



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

DIVERSIDAD DE HORMIGAS (Hymenoptera: Formicidae) EN UNA ZONA
RESTAURADA: LA CANTERA ORIENTE DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA: **Paola García Villar**

DIRECTORA DE TESIS: DRA. LETICIA RÍOS CASANOVA

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MÉXICO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
RESULTADOS.....	23
DISCUSIÓN.....	38
CONCLUSIONES.....	45
LITERATURA CITADA.....	46

AGRADECIMIENTOS

A las primeras personas que debo agradecer después de haber atravesado este largo trayecto, es a mis padres: Rodolfo y Passy. Gracias por apoyarme y creer en mí desde el día que nací, ustedes han formado a la persona que soy el día de hoy. Son mi modelo a seguir y lo que me impulsa a ser mejor y nunca darme por vencida. Me han enseñado que la vida no es fácil pero siempre hay que seguir adelante y aprender de los momentos malos. Este primer logro, de muchos, va dedicado especialmente a ustedes dos.

A mi mejor amigo y gran compañero, mi hermano Oliver, por ser siempre una figura protectora para mí, por enseñarme tantas cosas, por todos los momentos que hemos compartido juntos y sobre todo por ese vínculo tan especial que tenemos.

A toda mi familia que siempre ha sido una parte muy valiosa en mi vida. Por su infinito apoyo y amor.

Con todo mi cariño quiero agradecer de manera muy especial a Leticia Ríos Casanova. Gracias por todas tus valiosas enseñanzas, tu paciencia, tus consejos y por todo aquello que me ha hecho crecer tanto en el ámbito profesional como personal. Ha sido gracias a ti que mi fascinación y amor por las hormigas se ha convertido en un camino que me gustaría seguir descubriendo. Estoy agradecida que la vida me haya llevado a ti y me haya permitido conocer a alguien que considero más allá de una asesora, una buena amiga y mi mejor ejemplo a seguir en esta bella profesión: la biología.

A mis sinodales, Dr. Héctor Godínez, Dr. Miguel Vázquez, Dr. Esteban Jiménez y la Dra. Gabriela Castaños, por todos sus conocimientos, su buena disposición y comentarios que permitieron enriquecer mi trabajo.

A todos mis queridos amigos de la carrera, Miranda, Mariana, Lucy, Gaby, César, Enrique, Majó y Miguel, por hacer estos cuatro años, uno de los mejores años de mi vida. Por todos esos momentos que vivimos juntos y que ahora llevo en mi corazón.

A mis amigos de la prepa, por todo lo que me han dado, por todas esas memorias que hemos creado y por estar siempre a mi lado.

A mi mejor amiga de toda la vida, mi Yanki, gracias por entenderme mejor que nadie y por encontrar siempre la forma de hacerme sonreír.

A todas aquellas personas que conocí al otro lado del mundo y que me enseñaron que el tiempo no es un límite para querer a alguien.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por formarme profesionalmente como persona.

“ We are on stage for only a single scene in the long history of the earth”

RESUMEN

En este trabajo estudiamos la variación espacial y temporal de las comunidades de hormigas de la Cantera Oriente de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, un sitio que recientemente fue restaurado y del que aun no se conoce su mirmecofauna. También estudiamos la posible relación entre la diversidad de hormigas y algunas variables del ambiente como la estructura vertical de la vegetación y la estructura de la superficie del suelo. El área de estudio se dividió en cuatro sitios (Arbolada, Lacustre, Sendero y Jardín) en los que recolectamos a las hormigas por medio de trampas de caída en cuatro estaciones del año. Encontramos 11 especies de hormigas pertenecientes a tres subfamilias. El Sendero fue el sitio donde encontramos la mayor riqueza de especies (9) seguida del Jardín (8). En el Sendero, durante la primavera, registramos el valor más alto de abundancia (18.7 abundancia ajustada) mientras que en el sitio lacustre encontramos la riquezas y abundancias más bajas que inclusive fueron nulas en verano y otoño. Las especies más abundantes fueron *Monomorium minimum*, *Paratrechina longicornis* y *Pheidole* spp. Las especies *Dorymyrmex pyramicus*, *Paratrechina longicornis*, *Prenolepis imparis* y *Solenopsis stricta* se registraron por primera vez en la Reserva. Las variables que se correlacionaron con la diversidad de hormigas fueron el porcentaje de pasto y el porcentaje de hojarasca. La diversidad de hormigas que encontramos en la Cantera Oriente, así como la presencia de especies como *M.minimum* y *P. longicornis*, sugieren que los disturbios a los que estuvo sometida la Cantera le permiten mantener principalmente a especies de hormigas generalistas y

oportunistas que suelen asociarse con sitios muy perturbados o que son invasoras debido a su alta tolerancia a condiciones adversas.

