseca, Yohalli Pichardo Barrera, Fernando Cázares, Benito Vázquez, Julia Ojeda, Xóchitl Mariana Ventura Bamera, Itzel Georgina Meneses Ochoa, Jatziri Calderón, Rita Mariana García Hernández, Claudia Becerril Rico.

Citar esta tesis como:

Ayala, M. 2014. La comunidad vegetal y abundancia de dos artrópodos en el área A8 de la Reserva del Pedregal de San Ángel tras cuatro años de acciones de restauración. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 62 pp.

RESUMEN

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria, D.F. (REPSA) tiene una gran importancia biológica por el estado de conservación del ecosistema que alberga y su alta biodiversidad. El desarrollo de la urbanización en las zonas colindantes con la reserva ha resultado en un importante deterioro en su estructura y función. En particular, la zona de Amortiguamiento 8, conocida como “Biológicas”, ha sido perturbada por la acumulación de elementos xóticos como cascajo, desechos de jardinería y basura inorgánica, además de la presencia de vegetación exótica; por lo que desde 2005 se iniciaron actividades encaminadas a restaurarla. En este sitio se han llevado a cabo quince jornadas de limpieza, se introdujeron plántulas aclimatadas de nueve especies nativas, se monitoreó la estructura de la comunidad vegetal, así como en la abundancia de artrópodos y vertebrados dominantes en el ecosistema. El presente trabajo presenta la respuesta a las labores de restauración realizadas de 2005 a 2009, comparando la estructura vegetal y el tamaño poblacional de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae) y *Neoscona oaxacensis* (Araneae: Araneidae) del sitio sujeto a acciones de restauración con un área conservada de referencia localizada en la Zona Núcleo Poniente. Además, se describe el patrón de colonización vegetal temprana de los sitios en los que se recuperó el sustrato basáltico en 2007 y 2008 y se hace una evaluación del éxito de la introducción de semillas para la restauración ecológica mediante un experimento de campo realizado en 2009. Se registró que las especies dominantes en el sitio sujeto a restauración fueron (datos anuales promedio de cobertura relativa): (1) *Pennisetum clandestinum*, con 42.0%, (2) *Montanoa tomentosa*, con 19.4%, y (3) *Buddleia cordata*, con 5.7%; asimismo, en el sitio sujeto a restauración se registró un aumento de cobertura de las especies no dominantes, que pasó de 5.8% en

febrero a 21.6% en diciembre, y en ese mismo lapso de tiempo se incrementó el número de especies no dominantes de 11 a 37. Por su parte, en la zona conservada de referencia, las especies dominantes fueron: (1) *B. cordata*, con 15.1% de cobertura relativa promedio, (2) *Senecio praecox*, con 11.0% y (3) *Muhlenbergia robusta*, con 9.7%. En el sitio sujeto a acciones de restauración se encontró una mayor diversidad poblacional de *Sphenarium purpurascens* y de *N. oaxacensis* que en el área de referencia. Se concluye que: (1) las acciones de restauración han controlado la cobertura de *P. clandestinum*; sin embargo, sigue dominando en el sitio; (2) *M. tomentosa* es la especie nativa con mayor cobertura relativa en el sitio; (3) la riqueza de especies nativas dentro del sitio ha aumentado, lo que sugiere que el proceso de colonización se lleva a cabo, a pesar de la lejanía relativa del sitio de las zonas más conservadas de la R EPSA; (4) la zona sujeta a acciones de restauración no ha recuperado la estructura trófica original, ya que las poblaciones de *S. purpurascens* y *N. oaxacensis* aún presentan abundancias más altas a las registradas en la zona de referencia; (5) la recuperación del sustrato basáltico original facilita la recuperación de la estructura de la comunidad vegetal, tal como se observó en la subzona denominada “Dinosaurio”, recuperada en 2007; (6) el tratamiento de introducción de semillas no tuvo un efecto evidente durante el ensayo de campo. La restauración ecológica constituye una actividad muy importante para frenar el deterioro ecológico que sufren los ecosistemas naturales, en busca de mantener los servicios ambientales que éstos nos prestan.

Palabras clave: disturbio, de gradación, sucesión ecológica, estructura, composición, sistema de referencia, *Eucalyptus* sp., *Montanoa tomentosa*, *Pennisetum clandestinum*, plantas arvenses, plantas exóticas, zona de amortiguamiento.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Restauración ecológica

Los ecosistemas dañados por disturbios naturales generalmente pueden recuperar su biomasa, su estructura y su composición a través del proceso de sucesión; sin embargo, algunos ecosistemas que han sido alterados por actividades humanas pueden tener baja capacidad para recuperarse (Primack 2006), ya que este tipo de disturbios altera el ritmo de los ciclos de los recursos naturales, sobrecargan los ecosistemas con agentes externos (contaminantes) y, al desplazar los nutrientes de sus fuentes originales, provocan la pérdida de funciones, una disminución de la calidad de los servicios ambientales que proveen y afectan la abundancia y distribución de las especies (Dietz *et al.* 2007). La sucesión en un ecosistema terrestre es el proceso temporal no estacional de cambios en la composición de especies, la estructura de la comunidad, la química del suelo y las características microclimáticas que ocurre después de un disturbio natural o antropogénico en una comunidad biológica (Primack 2006). Un disturbio, por su parte, es cualquier evento relativamente discreto en el tiempo que afecta a ecosistemas, comunidades o poblaciones provocando un cambio en la disponibilidad de recursos, de sustratos o del ambiente físico (Resh *et al.* 1988).

Para revertir los efectos de un disturbio se aplican acciones de restauración ecológica, la cual es una actividad intencional que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema en su salud, la integridad y sustentabilidad después de haber sido degradado, dañado o destruido (SER 2004). Miller y Hobbs (2007) proponen que para fijar objetivos realistas de la restauración ecológica se deben tener en cuenta tres restricciones: (1) las *económicas*, que instauran los límites financieros sobre el alcance del trabajo que se puede hacer; (2) las *sociales*, que definen lo que es socialmente aceptable para la comunidad humana que rodea el hábitat a restaurar, y (3) las *ecológicas*, que son las que establecen límites sobre lo que es posible, con base en la realidad biofísica del sitio y sus alrededores.

La fidelidad ecológica, entendida como la reproducción de un ecosistema histórico, es el objetivo declarado de la restauración, y dentro de ella se pueden discernir tres principios: replicación estructural, éxito funcional y durabilidad (Higgs 1997). Para lograr la fidelidad ecológica es de gran utilidad tener un ecosistema de referencia, el cual sirve de modelo para planear un proyecto de restauración y, más adelante, evaluarlo (SER 2004).

Hobbs y Norton (1996) identificaron una serie de procesos clave en la restauración ecológica, que son: (1) identificar los procesos que conducen a la degradación; (2) elaborar métodos para revertir o atenuar la degradación; (3) determinar objetivos realistas para el restablecimiento de las especies y los ecosistemas funcionales, reconociendo tanto los límites ecológicos de la restauración como la situación socioeconómica y las barreras culturales para su aplicación; (4) desarrollar medidas de éxito fácilmente observables; (5) desarrollar técnicas prácticas para aplicar estos objetivos de la restauración en una escala acorde con el problema; (6) documentar y comunicar estas técnicas empleadas; y (7) monitorear constantemente el sistema.

Asimismo, Bradshaw (1997) distingue cuatro aproximaciones referidas a la recuperación de ecosistemas: (1) la ausencia de acción debido a que la restauración es demasiado costosa, porque los intentos previos de restauración han fallado o porque la experiencia ha demostrado que el sistema se recuperará solo; (2) el 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) la rehabilitación de un ecosistema dañado, buscando la recuperación de algunas de las especies nativas y ciertas funciones del ecosistema, mas no su recuperación total; y (4) la 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 las aproximaciones más habituales de las medidas de restauración.

I.2. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel

La erupción del volcán Xitle y conos adyacentes, ocurrida hace 1670 ± 35 años, generó un derrame de lava sobre una superficie de 80 km^2 (Siebe 2000, 2009) y dio origen a la zona de los pedregales del sur del Valle de México (Soberón y Jiménez 1991). La zona presenta nueve tipos de vegetación, entre los que dominan el matorral de palo loco [*Senecio* (= *Pittocaulon*) *praecox*] y el bosque de encino (*Quercus* spp.). Estas diferencias en la vegetación son originadas principalmente por el gradiente altitudinal producto del derrame, reflejando climas secos y calurosos en las partes bajas, así como zonas con un clima húmedo y frío en las partes altas (Cano-Santana *et al.* 2006).

La Reserva Ecológica del mismo nombre, creada en 1983, se ubica en el campus de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México y alberga una gran diversidad biológica (Castillo-Argüero *et al.* 2007; Lot y Cano-Santana 2009). Dentro de ella existen tres zonas núcleo (Zona Núcleo Poniente, Zona Núcleo Oriente y Zona Núcleo Sur Oriente) y 13 áreas de amortiguamiento (A1 a A13, UNAM 2005). Las zonas de amortiguamiento son áreas sujetas a uso restringido para protección ambiental, y su presencia permite reducir el efecto de la perturbación antrópica sobre las zonas núcleo (UNAM 2005). Además, son zonas de gran significado ecológico ya que al favorecer su conservación permiten el tránsito y el flujo genético de los elementos de la biota de la reserva (UNAM 2006). Las Zonas Núcleo, por su parte, son las áreas que por su alto grado de conservación y diversidad están sujetas a protección estricta, tienen mayor superficie y una gran riqueza biológica (UNAM 2005).

Desde 2005, en dos zonas localizadas en las áreas de amortiguamiento de la REPSA (la A8 y la A11), el grupo de Ecología de Artrópodos Terrestres (hoy conocido como de Interacciones y Procesos Ecológicos), del Departamento de Ecología y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias y a cargo del Dr. Zenón Cano Santana, inició una serie de actividades encaminadas a restaurar sus áreas deterioradas y monitorear a largo plazo los cambios registrados en la dominancia, composición y diversidad de la comunidad vegetal, así como en la abundancia de artrópodos y

vertebrados dominantes en el ecosistema (Antonio-Garcés 2008; Antonio-Garcés *et al.* 2009; San José 2010, San José *et al.* 2010; Villeda 2010; Saucedo-Morquecho 2011; González-Rebeles 2012). Para este caso, se ha propuesto que la restauración de los ecosistemas terrestres que alberga la REPSA debe basarse en las siguientes premisas (Antonio-Garcés 2008; Antonio-Garcés *et al.* 2009): (1) eliminar la fuente de disturbio; (2) extraer los elementos extraños al ecosistema, tales como residuos orgánicos e inorgánicos; (3) recuperar el sustrato basáltico, ya sea por recuperación o por adición, (4) eliminar los elementos vegetales exóticos, sobre todo las especies *Eucalyptus* sp. y *Pennisetum clandestinum*; e (5) introducir especies vegetales nativas. Las cuales se basan en los objetivos de: (1) recuperar el sustrato volcánico original y volverlo apto para la colonización de especies nativas, (2) reducir la presencia de especies exóticas y arvenses, (3) reducir el riesgo de incendios, (4) recuperar la diversidad vegetal y el paisaje original y (5) restablecer la red trófica del ecosistema. Una premisa adicional necesaria es la del monitoreo continuo de estas zonas, con el fin de conocer el éxito de dichas acciones para corregirlas, o bien, proseguir con su implementación.

I.3. La estructura de la comunidad vegetal

La composición y estructura de una comunidad vegetal es el resultado de la respuesta simultánea de las especies que la conforman a múltiples factores ambientales y a lo largo de todo el ciclo de vida de cada especie. Estos factores pueden ser abióticos, tales como la disponibilidad de recursos y características físicas y químicas del suelo (Tilman, 1982, 1987, Inouye *et al.* 1987, Brussaard *et al.* 1996), o bióticos, como la competencia (Gurevitch *et al.* 1992, Goldberg *et al.* 1999) y la facilitación (Lebreton, 1992; Maestre *et al.* 2001).

I.4. Dos artrópodos importantes en la REPSA

Entre las especies animales importantes de la REPSA, se encuentran el chapulín *Sphenarium purpurascens* Charpentier (Orthoptera: Pyrgomorphidae) y la araña *Neoscona oaxacensis* Keyserling (Araneae: Araneidae) (Cano-Santana 1994b). *Sphenarium purpurascens* es uno de los

herbívoros principales en la reserva, ya que consume al menos 43 especies de plantas y les provoca altos niveles de daño como resultado de su actividad forrajeadora, además de presentar altas densidades (23 individuos/m² en julio; Cano-Santana 1994a; Camacho 1999; Castellanos-Vargas 2001). Incluso, hay trabajos que sugieren que la actividad que lleva a cabo como herbívoro afecta la estructura de la comunidad vegetal (Juárez-Orozco, 2005). Por su parte, *N. oaxacensis* es importante pues presenta, una elevada densidad poblacional en la REPSA durante la temporada de lluvias, por lo que puede ser considerada un elemento regulador de las poblaciones de insectos, incluyendo a *S. purpurascens*, y por lo tanto, regulador del daño a la comunidad vegetal (Cano-Santana 1994b; Martínez-Jasso 2002).

I.5. Antecedentes del deterioro y acciones previas de restauración en el área A8

La zona de amortiguamiento 8, conocida como “Biológicas”, conforma el camellón central de la avenida Circuito Exterior, está limitada en sus cuatro costados por el circuito de la zona deportiva frente a los Institutos de Biología, de Ecología y de Investigaciones Biomédicas, y las canchas de fútbol soccer. Tiene una superficie total de 3 ha (2,884 m²) (UNAM 2005). En abril de 2005, Antonio-Garcés (2008) llevó a cabo el estudio y las acciones de restauración en la región noreste de esta zona de amortiguamiento, la cual tiene una superficie de 0.51 ha. Esta zona estuvo sujeta a la acumulación de residuos, en su mayoría de jardinería, de 1974 a 1995, generados por las canchas de fútbol adyacentes. Además, a partir de 2005 se depositaron promontorios de cascajo en sus bordes, se introdujo una carpeta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en la parte norte en una franja de 3 a 5 m, así como 74 individuos de eucaliptos (la mayoría *Eucalyptus camaldulensis* y unos pocos *E. globulus*).

En una primera etapa de acciones de restauración, ocurrida entre abril de 2005 y marzo de 2006 se realizó lo siguiente: (1) se realizaron siete “Jornadas de Limpieza de la Reserva Ecológica del

Pedregal de San Ángel”, en las que grupos de voluntarios participaron en actividades de extracción de residuos de jardinería, cascajo y basura inorgánica, así como en la remoción de 62 eucaliptos, liberando a la zona de su alelopatía y su sombra; (2) se introdujeron plántulas aclimatadas de nueve especies nativas (*Brickellia veronicifolia*, *Cardiospermum halicacabum*, *Dahlia coccinea*, *Dodonaea viscosa*, *Eupatorium petiolare*, *Manfreda scabra*, *Muhlenbergia robusta*, *Senecio precox* y *Verbesina virgata*), que tuvieron una supervivencia general de 7.7% tras once meses; y (3) se monitoreó la estructura de la comunidad vegetal durante el tiempo que tuvieron lugar las acciones de restauración (Antonio-Garcés 2008; Antonio-Garcés *et al.* 2009).

En una segunda etapa de restauración, M. Peña (datos no publ.; Antonio-Garcés *et al.* 2009), realizó las acciones de restauración que a continuación se describen. (1) Entre marzo de 2006 y marzo de 2007 se introdujeron 649 plántulas de cinco especies nativas (*Dodonaea viscosa*, *Dahlia coccinea*, *Brickellia veronicifolia*, *Baccharis serraefolia* y *Echeveria gibbiflora*), obteniendo una supervivencia general promedio a laño de 10.9%; (2) se extrajeron 15 m³ de tierra y materia orgánica; (3) se recuperó el sustrato basáltico en una zona de 65 m² y (4) se registró de la actividad del ratón piñonero (*Peromyscus gratus*) en octubre de 2006 y de la densidad de chapulines (*Sphenarium purpurascens*). Después de estas dos fases de acciones de restauración se redujo la cobertura relativa de los eucaliptos (de 48.0 a 9.7%) y la riqueza específica de las especies vegetales arvenses se incrementó de 23 a 32. En la última etapa de restauración ecológica de marzo a octubre de 2008, realizada por Saucedo-Morquecho (2011), se organizaron cuatro jornadas de restauración ecológica en las que se realizaron las siguientes actividades: (1) se hizo control de eucaliptos y pasto kikuyo, (2) se retiraron residuos orgánicos, inorgánicos y cascajo, (3) se amplió la superficie de sustrato basáltico recuperado en abril de 2007 por M. Peña. Se mantuvo un registro de la estructura de la comunidad vegetal durante las actividades de restauración. Se monitorearon las poblaciones de *S. purpurascens* y *N. oaxacensis* tanto en la zona sujeta a restauración como en la zona conservada de referencia. Asimismo, se llegaron a las siguientes conclusiones: (1) el retiro de eucaliptos es favorable para el establecimiento

de especies nativas en la zona debido a que su presencia produce una influencia negativa en términos de su alelopatía y de la sombra que generan; (2) se logró un aumento en la riqueza de especies nativas (*i.e.*, aquellas con coberturas relativas < 5%), recuperando parcialmente el paisaje; (3) la presencia de especies exóticas y arvenses afecta negativamente la supervivencia inicial de las plántulas de especies nativas; (4) no son necesarias las medidas de reintroducción del ratón piñonero (*Peromyscus gratus*) ni de la chapulín (*Sphenarium purpurascens*), y (5) falta más esfuerzo y tiempo para lograr la recuperación de la estructura del ecosistema en el sitio de estudio.

