

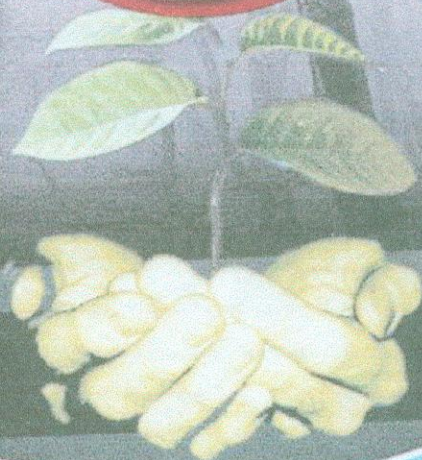
III

SIMPOSIO INTERNACIONAL RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Santa Clara, Cuba, septiembre 13-19, 2010



ISBN: 978-959-250-600-8



Cambios de la vegetación y la fauna de un pedregal sometido a restauración ecológica en el centro de México.

Z. Cano Santana, 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 & R. Muñoz Saavedra

Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. 04510 México, D.F. México.
Tel. (55)56224835. Fax (55)56224828. zcs@ciencias.unam.mx

Resumen

Muchos derrames de lava (*i.e.*, pedregales), se encuentran sometidos a procesos de disturbios. En este trabajo se analizó el proceso de recuperación, de 2005 a 2010, de la vegetación y la fauna de dos sitios del Pedregal de San Ángel, localizado en la ciudad de México, sometidos a dos procesos contrastantes de restauración ecológica: uno sometido a desentierro del sustrato basáltico y remoción de eucaliptos y otras plantas exóticas e introducción de plántulas y semillas (A8); y otro sometido a adición de rocas basálticas, control de plantas exóticas y malezoides (A11). Se monitoreó cada 2-4 meses la comunidad vegetal con el método de línea de Canfield. Se hicieron muestreos de las poblaciones de *Neoscona oaxacensis* (Araneae) y de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Acrididae), así como de anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Todos estos estudios se realizaron considerando una zona conservada de referencia (ZCR). En A8 se logró reducir la cobertura de eucaliptos a < 3%, pero sigue dominando el pasto exótico *Pennisetum clandestinum*, con 34-51%. Dominan también *Montanoa tomentosa* (18-23%) y *Phytolacca icosandra*. En A11 se logró reducir la dominancia de *B. cordata* de 60% en 2008 a 33% en 2010. Otras especies dominantes fueron *P. clandestinum* y *Verbesina virgata*. En ZCR se registró dominancia de *Eupatorium petiolare*, *B. cordata*, *Eysenhardtia polystachya* y *Eucalyptus camaldulensis*. Se registraron 62, 64 y 62 especies de aves; 10, 8 y 7 especies de mamíferos; y 4, 4 y 3 especies de anfibios y reptiles; dando un total de 76, 76 y 72 especies de vertebrados en A8, A11 y ZCR, respectivamente. Las densidades de *S. purpurascens* y *N. oaxacensis* siempre han sido más altas en A8 que en ZCR. La primera especie en 2006 registró más bajas densidades en A11 que en ZCR, pero en 2009 A11 registró mayores densidades que en ZCR. La araña, por su parte, mantiene bajas densidades en A11 y ZCR. Se concluye que la recuperación del sustrato basáltico y el control de plantas exóticas y malezoides son premisas de la restauración ecológica de pedregales.

CAMBIOS DE LA VEGETACIÓN Y LA FAUNA DE UN PEDREGAL SOMETIDO A RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL CENTRO DE MÉXICO

Z. Cano-Santana, 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

Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. 04510 México, D.F. México. Tel. (55)56224835. Fax (55)56224828. zcs@ciencias.unam.mx

