

## LA RESERVA ECOLÓGICA DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL: ESTUDIOS ECOSISTÉMICOS.

Cano-Santana Zenón, Domínguez-Álvarez L. Alejandra\*, Moyers-Arévalo R. Leticia, Velázquez-López Rebeca y García-Jiménez Coatlicue

Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Tel 56 22 4835. zcs@ciencias.unam.mx

### RESUMEN

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria (D.F.) (REPSA) es un relicto del ecosistema de matorral xerófilo del Pedregal de San Ángel, que se asentó en los derrames de lava del volcán Xitle producidos hace 1670 años. Desde la década de 1950 y con la influencia favorable de su cercanía con la UNAM, se ha producido una gran cantidad de información científica sobre esta reserva. Aquí se hace un recuento del estado de conocimiento de su ecología, con el fin de conocer mejor su estructura y dinámica macroecológica. Se calcula que se han producido 144 tesis de licenciatura y posgrado y más de 180 trabajos plasmados en publicaciones científicas sobre temas biológicos de diversa índole. Gracias a estos trabajos, conocemos algunos elementos básicos de la productividad de este ecosistema y de ciertas interacciones importantes, como la herbivoría y la polinización. Se encuentra que los factores de deterioro más importantes de deterioro de la REPSA son: reducción y fragmentación del área de las zonas verdes y de vegetación natural aledañas, acumulación de desechos orgánicos e inorgánicos, depósito de escombros, invasión de elementos bióticos exóticos, e incendios. Además, se han realizado estudios de la fenología de varias de las comunidades que constituyen este ecosistema. Gracias al conocimiento básico originado a partir de estos y otros trabajos realizados en el Pedregal, hoy en día, el enfoque principal de los estudios de este grupo de trabajo se dirige hacia algunas acciones de restauración de este ecosistema. Se recomienda generar información de las áreas naturales protegidas a través de un programa de acercamiento con las universidades locales, de modo que se genere la información necesaria para moldear las lecciones de conservación, restauración y manejo.

### INTRODUCCIÓN

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria (REPSA), localizada en el suroeste de la Ciudad de México, dentro de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuenta con 237.3 ha. Forma parte de un ecosistema que se asentó sobre el derrame de lava del volcán Xitle cuya edad aproximada es de 1670 años (Siebe, 2000) y su extensión original era de 80 km<sup>2</sup> (Álvarez *et al.*, 1982). Las zonas bajas de este derrame se encuentran dominadas por una comunidad vegetal del tipo matorral xerófilo (Rzedowski, 1978), la cual cubre la mayor parte de la REPSA, además cuenta con 7 ha de paisajes lacustres y humedales, ubicadas en el área de amortiguamiento "Cantera Oriente" (Fig. 1) (Lot, 2007). Actualmente existe la propuesta para que sea considerada dentro de la categoría de Monumento Natural del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas de México (SINAP) (Lot y Camarena, 2009).

La REPSA fue creada en 1983 por iniciativa de un grupo de investigadores y estudiantes de la Facultad de Ciencias, (Álvarez *et al.*, 1982), que fueron los primeros en darse cuenta del valor biológico y ecológico de estos terrenos. Su riqueza de especies es alta: en ella se han registrado 377 especies de plantas vasculares (Castillo-Argüero, *et al.* 2009), 67 de briofitas (Delgadillo y Cárdenas, 2009), 75 de ciliados (Aladro *et al.* 2009), 114 de microalgas (Novelo *et al.*, 2009); 44 de hongos macromicetos (Valenzuela *et al.*, 2009), 30 de líquenes (Herrera-Campos y Lücking, 2009), más de 817 de artrópodos (Rueda-Salazar y Cano-Santana, 2009). 30 de anfibios y reptiles (Méndez de la Cruz *et al.*, 2009), 148 de aves (Chávez y Gurrola, 2009), y entre 33 y 39 especies de mamíferos silvestres (Hortelano-Moncada *et al.* 2009). Los datos anteriores constituyen una muestra de las ventajas de que una reserva ecológica se encuentre dentro de un campus universitario, ya que constituye un laboratorio natural para especialistas en ciencias biológicas.

Esta reserva ofrece servicios ambientales importantes (Nava-López *et al.*, 2009; Z. Cano-Santana, obs. pers.), entre los que se encuentran: (1) protección de recursos genéticos y bióticos, (2)

protección de organismos comestibles, medicinales y de ornato, (3) amortiguador de los cambios en el estado del tiempo a nivel local, (4) amortiguador de la contaminación luminosa, auditiva y visual, (4) regulación del ciclo del agua y aprovisionamiento de mantos freáticos, (5) polinización, (6) aprovisionamiento de un ambiente sujeto a investigación académica, y (7) recreación.