1.6. Justificación

El estudio de la recuperación del sitio A8 sujeto a restauración ecológica forma parte de un proyecto a largo plazo que busca conocer los cambios en diversas variables del ecosistema buscando aportar conocimiento sobre las actividades más adecuadas para restaurar ecosistemas asentados en derrames de lava. El sitio A8 ha sido estudiado desde abril de 2005 y en él han trabajado varios tesis de licenciatura que han analizado la comunidad vegetal y han organizado jornadas de restauración ecológica: Antonio-Garcés (2008) la estudió entre abril y noviembre de 2006 y realizó las primeras actividades de restauración removiendo los desechos de jardinería, tierra y la mayoría de los eucaliptos del sitio, así como introduciendo plántulas de especies nativas al sitio. M. Peña (en prep.) trabajó entre junio de 2006 y julio de 2007 y analizó, además, el estado de las poblaciones de roedores y del chapulín *S. purpurascense* introduciendo otro lote de plántulas de especies nativas al sitio. Los resultados de cambio de la comunidad vegetal en estas primeras dos fases se publicaron en Antonio-Garcés *et al.* (2009). Saucedo-Morquecho (2011) estudia el sitio entre octubre de 2007 y diciembre de 2008, y Muñoz-Saavedra (2013) lo hace entre febrero y diciembre de 2010, y ambos analizan el estado de las poblaciones de *S. purpurascens* y de la araña *N. oaxacensis*. A partir del trabajo de M. Peña (no publ.), todos los trabajos comparan las variables bióticas con las obtenidas de un sitio conservado de referencia ubicado al sur de la zona núcleo poniente. San-José (2010), por su parte,

registra la actividad de vertebrados en la zona en un estudio realizado entre mayo de 2009 y abril de 2010 (ver también San-José *et al.* 2010, 2013).

En esta tesis se reportan los avances del proceso de restauración en el sitio A8 ocurrido entre febrero y diciembre de 2009 en la comunidad vegetal y en las poblaciones de las especies de artrópodos mencionados tomando como referencia un sitio conservado. Lo novedoso de mi participación en el proyecto consiste en que, dado que (1) en las jornadas de restauración no se ha logrado retirar con herramientas convencionales (palas picos, carretillas y botes) una gran parte de los materiales extraños (piedras, escombros y desechos inorgánicos), lo que provoca una dominancia del pasto kikuyo; y que (2) la introducción de 1071 plántulas ha sido costosa en términos de tiempo y esfuerzo, y se han obtenido pobres resultados (con un 1.1% de supervivientes hasta 2010) (Cano-Santana *et al.* 2010). En esta fase intermedia se hace la prueba de introducir semillas de plantas nativas, como una técnica más barata en términos de tiempo y esfuerzo y (3) se implementa el uso de maquinaria pesada para extraer los materiales que recubren el sustrato basáltico original.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general de este trabajo es conocer los cambios en la estructura de la comunidad vegetal y en el tamaño poblacional de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae) y de *Neoscona oaxacensis* (Araneae: Araneidae) en el área de amortiguamiento A8 “Biológicas” en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, después de haber estado sujeta a cuatro años de acciones de restauración ecológica que incluyen la introducción de semillas de plantas nativas y el uso de maquinaria.

Los objetivos particulares que se derivan del anterior son:

1. Conocer el efecto de las labores de restauración previas llevadas a cabo desde 2005.
2. Comparar la estructura vegetal y el tamaño poblacional de los dos artrópodos en la zona A8 con respecto a una parcela conservada de referencia de la Zona Núcleo.
3. Conocer el patrón de colonización temprana hasta 2009, por plantas de los sitios en los que en 2007 y 2008, respectivamente, se recuperó el sustrato basáltico.
4. Evaluar el éxito de la introducción de semillas para la restauración.

Las hipótesis planteadas en este trabajo son las siguientes:

1. Si las acciones de restauración han logrado rescatar la trayectoria histórica del ecosistema del pedregal, entonces se espera que la comunidad vegetal de la zona sujeta a restauración ecológica en el área de amortiguamiento 8 será más parecida a la zona de referencia, en su estructura y funcionamiento, en términos de la riqueza y cobertura relativa de las especies.
2. Si la adición de semillas a las áreas sujetas a acciones de restauración ecológica tiene éxito en términos de establecimiento, la riqueza de especies de plantas nativas aumentará después de la introducción de semillas. Asimismo, se podrán observar al final de la temporada de lluvias la presencia de las especies sometidas a este proceso.

3. De continuar el estado de deterioro particularmente por la presencia de especies vegetales invasoras en la zona sujeta a acciones de restauración ecológica, se espera que el tamaño poblacional de *S. purpurascens* y *N. oaxacensis* será mayor o igual a la observada en la zona conservada de referencia (localizada en la Zona Núcleo Poniente), ya que son especies beneficiadas por la presencia del pasto kikuyo (Castellanos-Vargas 2001; Cecaíra-Ricoy 2004).

III. SITIO DE ESTUDIO

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) está ubicada al suroeste de la cuenca del Valle de México ($19^{\circ}18'31''$ - $19^{\circ}19'17''$ norte, $99^{\circ}10'20''$ - $99^{\circ}11'52''$ oeste, 2200-2277 m .s.n.m.), dentro del campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM 2005; figura 3.1).

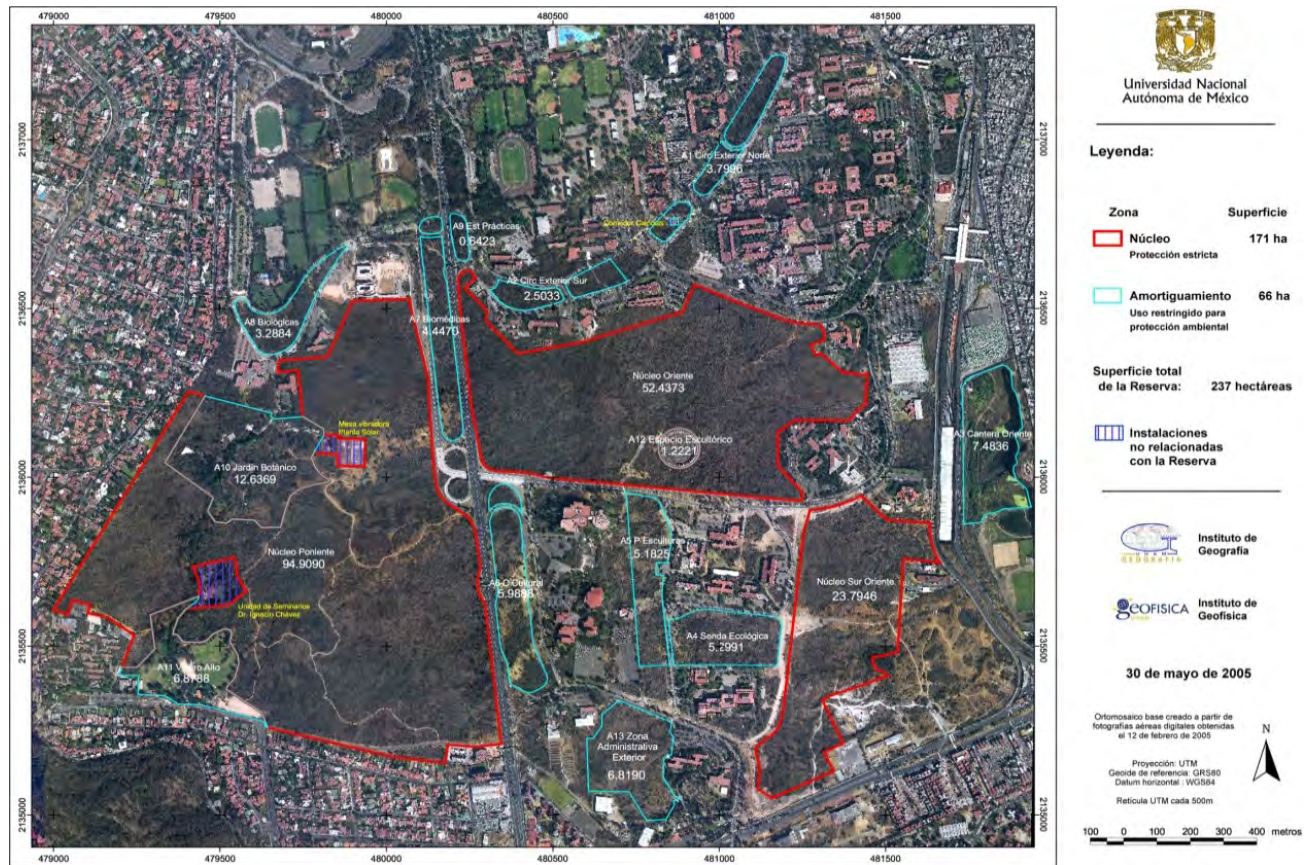


Figura 3.1. Foto aérea de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (UNAM 2005). Las líneas rojas señalan los límites de las tres zonas núcleo y las líneas azules enmarcan los límites de las zonas de amortiguamiento.

La REPSA está caracterizada por una vegetación de tipo matorral xerófilo (Rzedowski 2006), que le imparte un paisaje muy característico. El clima en la zona es templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano, con una temperatura media anual de 15.5°C y una precipitación promedio anual de 870 mm (Valiente-Banuet y De Luna 1990). Presenta una estacionalidad marcada con una temporada de lluvia de junio a octubre y una de sequía de noviembre a mayo (Soberón y

Jiménez 1990). El proceso de enfriamiento de la lava generó una gran heterogeneidad espacial y microambiental, en la que predomina la roca madre expuesta. El suelo es de origen eólico y orgánico, es joven, escaso y poco desarrollado, y se acumula en grietas, fisuras y depresiones (Cano-Santana y Meave 1996).

Para evaluar los avances de las acciones de restauración en la región noreste del área de amortiguamiento A8 sujeta a acciones de restauración se seleccionó una zona conservada de referencia de similar tamaño al interior de la Zona Núcleo Poniente (figura 3.2).

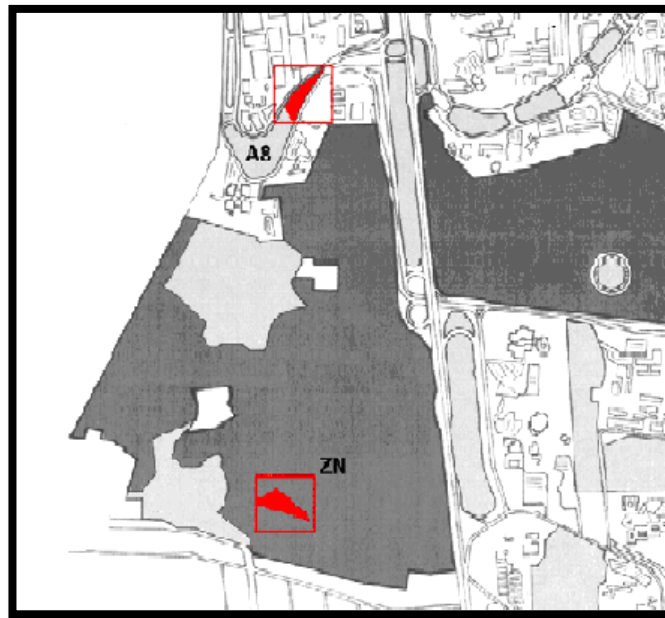


Figura 3.2. Localización de la región noreste de la Zona A8 “Biológicas” sujeta a acciones de restauración (recuadro superior) y de la parcela de referencia al interior de la Zona Núcleo Poniente (recuadro inferior).

IV. MATERIAL Y MÉTODO

IV.1. Acciones de restauración

4.1.1. Jornadas de restauración y uso de maquinaria.

Se realizaron cuatro jornadas de restauración en los meses de mayo, junio, septiembre y noviembre de 2009 con un promedio de 45 asistentes por jornada (tabla 4.1) en las que se cumplieron las siguientes actividades:

- 1) Control de especies vegetales exóticas: *Ricinus communis*, *Eucalytus* spp. (*E. camaldulensis* y *E. globulus*) y *Pennisetum clandestinum*.
- 2) Retiro de residuos orgánicos, compuestos por material vegetal proveniente de las actividades de jardinería de sitios aledaños, así como el suelo que fue añadido al sustrato basáltico.
- 3) Retiro de residuos inorgánicos, conformados por el material pétreo no consolidado, escombros (residuos de actividades de construcción de obra civil), así como residuos sólidos urbanos generados por los transeúntes.
- 4) Ampliación de áreas con sustrato basáltico recuperado.

Tabla 4.1. Avances obtenidos en cada Jornada de Restauración durante 2009 en función del material extraído, los voluntarios asistentes y las horas hombre invertidas.

Fecha	Asistentes	Horas hombre	Material extraído (m ³)				Total
			Material no consolidado	Residuos inorgánicos	Materia vegetal exótica	Escombros (residuos de actividades de construcción de obra civil)	
30/05/09	45	153	12.40	6.63	2.30	2.13	23.46
20/06/09	36	122.4	8.00	0.82	0.50	1.67	10.99
12/09/09	45	153	7.10	0.30	6.78	1.56	15.74
7/11/09	53	180.2	10.20	0.40	10.28	2.34	23.22
Total	179	608.6	27.5	7.75	9.58	5.36	73.41

Dado el gran volumen de material pétreo y no consolidado ajeno a la zona que se fue depositando a lo largo de varios años no es posible retirarlo con el método manual empleado en las jornadas. Es por esto que del 17 al 22 de junio de 2009 se introdujo una máquina retroexcavadora

para retirar de manera más eficiente dichos materiales, y se lograron extraer 174 m³ de material no consolidado y cascajo en 19 viajes de camiones de volteo, diez de 12 m³ y nueve de 6 m³, del borde este de la zona.

Como resultado de esta actividad, se llegó al nivel del sustrato en áreas pequeñas, mismas que fueron ampliadas en las jornadas de restauración de septiembre y noviembre.

4.1.2. Introducción de semillas.

De manera paralela, en la Zona Núcleo de la REPSA se colectaron 1,428,357 semillas de 28 distintas especies nativas durante la temporada de sequía de 2008-2009, cuyos detalles se señalan en la tabla 4.2.

En junio de 2009, antes de la época de lluvia, se esparcieron las semillas al voleo en las zona sujeta a acciones de restauración, particularmente en los ocho cuadros de 4 × 4 m utilizados para evaluar el efecto del control de malezas en etapas anteriores de las actividades de restauración y monitoreo (M. Peña datos no publ.; Saucedo-Morquecho 2011), dentro del área de amortiguamiento A8. A cuatro cuadros identificados como experimentales, se les introdujeron semillas al voleo, quedando los cuatro restantes como control, es decir, sin adición de semillas.

4.1.3. Introducción de encinos.

Con el fin de compensar la eliminación de los recursos y condiciones que aportaban los eucaliptos removidos, sobre todo en cuanto a los tipos de hábitat que proporcionan (San José 2010), se introdujeron por trasplante seis encinos (*Quercus* sp.) con una altura promedio de 65cm en la parte central del sitio.

Tabla 4.2. Número de semillas de especies nativas del Pedregal de San Ángel colectadas en la temporada seca de 2008-2009.

Especie	Familia	No.
<i>Ageratum corymbosum</i>	Asteraceae	89,216
<i>Arracacia toluensis</i>	Apiaceae	12,402
<i>Baccharis sordescens</i>	Asteraceae	97,500
<i>Bouvardia ternifolia</i>	Rubiaceae	18,032
<i>Brickellia secundiflora</i>	Asteraceae	19,933
<i>Brickellia veronicifolia</i>	Asteraceae	22,554
<i>Cardiospermum halicacabum</i>	Sapindaceae	1,278
<i>Commelina coelestis</i>	Commelinaceae	2,700
<i>Dahlia coccinea</i>	Asteraceae	93,100
<i>Dioscorea galeotiana</i>	Dioscoreaceae	5,814
<i>Dodonea viscosa</i>	Sapindaceae	2,022
<i>Echeveria gibbiflora</i>	Crassulaceae	13,464
<i>Gaudichaudia cynanchoides</i>	Malpighiaceae	157
<i>Ipomoea purpurea</i>	Convolvulaceae	4,800
<i>Lantana velutina</i>	Verbenaceae	738
<i>Manfreda scabra</i>	Agavaceae	68,174
<i>Muhlenbergia robusta</i>	Poaceae	640,800
<i>Opuntia tomentosa</i>	Cactaceae	2,709
<i>Penstemon halicacabum</i>	Poaceae	2,136
<i>Piqueria trinervia</i>	Asteraceae	23,001
<i>Plumbago pulchella</i>	Plumbaginaceae	2,780
<i>Salvia mexicana</i>	Lamiaceae	4,800
<i>Salvia tiliifolia</i>	Lamiaceae	3,858
<i>Senna multiglandulosa</i>	Fabaceae	3,600
<i>Stevia ovata</i>	Asteraceae	7,337
<i>Stevia serrata</i>	Asteraceae	7,680
<i>Stevia sp.</i>	Asteraceae	23,100
<i>Tagetes lunulata</i>	Asteraceae	2,000
<i>Verbesina virgata</i>	Asteraceae	252,672
TOTAL		1,428,357

IV.2. Evaluación de la estructura de la comunidad vegetal

Con el fin de conocer el efecto en la estructura de la comunidad vegetal del sitio de estudio de las diferentes acciones de restauración realizadas en el área de interés, tanto en la presente etapa, como en etapas anteriores de restauración; se consideró la cobertura vegetal. Para ello, se registró la cobertura de las plantas presentes en los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo en tramos de 1 m, con el método de intercepción de línea o línea de Canfield (1941) cada 2 a 3 meses, de febrero a diciembre de 2009, en los diferentes sitios en los que las labores a evaluar fueron ejecutadas, tal como se describe en los apartados sucesivos.