Muchos derrames de lava (*i.e.*, pedregales), se encuentran sometidos a procesos de disturbios. En este trabajo se analizó el proceso de recuperación, de 2005 a 2010, de la vegetación y la fauna de dos sitios del Pedregal de San Ángel, localizado en la ciudad de México, sometidos a dos procesos contrastantes de restauración ecológica: uno sometido a desentierro del sustrato basáltico y remoción de eucaliptos y otras plantas exóticas e introducción de plántulas y semillas (A8); y otro sometido a adición de rocas basálticas y control de plantas exóticas y malezoides (A11). Se monitoreó cada 2-4 meses la comunidad vegetal con el método de línea de Canfield. Se hicieron muestreos de las poblaciones de *Neoscona oaxacensis* (Araneae) y de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae), así como de anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Todos estos estudios se realizaron considerando una zona conservada de referencia (ZCR). En A8 se logró reducir la cobertura de eucaliptos a < 3%, pero sigue dominando el pasto exótico *Pennisetum clandestinum*, con 29-52%. Dominan también *Montanoa tomentosa* (16-23%) y *Phytolacca icosandra*. En A11 se logró reducir la dominancia de *B. cordata* de 43% en 2008 a 34% en 2010. Otras especies dominantes fueron *P. clandestinum* y *Verbesina virgata*. En ZCR se registró dominancia de *Eupatorium petiolare*, *B. cordata*, *Eysenhardtia polystachya* y *Eucalyptus camaldulensis*. Se registraron 62, 64 y 62 especies de aves; 10, 8 y 7 especies de mamíferos; y 4, 4 y 3 especies de anfibios y reptiles; dando un total de 76, 76 y 72 especies de vertebrados en A8, A11 y ZCR, respectivamente. Las densidades de *S. purpurascens* y *N. oaxacensis* generalmente han sido más altas en A8 que en ZCR. La primera especie en 2006 registró más bajas densidades en A11 que en ZCR y A8, pero en 2009 A11 registró mayores densidades que en ZCR. La araña, por su parte, mantiene bajas densidades en A11 y ZCR. Se concluye que la recuperación del sustrato basáltico y el

control de plantas exóticas y malezoides son premisas de la restauración ecológica de pedregales.

Introducción

Los pedregales, conocidos también como “lava fields”, son ecosistemas que mantienen un sustrato basáltico producido por erupciones volcánicas. Este tipo de ecosistemas se extienden por todo el planeta en zonas que mantienen o han mantenido actividad volcánica, como en las islas Hawai o en centro de México. La Reserva del Pedregal de San Ángel (REPSA; de 237 ha) está localizada dentro del campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México en la Ciudad de México, y protege cerca del 6% del matorral xerófilo de *Senecio praecox* que se asentó en la porción baja y más extensa del derrame de lava del volcán Xitle (Rojo, 1994), la mayoría del cual ha sido destruido por la mancha urbana de la ciudad. La REPSA representa un ecosistema de gran valor para la conservación, ya que cuenta con una importante riqueza biótica (Lot y Cano-Santana, 2009) y ofrece diversos servicios ambientales (Nava-López *et al.*, 2009). A pesar de esto, la zona ha estado sujeta a disturbios de diversa índole, tales como la acumulación de basura, la construcción de caminos e infraestructura y la introducción de fauna y flora exóticas, incendios y el saqueo de especies (Lot y Cano-Santana, 2009). Dos de los disturbios que más han afectado la estructura de la comunidad vegetal y el funcionamiento del ecosistema es el recubrimiento del sustrato basáltico por materiales diversos (entre los que se encuentra el cascajo y los desechos de jardinería) y la introducción de eucaliptos. Se ha visto, por ejemplo, que mientras en las áreas conservadas de la REPSA dominan especies vegetales como *Muhlenbergia robusta*, *Verbena virgata*, *Buddleia cordata*, *Dahlia coccinea* y *Echeveria gibbiflora* (Cano-Santana, 1994a), en las zonas cubiertas por escombros o basura inorgánica dominan *B. cordata*, *Pennisetum clandestinum*, *Mirabilis jalapa*, *Ricinus communis*, *Nicotiana glauca* y *Trapeolum majus* (Antonio-Garcés *et al.*, 2009), varias de las cuales favorecen la incidencia de incendios al acumular gran cantidad de material combustible durante la temporada de secas. Otro aspecto importante del deterioro del ecosistema de la Reserva del Pedregal es la presencia de eucaliptos (*Eucalyptus* spp., principalmente *E. camaldulensis*). Espinosa-García (1996) registra que los extractos o lixiviados de hojas, corteza, hojarasca y semillas de varias especies de eucalipto contienen sustancias aleloquímicas capaces de afectar negativamente a varias especies de plantas, bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos. El eucalipto se comenzó a plantar en 1951 en este ecosistema y su población creció a una tasa promedio anual de 9.2% durante 33 años, cubriendo una extensión cercana al 8% del área de la REPSA (Segura-Burciaga, 1995). Segura-Burciaga y Meave (2001) demostraron que la riqueza

específica de especies nativas en la REPSA es más alta en sitios sin eucaliptos que la encontrada en los sitios afectados por estos árboles, y que la remoción de eucaliptos parece cambiar de manera inmediata el paisaje del sotobosque.