Un aspecto relevante de los estudios en la REPSA es su estrecho contacto con el sistema urbano de la Ciudad de México, lo cual la hace estar expuesta a los disturbios asociados a la reducción y fragmentación de sus áreas verdes de influencia, así como a distintos disturbios asociados con la presión humana: incendios, acumulación de basura, contaminación sonora, luminosa y del aire, e introducción de biota exótica (Cano-Santana *et al.*, 2006; Juárez-Orozco y Cano-Santana, 2007; Antonio-Garcés *et al.*, 2009).

En este trabajo se pretende dar una aproximación real al conocimiento que se tiene a nivel macroecológico (comunidades y ecosistemas) de esta reserva enclavada en la segunda ciudad más poblada del mundo, con el fin de hacer un diagnóstico de su funcionamiento, de modo que se proponga como una estrategia de obtención de datos importantes para entender diversos procesos que afectan amplias regiones del planeta a largo plazo, con el fin de usarlos para la conservación, manejo y restauración de los ecosistemas naturales. Mucha de esta información ha sido generada por el Grupo de Ecología de Artrópodos Terrestres del Departamento de Ecología y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias de la UNAM.



**Figura 1.** Fotografía aérea del sur de Ciudad Universitaria donde se ubica la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F. El área con contorno rojo delimita las zonas núcleo de la REPSA, (ZNO), zona núcleo oriente, (ZNP), poniente y (ZNSO) Suroeste. Mientras que las líneas azules delimitan las áreas de amortiguamiento, foto obtenida de Google Earth 2009

## MÉTODOS

**Sitio de Estudio.** La REPSA se localiza a 19°18'31"–19°19'17" norte, 99°10'20"–99°11'52" oeste, y entre 2,200 y 2,277 m s.n.m. Tiene tres zonas núcleo que cubren 171 ha y 13 áreas de amortiguamiento que ocupan 66 ha. Su clima es templado subhúmedo, con un régimen de lluvias en verano (García, 1988). Su temperatura media anual es de 16.1°C, con variaciones extremas que van desde –6° hasta 34.6°C (Valiente-Banuet y De Luna, 1990) y con una precipitación acumulada anual de 870.2 mm de lluvia al año (Soberón *et al.*, 1991). La precipitación se distribuye de manera diferencial, lo que permite distinguir claramente entre la época de lluvias, que inicia en mayo y termina en octubre y una época de secas, que va de noviembre a abril (César-García, 2002). Los suelos de la

REPSA son someros y tienen una profundidad de  $4.5 \pm 0.3$  cm (intervalo: 0-40.0 cm) (Cano-Santana y Meave, 1996).

**Métodos.** Se hizo una revisión de la literatura para analizar el estado de conocimiento de esta área natural protegida, con énfasis en la estructura y funcionamiento trófico, sucesional y fenológico del ecosistema. A partir de esta revisión y de nuestra experiencia ofrecemos un diagnóstico sobre qué estructura tiene, cómo funciona y qué problemas de conservación y manejo tiene la REPSA.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Estado del conocimiento y producción científica.** A pesar de que la REPSA fue decretada como reserva hasta 1983, en ella se han realizado estudios desde hace más de cinco décadas. En una revisión hecha por C. García Jiménez (datos no publ.), se calcula que se han producido 144 tesis profesionales y de posgrado y más de 180 trabajos plasmados en publicaciones científicas sobre temas biológicos de diversa índole (Fig. 2). Los trabajos más representativos dentro de las investigaciones de **ecofisiología** son los relacionados a plantas, (germinación, propagación y adaptaciones morfológicas). Dentro de la categoría de **poblaciones** son referentes a ciclos de vida, y algunos trabajos resaltan un enfoque evolutivo. Los agrupados en la categoría de **comunidades** incluyen temas como interacciones, bancos de semilla, listas de especies, estructura de la vegetación, **Ecosistemas** tienen diversos enfoques con trabajos teóricos, experimentales y de divulgación. En la categoría de **conservación y manejo** se encuentran publicaciones relacionadas a la historia y conservación acuerdos, reportes sobre el estado de conservación y los recientes trabajos de restauración ecológica. La literatura que conforma la categoría **ecología general**, contiene información sobre los factores abióticos del sistema (luz, clima, temperatura) y sus procesos, como los vulcanológicos.