IV.2.1. *Monitoreo de la zona sujeta a acciones de restauración ecológica.*

En la porción Noroeste del área A 8, para conocer el efecto de las jornadas de limpieza y la introducción de la maquinaria, se muestrearon 347 m de línea, divididos, debido a la forma de la zona sujeta a acciones de restauración ecológica, de la siguiente manera: una línea longitudinal de 135 m por el centro del sitio y cinco líneas, transversales a la primera y paralelas entre sí, separadas de 7 a 20 m, con una longitud de entre 32 y 54 m distribuidas a lo largo de la zona; siguiendo el método empleado en estudios previos realizados en la zona (Antonio-Garcés 2008; Antonio-Garcés *et al.* 2009; M. Peña datos no publ.; Saucedo-Morquecho 2011), de tal manera que fuera factible la comparación de los resultados. Por su parte, en la Zona Núcleo de referencia se dibujaron tres líneas longitudinales de 30 m y tres de 15 m distribuidas por toda la zona, con un total de 135 m.

Se agruparon los datos de cobertura de cada especie vegetal, asignando a cada una categoría, de acuerdo con su origen y etapas sucesional. En este estudio se distinguieron las siguientes tres categorías: nativas no arvenses, nativas arvenses y exóticas, siguiendo el método de clasificación empleado por Antonio-Garcés (2008) y Antonio-Garcés *et al.* (2009). De esta manera, para la determinación de especies arvenses, se consideraron aquellas que fueran catalogadas como tales en al

menos tres de los siguientes trabajos: Castillo-Argüero *et al.* (2004), Espinosa-García y Sarukhán (1997), Villaseñor y Espinosa-García (1998) y Rzedowski y Rzedowski (1979, 1985 y 1990). Las especies arvenses, desde el punto de vista de la ecología de la sucesión, son plantas pioneras que arriban primero a un sitio en el que hay disponibles espacios de colonización para ser ocupados. Asimismo, pueden ser especies oportunistas que toman ventaja en el interior de comunidades que han experimentado un disturbio reciente (Morris 1992). La clasificación de especies exóticas, sin importar si son arvenses o no, se hizo de acuerdo con el trabajo de Villaseñor y Espinosa-García (2004), quien considera como exóticas aquellas especies que se encuentran presentes en México pero cuya presencia es debida a introducción intencional o accidental por la actividad humana.

IV.2.2. *Evaluación de la recuperación del sustrato basáltico en 2007 y 2008*

Como se mencionó en el apartado I.5 del presente trabajo, dentro de la zona A8 existen zonas en las que el sustrato basáltico fue recuperado por completo, al remover los elementos extraños que causaban su perturbación, en periodos de actividades de restauración anteriores, en los años 2007 y 2008 (M. Peña datos no publ.; Saucedo-Morquecho 2011)

Para evaluar los cambios en la estructura vegetal de estos sitios, y en particular, los patrones de colonización temprana, en la zona recuperada en 2007, ubicada en la porción Noreste de la zona sujeta a acciones de restauración ecológica (figura 4.1 A), denominada “Dinosaurio” se contemplaron 54.5 m de línea, repartidas en una longitudinal de 10 m por el centro y cinco líneas transversales de entre 8 y 9 m separadas 2.5 m entre sí. El mismo proceso se empleó para evaluar los cambios en la comunidad vegetal en dos sitios de sustrato basáltico recuperado en 2008 (subsitos “Erandi 1” y “Erandi 2”), localizadas en la parte central de la zona sujeta a acciones de restauración ecológica (figura 4.1 B).



Figura 4.1. (A) Ubicación de la subzona denominada “Dinosaurio”. (B) Ubicación de las subzonas denominadas “Erandi 1” y “Erandi 2” (Fotografías satelitales obtenidas con la ayuda de la herramienta *Google Earth*®).

Del mismo modo que se hizo en las evaluaciones de la estructura de la comunidad vegetal por las demás actividades de restauración, se agruparon los datos de cobertura de cada especie vegetal dependiendo del tipo de planta: nativas no arvenses, nativas arvenses y exóticas (ver Antonio Garcés 2008 y Antonio Garcés *et al.* 2009).

IV.2.3. Evaluación de la adición de semillas

Para conocer el efecto de la introducción de semillas al voleo realizada en junio de 2009 en la zona sujeta a acciones de restauración, y particularmente en los cuadros de 4 × 4m seleccionados, éstos fueron monitoreados cada dos meses entre julio de 2009 y mayo de 2010, con tres líneas de Canfield paralelas de 4 m cada una en cada uno de los ocho cuadros.

Los datos de cobertura registrados durante los muestreos fueron agrupados por cuadro y por especie. De este modo, se compararon las comunidades de cada cuadro entre sí. Dicha comparación se realizó mediante un análisis de componentes principales.

Las ocho comunidades vegetales registradas, tanto en los cuadros control (C, sin introducción de semillas), como las correspondientes con los cuadros experimentales (E, con introducción de semillas), fueron comparadas mediante un análisis de componentes principales, el cual permite resumir la relación entre las muestras con un gran número de especies y ser representadas en el mismo diagrama (Seaby y Henderson 2007). De este modo se podrían establecer las diferencias entre las comunidades que recibieron el voleo de semillas, con respecto a aquéllas que no lo recibieron.

IV.3. Seguimiento de las plántulas introducidas de 2005 a 2007

Durante las visitas al sitio, se dio seguimiento del estado de los 16 individuos sobrevivientes de la introducción de plántulas aclimatadas en las dos primeras etapas de restauración ecológica en el sitio, pertenecientes a cuatro especies (*Dahlia coccinea*, *Dodonea viscosa*, *Senecio preacox* y *Manfreda*

scabra), además de los ejemplares de *Opuntia* sp. (Antonio-Garcés 2008; Antonio-Garcés et al.2009; M. Peña datos no publ.), midiendo la altura y dos diámetros perpendiculares de cada uno para obtener su cobertura.

IV.4. Evaluación del tamaño poblacional de los artrópodos

De agosto a noviembre de 2009, se realizaron muestreos mensualmente de la abundancia del chapulín *S. purpurascens* y de la araña *N. oaxacensis*, en 20 cuadros de 1 m de lado, ubicados aleatoriamente en la zona sujeta a acciones de restauración, así como en 20 cuadros de las mismas dimensiones en la zona conservada de referencia, siguiendo el método realizado por Cano-Santana (1994). Se realizó un primer conteo de ambas especies en cada cuadro sin perturbar su superficie, después, con el fin de corroborar esta observación, se usó una red de golpeo, contando los ejemplares capturados. El valor que se tomó en cuenta para el registro fue el del conteo que tuviera el valor más alto de abundancia.

Para conocer el efecto del sitio y la fecha de muestreo sobre la abundancia de las dos especies de artrópodos, los datos obtenidos fueron analizados aplicando ANdeVAs de dos vías para cada especie. Para ello, los datos se transformaron como $\sqrt{x + 0.5}$, por tratarse de datos discretos (Zar 1999).

V. RESULTADOS

V.1. Estructura de la comunidad vegetal

Las cinco especies dominantes en el sitio sujeto a restauración fueron: (1) *P. clandestinum* (especie exótica), con 42% de cobertura relativa promedio, (2) *Montanoa tomentosa* (especie no arvense), con 19.4%, (3) *Buddleia cordata* (especie no arvense), con 5.7%, (4) *Phytolacca icosandra* (especie arvense), con 4.3% y (5) *Schinus molle* (especie exótica), con 3.8%. A pesar de que *P. clandestinum* muestra una dominancia en la zona sujeta a restauración, ha reducido su cobertura de 52.1 a 34.5%, teniendo el menor valor en octubre con 28.8%. *M. tomentosa* sigue siendo la especie nativa dominante; sin embargo, su cobertura relativa disminuyó de 23.2 a 18.3% a lo largo del monitoreo. Asimismo, se registró un aumento de cobertura de las especies no dominantes, de 5.8% en febrero a 21.6% en diciembre (figura 5.1). En ese mismo lapso de tiempo se incrementó el número de especies no dominantes de 11 a 37 especies.

Por su parte, en la zona conservada de referencia, las cinco especies dominantes fueron: (1) *B. cordata* (especie no arvense), con 15.1% de cobertura relativa promedio, (2) *Senecio preacox* (especie no arvense), con 11.0%, (3) *Muhlenbergia robusta* (especie no arvense), con 9.7%, (4) *Eysenhardtia polystachya* (especie no arvense), con 7.7% (5) *Eupatorium petiolare* (especie no arvense), con 7.2%. *B. cordata*, que mantuvo una cobertura relativa variante entre 7.3 y 20.9%. La cobertura de las especies no dominantes fluctuó a lo largo del periodo de muestreo entre 19.4 y 30.2%, mientras la de *E. camaldulensis* (especie exótica) se mantuvo de 4.8 a 9.6% (figura 5.2).

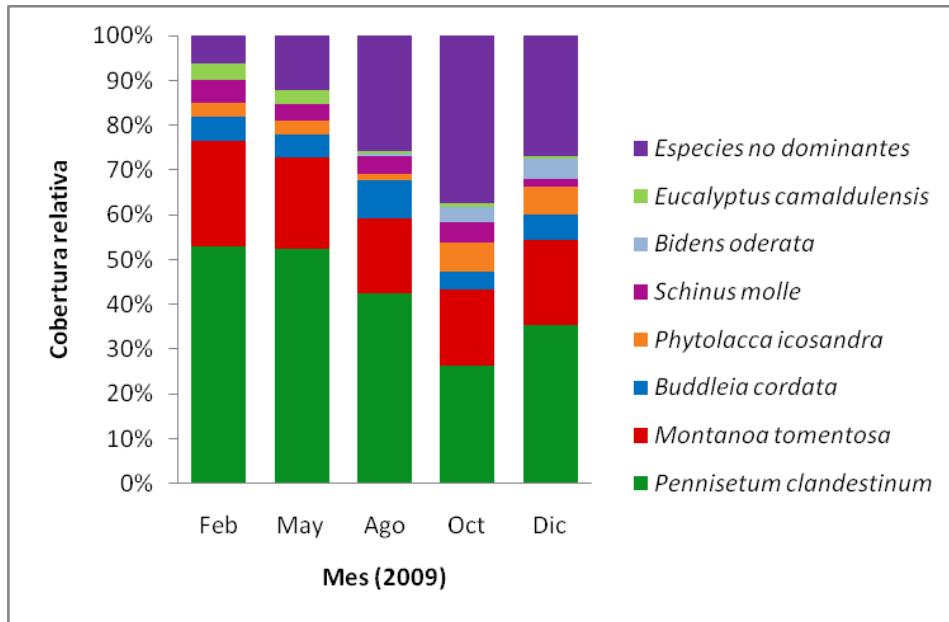


Figura 5.1. Cambios en la cobertura relativa por especie de la zona A8 de la REPSA sujeta a acciones de restauración ecológica. Datos de 2009.

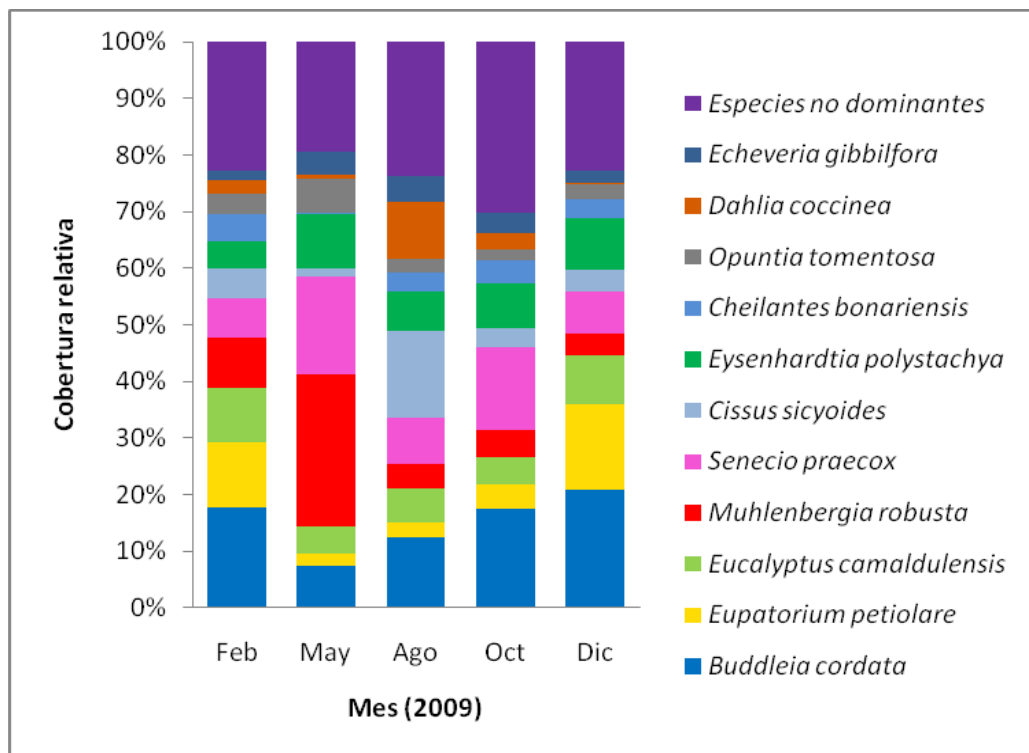


Figura 5.2. Cambios en la cobertura relativa por especie de la zona conservada de referencia ubicada en la Zona Núcleo de la REPSA. Datos de 2009.

Al clasificar las especies registradas en las categorías de arvenses, no arvenses y exóticas, se encontró que en el área sujeta a acciones de restauración, tanto la cobertura como la riqueza específica de plantas no arvenses aumentó de un 35.3% (12 especies) en febrero, a un 54.5% (42 especies) en diciembre. En contraste, las exóticas disminuyeron de 60.8% (cuatro especies) en febrero, a 38.7% (seis especies) en diciembre; manteniendo una riqueza de entre tres y cinco especies a lo largo de los muestreos. La cobertura relativa de las plantas arvenses, por su parte, varió generalmente entre 3.9 y 6.8%, pero presentó un valor superior en octubre (14.6%), mientras que la riqueza específica se mantuvo entre dos y seis especies (figuras 5.3A y B).

Por su parte, en la zona conservada de referencia, las especies no arvenses dominaron con coberturas relativas de entre 83 y 94.1%, con una riqueza entre 18 y 34 especies. Las especies exóticas registradas representaron una cobertura relativa que fue de 5.0 al 12.0%, mientras que las arvenses registraron entre tres y cinco especies que aportaron entre 0.6 y 5.8% de cobertura relativa (figuras 5.4A y B).

Se registró, además de la cobertura de las especies vegetales, el espacio que abarcaban el sustrato basáltico desnudo y material no consolidado (conformado por tierra y cascajo) únicamente en la zona A8. En la etapa correspondiente a este trabajo se observó un aumento en la cobertura del sustrato original del pedregal (basáltico) de 5.2% en febrero a 12.6% en agosto y una disminución del mismo hasta llegar a 4.1% en diciembre. El sustrato ajeno registró una disminución continua de 11.2 a 2.6% a lo largo del año de estudio (figura 5.5).