INTRODUCCIÓN

Las hormigas son un grupo de insectos con una gran diversidad tanto funcional como taxonómica (Hölldobler y Wilson, 1990). Desempeñan un papel importante en los ecosistemas como depredadoras, herbívoras o detritívoras, participan en la descomposición y reciclaje de nutrientes del suelo y son dispersoras de semillas (Folgarait, 1998). Las hormigas son organismos muy abundantes y es posible encontrarlas en casi todo tipo de ambientes terrestres (Hölldobler y Wilson, 1990).

Para México se conocen 973 especies (Vásquez-Bolaños, 2011 2015; Ríos Casanova 2014) de las cuales sólo se han registrado 21 para la Ciudad de México, lo que representa el 2.16 % del total de especies registradas para el país (Hernández, 2010). A pesar de su importancia ecológica son pocos los estudios sobre hormigas en los estados del centro de México (Rojas, 2001).

La Ciudad de México es una de las zonas del país con mayor población humana y mayor densidad, por lo tanto, presenta problemas ambientales muy severos (Chávez y Ceballos, 1998). La urbanización y el acelerado crecimiento de esta ciudad han provocado la pérdida de hábitats y desaparición de muchas especies de plantas y animales (Cano-Santana *et al.*, 2008).

En respuesta a la problemática ambiental actual han surgido varias alternativas como la restauración ecológica y la creación de reservas. La restauración ecológica pretende acelerar el proceso de recuperación de los ecosistemas perturbados, degradados o destruidos (SER, 2004; Choi, 2007). Por

otra parte el establecimiento de reservas ecológicas tiene como objetivo la protección de áreas naturales que se encuentran dentro de un ambiente urbano (Martínez, 1996; Dearborn y Kark, 2009).

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), es uno de los pocos lugares dentro de la Ciudad de México que aún conserva una gran diversidad biológica. Dicha diversidad es resultado de diversos factores como su origen geológico y su particular topografía accidentada, lo que ha originado un ecosistema con una composición biótica muy especial. Además es un de los pocos reductos de malpaís que quedan en el centro de México (Álvarez-Sánchez *et al.*, 1982). Algunas zonas de este ecosistema han estado sujetas a disturbios provocados por el hombre, como es el caso de la Cantera Oriente, la cual fue utilizada para la extracción de material basáltico durante 25 años y en la que hace 24 años se introdujeron plantas exóticas y suelo con el fin de restaurarla (Lot, 2007).

Existe evidencia que sugiere una relación entre la diversidad biológica y la heterogeneidad de un sistema (MacArthur, 1972; Putman, 1994; Retana y Cerdá, 2000). Se ha demostrado que la diversidad está positivamente relacionada con la complejidad vegetal ya que ésta crea una mayor disponibilidad de nichos: entre más complejo sea un sistema, mayor es la probabilidad de que los recursos sean divididos y así mismo, la riqueza de la flora y la fauna sea mayor (Retana y Cerdá, 2000).

Se ha visto que la heterogeneidad del sistema se ve reflejada en variaciones de factores como la humedad del suelo, la cobertura vegetal y la composición de la

comunidad de plantas, y que tal heterogeneidad se encuentra asociada con cambios en la diversidad de hormigas (Thompson y McLachlan, 2007). Por ejemplo, en el mediterráneo español, Retana y Cerdá (2000) encontraron que a medida que aumentaba la cobertura vegetal, había un aumento progresivo en la abundancia relativa de las especies de hormigas más comunes, con una subsecuente disminución en la equitatividad. Los autores explicaron estos resultados considerando que una mayor cobertura de la vegetación implica un menor porcentaje de suelo expuesto al sol, lo cual favorece la actividad de las hormigas menos tolerantes a las altas temperaturas, que constituyen la mayoría de las especies comunes en el ecosistema estudiado (Retana y Cerdá, 2000). Sin embargo, en otros ecosistemas, la sombra y la presencia de hojarasca, parecen tener una influencia negativa en la actividad de las hormigas, sobretodo en aquellas especies que son más afines a las temperaturas elevadas (Perfecto y Vandermeer, 1996). Estos estudios sugieren que, un sitio heterogéneo, con sitios abiertos y otros cubiertos por la vegetación, tienen el potencial de soportar tanto a las especies tolerantes a las altas temperaturas, como a las no tolerantes con un subsecuente aumento de la diversidad (Lassau y Hochuli, 2004; Lassau et al., 2005).