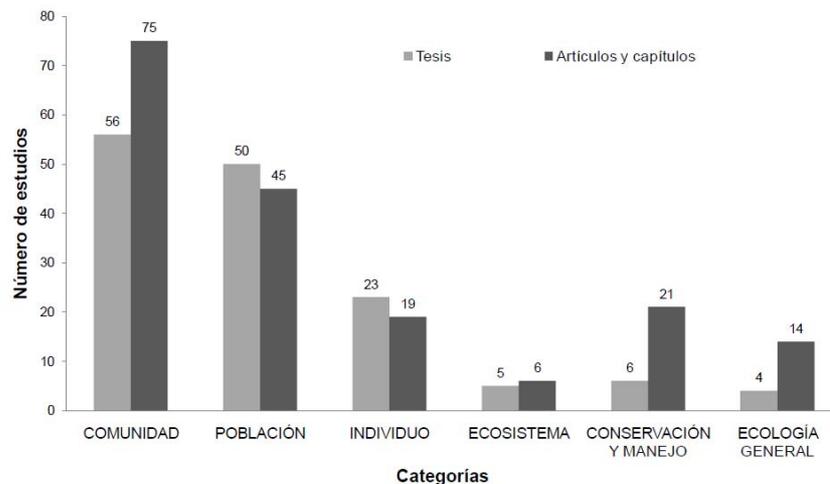


Figura 2. Relación del número de tesis y publicaciones (artículos y capítulos de libros) que abordan el estudio de la REPSA, desde distintos puntos de vista de la ecología.  $N_{\text{tesis}}=144$ ,  $N_{\text{publ}}=180$ .

**Productividad, estructura trófica y descomposición.** La productividad primaria neta aérea (PPNA) promedio es de  $11.9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  ( $636 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ ) y, suponiendo una relación raíz/brote de 0.69 su PPN sería de  $20.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  ó  $1.07 \text{ kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  (Cano-Santana, 1994a). Las especies de plantas más importantes por su aporte a la PPNA, en términos de energía, son *Verbesina virgata* Cav. (16.3%), *Muhlenbergia robusta* Fourn. (15.4%), *Buddleia cordata* Kunth (11.3%) y *Dahlia coccinea* Cav. (9.2%). *V. virgata* es la base de una comunidad de invertebrados que contiene 235 especies, en la que dominan los homópteros (Ruvalcaba-Sánchez *et al.*, 2009), en tanto que *M. robusta* es usada como hábitat y alimento por 158 especies animales, en el cual son más abundantes las hormigas y se

registrar tres niveles tróficos en cuya cima se encuentra el escorpión *Vaejovis mexicanus* C. L. Koch (López-Gómez *et al.*, 2009).

El herbívoro más importante en el ecosistema es el chapulín *Sphenarium purpurascens* Charpentier, el cual aporta el 95% de la biomasa de artrópodos epífitos en el mes de octubre (Rios-Casanova y Cano-Santana, 1994), consume entre el 0.5 y el 1.0% de la PPNA y tiene una productividad secundaria de 15 a 26 kJ m<sup>2</sup> año<sup>-1</sup> (0.6-1.1 g m<sup>2</sup> año<sup>-1</sup>) (Cano-Santana, 1994a). Otros consumidores muy importantes en la cadena trófica son los ratones *Peromyscus gratus* Merriam, y el conejo castellano *Sylvilagus floridanus* Mallurus (Cano-Santana, 1994b). Los depredadores tope más importantes, por su abundancia son la víbora de cascabel *Crotalus molossus* Baird et Girard, el cacomixtle *Bassariscus astutus* Keyserling et Lichtenstein y la araña *Neoscona oaxacensis*, cuya productividad es de 0.84 a 2.22 kJ m<sup>2</sup> año<sup>-1</sup> (29-80 mg m<sup>2</sup> año<sup>-1</sup>) (Cecaira-Ricoy, 2004). (Cano-Santana y Oyama 1994). La presencia de depredadores tope abundantes es una medida de la salud del ecosistema (Power, 1992).

La hojarasca proveniente de los materiales de las cuatro especies vegetales dominantes se descompone a razón de 51% al año en un proceso en el que intervienen ácaros y colémbolos (tasa de descomposición de 0.0018 día<sup>-1</sup>; Arango-Galván, 2006), lo cual provoca que se acumule una cantidad considerable de materia vegetal como combustible en el mantillo.

**Factores de deterioro.** Los factores de deterioro más importantes en la REPSA son: (1) reducción y fragmentación del área de las zonas verdes y de vegetación natural aledañas, (2) acumulación de desechos inorgánicos y orgánicos, (3) depósito de escombros, (4) invasión de elementos bióticos exóticos, y (5) incendios.