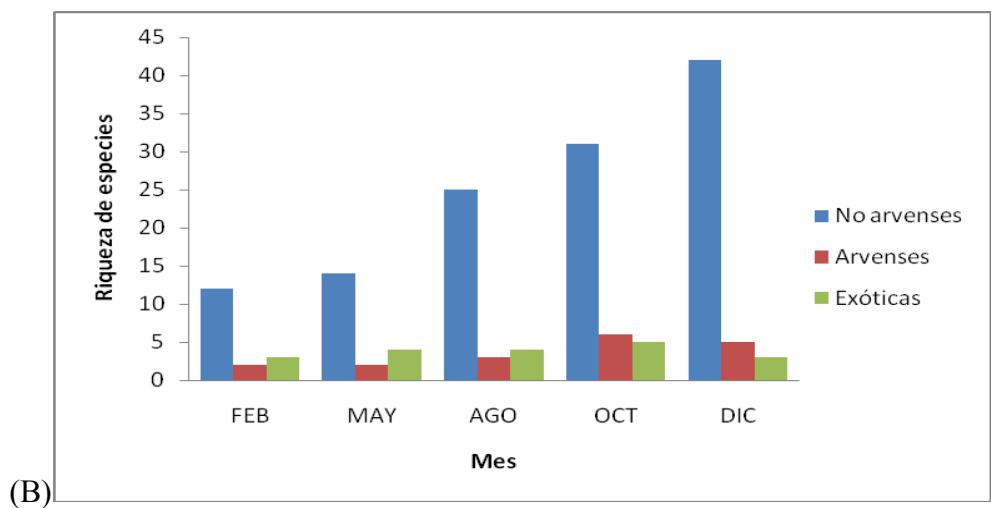
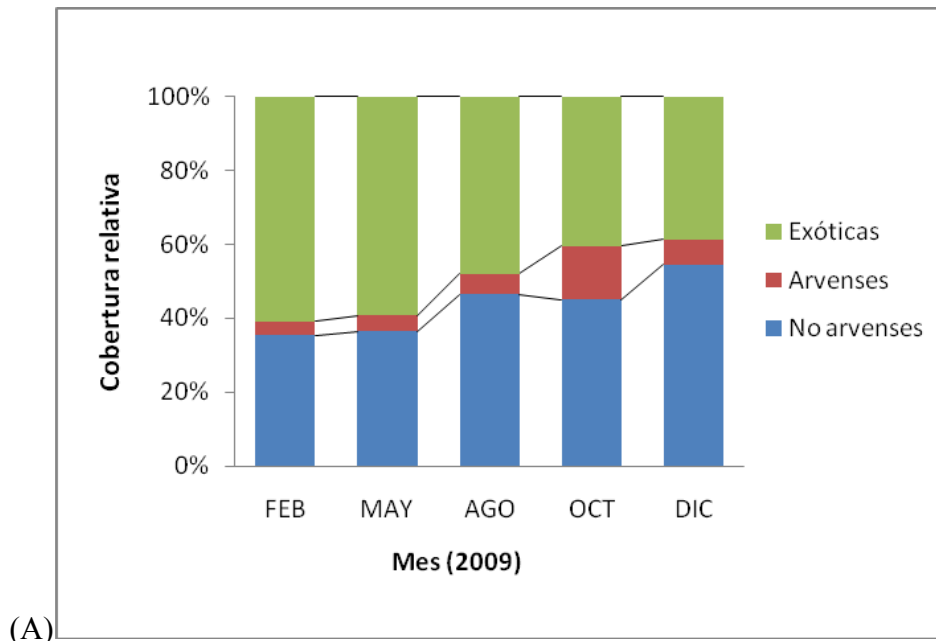
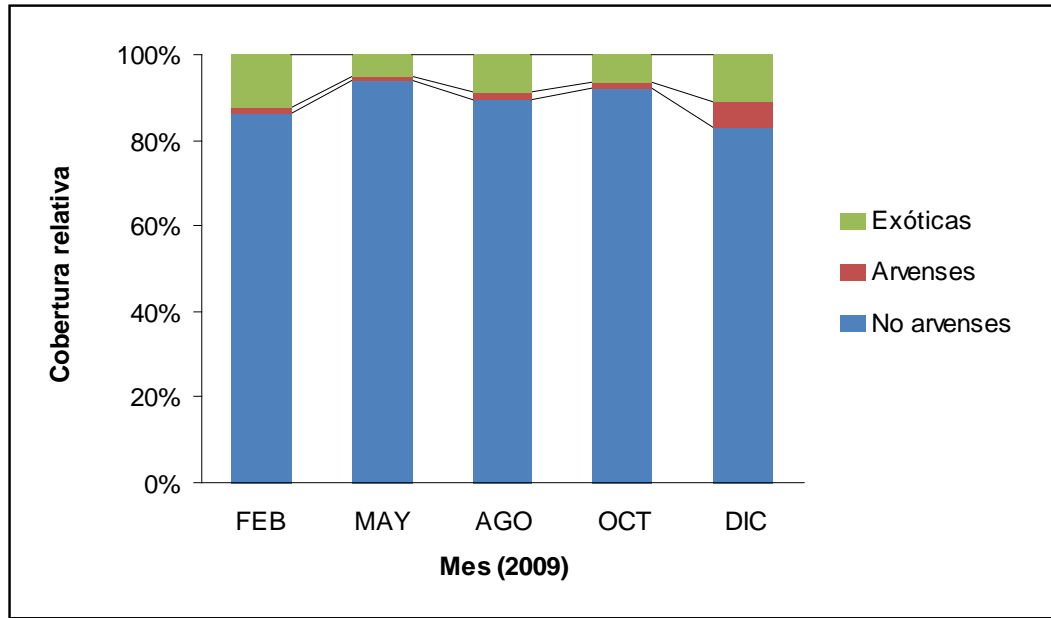
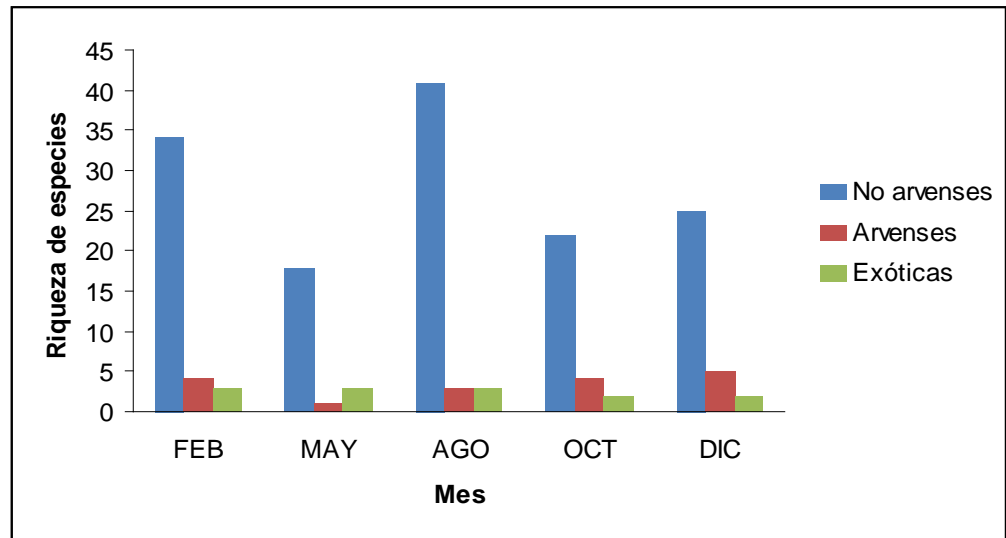


Figura 5.3. Cobertura relativa (A) y riqueza específica (B) de especies exóticas, arvenses y no arvenses en la zona sujeta a acciones de restauración localizada al noreste del Área A8 de la REPSA. Datos de 2009.



(A)



(B)

Figura 5.4. (A) Cobertura relativa (A) y riqueza específica (B) de especies exóticas, arvenses y no arvenses en la Zona Núcleo de referencia de la REPSA. Datos de 2009.

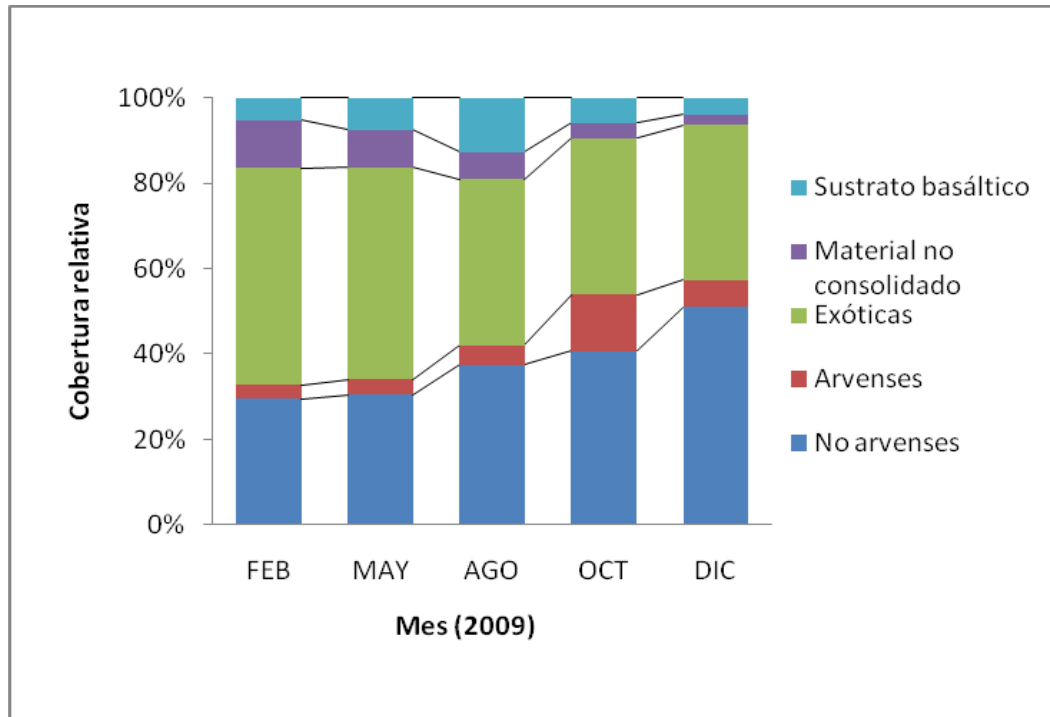


Figura 5.5. Cambios en la cobertura relativa por tipo de planta y tipo de sustrato sin cubierta vegetal de la zona A8 de la REPSA, sujeta a acciones de restauración ecológica.

En la zona conservada de referencia de la Zona Núcleo (ZN) se registraron tres especies exóticas, seis nativas arvenses y 58 nativas no arvenses, lo que suma un total de 67 especies (tabla 5.1). En el área noreste de la zona de amortiguamiento A8 sujeta a acciones de restauración ecológica, por su parte, se registraron ocho especies exóticas, ocho nativas arvenses y 52 nativas no arvenses, que suman en total 68 especies (tabla 5.1). En la subzona denominada “Dinosaurio” (SZD) de sustrato recuperado en 2007 se registraron dos especies exóticas, siete nativas arvenses y 24 nativas no arvenses, dando un total de 33 especies, en tanto que en la de sustrato recuperado en 2008 (SZE) solamente se registraron dos especies nativas, una arvense y una no arvense (cuatro especies) (tabla 5.1).

Tabla 5.1. Listado de especies exóticas (E), arvenses (A) y no arvenses (NA) registradas en la Zona Núcleo de referencia (ZN), en el área noreste de la zona de amortiguamiento A8 sujeta a acciones de restauración ecológica (A8), la subzona denominada “Dinosaurio” de sustrato recuperado en 2007 (SZD) y las de sustrato recuperado en 2008 que agrupa los claros de las subzonas “Erandi” (SZE)

Especie	Familia	Tipo de planta	ZN	A8	SZD	SZE
<i>Acourtia cordata</i> (Cerv.) Turner.	Asteraceae	NA	✓			
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	Agavaceae	NA	✓			
<i>Ambrosia psilostachya</i> DC.	Asteraceae	NA		✓	✓	
<i>Anoda cristata</i> (L.) Schltld.	Malvaceae	A	✓			
<i>Arracacia toluensis</i> (Kunth) Hemsl.	Apiaceae	NA	✓	✓		
<i>Astrolepis sinuata</i> D.M. Benham & Windham	Pteridaceae	NA	✓			
<i>Baccharis sordescens</i> DC.	Asteraceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Begonia gracilis</i> Kunth	Begoniaceae	NA	✓			
<i>Bidens aurea</i> (Aiton) Sherff	Asteraceae	NA		✓		
<i>Bidens odorata</i> Cav.	Asteraceae	A	✓	✓	✓	
<i>Bouteloua repens</i> (Kunth) Scribn. & Merrill	Gramineae	A	✓			
<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltld.	Rubiaceae	NA	✓	✓		
<i>Brickellia veroniciflora</i> (Kunth) A. Gray	Asteraceae	NA	✓			
<i>Bromelia</i> sp.	Bromeliaceae	NA	✓			
<i>Buddleia cordata</i> Kunth	Loganiaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Buddleia parviflora</i> Kunth	Loganiaceae	NA	✓			
<i>Bursera cuneata</i> Engl.	Burseraceae	NA	✓			
<i>Canna</i> sp	Cannaceae	E		✓		
<i>Cardiospermum halicacabum</i> L.	Sapindaceae	NA	✓			
<i>Cheilantes bonariensis</i> (Willd.) Proctor	Pteridaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Cissus sicyoides</i> L.	Vitaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Commelina coelestis</i> Willd.	Commelinaceae	A	✓		✓	
<i>Commelina diffusa</i> Burm. F.	Commelinaceae	NA		✓	✓	
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	Asteraceae	NA			✓	
<i>Conyza sophiifolia</i> Kunth	Asteraceae	NA		✓	✓	
<i>Crusea longiflora</i> (Willd. ex Roem. et Schult.) W.R.Anderson	Rubiaceae	NA		✓		
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Cupressaceae	NA		✓		
<i>Cynanchum kunthii</i> Standl., G. H	Asclepiadaceae	NA		✓		
<i>Cyperus manimae</i> Kunth	Cyperaceae	A		✓	✓	

Especie	Familia	Tipo de planta	ZN	A8	SZD	SZE
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	Asteraceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Datura stramonium</i> L.	Solanaceae	NA		✓		
<i>Dicliptera peduncularis</i> Nees	Acanthaceae	A		✓	✓	
<i>Dioscorea galeottiana</i> Kunth	Dioscoreaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Sapindaceae	NA	✓	✓		
<i>Echeveria gibbiflora</i> DC.	Crassulaceae	NA	✓	✓		
<i>Eragrostis mexicana</i> (Hornem.) Linck.	Poaceae	NA		✓		
<i>Eucalyptus</i> spp.	Myrtaceae	E	✓	✓		
<i>Eupatorium petiolare</i> Moc. et Sessé ex DC.	Asteraceae	NA	✓		✓	
<i>Eupatorium pulchellum</i> Kunth	Asteraceae	NA	✓			
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg.	Fabaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Oleaceae	NA	✓	✓		
<i>Funastrum elegans</i> (Decne.) Schltr.	Apocynaceae	NA	✓			
<i>Gaudichaudia cynanchoides</i> Kunth	Malpighiaceae	NA		✓		
<i>Geranium seemannii</i> Peyr.	Geraniaceae	A		✓	✓	
<i>Gnaphalium americanum</i> Mill.	Asteraceae	NA		✓	✓	✓
<i>Gnaphalium chartaceum</i> Greenm.	Asteraceae	NA			✓	
<i>Gonolobus uniflorus</i> Kunth.	Asclepiadaceae	NA	✓			
<i>Ipomea purpurea</i> (L.) Roth	Covolvulaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Ipomoea cristulata</i> Hall	Covolvulaceae	NA		✓	✓	
<i>Iresine cassiniiformis</i> Shauer	Amaranthaceae	NA	✓			
<i>Iresine diffusa</i> Humb. Et Bonpl. Ex Willd.	Amaranthaceae	NA	✓	✓		
<i>Jaltomata procumbens</i> (Cav.) J.L.Gentry	Solanaceae	NA		✓	✓	
<i>Lantana velutina</i> M. Martens et Galeotti	Verbenaceae	NA		✓		
<i>Leonotis nepetifolia</i> (L.) R.Br.	Lamiaceae	E		✓		
<i>Loeselia mexicana</i> (Lam.) Brand	Polemoniaceae	NA	✓	✓		
<i>Lopezia racemosa</i> Cav.	Onagraceae	NA		✓		
<i>Mammillaria magnimamma</i> Haw.	Cactaceae	NA	✓			
<i>Manfreda scabra</i> (Ortega) Mc Vaugh	Agavaceae	NA	✓			
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Poaceae	NA	✓			
<i>Metastelma angustifolium</i> Turcz.	Apocynaceae	NA	✓			
<i>Mirabilis jalapa</i> L.	Nyctaginaceae	A		✓	✓	

Especie	Familia	Tipo de planta	ZN	A8	SZD	SZE
<i>Montanoa tomentosa</i> Cerv.	Asteraceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Muhlenbergia robusta</i> (E.Fourn.) Hitchc.	Poaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Nicotiana glauca</i> Graham	Solanaceae	E		✓		
<i>Opuntia robusta</i> Wendl.	Cactaceae	NA	✓			
<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck	Cactaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Oxalis lunulata</i> Zucc.	Oxalidaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Paspalum tenellum</i> Willd.	Poaceae	NA		✓		
<i>Passiflora subpeltata</i> Ortega	Passifloraceae	NA	✓	✓		
<i>Pellaea ovata</i> (Desv.) Weath	Pteridaceae	NA	✓			
<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst. ex Chiov.	Poaceae	E	✓	✓	✓	
<i>Peperomia galioides</i> Kunth	Piperaceae	NA	✓			
<i>Phlebodium areolatum</i> (Humb. Et Bonpl. Ex Willd.) J. Sm.	Polypodiaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Phytolaccaceae	A		✓	✓	✓
<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	Asteraceae	NA	✓			
<i>Plumbago pulchella</i> Boiss.	Plumbaginaceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Polypodium thyssanolepis</i> A. Braun ex Klotzsch	Polypodiaceae	NA	✓	✓		
<i>Portulaca mexicana</i> P. Wilson	Portulacaceae	NA		✓		
<i>Prunus capulli</i> Cav.	Rosaceae	NA		✓		
<i>Quercus deserticola</i> Trel.	Fabaceae	NA	✓			
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Wiild.) C.E. Hubb.	Poaceae	E		✓	✓	
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	E		✓		
<i>Salvia mexicana</i> Sessé et Moc.	Lamiaceae	NA	✓	✓		
<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl	Lamiaceae	A		✓		
<i>Schinus molle</i> L.	Anacardiaceae	E	✓	✓		
<i>Sedum oxypetalum</i> Kunth	Crassulaceae	NA	✓			
<i>Sedum quevae</i> Hamet	Crassulaceae	NA	✓			
<i>Selaginella lepidophylla</i> (Hook. Et Greville) Spring	Selaginellaceae	NA	✓			
<i>Senecio praecox</i> (Cav.) DC.	Asteraceae	NA	✓	✓		
<i>Senna multiglandulosa</i> Benth.	Fabaceae	NA	✓			
<i>Solanum bulbocastanum</i> Dunal	Solanaceae	NA		✓		
<i>Solanum rostratum</i> Dunal	Solanaceae	NA		✓		
<i>Sphaeralcea angustifolia</i> (Cav.) G.Don	Malvaceae	NA		✓		