La urbanización es un proceso en el que se pierden los espacios naturales y se modifican las condiciones del ambiente. Una de las consecuencias más evidentes es la disminución de la diversidad de plantas y de la cobertura vegetal convirtiendo al ambiente en un sistema más simple, es decir, menos heterogéneo (Clarke *et al.*, 2008). Dichas variaciones pueden propiciar cambios en la composición y dinámica de las comunidades de hormigas que se desarrollan en

sitios urbanizados o en proceso de urbanización (Clarke *et al.*, 2008). Por ejemplo, en hábitats urbanos fragmentados en California y Quebec, se observó una disminución en la riqueza de especies nativas, así como en el número de hormigas especialistas, y un incremento en la abundancia relativa de especies de hormigas no nativas (Thompson y McLachlan, 2007).

Otra consecuencia del proceso de urbanización es que se facilita el establecimiento de especies de hormigas invasoras ya que muchas son generalistas y/o muy tolerantes a ambientes estresantes (McIntyre *et al.*, 2001; Lessard y Buddle, 2005).

En un estudio realizado en parques urbanos por Clarke y colaboradores (2008), se sugiere que entre los principales factores que determinan la abundancia y distribución de las hormigas se encuentran la estructura de la vegetación, la textura del suelo y la temperatura. En otro estudio, donde se comparó la diversidad de hormigas entre parques urbanos, zonas comerciales y zonas residenciales, se encontró que los parques urbanos tenían el mayor número de especies de hormigas nativas debido a que presentaban parches de vegetación nativa, la cual provee un hábitat óptimo para este tipo de hormigas (Pacheco y Vasconcelos, 2007).

En muchos estudios donde se trata de conocer el impacto de las actividades que degradan a los ecosistemas naturales sobre las comunidades de hormigas, es común el uso del modelo de grupos funcionales propuesto por Andersen (1997). Dicha clasificación pretende lograr una identificación de patrones generales en la estructura de las comunidades que trasciendan los límites taxonómicos y biogeográficos, así como lograr mejores predicciones sobre las respuestas que

presentarán las comunidades de hormigas al estrés y a las perturbaciones (Andersen 1997). El uso de grupos funcionales también es útil para evaluar la respuesta de la comunidad local de hormigas al uso del suelo (Andersen *et al.*, 2004). Dicho modelo se basa en la predominancia de ciertos grupos según el clima, disponibilidad de nidos, reserva de alimento, la estructura de su microhábitat y capacidad de captura de recursos. Los grupos propuestos son nueve: Dolichoderinae dominante, Camponotini subordinadas, especialistas de climas fríos, especialistas de climas cálidos, especialistas de climas tropicales, especies crípticas, oportunistas, Myrmicinae generalistas y depredadoras especializadas (Cuadro 1) (Andersen, 1997; 2000).

Cuadro 1. Grupos funcionales de hormigas, sus características y algunos géneros (Andersen, 1997 2000).

Grupo funcional	Características	Taxa
Dolichoderinae dominantes DD	Especies abundantes, sumamente activas y agresivas para el caso de Australia, para América la influencia competitiva de este grupo sobre otros en la región Neártica no es muy notable, si acaso más conspicua en zonas áridas y de altitudes bajas, mientras que en zonas templadas es mínima.	<i>Forelius</i> y <i>Liometopum</i> .
Camponotinas subordinadas CS	Coocurren con, y son conductualmente sumisas de Dolichoderinae dominantes, de gran tamaño y frecuentemente de hábitos nocturnos.	<i>Camponotus</i> es el único género de este grupo en la región Neártica.
Especialistas de climas cálidos ECC	Especies adaptadas a zonas áridas, con especializaciones morfológicas, fisiológicas y conductuales que reducen la interacción con las Dolichoderinae dominantes.	<i>Pogonomyrmex</i> , <i>Veromessor</i> , <i>Myrmecosystus</i> y <i>Solenopsis</i>
Especialistas de climas fríos ECF	Los taxones de este grupo se distribuyen hacia las zonas templadas de Norteamérica, este grupo está restringido a grandes alturas y viven en hábitats donde las Dolichoderinae dominantes no son muy abundantes.	<i>Lasius</i> , <i>Temnothorax</i> , <i>Prenolepis</i> y <i>Manica</i>