Las áreas verdes y de vegetación natural que rodean las zonas núcleo de la REPSA constituyen áreas que albergan una biota nativa importante en términos de plantas vasculares (Maravilla-Romero y Cano-Santana, 2009) y mamíferos (A. Garmendia-Corona, no publ.). Cada vez que se reduce el área de Ciudad Universitaria se espera que haya un efecto negativo sobre la biodiversidad. Tal efecto lo sugirió Beutelspacher (1973) quien detectó extinción de lepidópteros geométridos en el área del Pedregal de San Ángel que contenía Ciudad Universitaria. Recientemente, Moyers-Arévalo (2009) registró una reducción de especies de mariposas diurnas, de 53 en 1971 a sólo 40 en 2006. Sin embargo, ella registra 20 especies nuevas y la posible desaparición de 33 especies. Esto sustenta el hecho de que la composición de especies es dinámica, pero si se registra una reducción del hábitat, esto provocará una disminución en el número de especies.

Un factor central de destrucción del ecosistema de la REPSA es la desaparición del sustrato basáltico por la acumulación de cascajo o basura, esto favorece la colonización de especies exóticas y malezoides que ofrecen un paisaje y una estructura vegetal completamente distinta. L. Hernández-Herrerías (datos no publ.) encontró que las zonas cubiertas con cascajo o con señales de explotación de cantera se detecta la dominancia de especies como *B. cordata*, *Pennisetum clandestinum*, *Mirabilis jalapa* L., *Wigandia urens* (Ruiz et Pav.) Kunth y *Cosmos bipinnatus* Cav. Por lo anterior, las acciones de restauración de pedregales deben considerar como indispensable recuperar el sustrato basáltico original, ya sea por recuperación de sustrato original, o bien, mediante la adición de roca basáltico por encima del sustrato modificado (Antonio-Garcés *et al.*, 2009; Mendoza-Hernández y Cano-Santana, 2009).

El Pedregal de San Ángel ha sufrido invasiones de especies probablemente desde la época prehispánica, pero el elemento biótico más antiguo registrado es el pirul *Schinus molle* L., el cual se considera como una especie naturalizada y, en cierto modo, benigna (A. Orozco-Segovia, com. pers.), ya que no es una planta dominante y competitiva y sus hojas y frutos ofrecen alimento a insectos y aves nativas. En la década de 1950 se introdujeron eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. principalmente, aunque también se registran *E. globulus* Labill. y *E. cinerea* F.V. Muell ex Benth) a la Ciudad Universitaria, los cuales han ido invadiendo los bordes de la REPSA. Se ha probado experimentalmente que los eucaliptos cambian la estructura de la comunidad vegetal (Segura-Burciaga y Meave, 2001). Recientemente, se ha detectado la invasión de *Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br., *Trapeolum majus* L., el pasto rosado *Melinis* (= *Rynchelitrum*) *repens* (Willd.) C. E. Hubb, *Nicotiana glauca* Graham y *Ricinus communis* L.

Respecto a las especies animales invasivas, entre los artrópodos se ha registrado la dominancia de la abeja europea *Apis mellifera* L., lo cual constituye una fuerte competencia para las

abejas nativas (Domínguez-Álvarez, 2009); entre los vertebrados se han registrado al ratón doméstico *Mus musculus* L. y a las ratas negra *Rattus rattus* L. y noruega *R. norvegicus* Berkenhout en las zonas donde se acumula basura orgánica dentro de las áreas de amortiguamiento de la REPSA (Hortelano-Moncada *et al.*, 2009; A. Garmendia-Corona, datos no publ.). Otro factor de deterioro son los perros y gatos ferales (Cruz-Reyes, 2009), los cuales llegan a cazar y matar ratones silvestres (Granados, 2008) y tlacuaches (Z. Cano-Santana, obs. pers.). Por otro lado, la carpa *Cyprinus carpio* L., que también es una especie exótica, ya se encuentra sujeta a un programa de control (Espinosa, 2009).

Los incendios son recurrentes, en promedio se registran 91 incendios al año (Juárez-Orozco y Cano-Santana, 2007). Éstos están asociados invariablemente a presencia humana y tienen efectos diversos sobre la biota, por un lado, reducen la riqueza de los artrópodos y del banco de semillas del suelo, aunque muchas especies son capaces de tolerar su incidencia debido a la presencia de estructuras subterráneas de resistencia (Cano-Santana y León-Rico, 1998; Martínez-Mateos, 2001; Martínez-Orea, 2001; Juárez-Orozco, 2005). Por otro lado, hay un efecto favorable sobre el zacatón *M. robusta* y el bejuco *Cissus sycoides* L. (Juárez-Orozco, 2005) así como sobre las semillas de *Dahlia coccinea* Cav. que pueden ser favorecidas por incendios de baja intensidad (Vivar-Evans *et al.*, 2006). Aunque, también se favorece la presencia de especies exóticas como *Eucalyptus* spp. y *P. clandestinum* (Antonio-Garcés *et al.*, 2009). Sin embargo, algunas especies de plantas con tejidos suculentos como *Senecio praecox* (Cav.) DC., *Echeveria gibbiflora* D.C., *Mammillaria magnimamma* Haw. y *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck pueden sufrir mortalidad debida a incendios (Z. Cano-Santana, obs. pers.). Por tanto estas especies pueden ser indicadoras de zonas no afectadas por el fuego.