Especie	Familia	Tipo de planta	ZN	A8	SZD	SZE
<i>Sporobolus atrovirens</i> Kunth.	Poaceae	NA	✓			
<i>Stevia micrantha</i> Lag.	Asteraceae	NA	✓	✓		
<i>Stevia ovata</i> Willd.	Asteraceae	NA	✓			
<i>Stevia salicifolia</i> Cav.	Asteraceae	NA	✓			
<i>Tagetes lunulata</i> Ortega	Asteraceae	NA		✓		
<i>Tillandsia recurvada</i> (L.) L.	Bromeliaceae	NA	✓			
<i>Valeriana sorbifolia</i> Kunth	Valerianaceae	NA		✓		
<i>Verbena carolina</i> L.	Verbenaceae	NA		✓		
<i>Verbesina virgata</i> Cav.	Asteraceae	NA	✓	✓	✓	
<i>Wigandia urens</i> (Ruíz et Pav.) Kunth	Hydrophyllaceae	A	✓			
<i>Zephyrantes concolor</i> (Lindl.) Benth. & Hook. f.	Amaryllidaceae	NA		✓		
<i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.	Asteraceae	A	✓	✓		
Número de especies no arvenses (NA)		85				
Número de especies arvenses (A)		12				
Número de especies exóticas (E)		8				
Número total de especies		105	67	68	33	2

V.2. Colonización de las subzonas de sustrato basáltico recuperado

Los resultados obtenidos de las líneas de Canfield en la subzona de sustrato basáltico recuperado en 2007 denominada “Dinosaurio”, muestran una dominancia de *B. cordata*, que mantiene una cobertura relativa de 31.2% en agosto y 51.2% en mayo. Otra especie importante en la zona es *M. tomentosa*, la cual está presente en esta subzona, con una cobertura con el siguiente comportamiento a lo largo del monitoreo: 5.8% en mayo, bajó hasta 2.5% en agosto, y tuvo un incremento a 4.9% en octubre y a 13.0% en diciembre. Otras especies que registraron una dominancia importante fueron *P. icosandra* y *P. clandestinum*, con una cobertura que fluctuó entre 1.9 y 7.0% en ambos casos. Por su parte, las especies no dominantes registraron una cobertura de entre 6.0 y 14.3% (figura 5.6). Se encontró un total de 33 especies en esta subzona (tabla 5.1).

Las dos zonas recuperadas en 2007 y 2008 han mantenido una composición monoespecífica, una con una fluctuación de entre 25 y 50% de *G. chartaceum* y la otra con una cobertura de entre 15 y 35% de *P. icosandra*. El resto de la superficie fue sustrato basáltico desnudo.

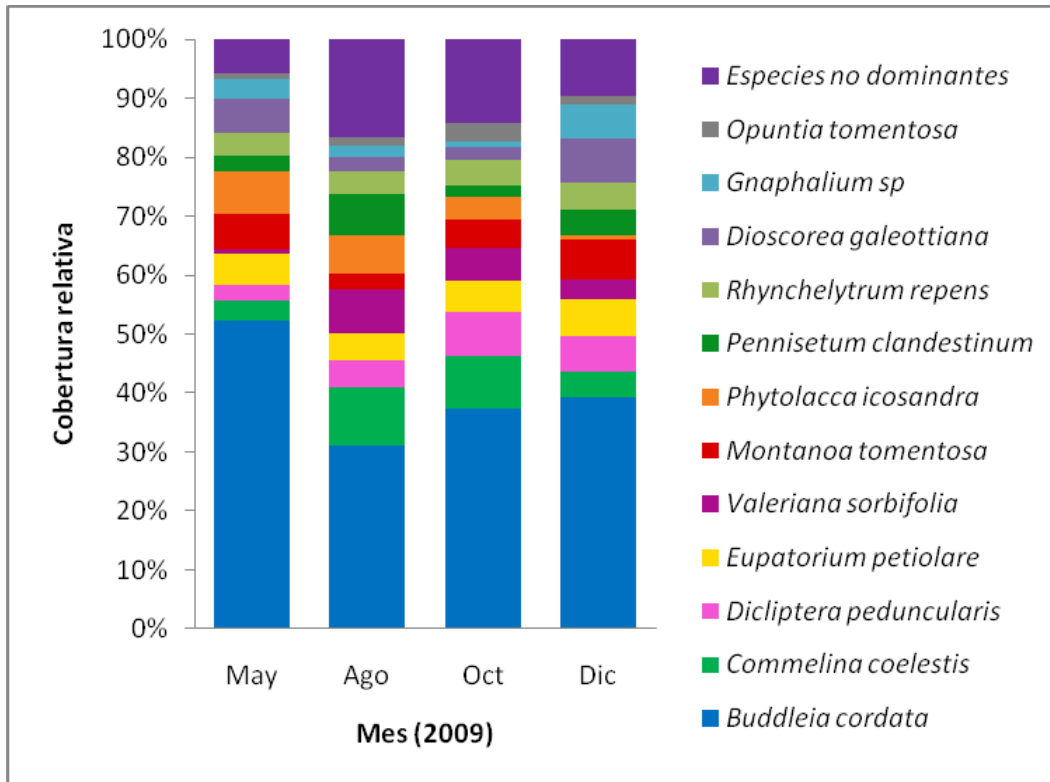


Figura 5.6. Cobertura vegetal relativa por especie en el sustrato basáltico recuperado en 2007, subzona “Dinosaurio”, durante el monitoreo de 2009.

V.3. Efecto de la introducción de semillas

En el análisis de componentes principales (figura 5.7) se encuentra que el componente principal 1 (CP1) explica el 23.79% de la varianza, en tanto que el CP2 explica un 17.79%. Los cuadros control se encuentran en general separados de los cuadros experimentales sujetos a adición de semillas, con excepción del cuadro control 2 (C-2), que se encuentra cerca de los cuadros experimentales E-4 y E-2 (figura 5.7). Las especies que registraron una mayor cobertura dentro de los cuadros experimentales fueron: *M. tomentosa*, *B. cordata*, *M. jalapa*, *C. ciscyoides*, *P. clandestinum* y *D. coccinea*, de las

cuales, sólo esta última coincide con las especies de las cuales se adicionaron semillas a los cuadros; por su parte, las que presentaron mayor cobertura en los cuadros control fueron: *M. tomentosa*, *C. ciscoyoides*, *B. cordata*, *D. coccinea*, *M. robusta* y *M. jalapa*.

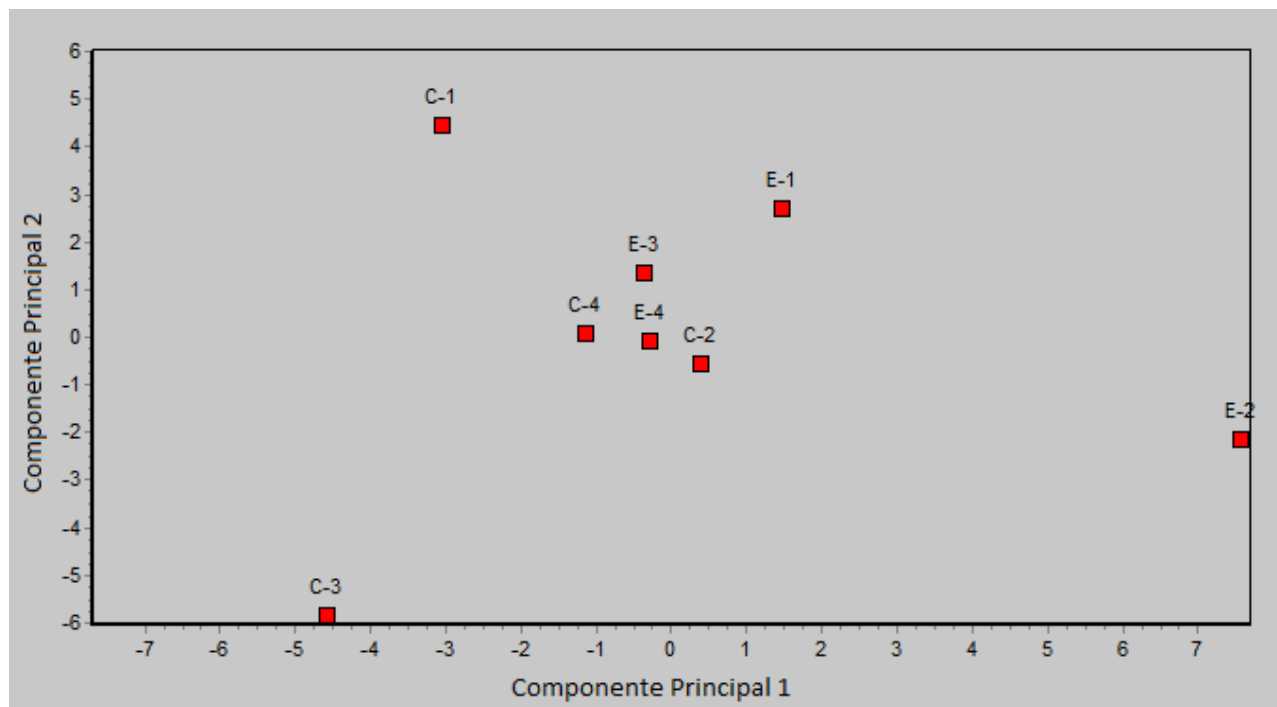


Figura 5.7. Análisis de componentes principales de las comunidades vegetales de los cuatro cuadros control (C) y de los cuatro experimentales (E).

La tabla 5.3 muestra las especies observadas, en cuadros control, y en cuadros experimentales, mientras la figura 5.8 muestra las coberturas relativas.

Tabla 5.2. Especies vegetales consideradas en la adición de semillas, observadas en cuadros control (sin adición de semillas) y en cuadros experimentales (sujeto a la adición de semillas). Los detalles del tipo de planta y la familia botánica se indican en la Tabla 5.1.

Especie	Considerada en la adición de semillas	Presencia en cuadros control	Presencia en cuadros experimentales
<i>Arracacia toluensis</i>	✓		✓
<i>Asclepias linaria</i>			✓
<i>Baccharis sordescens</i>	✓	✓	
<i>Bidens odorata</i>		✓	
<i>Bouvardia ternifolia</i>	✓	✓	✓
<i>Buddleia cordata</i>		✓	✓
<i>Cardiospermum, halicacabum</i>	✓		✓

Espece	Considerada en la adición de semillas	Presencia en cuadros control	Presencia en cuadros experimentales
<i>Cissus sicyoides</i>		✓	✓
<i>Commelina diffusa</i>		✓	✓
<i>Cynanchum kunthii</i>			✓
<i>Cyperus manimae</i>		✓	✓
<i>Dahlia coccinea</i>	✓	✓	✓
<i>Dicliptera peduncularis</i>		✓	✓
<i>Dioscorea galeotiana</i>	✓	✓	✓
<i>Echeveria gibbiflora</i>	✓	✓	
<i>Eucalyptus camaldulensis.</i>		✓	
<i>Eysenhardtia polystachya</i>			✓
<i>Geranium seemannii</i>		✓	✓
<i>Gnaphalium americanum</i>		✓	
<i>Ipomoea cristulata</i>			✓
<i>Ipomoea purpurea</i>	✓	✓	✓
<i>Iresine diffusa</i>		✓	
<i>Jaltomata procumbes</i>		✓	✓
<i>Lantana velutina</i>	✓	✓	✓
<i>Loeselia mexicana</i>			✓
<i>Mirabilis jalapa</i>		✓	✓
<i>Montanoa tomentosa</i>		✓	✓
<i>Muhlenbergia robusta</i>	✓	✓	
<i>Opuntia tomentosa</i>	✓	✓	✓
<i>Oxalis lunulata</i>		✓	✓
<i>Passiflora subpeltata</i>		✓	✓
<i>Pennisetum clandestinum</i>		✓	✓
<i>Penstemon campanulatus</i>		✓	
<i>Phytolacca icosandra</i>		✓	✓
<i>Plumbago pulchella</i>	✓	✓	✓
<i>Polypodium thyssanolepis</i>		✓	
<i>Rhynchelytrum repens</i>		✓	
<i>Salvia mexicana</i>	✓		✓
<i>Salvia tilifolia</i>	✓	✓	✓
<i>Schinus molle</i>			✓
<i>Senecio praecox</i>		✓	✓
<i>Stevia micantha</i>	✓	✓	
<i>Tagetes lunulata</i>	✓	✓	✓
<i>Valeriana sorbifolia</i>			✓
<i>Verbesina virgata</i>	✓	✓	✓
<i>Zephyrantes concolor</i>		✓	✓
<i>Zinnia peruviana</i>			✓

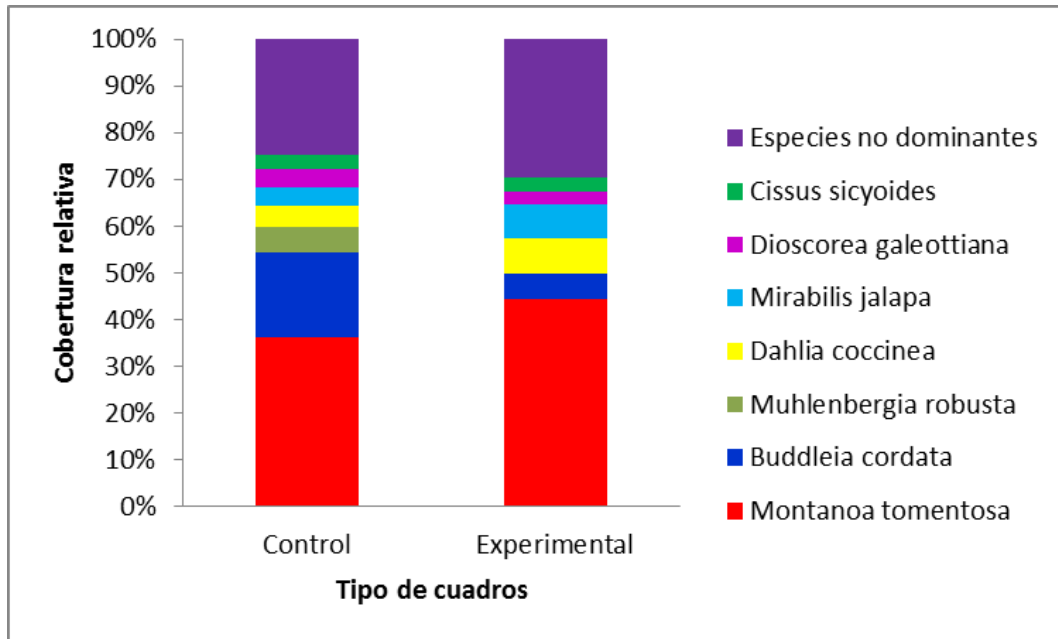


Figura 5.8. Cobertura vegetal relativa por especie en cuadros control (sin adición de semillas) y experimentales (sujetos a la adición de semillas).

Doce especies de las registradas en los cuadros experimentales no fueron observadas en los cuadros control, las cuales fueron *Schinus molle*, *Eysenhardtia polystachya*, *Loeselia mexicana*, *Passiflora subpeltata*, *Salvia mexicana*, *Cardiospermum halicacabum*, *Zinnia peruviana*, *Cynanchum kunthii*, *Ipomoea purpurea*, *Valeriana sorbifolia*, *Asclepias linaria* y *Arracacia toluensis*.

V.4. Seguimiento de las plántulas introducidas de 2005 a 2007

Con base en el monitoreo de las plántulas de las cuatro especies nativas introducidas en el sitio en etapas anteriores de acciones de restauración, se registraron las características de los 16 individuos sobrevivientes. El mayor número de individuos (cinco) fue de *Opuntia tomentosa*, seguida de *D. coccinea*, con cuatro individuos (tabla 5.2). Dado que se introdujeron en total 1,014 plántulas, 317 de *D. coccinea*, 252 de *D. viscosa*, 80 de *O. tomentosa*, 94 de *Senecio praecox*, 173 de *M. scabra* y 98 de otras; y se tienen 16 individuos de las especies restantes, se calcula que la supervivencia global fue de 1.6%.

Tabla 5.3. Porcentaje de supervivencia, altura (cm \pm e.e.) y cobertura (cm² \pm e.e.) de las plantas introducidas entre 2005 y 2007 en la zona A8 sujeta a restauración. Datos de agosto de 2010. Los valores del rango se presentan entre paréntesis.