Para analizar la recuperación de cualquier ecosistema es preciso determinar si la cadena trófica funciona, por ello es importante evaluar si están presentes los elementos animales, tanto invertebrados como vertebrados. En la REPSA se registran tres especies importantes de animales: el chapulín *Shenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae), la araña *Neoscona oaxacensis* (Araneidae) y el ratón *Peromyscus gratus* (Rodentia) (Cano-Santana, 1994b). Otro aspecto que puede ser importante para analizar la velocidad de recuperación del ecosistema de la REPSA es a través del análisis de la composición en términos de especies arvenses y exóticas que se registra en las áreas sujetas a acciones de restauración ecológica. De hecho, el control de estos tipos de plantas constituye una actividad muy importante durante el proceso de restauración, buscando acelerar el proceso de sucesión secundaria.

Desde 2005 se inició una serie de actividades encaminadas a restaurar sus áreas deterioradas de la REPSA y a 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. Desde nuestro punto de vista, la restauración de pedregales se debe basar en las siguientes premisas: (1) eliminar la fuente de disturbio; (2) extraer elementos extraños al ecosistema, tales como desechos orgánicos e inorgánicos; (3) recuperar el sustrato basáltico; (5) introducir especies nativas, sobre todo vegetales; y (6) monitorear continuamente estas zonas con el fin de conocer el éxito de dichas acciones para corregirlas, o bien, proseguir con su implementación. Los objetivos de estas acciones son: (1) recuperar el sustrato volcánico original y volverlo apto para la colonización de especies vegetales y animales nativas, (2) reducir la presencia de especies exóticas y arvenses, (3) reducir el riesgo de incendios, (4) recuperar la diversidad biótica y el paisaje originales, y (5) restablecer la red trófica del ecosistema.

En este trabajo se analizó el proceso de recuperación de la vegetación y la fauna de dos sitios de la REPSA sometidos a dos procesos contrastantes de restauración ecológica: uno sometido a desentierro del sustrato basáltico y remoción de eucaliptos y otras plantas exóticas e introducción de plántulas y semillas; y otro sometido a adición de rocas basálticas y control de plantas exóticas y malezoides. Todos estos estudios se realizaron considerando una zona conservada de referencia.

Métodos

Selección de sitios de estudio. Se seleccionaron tres sitios dentro de la REPSA, dos sitios sujetos a restauración ecológica desde 2005: la parte noreste (0.51 ha) del área de amortiguamiento 8 (A8) y la porción sureste (0.22 ha) del área de amortiguamiento 11 (A11), y una zona conservada de referencia (ZCR) con aceptable grado de conservación de 0.25 ha localizada al sur de la zona núcleo poniente.

Jornadas de restauración. La gran mayoría de las acciones de restauración ecológica se enmarcaron dentro de un programa de jornadas que contó con la participación de estudiantes, profesores y público en general, que permitían a la comunidad académica y civil a involucrarse activamente en la protección del medio ambiente. En ellas se llevaban actividades de extracción de desechos de jardinería, basura inorgánica y cascajo, así como de control de eucaliptos y extracción de plantas exóticas y arvenses. En cada jornada asistieron en promedio 41 personas que trabajaban, en general, 6 horas en cada una.

Descripción, deterioro inicial y acciones de restauración en A8. La zona sujeta a restauración A8 se ubica en una hondonada de 2-4 m de profundidad del camellón central de un circuito de Ciudad Universitaria que en 2004 estaba dominada por 74 eucaliptos introducidos desde la década de 1950. Desde 1974 también estuvo sujeta a un proceso de relleno con desechos, en su mayoría de jardinería; con el fin de convertirlo, a largo plazo, en un área verde cubierta de césped, lo cual ocurrió parcialmente en ca. 5-10% del área. Se encuentran promontorios de cascajo (escombros) en sus bordes y, en uno de ellos hay una franja de 3 a 5 m de ancho y 120 m de largo de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), donde también crecieron eucaliptos. Se detectó una dominancia de cobertura de la planta arvense *Mirabilis jalapa* y de la nativa *Montanoa tomentosa*. Asimismo, la zona ha estado sujeta a depósito de desechos inorgánicos que se fueron acumulando sobre todo en su parte central.