**Funcionamiento estacional.** La estacionalidad en la REPSA es muy marcada. Se reconoce una temporada de lluvias (de mayo a octubre) y una de secas (de noviembre a abril), lo cual determina pulsos de crecimiento y decaimiento de la vegetación. Los patrones de floración y fructificación de la comunidad vegetal tienen forma de campana: el menor número de especies en floración se registra en febrero y el mayor número de especies lo hace en septiembre, en tanto que el menor número de especies en fructificación ocurre en julio y el mayor número se registra en octubre y noviembre (César-García, 2002). Los herbívoros también tienen un comportamiento estacional: las mayores tasas de herbivoría foliar y de daño en las flores en las plantas compuestas (dominantes en la comunidad) se registran en octubre (Anaya-Merchant, 1999), lo cual coincide con el valor máximo de biomasa del chapulín *S. purpurascens* (Cano-Santana, 1994a).

Las comunidades de animales invertebrados también responden a esta estacionalidad. La mayor densidad de especies asociadas a *V. virgata* se registra en septiembre y la menor en enero (Ruvalcaba-Sánchez *et al.*, 2009).

Las comunidades de abejas y mariposas diurnas, que representan los principales grupos de polinizadores también muestran una marcada estacionalidad (Domínguez-Álvarez, 2009 y Moyers-Arévalo 2009), la mayor riqueza de ambos grupos ocurre durante la época de lluvias, cuando hay 12 especies de abejas y 25 de mariposas, en contraste con la época de secas cuando se encuentran entre cinco y siete especies respectivamente (Fig.3). Además, un análisis de regresión múltiple por eliminación progresiva de variables, arrojó que existe una compleja relación entre la riqueza de especies de mariposas diurnas, abejas y plantas con flores entomófilas con la temperatura, humedad y precipitación prevaleciente (Fig. 4). (Moyers-Arévalo y Domínguez-Álvarez, datos no publ.). Mientras la humedad relativa y la temperatura afectan la riqueza de abejas de manera positiva, la riqueza de mariposas diurnas está negativamente afectada por la precipitación, aunque correlacionada positivamente con el número de especies de plantas en floración (Fig. 4). La riqueza específica mensual de mariposas en vuelo ( $S_m$ ) es explicada por la siguiente ecuación:  $S_m = 1.750 \pm 0.441 (S_f) - 1.161 \pm 0.441 (Pp)$  ( $R^2=0.70$ ,  $F_{2,8} = 10.76$ ,  $P = 0.0041$ ) donde  $S_f$  es la riqueza mensual de especies vegetales en floración y  $Pp$  es la precipitación acumulada mensual; la riqueza específica mensual de especies vegetales en floración ( $S_v$ ) es explicada por la siguiente ecuación:  $S_v = 0.400 \pm 0.105 (S_m) + 0.699 \pm 0.105 (Pp)$  ( $R^2=0.93$ ,  $F_{2,8} = 10.76$ ,  $P = 0.00019$ ) donde  $S_m$  es la riqueza mensual de mariposas y  $Pp$  es la precipitación acumulada mensual y finalmente la riqueza mensual de abejas ( $S_a$ ) en la Reserva del Pedregal se explica con la siguiente ecuación ( $S_a = 0.475 \pm 0.158 (T) + 0.643 \pm 0.158 (HR)$ ) ( $R^2= 0.788$ ,  $F_{2,9} = 16.753$ ,  $P = 0.0009$ ), donde  $T$  es la temperatura promedio mensual y  $HR$  es la humedad relativa promedio (Domínguez-Álvarez, *et al* 2009 y Moyers-Arévalo y Cano-Santana 2009),

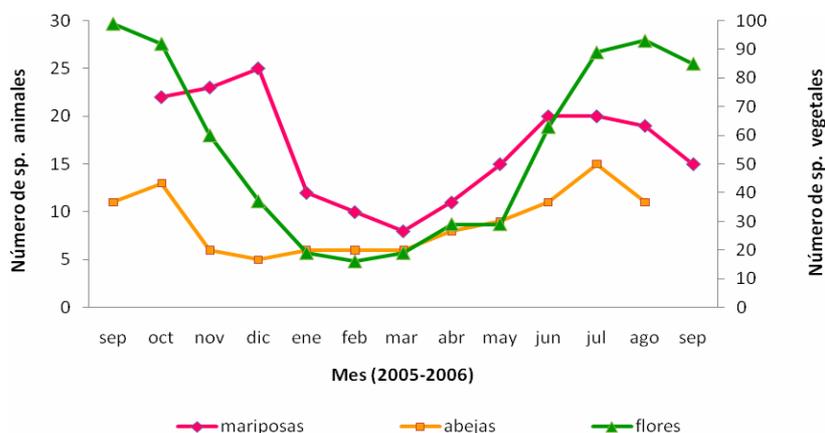


Figura 3. Variación temporal del número de especies de mariposas diurnas, abejas y plantas con flores entomófilas en floración en la REPSA. Datos de 2005-2006.