Especie	No. plántulas introducidas 2005-2007	No. de individuos sobrevivientes	Supervivencia (%)	Altura (cm \pm e.e)	Cobertura (cm ² \pm e.e.)
<i>Dahlia coccinea</i>	317	4	1.3	95.1 \pm 7.8 (78-113)	745 \pm 327 (177-1573)
<i>Dodonaea viscosa</i>	252	3	1.2	87.5 \pm 16.9 (67-121)	2093 \pm 1406 (573-4902)
<i>Opuntia tomentosa</i>	80	5	6.2	29.1 \pm 5.1 (12.5-42)	122 \pm 38 (28-227)
<i>Senecio praecox</i>	94	1	0.1	27.0	792
<i>Manfreda scabra</i>	173	3	1.7	14.5 \pm 1.9 (11.5-18)	995 \pm 681 (234-2354)
<i>Brickellia veronicifolia</i>	33	0	0		
<i>Cardiospermum halicacabum</i>	6	0	0		
<i>Eupatorium petiolare</i>	8	0	0		
<i>Verbesina virgata</i>	51	0	0		
Total	1014	16	1.6		

V.5. Densidad poblacional de los artrópodos

Se encontró un efecto significativo del tipo de sitio ($F_{1,190} = 58.12$, $P < 0.01$), del mes de muestreo ($F_{4,190} = 7.4$, g.l. = 4, $P < 0.001$) y de la interacción del sitio \times mes ($F_{4,190} = 5.78$, $P < 0.001$) sobre la densidad de *S. purpurascens* (tabla 5.3). La densidad de chapulines fue significativamente más alta en la zona de amortiguamiento A8 en el mes de agosto (7.3 ± 1.7 ind/m²), en tanto que la menor abundancia (0.15 ± 0.08 ind/m²) fue encontrada en la Zona Núcleo en el mes de diciembre. La

densidad de individuos se reduce conforme avanza la temporada en el Área sujeta a restauración, no así en la Zona Núcleo, que se mantiene constante (Figura 5.9).

Por otro lado, hubo un efecto significativo del sitio de muestreo ($F_{1,190} = 8.89$, $P = 0.003$), pero no del mes de colecta ($F_{4,190} = 0.47$, $P = 0.76$), ni de la interacción sitio \times mes ($F_{4,190} = 0.62$, $P = 0.65$) sobre la densidad de *N. oaxacensis*. Esta densidad fue significativamente más alta en la zona de amortiguamiento A8 (0.14 ± 0.08 ind/m² en promedio) que en la Zona Núcleo de referencia (0.02 ± 0.02 ind/m² en promedio) (figura 5.10).

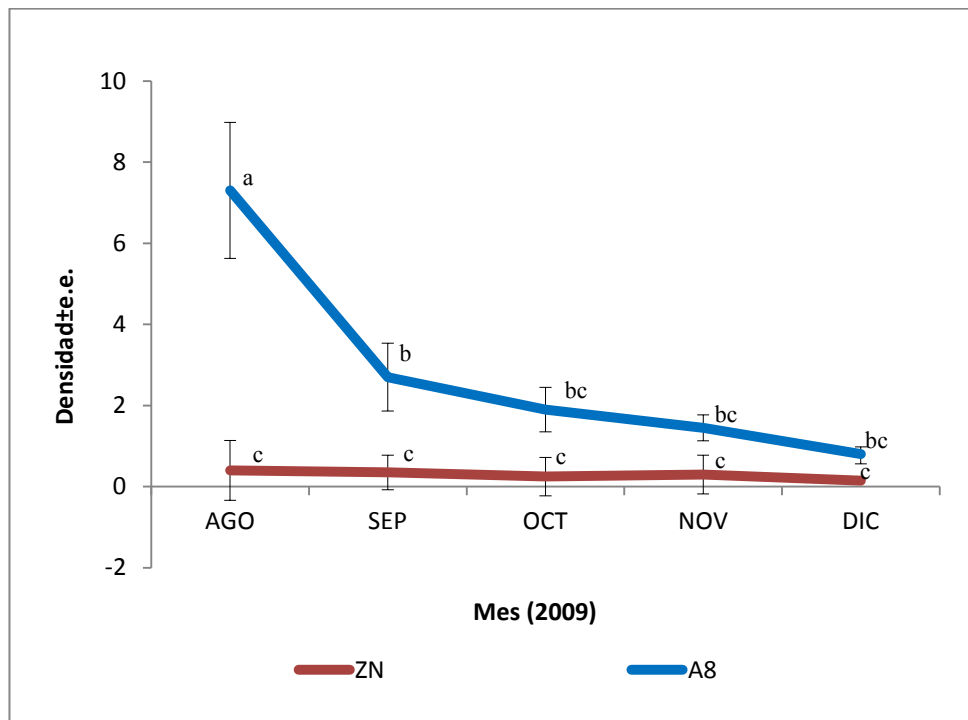


Figura 5.9. Comparación de la abundancia de chapulines *Sphenarium purpurascens* en la zona de amortiguamiento A8 y en la Zona Núcleo en cuatro meses de monitoreo. Las letras diferentes denotan diferencias significativas con $P < 0.05$ (prueba de Tukey). Datos de 2009.

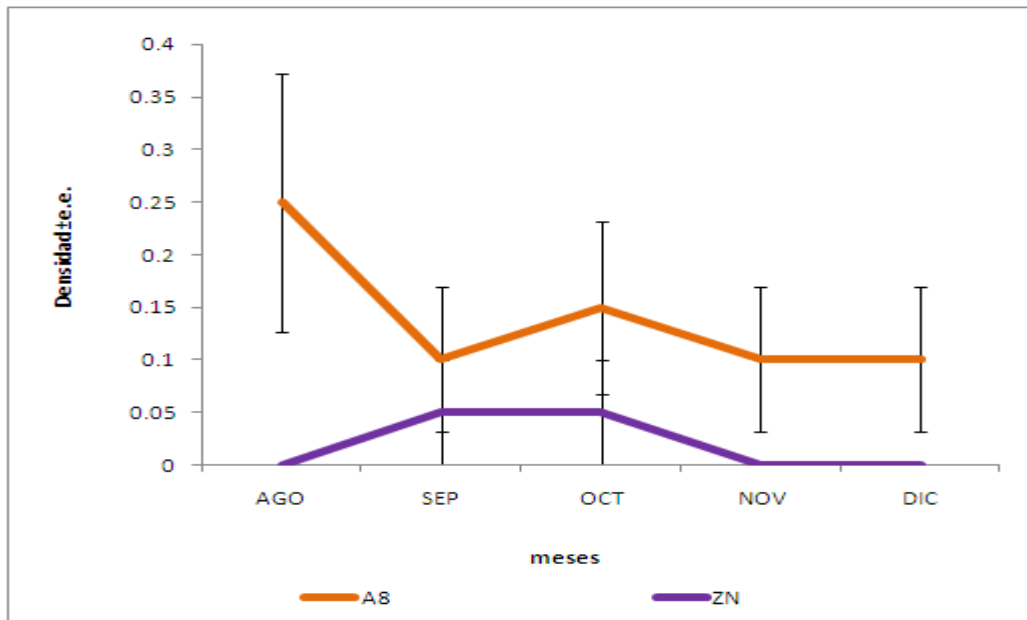


Figura 5.10. Comparación de la abundancia de araña *Neoscona oaxacensis* en la zona de amortiguamiento A8 y en la Zona Núcleo en cuatro meses de monitoreo. Datos de 2009.

V.6. Estimación de costos de las actividades de restauración ecológica

El costo estimado de las actividades de restauración ecológica realizadas durante el año 2009 en la porción noreste de la zona A8 de la REPSA, fue de \$ 97,466.11 (noventa y siete mil cuatrocientos sesenta y seis pesos 11/100 M.N.). Este costo incluyó el equipo, los materiales y los gastos generados por las actividades relacionadas con las jornadas de limpieza, la difusión de la información sobre las actividades de restauración, la delimitación del área sujeta a acciones de restauración, así como el retiro de material extraño al sitio por medio de maquinaria semi-pesada (tabla 5.4).

Tabla 5.4. Estimación de los costos de las actividades de restauración ecológica.

Actividad	Subactividad	Precio Total (M.N.)	Apoyo institucional
Difusión	Carteles informativos	\$996.00	F.C. ¹
Delimitación área de restauración	Impresión de lonas	\$500.00	F.C. ¹
Jornadas de limpieza	Mano de obra	\$4,168.64	Voluntarios ²
	Viveres para mano de obra	\$4,767.97	F.C. ¹
	Transporte de residuos	\$12,800.00	D.G.S.G. ³
	Herramientas	\$16,233.50	F.C. ¹
Retiro de material con maquinaria semi-pesada	Movimiento de materiales	\$15,000.00	I.E. ⁴ , I.B. ⁵ , SEREPSA ⁶
	Transporte de materiales	\$43,000.00	I.E. ⁴ , I.B. ⁵ , REPSA ⁶
Total		\$97,466.11	

¹ F.C.: Facultad de Ciencias, UNAM

² Voluntarios: calculado con base en el salario mínimo 2010, considerando las horas totales de trabajo y divididas entre 8 horas.

³ D.G.S.G.: Dirección General de Servicios Generales, UNAM.

⁴ I.E.: Instituto de Ecología, UNAM.

⁵ I.B.: Instituto de Biología, UNAM.

⁶ SEREPSA: Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

VI. DISCUSIÓN

VI.1. Restauración ecológica

Los procesos de restauración ecológica buscan la recuperación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas degradados por impactos ambientales, a través de acciones dirigidas a este propósito (SER 2004). De acuerdo con Miller y Hobbs (2007), estos objetivos se encuentran restringidos por los aspectos ecológicos, sociales y económicos con los que el ecosistema a restaurar se encuentra relacionado.

En el caso de la REPSA, particularmente en la parte noreste de la zona de amortiguamiento A8, la cual es el objeto de estudio del presente trabajo, existen ciertos elementos que representan restricciones para el cumplimiento de las actividades de restauración ecológica que aquí se han llevado desde 2005 (Antonio-Garcés 2008 y Antonio-Garcés *et al.* 2009), mismas que se describen a continuación.

Las restricciones a los objetivos de la restauración de tipo ecológicas, se refieren a la delimitación de lo que es posible lograr como resultado de las acciones, ya que la mayor parte de las especies y los ecosistemas se desarrollan dentro de límites físicos bien definidos (Miller y Hobbs 2007). El proceso de origen de la REPSA, a partir del enfriamiento diferencial de lava después de la erupción de Ixtle (Martín de la Pózo 1995), generó una alta variabilidad microambiental que ofrece condiciones adecuadas para el desarrollo de especies con requerimientos ecofisiológicos muy variados y propicia el establecimiento de un ecosistema con grandes diferencias en la composición florística (Álvarez *et al.* 1982; Cano-Santana 1994a); lo que sugiere que esta Reserva es un sistema con estructura y funcionamiento complejos, de difícil comprensión, y que, por ende, plantea dificultades propias para su recuperación después de algún disturbio. Otra restricción ecológica se relaciona con la ubicación del mismo, ya que la zona de amortiguamiento A8 es un fragmento relativamente alejado de las zonas más conservadas de la reserva, que están localizadas en las zonas

núcleo; aspecto que dificulta la recolonización y el flujo génico de la flora y fauna nativas, ya que la fragmentación de los ecosistemas no sólo reduce el tamaño de las poblaciones, sino que altera su estabilidad al interponer entre sus elementos barreras físicas que llegan a derivar en barreras para el flujo génico (Sánchez *et al.* 2005).

Un factor restrictivo de tipo social, que de acuerdo con Miller y Hobbs (2007) este tipo de restricciones marca los límites de lo que es aceptable, fue la naturaleza de los disturbios a los que esta Reserva es tá sujeta, los cuales se originaron desde la segunda mitad de los siglos XX, cuando el desarrollo urbano de la ciudad de México alcanzó el área del pedregal con proyectos como Ciudad Universitaria y del fraccionamiento conocido como el Pedregal, iniciándose así un proceso muy rápido e intenso de destrucción y fragmentación de los sistemas ecológicos (Castillo-Agüero *et al.* 2004). Específicamente, en la zona de amortiguamiento A8 estos impactos se han presentado de manera continua desde 2005, siendo los más importantes la acumulación de materiales ajenos a la naturaleza del pedregal (cascajo y residuos de jardinería), así como la introducción y colonización de elementos vegetales de especies no nativas de este tipo de matorral xerófilo, los cuales son agentes de disturbio que se presentaron de manera continua durante un tiempo considerable.

Entre algunos otros, SER (2006) reconoce como principios de la buena práctica de restauración tratar las causas en vez de los síntomas de la degradación, es por esto que las actividades descritas en el presente trabajo (Sección IV.2) se encaminaron, como lo recomiendan Antonio-Garcés (2008) y Antonio-Garcés *et al.* (2009), a la remoción de los agentes bióticos y abióticos que representan el principal disturbio para este sitio.

A pesar de estas restricciones, se sabe que incluso los matorrales altamente degradados pueden ser al menos parcialmente restaurados (Cabin *et al.* 2002), aun cuando esto implique una alta inversión de tiempo, dinero y esfuerzo, por lo que los métodos a seguir deben buscar los mejores y más eficientes resultados de recuperación de estructura y funcionamiento del ecosistema y, en caso de ser necesario, ser corregidos con base en los resultados que el monitoreo arroje (SER, 2006). El

análisis de las restricciones económicas debe ir en torno al presupuesto con el que se cuenta, la relación del costo con respecto al beneficio que se espera obtener, así como los costos de mantenimiento de las acciones a ejecutar (Miller y Hobbs 2007). Parte de las actividades realizadas para completar este periodo de acciones de restauración ecológica en la porción noreste de la zona de amortiguamiento 8 contempló la gestión y difusión, mediante entrevistas, oficios, carteles y cartas, para contar con el apoyo económico y logístico de diversas instancias universitarias y voluntarios para realizar las jornadas periódicas de limpieza al retirar el material por medio de maquinaria semi-pesada y las facilidades para realizar el resto de las labores de monitoreo (tabla 5.4); por lo que cabe recalcar que dentro de la planeación de los objetivos y métodos de las actividades de restauración, la gestión de los recursos tuvo un papel relevante, ya que las actividades que se pudieran realizar estuvieron limitadas por este factor.

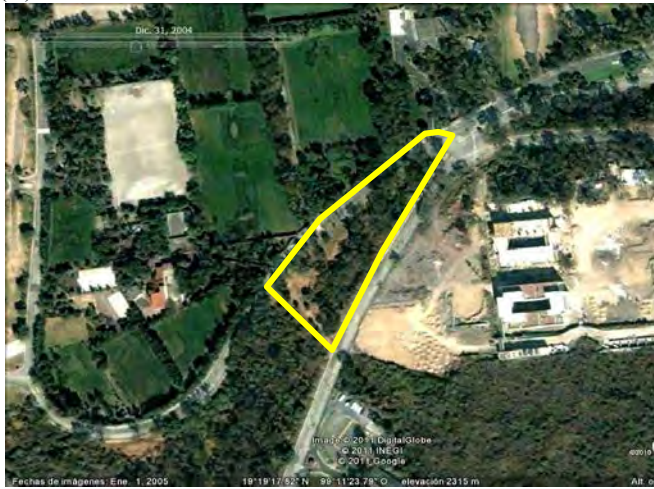
A continuación se presenta un análisis de los cambios a través del tiempo en el sitio, realizado con la ayuda de la herramienta informática *Google Earth*®, mediante las imágenes históricas satelitales (figura 6.1), el cual permite observar el proceso de cambio dentro del área sujeta a acciones de restauración, así como el desarrollo de la urbanización en las zonas colindantes, principalmente por la construcción del Instituto de Investigaciones Biomédicas, lo que representa presión ambiental en la zona que se suma a la ejercida por las canchas ubicadas al noroeste y las vialidades circundantes.

(A)

(B)



(C)



(D)



(E)

Figura 6.1. Imágenes satelitales del sitio bajo acciones de restauración. (A) 31 de enero de 2001, (B) 4 de marzo de 2003, (C) 31 de diciembre de 2004, (D) 16 de febrero de 2007 y (E) 28 de diciembre de 2009.

VI.2. Indicadores

La restauración ecológica exitosa de un ecosistema requiere de la comprensión fundamental de las características ecológicas de las especies que lo componen, así como de la forma en las que se ensamblan, interactúan y funcionan como una comunidad (Bradshaw 1987; Pywell y Putwain 1996). Los indicadores ecológicos reflejan el impacto de cambios ambientales sobre el hábitat, comunidad o ecosistema (Tejeda-Cruz *et al.* 2008). En este sentido, en los proyectos de restauración ecológica los indicadores pueden ser útiles cuando se aplican para caracterizar el estado de avance, así como algunas condiciones abióticas del ecosistema (Adel y Aronson 2006). De hecho, los indicadores tienen varios propósitos (Carins *et al.* 1993), entre los que destaca que pueden ser usados para monitorear y evaluar el estado del ambiente o para medir las tendencias de sus condiciones a través del tiempo (Dale y Beyeler 2001; Adel y Aronson 2006), y es en este contexto cuando son llamados indicadores de rehabilitación de los ecosistemas (Sánchez *et al.* 2005).

Dale y Beyeler (2001), con base en las discusiones de Landres *et al.* (1988), Kelly y Harwell (1990), Cairns *et al.* (1993) y Lorenz *et al.* (1999), sugieren que los indicadores ecológicos deben cumplir con los siguientes criterios: (1) ser medibles y comparables, (2) ser sensibles a las presiones del medio, (3) responder al estrés de manera predecible, (4) ser predictivos de los cambios que pueden ser evitados por las medidas de manejo, (5) ser integradores, (6) tener una respuesta conocida a los disturbios, y (7) tener baja variabilidad de respuesta.