Las acciones de restauración en la zona han sido: (1) el retiro de más de 400 m³ de desechos orgánicos, basura inorgánica y cascajo mediante la implementación de 21 jornadas de restauración ecológica y el uso de un trascabo mediante las cuales se recuperaron ca. 350 m² de sustrato basáltico (entre abril de 2005 y mayo de 2010); (2) el retiro, y posterior control de recrecimiento, del 90% de los eucaliptos con la finalidad de reducir el efecto alelopático y de sombra que produce esta especie exótica sobre la comunidad de plantas; (3) la introducción de plantas nativas (1079 plántulas provenientes de semillas preacondicionadas de 10 especies en 2005 y 2006, siembra al voleo de 53 mil semillas de *Muhlenbergia robusta* en 2005 y de 1.4 millones de semillas de 28 especies en 2009); y (4) control de las poblaciones de *M. jalapa* y *Ricinus communis*.

Descripción, deterioro inicial y acciones de restauración en A11. El área sujeta a restauración en A11 colinda al norte con la zona núcleo poniente de la REPSA. Este sitio está dividido en dos porciones por un camino de terracería. Esta zona sufrió, entre noviembre de 2004 y enero de 2005, un gran deterioro por la remoción de toda la cubierta vegetal, la extracción de cantera y el posterior relleno de la zona y aplanamiento, con el objeto de construir un estacionamiento que finalmente fue cancelado. Las acciones iniciales de recuperación en este sitio fueron las siguientes. En marzo de 2005 se extrajo el material de relleno con maquinaria y se llevó a cabo la adición de roca basáltica intentando favorecer un incremento de la heterogeneidad topográfica utilizando piezas que iban desde guijarros de 10 cm hasta cantos de 1.2 m de diámetro. Lamentablemente, los cargamentos de roca basáltica se encontraban contaminados por desechos inorgánicos y materiales no consolidados de naturaleza semiedáfica con evidente presencia de rizomas de pasto kikuyo. Por lo anterior, en marzo-abril de 2005, se llevaron a cabo labores de eliminación de desechos inorgánicos y la extracción parcial de rizomas. En esta zona se han organizado 13 jornadas de restauración ecológica entre octubre de 2006 y junio de 2010, en las cuales se han extraído más de 300 m³ de materiales, entre plantas exóticas (kikuyo, *R. communis*, *E. camaldulensis*, *Nicotiana glauca* y *Tropaeolum majus*), plantas nativas malezoides dominantes (principalmente *Buddleia cordata*, *Wigandia urens* y *Phytolacca icosandra*) y material no consolidado. Aquí no se implementó la introducción de semillas porque se apostó a la lluvia de semillas proveniente de la zona núcleo conservada adyacente. El control de *B. cordata* y *W. urens* ocurrió entre abril y octubre de 2009, el de *N. glauca* cesó en abril de 2009 porque esta planta ofrece alimento y percha a aves, y el de *P. icosandra* cesó en mayo de 2007 porque ofrece alimento a ratones.

Descripción de la zona conservada de referencia. La zona conservada de referencia (ZCR) está adyacente al norte del área A11 y presenta una topografía heterogénea, donde hay grietas de 3-4 m de profundidad, algunos sitios planos y extensas planchas de roca basáltica expuesta. Entre las especies dominantes se encuentran *Senecio praecox*, *Buddleia cordata*, *Dahlia coccinea*, *Cissus sicyoides* y *Dodonaea viscosa*; sin embargo, también mantiene dominancia de *E. camaldulensis* de gran talla. Aunque la parcela denominada ZCR se ha mantenido en la misma zona de la REPSA, se ha ajustado su ubicación dos veces. En 2006-2007 se ubicó 40 m justo al norte de A11, por lo que en 2008 se ubicó 10 m al norte para mayor accesibilidad. En mayo de 2009 se decidió ajustar la porción este de esta parcela (de 50 x 15 m) debido a que sufrió incendio, por lo que se ubicó esta porción justo al norte de la porción oeste.