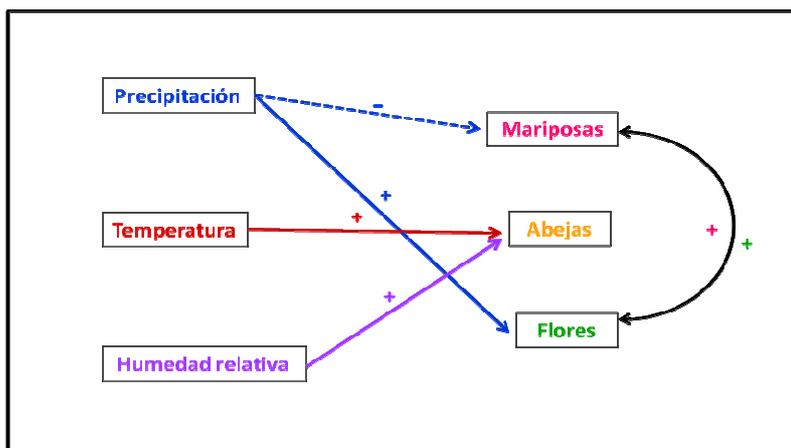


Figura 4. Modelo de interacción entre las comunidades de mariposas diurnas, abejas y especies vegetales en floración con factores ambientales. Efectos positivos (flechas continuas) y negativos (flechas discontinuas), y relaciones positivas (flechas recíprocas continuas) entre variables ambientales y la riqueza de abejas, mariposas diurnas y plantas entomófilas en floración.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La experiencia en la REPSA nos ayuda a entender la importancia de estudiar los complejos procesos que rigen la existencia de los ecosistemas que albergan las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) del país. Para poder manejarlas, conservarlas y restaurarlas es importante contar con información científica que permita tomar las mejores decisiones de manejo en un marco de protección y manejo sustentable de los recursos naturales que las áreas protegidas nos ofrecen. Sería deseable que la cantidad de información que se tiene de la REPSA pueda ser obtenida a través de una vinculación de éstas con las universidades del país, bajo un sistema de “adopción”. Cada ANP requiere de un

diagnóstico de acciones deseables de restauración de sus ecosistemas frente a problemas tales como incendios, control de biota exótica y factores de disturbio particulares de cada zona.

No podemos considerar a los ecosistemas como sistemas que se encuentran estáticos. Por ello, son deseables estudios sobre los cambios sucesionales y de recambio de especies a largo plazo. En este sentido, también sería deseable que se instaurara un sistema nacional de biomonitorio continuo y a plazo indefinido, para detectar los cambios que sufren los ecosistemas por procesos locales y debido al cambio global. Se deben monitorear los recursos bióticos nacionales protegidos en el SINAP, para ajustar las políticas de manejo, ya que sin datos no es posible tomar decisiones. El monitoreo debe incluir poblaciones de especies bioindicadoras o clave, comunidades (diversidad y composición), y ecosistemas (productividad, descomposición y ciclos biogeoquímicos).

También sería deseable tener datos cuantitativos de los servicios ecosistémicos de la REPSA y otras áreas naturales protegidas.

Las lecciones de la REPSA ofrecen datos de la necesidad de proteger el vecindario de las ANPs, ya que éstas y los sistemas vecinos, antrópicos o naturales, constituyen un metasistema integrado. Desde este punto de vista, para proteger un ANP es preciso establecer agresivos programas de instauración de corredores biológicos.

Un sistema urbano debe tener un programa de protección de sus áreas verdes y su riqueza biótica local, tratando de mantener parches de vegetación y paisaje original, donde se puedan proteger otros organismos.

Es deseable que en el caso particular de la REPSA se haga el monitoreo de especies bioindicadoras, como el ratón *P. gratus*, el chapulín *S. pupurascens*, la araña *N. oaxacensis* y la víbora *C. molossus*. Asimismo, se requiere detectar la presencia de biota exótica para implementar acciones tempranas de control.