Para monitorear los efectos de las actividades de restauración ecológica en la porción noreste de la zona A8, se emplearon tres indicadores para conocer los efectos de las actividades de restauración ecológica: (1) la estructura de la comunidad vegetal, a través de la cobertura relativa de cada especie, (2) la densidad poblacional del oróptero *S. purpurascens* y (3) la densidad poblacional de *N. oaxacensis*; debido a que ambos animales cumplen con los requerimientos arriba descritos. Es decir, se puede inferir información a través de ellos sobre los cambios en el estado de algunos factores

abióticos, así como sobre el curso de las interacciones tróficas como consecuencia de las actividades llevadas a cabo.

La selección de estos elementos del ecosistema para conocer los efectos de las acciones de restauración ecológica permitió no sólo conocer los cambios en el periodo de monitoreo correspondiente con el presente trabajo, sino comparar éstos con los registrados en años anteriores.

VI.3. Estructura de la comunidad vegetal

Con base en los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto iniciado en 2005, se ha tenido un cambio notable en la comunidad vegetal, sobre todo en la estructura (figura 6.1), teniendo cada vez una mayor cobertura relativa de las especies no dominantes, a pesar de las fluctuaciones estacionales.

Cabin *et al.* (2002) evaluaron el efecto de cuatro tipos de tratamiento de control de especies vegetales exóticas en el establecimiento de especies nativas y la supresión de una especie invasiva de pasto, para la restauración de matorrales sobre sustrato volcánico en la reserva de Kaupulehu, Hawaii; obteniendo que el método más drástico o radical, que consistió en la remoción completa de las plantas exóticas, por medio del uso de maquinaria pesada (retro-tractor Caterpillar de hoja D-8), tuvo mejores resultados. Esto es consistente con los resultados registrados de mayo a agosto de 2009 (figura 5.1), ya que en junio de este año se introdujo una retroexcavadora que retiró una gran cantidad de material extraño, actividad que fue complementada con una jornada de limpieza, lo que aumentó la superficie de sustrato basáltico rescatado por recuperación, la cual es una acción considerada como primera premisa por Antonio-Garcés (2008) y Antonio-Garcés *et al.* (2009) para la restauración de pedregales, ya que permite la colonización de un mayor número de individuos de un mayor número de especies, nativas principalmente, al recuperar una de las condiciones a las que están adaptadas y que fueron alteradas por los disturbios en el sitio.

En la figura 6.2 se muestran los cambios en la cobertura relativa por especie de marzo de 2005 a diciembre de 2009 en la zona A8, en la que se puede observar que ha sido consistente la dominancia de *P. clandestinum* y *M. tomentosa* a lo largo de los monitoreos, excepto en el registro de marzo de 2005, en el que la especie con mayor cobertura relativa fue *E. camaldulensis*, condición que cambió después de que se retiró el 84% de eucaliptos de la zona.

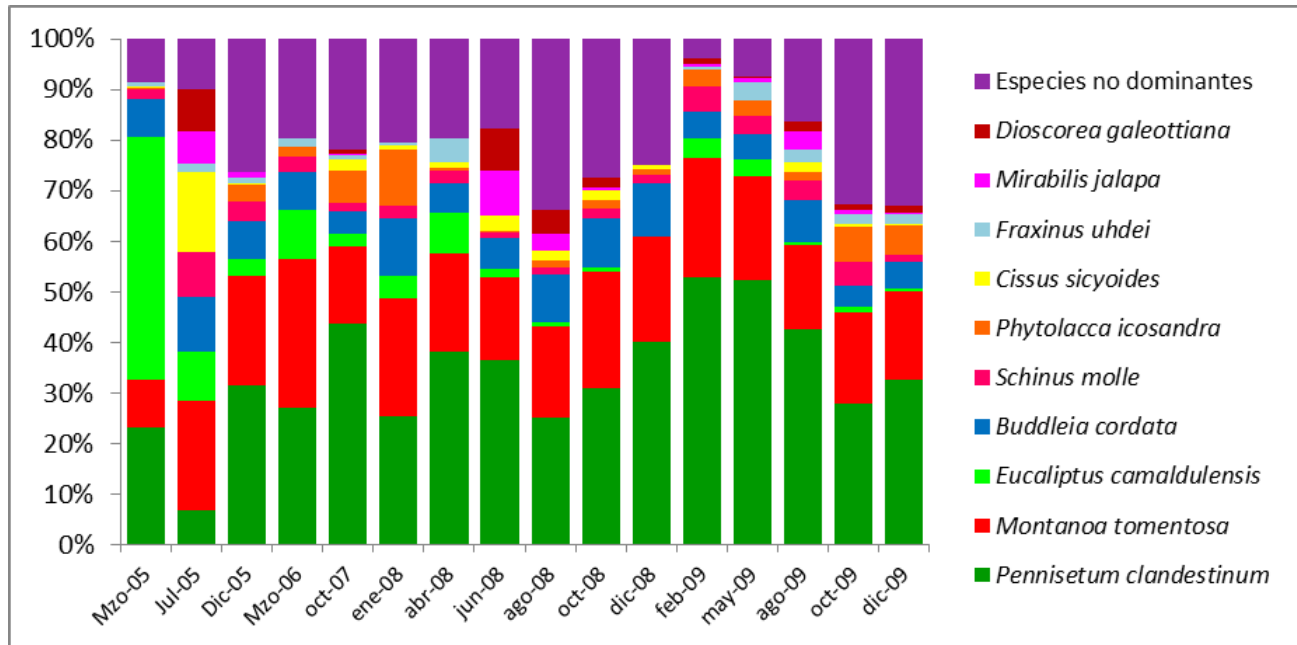


Figura 6.2. Cambios en la cobertura relativa por especie de la zona A8 de la REPSA sujeta a acciones de restauración ecológica de marzo de 2005 a diciembre de 2009.

VI.3.1. Especies dominantes

Durante el periodo de monitoreo de 2009 se observó una dominancia de la especie exótica *P. clandestinum* en la zona Noreste de la zona A8 (figura 5.1), misma que se presentó en los registros anteriores, desde 2005 (figura 6.2). *P. clandestinum* es una gramínea perenne rastrera perteneciente a la sub-familia Panicoideae (García *et al.* 1975) originaria de las áreas de pastizales de las alturas del África Oriental, y que fue introducida como cultivo forrajero en varias zonas tropicales y subtropicales (Helfgott 1996). Thompson *et al.* (2001) reconocen el éxito relativo de las gramíneas

comparado con el de las especies herbáceas en las comunidades vegetales restauradas, y que es debido a los rasgos asociados con ellas, dentro de los que destacan la forma de crecimiento clonal, lo que disminuye el riesgo de mortalidad de las plantas, así como la posición de los rizomas por debajo o cerca de la superficie del suelo, lo que las hace evadir el ataque de los grandes herbívoros que atacan desde la superficie, del mismo modo que, en general, son plantas que toleran la defoliación constante, debido a que los meristemos se encuentran protegidos (Pewel *et al.* 2003). Particularmente, *P. clandestinum* se reproduce mediante (1) semillas que pueden permanecer viables en el suelo por más de 10 años (García *et al.* 1975); aunque en la REPSA no las producen; (Z. Cano-Santana, com. pers.), (2) rizomas que pueden penetrar en el suelo hasta una profundidad de 20-30 cm, y (3) estolones que generalmente producen tallos erectos de 10 a 60 cm de altura (Helfgott 1996). Esto explica la persistencia de la dominancia de esta especie en el sitio sujeto a acciones de restauración ecológica, debido a que la presencia de sustrato no consolidado favorece la penetración de los rizomas. No hay datos que expliquen la ausencia de reproducción de esta especie en la REPSA.

En cuanto a *M. tomentosa*, la segunda especie con mayor cobertura vegetal registrada en los muestreos en el sitio en proceso de restauración ecológica, sí está reportada como nativa de la REPSA (Rojo y Rodríguez 2002), y a pesar de que tiene una clara dominancia en el sitio, su presencia no ha impedido la colonización de otras especies nativas, ya que la riqueza específica de las especies nativas ha aumentado gradualmente (figura 5.3B), además de la reducción de la cobertura de las especies exóticas en 22.1 puntos porcentuales (figura 5.3A).

VI.3.2. Subzonas recuperadas en 2007 y 2008

La comunidad vegetal del matorral xerófilo del derrame del Xitle no es la típica de este tipo de vegetación, debido principalmente a la gran altitud a la que se desarrolla y a la peculiaridad del sustrato volcánico (Rzedowski 1954; Rzedowski y Rzedowski 2001), por lo tanto, las especies que la componen es tan bien adaptadas a estas condiciones particulares. Las acciones de restauración

ecológica de 2007 lograron la recuperación del sustrato basáltico en una subzona dentro del área A8, la cual se denominó “Dinosaurio”. En esta subzona, la estructura de la comunidad vegetal (figura 5.6) es más parecida a la registrada en la Zona Núcleo de referencia (figura 5.2), lo que ratifica el éxito de la primera premisa propuesta por Antonio Garcés (2008) y Antonio-Garcés *et al.* (2009) para la restauración en pedregales la recuperación del sustrato basáltico. Esto también permite inferir el buen desarrollo de la restauración de toda la zona, ya que, como se muestra en la figura 5.5, el sustrato volcánico ha ido aumentando su cobertura respecto al material no consolidado a través de los registros de 2009.

Al comparar la estructura de la comunidad vegetal de la subzona “Dinosaurio” registrada durante los muestreos correspondientes al periodo de febrero de 2007 a febrero de 2008 (figura 6.3, Saucedo-Morquecho 2011), con los obtenidos durante 2009 (figura 5.6), se observa que, a pesar de ser c ambiante en tre m uestreo y m uestreo, es apreciable la d ominancia de *B. cordata*, especie secundaria que se pudo haber visto beneficiada por una fuente de semillas proporcionada por los individuos cercanos.

La baja diversidad vegetal de los sitios de sustrato basáltico recuperado en 2008 ($n = 2$ especies) puede deberse a su ubicación, ya que se encuentran, a diferencia de la subzona “Dinosaurio”, en la porción del sitio que las personas emplean para el paso durante las jornadas de restauración o como paso peatonal.

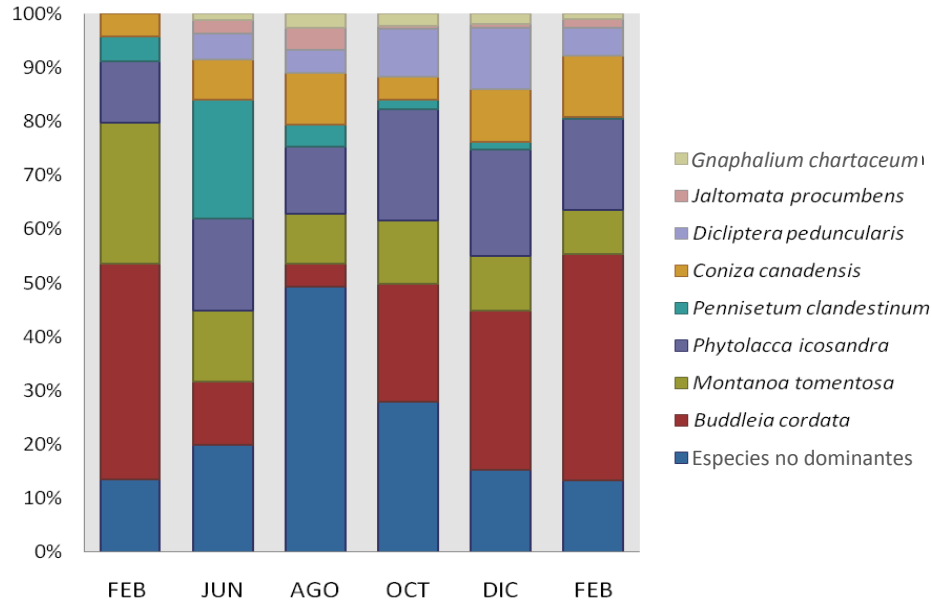


Figura 6.3. Porcentaje de cobertura vegetal por especie en el sustrato basáltico recuperado en 2007 de la subzona “Dinosaurio”. Datos de 2008 (Saucedo-Morquecho 2011).

VI.4. Densidad poblacional de los artrópodos

Los artrópodos terrestres son considerados como indicadores de la calidad del hábitat (Simonds *et al.* 1994) debido a los papeles esenciales que ejercen en los ecosistemas, como es en los procesos de herbivoría, polinización, detritivoría, mutualismo, depredación, parasitismo y como presas (Samways 2006), además de su rápida respuesta a los factores ambientales y las altas densidades en las que ellos mismos pueden establecerse (Williams 1993). El crecimiento del tamaño poblacional de artrópodos depende de manera importante de la cantidad y calidad de alimento disponible en el sitio sujeto a restauración (Williams 1997), por lo que esta variable representa un buen indicador del avance en la rehabilitación del sitio.

S. purpurascens es uno de los herbívoros principales en la reserva, ya que consume al menos 43 especies de plantas y les provoca altos niveles de daño como resultado de su actividad alimentaria, además de presentar altas densidades (23/m² en julio; Cano-Santana 1994 a; Camacho 1999);

Castellanos-Vargas 2001). Por su parte, *P. clandestinum* es un pasto que *S. purpurascens* consume desde sus primeros estadios ninfales (Castellanos-Vargas 2001), debido a que está considerado como uno de los pastos con mayor cantidad de nutrientes, con base en estudios dirigidos a la investigación de forrajes para el ganado (Fulkerson *et al.* 1998). Es por esto que la dominancia de este pasto observada durante los muestreos (figura 5.1), puede explicar la mayor densidad de chapulines observada en el área A8, en comparación con la Zona Núcleo de referencia (figura 5.8 y tabla 5.3), lo que confirma el estado prematuro de la rehabilitación de la zona en restauración, ya que lo que indicaría un estado más avanzado no es el mayor o menor tamaño de las poblaciones, sino la similitud con el número que en la zona de referencia se encuentre.

La importancia de *N. oaxacensis*, por su parte, radica en presentar una elevación de densidad poblacional en la REPSA durante la temporada de lluvias, por lo que puede ser considerada, junto con su actividad depredadora, como un elemento regulador de las poblaciones de insectos, incluyendo a *S. purpurascens* (Cano-Santana 1994a; Martínez-Jasso 2002). La densidad de este arácnido es significativamente mayor en la zona sujeta a restauración ecológica respecto a la de referencia (figura 5.10), lo que puede deberse a los fenómenos con los que anteriormente se explicaron sobre las poblaciones más densas de *S. purpurascens*, pues tiene que ver con la mayor disponibilidad de recursos alimenticios por la presencia de especies favorecidas por los disturbios, en un claro efecto ascendente de la riqueza nutricional de *P. clandestinum*.

VI.5. Efecto de la introducción de semillas

En las actividades de restauración ecológica, la adición de semillas se utiliza a menudo para vencer la limitación de la dispersión (Pywell *et al.* 2002), y por permitir la comprensión de los mecanismos que determinan la variación en el establecimiento, la persistencia y el tamaño de las poblaciones de las especies introducidas (Pywell *et al.* 2003). En general, la capacidad de colonización de la vegetación es importante en el desarrollo de la comunidad restaurada, una vez que el suelo ha sido rehabilitado

(Richard *et al.* 2003), lo cual determina el rumbo de un proceso de sucesión, de regeneración natural o de restauración ecológica. Es por eso que en muchos estudios de restauración ecológica a corto y mediano plazo buscan la recolonización de las especies nativas, a través de la adición de semillas como parte de la segunda etapa de restauración, una vez que el sustrato recupera los elementos que lo caracterizaron antes del disturbio (Bakker *et al.* 1996).

Al realizar el diseño de un experimento de campo es importante tomar en cuenta la similitud de las condiciones ambientales entre los sitios de muestreo experimentales y control durante su elección, para así evitar que variables ajenas de difícil identificación, conocidas como *ruidosas*, sean las causantes de las diferencias existentes entre ellos (Ramírez 2006). La falta de un efecto inmediato evidente de la introducción de semillas en el sitio sujeto a acciones de restauración en la zona de amortiguamiento A8, reflejada en el diagrama del análisis de componentes principales (figura 5.7) pudo deberse a que el método no fue empleado como parte de una segunda fase del proyecto de restauración, ya que el sustrato volcánico no estaba completamente recuperado en las parcelas en las que las semillas fueron introducidas, incluso se observó la presencia de *P. clandestinum* como la cuarta especie con mayor cobertura dentro de los cuadros experimentales. Adicionalmente, y a causa de lo anterior, los cuadros carecieron de condiciones homogéneas al inicio del experimento de campo, ya que se situaron en sitios con vegetación previamente establecida. La vegetación ya existente pudo haber generado condiciones de competencia distintas en cada uno. De esta forma, las semillas introducidas no tuvieron las mismas oportunidades de sobrevivencia y desarrollo que las que ya estaban en el suelo, por lo que se puede decir que al diseño del experimento le faltó control sobre las variables ambientales asociadas a las parcelas y el desarrollo de la vegetación. Por otro lado, se puede considerar como una fortaleza de este proyecto considerar la viabilidad inicial que en realidad tienen las parcelas seleccionadas.