Especialistas de climas tropicales ECT Especies crípticas EC	Este grupo tiene una distribución más amplia hacia el Neotrópico y no tienen mucha penetración en zonas neárticas. Son especies muy pequeñas que no interactúan mucho con otras especies en la superficie. Anidan y forrajean principalmente en el suelo, hojarasca y troncos podridos. Un gran número de géneros se ubican en este grupo.	<i>Labidus, Rogeria, Attini, Pseudomyrmex y Neivamyrmex Solenopsis (Diplorhoptrum), Hypoponera, Poner y Brachymyrmex</i>
Oportunistas O	Las especies de este grupo tienen un amplio rango de distribución geográfica y diversidad de hábitats, usualmente no tienen dietas especializadas y presentan una capacidad pobre de competencia. Predominan en sitios donde el estrés y disturbio limita la productividad y diversidad de hormigas.	<i>Myrmica, Formica (grupo fusca.), Paratrechina, Dorymyrmex y Tetramorium</i>
Myrmicinae generalistas MG	Conformado por taxones de amplia distribución, comúnmente se encuentran entre las hormigas más abundantes. En Norteamérica este es el grupo dominante en zonas áridas y templadas.	<i>Pheidole, Monomorium y Crematogaster</i>
Depredadoras especializadas DE	Este grupo presenta especies de tamaño mediano a grandes, son depredadoras de otros artrópodos. Con excepción de la depredación directa, tienen poca interacción con otras hormigas debido a su dieta especializada y a su baja densidad poblacional.	<i>Leptogenys, Platythyrea, Pachycondyla y Polyergus</i>

Con respecto a estos grupos, se ha encontrado que las Dolichoderinae dominantes y las especialistas (de cualquier clima), son hormigas que se espera encontrar en sitios con productividad alta y con niveles de disturbio bajos. También el grupo de las crípticas y depredadoras son altamente especializadas y por lo tanto, muy sensibles al disturbio. Por el contrario, las oportunistas y Myrmicinae generalistas tienen una tolerancia alta a las variaciones del hábitat y es altamente probable encontrarlas en sitios con perturbación alta (Hoffman y Andersen, 2003; Andersen 2010).

La Cantera Oriente de la REPSA es un sitio que ha tenido diferentes tipos de disturbio a lo largo del tiempo y que actualmente es un sitio muy perturbado en el que se han intentado algunos métodos de restauración activa (Lot, 2007).

Actualmente la Cantera Oriente se encuentra dividida en varios sitios que presentan diferentes características ambientales, por lo tanto, en los sitios que tienen una mayor heterogeneidad y estructura de la vegetación, se esperaría encontrar una mayor riqueza y abundancia de hormigas. Así mismo al haber mayor disponibilidad de recursos en la temporada de lluvia (primavera y verano), se espera que en todos los sitios haya mayor riqueza y abundancia de hormigas.

También, debido a la historia de manejo de la Cantera, se esperaría encontrar una menor diversidad de hormigas que en las zonas núcleo de la REPSA. En cuanto a la riqueza, se esperaría encontrar especies características de zonas urbanas como especies de los géneros *Paratrechina* o *Monomorium*, las cuales se adaptan fácilmente a los cambios, no tienen hábitos especializados y pueden aprovechar todo tipo de recursos. Por último, en cuanto a los grupos funcionales, se esperaría encontrar especies oportunistas y Myrmicinae generalistas, que son las especies que toleran más el efecto del disturbio.

Debido a que la Cantera Oriente de la REPSA ha sido restaurada después de haber sufrido fuertes perturbaciones, a la importancia ecológica de las hormigas y su potencial uso como indicadores del estado de restauración de un sistema, se planteó el siguiente objetivo general y varios objetivos particulares:

Objetivo general:

- Conocer la diversidad de hormigas en la Cantera Oriente de la REPSA.