## LITERATURA CITADA

Aladro A., M. Reyes y F. Olvera. 2009. Diversidad de los protozoos ciliados. Pp. 63-70, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Álvarez J., J. Carabias, J. Meave, P. Moreno-Cassasola, D. Nava, F. Rodríguez, C. Tovar y A. Valiente. 1982. Proyecto para la Creación de una Reserva en el Pedregal de San Ángel. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Anaya M.C.A. 1999. Variación temporal de los niveles de herbivoría de las Compositae de la Reserva del Pedregal de San Ángel (México). Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Antonio-Garcés A., M. Peña, Z. Cano-Santana, M. Villeda, A. Orozco-Segovia. 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, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Arango G. A. 2006. Heterogeneidad espacial y dinámica de la descomposición de hojarasca de cuatro especies abundantes en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Beutelspacher, C. 1973. Los tipos de polinización en la flora del Pedregal de San Ángel, D.F. *Folia Entomologica* 44:25-26.

Cano-Santana, Z. 1994. Flujo de energía a través de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófila. Tesis Doctoral. Centro de Ecología, UNAM, México.

Cano-Santana, Z. 1994. La reserva del Pedregal como ecosistema. Pp. 149-158. en Rojo, A. (comp.). *Reserva Ecológica "El Pedregal" de San Ángel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. UNAM, 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. E. Mendoza-Hernández, R. León-Rico, J. Soberón, E. Tovar, E. Martínez-Romero, L. C. Ruiz y A. Martínez-Ballesté. 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del Pedregal del Xitle. Pp. 203-226, en Oyama K. y Castillo A. (coords). *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México*. Siglo XXI Editores, UNAM. México.

Cano-Santana, Z. y K. Oyama. 1994<sup>b</sup>. Host range of three species of herbivores of *Wigandia urens* (Hydrophillaceae). *Southwestern Entomologist* 19:167-172.

Cano-Santana, Z. y R. León-Rico. 1998. Regeneración de la vegetación después de un incendio en una comunidad sucesional temprana de la Ciudad de México. En: *Resúmenes del VII Congreso Latinoamericano de Botánica y del XIV Congreso Mexicano de Botánica*. Sociedad Botánica de México, México.

Castillo-Argüero S., Y. Martínez-Orea, J.A. Meave, M. Hernández-Apolinar, O. Nuñez Castillo, G. Santibáñez-Andrade y P. Chávez-Guadarrama. 2009. Flora: susceptibilidad de la comunidad a la invasión de malezas nativas y exóticas. Pp. 107-133, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Cecaira Ricoy, R. 2004. Fuerzas ascendentes y productividad secundaria en *Neosocona oaxacensis* (araneae: araneidae) en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel D.F. (México). Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

César-García, F. 2002. Análisis de algunos factores que afectan la fenología reproductiva de la comunidad vegetal de la Reserva del Pedregal de San Ángel, D. F. (México). Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Cruz-Reyes A. 2009. Fauna feral, fauna nociva y zoonosis. Pp. 455-463, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Chávez C.N. y M.A. Gurrola H. 2009. Avifauna. Pp. 261-275, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Delgadillo M.C. y A. Cárdenas S. 2009. Musgos y otras briofitas de importancia en la sucesión primaria. Pp. 101-105, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Domínguez-Álvarez, L.A. 2009. Fenología de las abejas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y su relación con la fenología floral. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. UNAM, México.

Domínguez-Álvarez L.A., Z. Cano-Santana y R. Ayala-Barajas. 2009. Estructura y fenología de la comunidad de abejas nativas (Hymenoptera: Apoidea). Pp. 421-432, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Espinosa P.H. 2009. Los peces y sus hábitats. Pp. 357-362, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

García, E. 1988. Modificaciones al Sistema Climático de Köppen. Editado por la autora. México.

García Jiménez. C. en prep. Estado de conocimiento del Pedregal de San Ángel: diagnóstico y perspectivas. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM.

Eliminado: ¶  
Figuroa-Castro, D.M. 1997.  
Análisis comparativo de la  
biología floral de cinco especies  
de compuestas del Pedregal de  
San Ángel, D. F. (México).  
Tesis profesional. Facultad de  
Ciencias. UNAM, México. ¶

Herrera-Campos A. y R. Lücking. 2009. Líquenes. Pp. 81-94, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Eliminado: ¶  
Granados 2008¶  
¶

Hortelano-Moncada Y., F. A. Cervantes y A. Trejo. 2009. Mamíferos silvestres. Pp. 277-293, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Juárez-Orozco, S.M. 2005 Efectos del fuego y la herbivoría sobre la biomasa aérea del estrato herbáceo de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Juárez-Orozco S. y Cano-Santana Z. 2007. Ecología del fuego. *Ciencias* 85: 4-12.

Lot, A. 2007. Mirar para entender el paisaje del Pedregal. *Gaceta UNAM*. Sección Voces Académicas 3, 982:9.