No obstante, se debe tomar en cuenta que de las once especies encontradas en los cuadros experimentales que no fueron observadas en los cuadros que no fueron sujetos al tratamiento de

adición de semillas, tres coinciden con las empleadas para esta acción (*Arracacia toluensis*, *Cardiospermum halicacabum* y *Salvia mexicana*), lo que sugiere el éxito de estas especies en su establecimiento después de su introducción en el sitio. Sería de gran interés para estudios futuros entender la biología de la germinación de las plantas nativas pioneras del Pedregal de San Ángel.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente con base en los resultados obtenidos y analizados en el presente trabajo:

1. A pesar de que *P. clandestinum* es la especie que domina en cuanto a su cobertura relativa, las acciones de restauración llevadas a cabo en el sitio de estudio han controlado su crecimiento.
2. *M. tomentosa* sigue siendo la especie nativa con mayor cobertura relativa en el sitio, a pesar de no registrar esta dominancia en el sitio de la Zona Núcleo de referencia.
3. Hubo un aumento en la riqueza de especies no arvenses dentro del sitio de estudio, sujeto a acciones de restauración ecológica, lo que sugiere un proceso de colonización de especies nativas, a pesar de la lejanía del sitio de las zonas más conservadas de la REPSA.
4. Las acciones de restauración dirigidas a la recuperación de sustrato basáltico facilitan la colonización y establecimiento de un mayor número de plantas de especies nativas, ya que son mejores competidoras en estas condiciones.
5. La zona sujeta a acciones de restauración probablemente no ha recuperado su estructura trófica natural, ya que las poblaciones de *S. purpurascens* y *N. oaxacensis* aún presentan abundancias más altas a las registradas en la zona de referencia, ya que se benefician, directa o indirectamente, de la presencia de *P. clandestinum* como recurso alimenticio.
6. La búsqueda del desarrollo de la comunidad vegetal sobre el sustrato basáltico desnudo facilita la recuperación de la estructura original, tal como se observó en la subzona denominada “Dinosaurio”, recuperada en 2007.
7. El tratamiento de introducción de semillas no tuvo un efecto evidente durante el experimento de campo, posiblemente debido a que se aplicó en parcelas con vegetación establecida previamente y sin sustrato basáltico recuperado.

Por otro lado, dada la experiencia obtenida se formulan las siguientes recomendaciones:

1. Eliminar los elementos vegetales exóticos como *P. clandestinum* no es suficiente para la recuperación de la estructura de la comunidad vegetal, es necesario buscar la recuperación del sustrato basáltico para su erradicación.
2. Buscar la recuperación de sitios como la zona A 8, relativamente pequeños, permite adquirir conocimientos sobre la respuesta del ambiente ante las acciones de restauración, por lo que, de ser necesario, se podrán emplear las más exitosas en áreas más grandes.
3. Las acciones de restauración ecológica más drásticas que ayuden a recuperar las condiciones ambientales bióticas y abióticas originales, generan cambios en la estructura de la comunidad vegetal hacia la recuperación, siendo ésta cada vez más parecida a la zona de referencia. Sin embargo, es necesario realizar monitoreos a largo plazo para poder asegurar que el patrón observado en esta zona se repite en otras con disturbios equivalentes.
4. Un estudio de efecto de la introducción de semillas de especies nativas podría ser viable, mientras que el sustrato en el que se realice esté recuperado, libre de elementos ajenos, para que el tratamiento sea comparado con la colonización por medios naturales, y mientras se cuente con suficiente información del comportamiento de los propágulos sexuales y vegetativos de las especies cuya introducción y establecimiento se busca.
5. Las jornadas de restauración no sólo resultan una herramienta útil para la recuperación ambiental del sitio al ofrecer la posibilidad de extracción de materiales ajenos que no podrían ser retirados de otra forma por las características del terreno, sino también fungen como método de acercamiento de la comunidad universitaria con la restauración ecológica y con la REPSA.
6. La gestión interinstitucional es básica para el desarrollo de este tipo de actividades, ya que representan la posibilidad de obtener apoyo logístico y económico para el desarrollo del proyecto.

El deterioro en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas a causa del desarrollo de las actividades humanas es evidente. La búsqueda de alternativas que prevengan o mitiguen estos efectos

negativos es útil para frenar el deterioro, sin embargo, el nivel de disturbio alcanzado requiere de acciones que no sólo lo frenen, sino que lo reviertan, recuperando así en los distintos ambientes naturales, tanto el valor intrínseco de los elementos que los conforman, como los servicios ambientales que aportan al bienestar humano a través de los procesos que en ellos ocurren. A pesar de ser precisamente éste el objetivo principal de la restauración ecológica, la tasa a la que el deterioro avanza supera a la que esas acciones tienen efecto. Para acelerar este proceso se requiere implementar acciones cada vez más eficientes, que tengan mejores resultados con una menor inversión de tiempo dinero y esfuerzo, para lo cual se requiere invertir en investigar más sobre los procesos involucrados, desde el desarrollo natural u original del ecosistema, la evolución del deterioro, hasta los efectos de las diversas acciones que se puedan implementar para cada tipo de ecosistema y cada tipo de disturbio.

La restauración ecológica constituye una actividad muy importante para frenar el deterioro ecológico que sufren los ecosistemas naturales, en busca de mantener los servicios ambientales que éstos nos prestan.

LITERATURA CITADA

- Álvarez S., F.J., J. Carabias-Lillo, J. Meave del Castillo, P. Moreno-Casasola, D. Nava-Fernández, F. Rodríguez-Zahar, C. Tovar-González y A. Valiente-Banuet. 1982. *Proyecto para la Creación de una Reserva en el Pedregal de San Ángel*. Serie Cuadernos de Ecología No. 1, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Andel, J. y J. Aronson. 2006. *Restoration Ecology*. Blackwell Publishing, Oxford. 330 pp.
- Antonio-Garcés, J.I. 2008. Restauración ecológica de la zona de amortiguamiento de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 61 pp.
- Antonio-Garcés, J.I., M. Peña, Z. Cano-Santana, M. Villeda y A. Orozco-Segovia. 2009. Pp. 465-481, en: Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del Ecosistema de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Bakker, J., P. Poschlod, R.J. Strykstra, R.M. Bekker y K. Thompson. 1996. Seed banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology. *Acta Botanica Neerl.*, 45: 461-490.
- Bradshaw, A.D. 1987. The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. *Restoration Ecology*. Pp. 53-74, en: W. R. Jordan, M. E. Gilpin y J. D. Aber (eds.), *A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bradshaw, A.D. 1997. What do we mean by restoration? Pp. 8-14, en: K. Urbanska N.R. Webb y P.J. Edwards (eds.), *Restoration Ecology and Sustainable Development*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cabin, R.J., S.G. Weller, D.H. Lorence, S. Cordell, L.J. Hadway, R. Montgomery, D. Goo y A. Urakami. 2002. Effects of light, alien grass, and native species additions on Hawaiian dry forest restoration. *Ecological Applications*, 12:1595-1610.

- Camacho C., E. 1999. Demografía de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae) en la Reserva del Pedregal de San Ángel, D.F. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 67 pp.
- Cano-Santana, Z. 1994a . Flujo de energía a través de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófila. Tesis doctoral, Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 198 pp
- Cano-Santana, Z. 1994b. La Reserva del pedregal como ecosistema: Estructura trófica. Pp. 149-158, en: A. Rojo (comp.). *Reserva ecológica "El Pedregal" de San Ángel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cano-Santana, Z. y J.A. Meave. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias*, 41:58-68
- 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: K. Oyama y A. Castillo (eds.), *Manejo, Conservación y Restauración de Recursos Naturales en México*. Siglo XXI y Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cano-Santana, Z., M. San José-Alcalde, M. Ayala, E. Valdez, E. Saucedo-Morquecho, A. Garmendia-Corona, J. Antonio-Garcés, M. Peña, M. Villeda, A. Orozco-Segovia, G. González-Rebeles y R. Muñoz-Saavedra. 2010. Cambios de la vegetación y la fauna de un pedregal sometido a restauración ecológica en el centro de México. III Simposio Internacional de Restauración Ecológica. Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Sept., 13-19. Disponible en: <http://ecologiazcs.files.wordpress.com/2012/12/d-ii-3-23.pdf>.
- Cairns, J., P.V. McCormick y P.R. Niederlehner. 1993. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. *Hydrobiologia*, 236, 1-44.

- Canfield, R.H. 1941. A pplication of t he line i nterception m ethod i n s ampling r ange ve getation. *J. Forestry*, 39(4):388-394.
- Castellanos-Vargas, I.I. 2001. Ecología de la ovi posición de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae) en la Reserva del Pedregal de San Ángel, México, D.F. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 115 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.
- Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, M.A. Romero-Romero, P. Guadarrama-Chávez, O. Núñez-Castillo, I. Sánchez-Gallén y J.A. Meave. 2007. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Aspectos Florísticos y Ecológicos*. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cecaira-Ricoy, R. 2004. F uerzas ascendentes y productividad secundaria en *Neoscona oaxacensis* (Araneae: Araneidae) en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. (México). Tesis pr ofesional. F acultad de C iencias, U niversidad N acional A utónoma de M éxico, México.
- Dale, V.H. y S.C. Beyeler. 2001. Challenges in the de velopment a nd use of e cological i ndicators. *Ecological Indicators*, 1: 3-10.
- Dietz, T., E. A. Rosa y R. York. 2007. Driving the human ecological footprint. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, 13–18.
- Espinosa-García, F. y J. S arukhán. 1997. *Manual de Malezas del Valle de México*. Ediciones Científicas U niversitarias. U niversidad N acional A utónoma de M éxico y Fondo de C ultura Económica, México. 407 pp.
- Fulkerson, W. J., K. Slack, D.W. Hennessy y G. M. Hough. 1998. N utrients i n ryegrass (*Lolium* spp.) w hite clover (*Trifolium repens*) and ki kuyu (*Pennisetum clandestinum*) p astures i n

relation to season and stage of regrowth in a subtropical environment. *Australian J. of Exp. Agric.*, 38:227-240.

García J., B. MacBryde, A. Molina y O. Herrera. 1975. *Malezas Prevalentes de América Central*. IPPC, OSU, Corvallis. 161 pp.

González-Rebeles Guerrero, G. 2012. Efecto de cinco años de restauración sobre la comunidad vegetal y dos poblaciones de artrópodos en el área A11 de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 80 pp.

Helfgott S.F. 1996. *Pennisetum clandestinum* Hoechst ex. Choiv, en: Labrada, R., J. C. Caseley y C. Parker. *Manejo de Malezas para Países en Desarrollo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. En: <http://www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S00.htm>. Consultado el 19 de septiembre de 2011.

Higgs, E.S. 1997. What is good ecological restoration? *Conservation Biology*, 2: 338-348.

Hobbs, R. J. y D. A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 4:93-110.

Kelly, J.R. y M. A. Harwell. 1990. Indicators of ecosystem recovery. *Environ. Manage.*, 14: 527-545.

Landres, P.B., J. Verner y J. W. Thomas. 1988. Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conservation Biology*, 2: 316-328.

Lorenz, C.M., A. J. Gilbert, W. P. Cofino. 1999. Indicators for transboundary river basin management. Pp. 313-328, en: Pykh, Y.A., D.E. Hyatt y R.J.M. Lenz (eds.), *Environmental Indices: System Analysis Approach*. EOLSS Publishers Co., Oxford.

Lot, A. y Z. Cano Santana (eds.) 2009. *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Martín del Pozzo, A.L. 1995. La edad del Xitle. P. 48, en: C. Carrillo, *El Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Martínez-Jasso, C. 2002. Ecología e Historia Natural de *Neoscona oaxacensis* (Arenae: Areneidae) en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, México: Selección de Hábitat y Análisis Poblacional. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 86 pp.
- Miller, J.R. y R.J. Hobbs. 2007. Habitat Restoration-Do we know what we're doing? *Restoration Ecology*, 15:382-390.
- Morris, C. (ed.). 1992. *Academic Press Dictionary of Science and Technology*. Academic Press, San Diego. 2432 pp.
- Munn, R.E. 1988. The design of integrated monitoring systems to provide early indications of environmental/ecological changes. *Environmental Monitoring and Assessment*. 11:203-217.
- Pywell, R.F. y P.D. Putwain. 1996. Restoration for conservation gain. Pp. 203–221, en: I. F. Spellerberg (ed.), *Conservation Biology*. Longman, Londres.
- Pewel, R. D. F., J. M. Bullock, D. B. Roy, L. Warman, K. J. Walker y P. Rothery. 2003. Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *Journal of Applied Ecology*, 40:56-77.
- Pywell, R.F., J. M. Bullock, A. Hopkins, K. J. Walker, T. H. Sparks, M. J. W. Burke y S. Pee. 2002. Restoration of species-rich grassland on arable land: assessing the limiting processes using a multi-site experiment. *Journal of Applied Ecology*, 39: 294–310.
- Primack, R.B. 2006. *Essentials of Conservation Biology*. 4^a ed. Sinauer Associates, Sunderland.
- Ramírez, G.A. 2006. *Ecología: Métodos de Muestreo y Análisis de Poblaciones y Comunidades*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. 273 pp.
- Resh, V.H., A.V. Brown, A.P. Covich, A.L. Sheldon, J.B. Wallace y R.C. Wissman. 1988. The role of disturbance in stream hydrology. *J. N. Am. Benthol Soc.*, 7: 433-455.
- Richard, F.P., J.M. Bullock, D.B. Roy, L. Waman, K.J. Walker y Peter Rothery. Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *Journal of applied Ecology*. 20: 65-77

- Rojo, A. y J. Rodríguez. 2002. *La Flora del Pedregal de San Ángel*. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México. 96 pp.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel, D.F., México. *An. Esc. Nac. Cien. Biol., Instituto Politécnico Nacional, México*, 8: 59-129.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1ª Ed. Digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504 pp.
- Rzedowski J. y G. C. de Rzedowski. 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ecología, A.C., Pátzcuaro, Mich.
- Samways, M.J. 2006. Insect diversity conservation. *Insect Conservation*, 11:209-210
- San José, M. 2010. Monitoreo de las actividades de la fauna de vertebrados en dos zonas sujetas a restauración en la Reserva del Pedregal de San Ángel, D. F. (México). Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 74 pp.
- San-José, M., A. Garmendia y Z. Cano-Santana. 2010. Monitoreo de aves en dos zonas de restauración ecológica y una de referencia, en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F. México. *El Canto del Centzontle 1: 148-164*.
- San-José, M., A. Garmendia y Z. Cano-Santana. 2013. Vertebrate fauna evaluation after habitat restoration in a Reserve within Mexico City. *Ecological Restoration*, 31 (3): 249-252.
- Sánchez, O, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azura. 2005. *Temas sobre restauración ecológica*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto de Ecología, México, 257 pp.
- Saucedo-Morquecho, E.A. 2011. Regeneración de la comunidad vegetal y de dos poblaciones de artrópodos durante un proceso de restauración ecológica en el área de amortiguamiento 8 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 96 pp.

- Seaby, R. y P. Henderson. 2007. *Community Analysis Package*. PISCES Conservation Ltd. 150 pp.
- SER, Society for Ecological Restoration. 2004. Principios de SER Internacional sobre la restauración ecológica. En: <http://www.ser.org/content>. Consultado el 22 de marzo de 2009.
- Siebe, C. 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, southeastern Basin of Mexico City. *Journal of Volcanology and Geothermal Researches*, 104: 45-64
- Siebe, C. 2009. La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/- 35 años AP y sus implicaciones. Pp. 43-49, en: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Simmonds, S.J., J.D. Mager y O.G. Nichols. 1994. A comparative study of spider (Araneae) communities of rehabilitated bauxite mines and surrounding forest in the southwest of Western Australia. *Restoration Ecology*, 2: 247-260.
- Soberón, J., M. Rosas y G. Jiménez. 1990. Ecología hipotética de la Reserva del Pedregal de San Ángel. *Ciencia y Desarrollo*, 99: 25-38.
- Tejeda-Cruz, C., K. Mehltrete y V.J. Sosa. 2008. Indicadores ecológicos multi-taxonómicos. Pp. 271-278, en: R.H. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.), *Agrosistemas Cafetaleros de Veracruz Biodiversidad, Manejo y Conservación*. Instituto de Ecología, A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México. 348 pp.
- Thompson, K., J. Hodgson, P.J. Grime y M.J.W. Burke. 2001. Plant trait and temporal scale: evidence from a 5-year invasion experiment using native species. *Journal of Ecology*, 89:1054-1060.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 2005. Acuerdo por el que se rezoneifica, delimita e incrementa la zona de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. *Gaceta UNAM*, 2 de junio: 20-21.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 2006. Lineamientos para el desarrollo de actividades dentro de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. *Gaceta UNAM*, 14 de septiembre: 22-24.

- Valiente-Banuet, A. y E. de Luna. 1990. Una lista florística para la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. *Acta Botanica Mexicana*, 9:13-30.
- 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.
- Villeda H., M. 2010. Estructura de la comunidad vegetal y abundancia de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera) y *Peromyscus gratus* (Rodentia) en el área “Vivero Alto” de la Reserva del Pedregal de San Ángel sujeta a acciones de restauración. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 62 pp.
- Williams, K. S. 1993. Use of terrestrial arthropods to evaluate restored riparian woodlands. *Restoration Ecology*, 2: 107-160.
- Williams, K. S. 1997. Terrestrial arthropods as ecological indicators of habitat restoration in southwestern North America. Pp. 238-258, en: K.M. Urbanska, N.R. Webb y P.J. Edwards (eds.), *Restoration Ecology and Sustainable Development*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey. 663 pp.