Objetivos particulares:

- Conocer la riqueza y abundancia de hormigas en cuatro sitios de la Cantera Oriente en cuatro estaciones del año.
- Comparar la riqueza y abundancia de las hormigas entre los cuatro sitios de la Cantera Oriente.
- Relacionar la riqueza y abundancia de hormigas de los cuatro sitios de la Cantera Oriente con la estructura de la superficie del suelo y la estructura vertical de la vegetación.
- Comparar la riqueza de hormigas de la Cantera Oriente con la riqueza encontrada en un estudio realizado previamente en las zonas núcleo de la REPSA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Cantera Oriente de la REPSA está localizada al sur de la Ciudad de México (19° 32' 02" - 99° 17' 37"). Tiene un clima templado sub-húmedo con una precipitación promedio anual de 833 mm y una temperatura media anual de 15.6 ° C. Presenta una marcada estacionalidad que comprende una época de lluvias de junio a octubre y una de sequía de noviembre a mayo (Lot, 2007).

La Cantera Oriente es una de las zonas de amortiguamiento pertenecientes a la REPSA, la cual corresponde a la zona de amortiguamiento A3. Las zonas de amortiguamiento son áreas de una reserva ecológica sujetas a uso restringido para la protección ambiental y su presencia pretenden reducir el efecto de los disturbios antropogénicos sobre las zonas núcleo (Lot y Cano-Santana, 2009). Sin embargo la Cantera Oriente, al estar ubicada fuera del campus universitario (en el cual se encuentra la REPSA) y desligada de las zonas núcleo, quedaría fuera de tal definición, pero debido a sus antecedentes, características de índole paisajística y presencia de ambientes acuáticos, representa un refugio para la biota de la Cuenca de México, lo que le atribuye un valor especial para ser considerada como parte de la Reserva Ecológica (Lot y Cano-Santana, 2009).

En 1970 se dio la concesión para la extracción de material basáltico de la Cantera para la pavimentación de vialidades en la ciudad; se calcula que por 25 años se extrajo aproximadamente un volumen de 5 millones y medio de m³ de material basáltico (Lot, 2007). Fue hasta 1996 cuando se integró la Cantera Oriente a la REPSA y posteriormente en 1997 se inició la introducción de arbustos,

árboles y plantas, en general de especies exóticas, para su restauración (Sarukhán, 1996). Por lo tanto, la Cantera Oriente representa un sitio altamente impactado y un reto para un programa de restauración del paisaje y rehabilitación ecológica. La explotación original de la roca volcánica, los accidentados sucesos derivados de la utilización de este sitio como depósito de los escombros del terremoto de 1985, los procesos de movimiento del suelo y las acciones de recuperación con la introducción de elementos florísticos exóticos, se ven reflejados en el impacto ambiental extremo de este sitio (Lot, 2007).

Debido a los sucesos antes mencionados la Cantera Oriente presenta zonas fisonómicamente muy distintas, por lo que en este estudio se le dividió en cuatro sitios de acuerdo a los principales ambientes observados, basándonos en las descripciones de Lot (2007) y en las observaciones realizadas en campo. Los sitios son: Arbolada, Lacustre, Sendero y Jardín (Figura 1).



Figura 1. Sitios estudiados en la Cantera Oriente de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. A) Arbolada, B) Lacustre, C) Sendero y D) Jardín.

Arbolada: este sitio está dominado por el estrato arbóreo, compuesto por especies exóticas como cipreses (*Cupressus* sp.), fresnos (*Fraxinus* sp.) y floripondio (*Burghmansia arborea* (L.) Steud). Presenta una cobertura vegetal muy cerrada, por lo tanto este sitio se encuentra muy sombreado.

Lacustre: este sitio se encuentra junto al principal cuerpo de agua, al igual que la arbolada, esta dominado por árboles, como el sauce (*Salix* sp.), que no permiten el paso de luz.

Sendero: este sitio es el más heterogéneo, de un lado presenta cipreses (*Cupressus* sp.) y del otro vegetación típica de la REPSA (*Buddleia cordata* (Kunth), *Verbesina virgata* Cav., etc.). Es la zona en la cual se observó más luz solar, ya que la cobertura vegetal genera poca sombra (ver resultados).

Jardín: es un sitio creado con propósitos ornamentales, presenta árboles como cipreses y fresnos (*Fraxinus* sp.), herbáceas y pasto.