Estructura de la comunidad vegetal. Para determinar los cambios en la estructura de la comunidad vegetal se registró la cobertura de cada especie con el método de intercepción de

línea (línea de Canfield), tomando en cuenta simultáneamente los tres estratos de vegetación en las tres zonas de estudio. En A8 se trazó una línea longitudinal de 135 m por el centro del sitio de estudio y cinco líneas transversales de entre 32 y 54 m distribuidas por toda la zona. En total se registraron 347 m de línea. En el sitio A11 y en la ZN se trazaron seis líneas paralelas, tres de 35 m en la parcela de 50 x 35 y tres de 15 m en la parcela de 50 x 15 m. Se hicieron muestreos cada 2-4 meses desde marzo de 2005 en A8, y desde julio de 2006 en A11 y ZCR hasta la fecha. Se comparó la cobertura relativa de las plantas exóticas, nativas arvenses y nativas no arvenses para valorar el avance de la recuperación y del proceso sucesional.

Tamaño poblacional de los artrópodos. Mensualmente, entre julio y octubre a diciembre se estimó la densidad de *S. purpurascens* (2006, 2008 y 2009) y de *N. oaxacensis* (2008 y 2009) contando los individuos presentes en 20-22 cuadros de 1 x 1 m ubicados aleatoriamente en los tres sitios de estudio. No hubo registros de densidades en A11 en 2008, y en 2009 los registros iniciaron en agosto. Primero se contaron los individuos de cada especie y después se golpeaba el cuadro a muestrear con una red de golpeo y se contaba el número de ejemplares de cada especie. Se registraba el valor más alto para cada especie, comparando el método de conteo directo vs. el método de golpeo con red.

Detección de poblaciones de roedores. Se han hecho monitoreos de roedores en los tres sitios de estudio utilizando 16-30 trampas Sherman por sitio en varias ocasiones entre octubre de 2006 y agosto de 2007, y en tres ocasiones entre febrero de 2009 y mayo de 2010.

Mamíferos medianos. Para determinar la presencia de mamíferos medianos, se hicieron registros de sus avistamientos entre mayo de 2009 y mayo de 2010, y se buscaron las letrinas existentes en los tres sitios. Se tomaron muestras de las mismas y se identificó al organismo a través del análisis de alimentos y pelo en las excretas.

Reptiles y anfibios. Se realizaron tres muestreos, en junio y octubre de 2009 y mayo de 2010 en cada uno de los sitios. Los muestreos consistieron en observaciones y búsquedas activas en grietas y bajo rocas en toda el área. Además, se incluyeron registros de avistamientos realizados durante las visitas realizadas a los sitios de estudio entre mayo de 2009 y mayo de 2010.

Aves. De junio de 2009 a mayo de 2010 se hicieron observaciones quincenales de aves en cada sitio. Las observaciones fueron realizadas de 07:30 a 09:30, ya que éstas son las horas de mayor actividad de las aves diurnas (N. Chávez, com. pers.). Se registró el número de avistamientos, las especies observadas, las actividades que se encontraban haciendo en el momento de la observación y la especie de planta a la cual estaban asociadas.

Otras acciones de restauración. Durante los cuatro muestreos de roedores de 2007 (febrero a agosto) los ejemplares de *Mus musculus* encontrados en A8 y A11 fueron eliminados aplicándoles eutanasia. Asimismo, en 2009 se plantaron seis encinos de 30 cm de altura en ambos sitios.

Resultados y Discusión

Estructura de la comunidad vegetal. Con las líneas de Canfield durante 2005-2007 en A8 se registraron 76 especies, en A11 39 y en ZCR 50. La cobertura de plantas nativas no arvenses (PNNA) se ha mantenido siempre por encima del 80% en la ZCR, manteniéndose bajos los valores de cobertura de las plantas exóticas (<14.1%) y de las nativas arvenses (<4.7%). La zona A11, por su parte, ha experimentado en 2006-2007 un incremento en la dominancia de las PNNA de 26.6 a 40.5% y de arvenses de 4.5 a 9.6%, en tanto que la cobertura de las plantas exóticas disminuyó en el periodo de 57.6 a 47.8%. En junio de 2010 A11 registró una cobertura relativa de PNNA, arvenses y exóticas de 61.2, 8.2 y 30.6%, respectivamente, lo cual denota un avance en su recuperación. Por otro lado, A8 experimentó, entre marzo de 2005 y julio de 2006, una reducción en la dominancia de plantas exóticas de 73.9 a 33.2 %, lo cual provocó un incremento de cobertura de PNNA de 25.8 a 48.9%, y de las arvenses de 0.3 a 17.9%. En diciembre de 2009 se registraron valores de dominancia de PNNA, nativas arvenses y exóticas de 54.7, 6.3 y 39.0%, respectivamente, lo cual sustenta un pequeño avance en el proceso de recuperación de este sitio.