Lot A. y Camarena P. 2009. El Pedregal de San Ángel de la ciudad de México: reserva ecológica urbana de la Universidad Nacional. Pp. 19-25, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

López-Gómez V., L.Y.Jiménez-Cedillo, M.A.Blanco-Becerril y Z. Cano Santana. 2009. Ecología de la comunidad de artrópodos asociada a *Mulembergia robusta* (Poaceae). Pp. 441-451, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Maravilla-Romero M. C. y Z. Cano-Santana. 2009. Riqueza florística, estado de conservación y densidad de eucaliptos en cinco zonas de amortiguamiento y un área natural no protegida de Ciudad Universitaria. Pp. 509-521, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Martínez-Mateos A.E. 2001. Regeneración natural después de un disturbio por fuego en dos microambientes contrastantes de la Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Martínez Orea, Y. 2001. Efecto del fuego sobre el banco de semillas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Méndez de la Cruz F.R., A.H. Díaz de la Vega Pérez, V.H. Jiménez Arcos. 2009. Herpetofauna. Pp. 243-260, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Eliminado: ¶  
Meave J., J. Carabias, V. Arriaga y A. Valiente-Banuet. 1994. Observaciones fenológicas en el Pedregal de San Ángel. Pp. 91-105. En: Rojo, A. (comp.). *Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Ecología, Historia, Natural y Manejo*. UNAM. México. ¶

Mendoza-Hernández P.E. y Z. Cano-Santana. 2009. Elementos para la restauración ecológica de los pedregales: la rehabilitación de áreas verdes de la Facultad de Ciencias en Ciudad Universitaria. Pp. 523-532, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México. 2009.

Moyers-Arévalo, R.L. 2009. Fenología de mariposas diurnas de la Reserva del Pedregal de San Ángel, D. F., y su relación con la fenología floral y otros factores ambientales. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Moyers-Arévalo L. y Z. Cano-Santana. 2009. Fenología de la comunidad de mariposas diurnas y su relación con la fenología floral de las plantas y otros factores ambientales. Pp. 411-419, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

Nava-López M., J.Jujnovski, R.Salinas-Galicia, J.Alvarez S.y L.Almeida Leñero.Servicios ecosistémicos. Pp. 51-60, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.

- Novelo E., M. E. Ponce. Y R. Ramírez. 2009. Las microalgas de la Cantera Oriente. Pp. 71-80, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.
- Power, M. 1992. Top-Down and Bottom-Up Forces in Food Webs: Do Plants Have Primacy. *Ecology* 73:733-746.
- Rios-Casanova, L. y Z. Cano-Santana 1994. Análisis cuantitativo de los artrópodos epífitos del Pedregal de San Angel. Págs. 275-281. En: Rojo A. (comp.) *Reserva Ecológica "El Pedregal" de San Ángel: ecología, historia natural y manejo*. UNAM. México.
- Rueda-Salazar A.M. y Z. Cano-Santana. 2009. Artropodofauna. Pp. 171-201. en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.
- Ruvalcaba-Sánchez L.I., Z. Cano-Santana, I. Sánchez-Gallén, E. Tovar-Sánchez, C. Anaya-Merchant y D.M. Figueroa-Castro. 2009. Estructura de la comunidad de invertebrados epífitos asociados a *Verbesina virgata* (Asteraceae). Pp. 433-440, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.
- Rzedowski, J. 1978. *La Vegetación de México*. Limusa, México.
- Segura-Burciaga S.G. y Meave J. 2001. Effect of the removal of the exotic *Eucalyptus resinifera* on the floristic composition of a protected xerophytic shrubland in southern Mexico City. En: Brundu G., J. Brock, I. Camarda, L. Chid y M. Wade, eds. *Plant Invasions: Species Ecology and Ecosystem Management*, pp. 319-330, Backhuys Publishers, Leiden, Holanda.
- Siebe, C. 2000. Age and archeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 104: 45-64.
- Soberón J., M. De la Cruz y G. Jiménez. 1991. Ecología hipotética de la Reserva del Pedregal de San Ángel. *Ciencia y Desarrollo* 17:25-38.
- Valenzuela V., T. Herrera y E. Pérez-Silva. 2009. Macromicetos. Pp. 95-100, en Lot. A, Cano-Santana Z. (eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. México.
- Valiente-Banuet, A. y E. De Luna. 1990. Una lista florística actualizada para la Reserva del Pedregal de San Ángel. *Acta Botánica Mexicana* 9: 13-30.
- Vivar-Evans, S., V.L. Barradas, M.E. Sánchez Coronado, A. Gamboa de Buen y A. Orozco Segovia. 2006. Ecophysiology of seed germination of wild *Dalia coccinea* (Asteraceae) in spatially heterogeneous fire-prone habitat. *Acta Oecologica* 29: 187-195.