Colecta de hormigas

Para la colecta de hormigas, en cada uno de los 4 sitios en los que se dividió la Cantera, se utilizaron 2 transectos de 40 m de longitud, separados 10 m entre sí, en los que se colocaron trampas de caída. En cada transecto se colocaron 5 trampas separadas 10 m entre sí, colocando un total de 10 trampas por cada sitio. Las trampas consistieron en recipientes de plástico de 60 mm de diámetro y 100 mm de altura conteniendo 100 ml de una mezcla de 70 % de etanol y 30 % de agua. Las trampas se enterraron y permanecieron cerradas por 24 h para minimizar el efecto de la excavación, posteriormente se abrieron y permanecieron así por 48 h al término de las cuales se cerraron y llevaron al laboratorio. Se realizaron 4 colectas repartidas a lo largo del año, una en cada estación (invierno: enero del 2014; primavera: marzo del 2014, verano: agosto del 2014 y otoño: noviembre del 2014).

Todas las hormigas se separaron, contaron y determinaron a género usando la clave de Fisher y Cover (2007), en algunos casos fue posible llegar hasta el nivel de especie por medio de claves especializadas para cada género. Para las determinaciones, se contó con la ayuda del Dr. Miguel Vásquez Bolaños, profesor de la Universidad de Guadalajara, especialista en la familia Formicidae. Una vez determinadas, las morfoespecies y especies se asignaron a los grupos funcionales según la clasificación de Andersen (1997) la cual solo considera géneros. En el caso de que un género perteneciera a más de un grupo, se buscó información sobre la especie para poder clasificarla. Todo el material colectado se depositó en el Laboratorio de Ecológica de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Facultad de Estudios Superiores campus Iztacala de la UNAM.

Caracterización de la vegetación

Para conocer las diferencias en la estructura de la vegetación de los sitios en que se dividió a la Cantera, en cada uno se midió la estructura vertical utilizando el método de interceptos verticales de la vegetación (Bestelmeyer y Wiens, 1996). En cada sitio se trazaron dos transectos de 40 m, en donde cada 10 m se colocó una pértiga de PVC de 3 m de altura la cual estaba dividida cada 10 cm para marcar a qué altura la vegetación interceptaba o tocaba a la pértiga. Esto permite conocer el número de veces que la vegetación intercepta a la pértiga (número de toques), así como los estratos de vegetación existente, dándonos una idea de qué tan heterogéneo es cada sitio en términos de la estructura vertical de su vegetación. Las alturas se clasificaron en 3 categorías para conocer el estrato

dominante de cada sitio: herbáceas (plantas menores a 30 cm), arbustos (plantas de entre 31 y 150 cm) y plantas arbóreas (mayores a 150 cm).

Caracterización de la superficie del suelo

El suelo se caracterizó utilizando los 2 transectos de 40 m; cada 10 m se colocó un marco de madera de 20 cm² en el suelo. Dicho cuadro fue fotografiado con una cámara digital marca Olympus, modelo VG-120, a 30 cm de altura. Posteriormente, estas fotografías se capturaron en formato JPG. Sobre estas fotos se dibujó digitalmente una cuadrícula de 10 x 10 cuadros de 2 cm² cada uno, con ellos se pudieron contabilizar las siguientes categorías de suelo: porcentaje de suelo desnudo, de roca, de pasto, de hojarasca y de costra biológica (Ríos-Casanova et al., 2015).

Análisis de datos

Hormigas. Se obtuvo la riqueza calculando el total de especies encontradas en todas las trampas en cada sitio y estación muestreados y se construyeron curvas de rango-abundancia para conocer la dominancia de las especies. Considerando que la abundancia de los insectos sociales, como las hormigas, puede ser afectado por la cercanía de las trampas a los nidos o a las hileras que estos insectos hacen para forrajear (Ríos *et al.*, 2006), los datos fueron transformados usando la fórmula de abundancia ajustada (AA) :

$$AA = (A) * (O/100)$$

Donde A = número total de individuos de cada especie y O = ocurrencia o porcentaje de trampas en la que una especie está presente (Lindsey y Skinner, 2001).

Se calcularon el índice de diversidad de Shannon y la equitatividad de Pielou para cada uno de los sitios. Para saber si existen diferencias entre los índices de diversidad, se hizo una prueba de t para índices de diversidad con el programa Past versión 2.17c (Hammer, 2012) para disminuir el efecto de las comparaciones pareadas se usó la corrección de Bonferroni (Magurran, 1998).