La remoción de eucaliptos en A8 provocó una disminución inmediata de su cobertura de 48.0 a 3.8%, porcentaje que se redujo a 1.1-3.4% en 2009 gracias al programa permanente de control al que están sujetos. Este manejo también estuvo acompañado con aumento de la cobertura relativa de *P. clandestinum*, *Montanoa tomentosa* y *B. cordata* en 2006-2007; sin embargo, en 2009 las dos primeras mantienen un alta dominancia (28.7-51.7% y 16.1-23.0%, respectivamente). Sólo *B. cordata* ha reducido su dominancia de 7.5-19.6% en 2006-2007 a 4.6-8.0% en 2009. Otra especie dominante en A8 fue *Schinus molle*. En este sitio el control de *M. jalapa* logró reducir su cobertura relativa de 6.4% registrado en julio de 2005 a 3.6% en septiembre de 2006; en 2008 llegó a registrar hasta 8.7%, pero en 2009 mantiene sólo una cobertura máxima de 3.4%. *Phytolacca icosandra* en 2008 mantuvo una dominancia máxima de 20.0%, pero en 2009 registró como máximo 7.5%, a pesar de que esta especie dejó de controlarse.

En A11, después de 15 meses de la adición de rocas basálticas, se registró la dominancia de *Ph. Icosandra* (25.8%), *Pe. clandestinum* (29.0%) y *B. cordata* (17.7%); asimismo, se registraron juveniles de *E. camaldulensis* y presencia de *Ricinus communis*. Las

labores de control de *P. clandestinum* no han dado resultados, ya que registra una dominancia en 2006-2007 de 29.0 a 23.4%, la cual se ha mantenido entre 23.8-27.1% en lo que va de 2010. Esto indica que la capa de rocas no ha sido lo suficientemente gruesa para cubrir los materiales no consolidados que protegen los rizomas de este pasto. Sería deseable colocar otra capa de rocas sobre este sitio para lograr el control efectivo de esta especie. Asimismo, el programa de control de *B. cordata* ha tenido resultados limitados. En 2006-2007 registró hasta 19.4% de dominancia, en febrero de 2008, antes del programa, 42.8%; en agosto de 2009, 25.9%; y en junio de 2010, 34.4%. Otras especies dominantes en el sitio en 2006-2007 fueron *N. glauca* y *Gnaphalium* sp., en tanto que en 2010 ya dominan también *Wigandia urens*, *Verbesina virgata*, *Tropaeolum majus*, *N. glauca* y *Eupatorium petiolare*. En esta zona *E. camaldulensis* registró una cobertura de 1.5 a 2.7%, y se encuentra bajo control gracias a la eliminación de árboles adultos de esta especie localizados en la zona núcleo adyacente.

En ZCR se han registrado, como plantas dominantes, *B. cordata*, *Cissus sicyoides*, *E. camaldulensis*, *Dodonaea viscosa*, *Muhlenbergia robusta*, *Eysenhardtia polystachya*, *Dioscorea galeottiana*, *Senecio praecox* y *Eupatorium petiolare*

El uso de semillas preacondicionadas. La introducción de plántulas en el sitio, lo cual requirió de mucho esfuerzo, no tuvo los resultados esperados: de 1071 plántulas introducidas en 2005 y 2006, sólo permanecen con vida 12. Esto sugiere que podrá ser más eficiente el uso de siembra de semillas a voleo, las cuales hayan sido sometidas previamente a preacondicionamiento natural por enterramiento. Por lo anterior, se decidió en 2009 introducir sólo semillas, lo cual parece tener mayor éxito con menores costos económicos, de tiempo y de esfuerzo.

Densidad de chapulines. Julio es el mes en el que los chapulines *S. purpurascens* registran su pico de densidad, el cual puede ser de 22 a 23 ind/m² en la REPSA (Cano-Santana, 1994a). En julio de 2006 las densidades de *S. purpurascens* alcanzaron valores de 14.8 y 4.4 ind /m² en A8 y A11, respectivamente, mientras que en la ZCR se registraron 31.7 ind/m². Las densidades de A8 y ZCR no difirieron significativamente entre sí, pero fueron significativamente más altas que las de A11. Entre agosto y octubre de 2006 las densidades en A8 fueron significativamente más altas que en ZCR y A11. En 2008 la densidad de este insecto fue más alta en A8 que en ZCR (datos de julio: 20.0 y 3.4 ind/m², respectivamente). En agosto de 2009 las densidades registradas de *S. purpurascens* fueron 7.3, 4.1 y 0.4 ind/m² en A8, A11 y ZCR, respectivamente.

Lo anterior sugiere que A8 mantiene altas densidades de chapulines posiblemente por la dominancia del pasto *P. clandestinum*, muy apetecible para los chapulines (Castellanos-Vargas y Cano-Santana, 2009), y porque los chapulines se pueden concentrar en los sitios abiertos (Cano-Santana, 1994a). El sitio A11 mantiene densidades de chapulines por encima de las

registradas en ZCR. Todo lo anterior indica que *S. purpurascens* se concentra en sitios perturbados o en proceso de recuperación, tal como ocurre con muchas especies generalistas (Warren *et al.*, 2002). Los drásticos cambios de densidad experimentados en la ZCR puedan estar fuertemente relacionados con los cambios de la posición de la parcela (ver Métodos).

Densidad de arañas. En 2008 y 2009, A8 mantuvo densidades de arañas significativamente mayores (0.13 y 0.14 ind/m²) que la ZCR (0.02 y 0.03 ind/m²). Las densidades de arañas en A11 registradas en 2009 (0.05 ind/m²) no difirieron con las registradas en la ZCR. Las arañas, como los chapulines, han colonizado exitosamente los sitios sujetos a restauración, sobre todo el sitio A8 que mantiene, para las arañas, un ambiente abierto y alta disponibilidad de chapulines como alimento.

Roedores. Entre 2006 y 2007 se registraron dos especies de roedores en A8 y A11, el nativo *P. gratus* y el exótico *M. musculus*, en tanto que en ZCR se registró sólo *P. gratus*. Las densidades de *P. gratus* fueron de 2-5 ind en A8, 2-15 ind en A11 y 9-19 ind en ZCR, lo que mostró que estos ratones están colonizando A11 con éxito y que mantienen densidades bajas en A8. Las densidades registradas de *M. musculus* fue de 5-16 ind en A8 y 1-3 ind en A11.

En 2009-2010, A11 ya no registró presencia de *M. musculus* y en mayo de 2010 se registró un ejemplar del roedor silvestre *Peromyscus difficilis*, el cual es un ratón indicador de sitios medianamente conservados (Garmendia-Corona, 2009); asimismo, registró 3-14 ind de *P. gratus*. La ZCR, por su parte, sigue manteniendo actividad sólo de *P. gratus*, a una densidad de 3-14 ind. Finalmente, A8 mantiene una baja densidad de *P. gratus* (1 ind en tres de siete muestreos de ese periodo), pero también registró 1-3 ind de *M. musculus*, 1-2 ind de *P. difficilis* y un solo ejemplar de *Rattus novegicus*. Lo anterior sugiere que A11 está muy recuperada y que A8 mantiene actividad de especies exóticas pero con una incidencia menor que en 2006-2007, posiblemente por los cambios en la vegetación, el programa de retiro de desechos orgánicos e inorgánicos y, en parte, por el programa de eliminación de ratones domésticos aplicado en 2007.

Mamíferos medianos. En los tres sitios se registró actividad de la ardilla *Sciurus aureogaster*, el ardillón *Spermophilus variegatus* y el conejo *Sylvilagus floridanus*. El cacomixtle *Bassariscus astutus* se registró en A11 y ZCR, mientras que la zarigüeya *Didelphis virginiana* se encontró en A8 y A11. El zorrillo *Spilogale putorius* fue registrado en ZCR. Se registraron actividades de perros (*Canis familiaris*) en A8 y ZCR, y de gatos domésticos (*Felis silvestris*) en A8 y A11.

Reptiles y anfibios. Las lagartijas *Sceloporus grammicus* y *S. torquatus* fueron registradas en los tres sitios de estudio. Durante los tres muestreos de 2009-2010, en A11 se registraron 0-5 y 4-17 ind, en A8 5-7 y 1-4 ind, y en ZCR 3-4 y 1-3 ind de cada especie, respectivamente.