Debido a que el análisis de la diversidad puede afectarse fuertemente por el esfuerzo de colecta en campo, se utilizó un método de rarefacción para estimar el número de especies esperadas de acuerdo con el número de trampas colocadas. (Ríos-Casanova *et al.*, 2006). Esta estimación utiliza la presencia o ausencia de las especies en cada trampa para repetir un número determinado de veces los muestreos de manera aleatoria para estimar el número de especies esperadas en un sitio. En este caso se utilizó el número total de especies observadas en la Cantera (todas las estaciones y sitios juntos) y se estimó el número de especies esperadas, usando el programa EstimatesS 8.2.0 realizando 1000 aleatorizaciones con el estimador Jackknife de primer orden. Este estimador se basa en los denominados “singletons” o especies que cuentan con un solo individuo en toda la muestra (Colwell, 1997).

Para conocer las diferencias en la composición de la comunidad de hormigas de la Cantera entre sitios y temporadas se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) de dos vías. Para realizarlo se agruparon los datos de primavera e invierno en una nueva categoría llamada sequía, mientras que verano y otoño en la

categoría lluvia. Para conocer si la abundancia de hormigas de la Cantera difiere entre sitios y estaciones, se hizo un análisis de varianza de dos vías no paramétrico por permutaciones (PERMANOVA) utilizando las mismas categorías que en el análisis anterior. Para saber si los sitios eran diferentes entre sí, se realizó un análisis de cluster, el cual coloca a una menor distancia a los sitios que son más similares, basándose en la abundancia de hormigas. Estas pruebas se hicieron utilizando el programa PAST versión 2.17.

Suelo. Para conocer si la proporción de cada una de las categorías de la superficie del suelo (suelo desnudo, roca, pasto, hojarasca y roca) variaban entre sitios, se hicieron análisis de varianza de una vía utilizando la transformación arcoseno (arcoseno de la raíz cuadrada de cada dato) en cada estación, empleando el programa SPSS 9.0 (Salafranca *et al*, 2000).

Vegetación. Para saber si existían diferencias en la estructura de la vegetación (medida como número de toques) entre los diferentes sitios muestreados, se hizo una prueba de Kruskal-Wallis con el programa SPSS 9.0.

Relación diversidad-parámetros ambientales. Para saber si la estructura de la superficie del suelo (de cada una de las 5 variables medidas) y la estructura vertical de la vegetación están relacionadas con la abundancia y riqueza de hormigas encontradas, se realizaron correlaciones de Spearman con el programa SPSS versión 3.1.2.

Con la finalidad de conocer la similitud de especies de hormigas encontradas en la Cantera Oriente y las encontradas previamente en la zona núcleo de la REPSA (Hernández, 2010 y Trejo, 2015), se utilizó el coeficiente de similitud de Sorensen que se basa en la relación presencia-ausencia de especies entre dos sistemas (Zarco-Espinoza *et al.*, 2010). Se calculó con la siguiente fórmula:

$$I_s = \frac{(2c)(100)}{a+b}$$

Donde: a = número de especies encontradas en la comunidad 1, b = número de especies encontradas en la comunidad 2 y c = número de especies comunes en ambas comunidades. Este coeficiente presenta valores que van de 0 a 1, significando la menor y mayor similitud, respectivamente.

RESULTADOS

Comunidad de hormigas

Se obtuvieron 686 individuos que pertenecen a 11 especies de ocho géneros y tres subfamilias (Cuadro 1). La especie *Solenopsis* sp. fue obtenida por colecta manual y no fue considerada en el análisis de las abundancias. La especie más abundante fue *Monomorium minimum* con una abundancia ajustada de 14.4, en contraste *Temnothorax* sp, fue la especie menos abundante (0.02), ésta fue una especie exclusiva del Sendero, ya que sólo se encontró en este sitio en primavera (Cuadro 1).