La víbora de cascabel *Crotalus molossus* se registró en A11 y ZCR, la culebra *Pituophis deppei* se encontró en A8, y la salamandra *Pseudoeurycea cephalica* se encontró en A8 y A11. Aves. Se encontraron 79 especies de aves en total. El sitio con mayor riqueza específica fue A11 (64 especies) seguido de A8 (62) y ZCR (62). El mes con mayor riqueza específica fue marzo en A8 (34 especies) y ZCR (27), y agosto en A11 (28). La zona A8 tuvo en general mayor número de especies a lo largo del tiempo, seguida por ZCR. El número de avistamientos de aves fue en general más alto en A8, seguido de ZCR durante la mayor parte del año de estudio. A11 registró la abundancia más alta en agosto (con 117 avistamientos), mientras que A8 la tuvo en enero (con 192) y ZCR en septiembre (con 65).

Las especies más abundantes en A8 fueron la mascarita común (*Psaltiriparus minimus*) (12.5%), el capulinerio (*Ptilogonis cinereus*) (12.4%) y el gorrión inglés (*Passer domesticus*) (12%); en A11 lo fueron el gorrión mexicano (*Carpodacus mexicanus*) (16.5%), el chupaflor berilo (*Amazilia beryllina*) (14.3%) y el chupaflor matraquita (*Cyananthus latirostris*) (8.3%); en tanto que en ZCR fue el chipe coronado (*Dendroica coronata*) (13.1%), *C. mexicanus* (10.4%) y *A. beryllina* (8.5%).

Problemas actuales y conclusiones. Las subzonas recuperadas de sustrato basáltico en A8 han iniciado su recuperación ecológica natural por colonización de plantas. Los problemas que mantiene este sitio es que aún no se ha logrado extraer en su totalidad los desechos de cascajo que facilita la dominancia de *P. clandestinum*. Asimismo, en A11 no es posible avanzar en el proceso hasta eliminar la posibilidad de que se mantengan los rizomas de *P. clandestinum* en el sustrato no consolidado.

Por lo anterior, a recuperación del sustrato original es una premisa central en la recuperación de pedregales, aunque el control de plantas exóticas y malezoides puede coadyuvar.

Literatura citada

- Antonio-Garcés, J.I., M. Peña, Z. Cano-Santana, A. Orozco-Segovia y M. Villeda. 2009. Cambios en la estructura de la vegetación derivados de acciones de restauración ecológica en las Zonas de Amortiguamiento Biológicas y Vivero Alto. Pp. 465-481, en: Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cano-Santana, Z. 1994a. La Reserva del Pedregal como ecosistema: Estructura trófica. Pp. 149-157, en: Rojo, A. (comp.), *Reserva ecológica El Pedregal de San Ángel: ecología, historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Cano-Santana, Z. 1994b. Flujo de energía a través de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera, Acrididae) productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófila. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Castellanos-Vargas, I. y Z. Cano-Santana. 2009. Historia natural y ecología de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae). Pp. 337-346, en: Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Espinosa-García, F.J. 1996. Revisión sobre la alelopatía de Eucaliptus L'Herit, *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **58**:55-74.
- Garmendia-Corona, A. 2009 Distribución y abundancia de roedores en Ciudad Universitaria, D.F., con énfasis en *Peromyscus gratus* (Muridae). Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Lot, A. y Z. Cano-Santana. 2009. *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Nava-López, M. J. Jujnovsky, R. Salinas-Galicia, J. Álvarez-Sánchez y L. Almeida-Leñero. 2009. Servicios ecosistémicos. Pp 51-60, en Lot A. y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Rojo, A. (comp.). 1994. *Reserva Ecológica "El Pedregal" de San Ángel: ecología, historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Segura-Burciaga, S. 1995. Estudio poblacional de *Eucalyptus resinifera* Smith (Myrtaceae) en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel, C.U., México, D.F. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Segura-Burciaga, S. y J. Meave. 2001. Effect of the removal of the exotic *Eucalyptus resinifera* on the floristic composition of a protected xerophytic shrubland in Southern México City. Pp. 319-330, en: Brundu, G., J. Brock, I. Camarda, L. Child y M. Wade (eds.). *Plant invasions: species ecology and ecosystem management*. Backhuys Publishers, Leiden, Holanda.
- Warren, R.S., Fell, P.E., Rozsa, R. et al. 2002. Salt marsh restoration in Connecticut: 20 years of science and management. *Restoration Ecology*, **10**, 497–513.