La estación con mayor riqueza y abundancia fue primavera, siendo el Sendero el sitio con los valores más altos (9 especies y abundancia ajustada de 18.17). En contraste el sitio Lacustre tanto en verano como en otoño fue el sitio con menor riqueza y abundancia, obteniendo un total de cero especies e individuos. En cuanto a la diversidad, verano fue la estación con el valor más alto (1.49), y el sitio con la mayor diversidad en esta estación fue el Sendero. Respecto a la equitatividad, los sitios Arbolada y Lacustre en invierno y primavera, respectivamente, fueron los sitios más equitativos (0.99) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Riqueza, abundancia ajustada y diversidad de las comunidades de hormigas en cuatro sitios y cuatro estaciones en la Cantera Oriente del Pedregal de San Ángel. I = invierno, P = primavera, V = verano y O = otoño.

Subfamilia Especie	Sitios de la Cantera Oriente															
	Estaciones												Sendero			
	Arbolada				Lacustre				Jardín				V	O	I	
	P	V	O	I	P	V	O	I	P	V	O	I	P	V	O	I
Dolichoderinae																
<i>Dorymyrmex pyramicus</i> (Roger)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	6.72	0.9	0.3	0
Formicinae																
<i>Camponotus atriceps</i> (Smith)	0	0	0	0	0.01	0	0	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	2.08	2.88	0.15	1.2	1.61	1.02	0.39
<i>Prenolepis imparis</i> (Say)	0.03	0.09	0	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0
Myrmicinae																
<i>Monomorium minimum</i> (Buckley)	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0.92	0.52	0.28	0.78	8.24	0.24	2.32	1.08
<i>Pheidole</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.28	0.16	0.84	1.6	0.35	0.56	0.28
<i>Pheidole</i> sp.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24	0.02	0	0	0.02
<i>Pheidole</i> sp.3	0	0.04	0.01	0.02	0.01	0	0	0	0.55	0.04	0.04	0.02	0.32	1.4	0.5	0.33
<i>Temnotorax</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0
<i>Solenopsis stricta</i> Emery	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.04	0.04	0	0
Riqueza	2	2	1	2	4	0	0	1	5	4	5	8	9	7	6	5
Abundancia ajustada	0.04	0.13	0.01	0.04	0.04	0	0	0.02	1.85	2.92	3.37	2.22	18.17	4.6	4.71	2.1
Diversidad (Shannon- Wiener)	0.56	0.61	0	0.69	1.38	0	0	0	1.1	0.83	0.55	1.47	1.21	1.49	1.36	1.25
Equitatividad J'	0.80	0.88	0	0.99	0.99	0	0	0	0.68	0.60	0.34	0.7	0.55	0.76	0.75	0.78

La prueba de t para comparar los valores del índice de diversidad de Shannon, mostró que no hay diferencias significativas para la diversidad entre estaciones, para ninguno de los sitios, sin embargo al comparar entre sitios dentro de una misma estación, existen diferencias significativas entre Arbolada y Sendero en el otoño (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 2. Valores de t , grados de libertad (gl) y probabilidad (P) para la prueba de t para índice de diversidad de Shannon obtenidos al comparar entre sitios de la Cantera Oriente de la REPSA en cuatro estaciones del año.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Arbolada vs. Lacustre				
t	-0.02	0	0	0.03
gl	0.06	0	0	0.04
P	0.99	0	0	0.99
Arbolada vs. Jardín				
t	--0.03	-0.03	-0.8	-0.04
gl	0.04	0.13	3.37	0.04
P	0.99	0.98	0.47	0.99
Arbolada vs. Sendero				
t	-0.03	-0.15	-2.85	-0.03
gl	0.04	0.13	4.71	0.04
P	0.99-	0.94	0.03	0.99
Lacustre vs Jardín				
t	0	0	0	-1.45
gl	0.04	0	0	2.22
P	0.99	0	0	0.27
Lacustre vs. Sendero				
t	0	0	0	-1.53
gl	0.04	0	0	2.1
P	0.99	0	0	0.25
Jardín vs. Sendero				
t	-0.13	-0.81	-0.96	0.16
gl	2.08	6.09	6.34	4.18
p	0.9	0.44	0.37	0.87

Cuadro 3. Valores de t , grados de libertad (gl) y probabilidad (P) para la prueba de t para índice de diversidad de Shannon obtenidos al comparar entre estaciones en cuatro sitios de la Cantera oriente de la REPSA.

	Arbolada	Lacustre	Jardín	Sendero
Primavera vs. Verano				
t	0	0	0.24	-0.49
gl	0.04	0	3.68	6.49
P	0.99	0	0.81	0.63
Primavera vs. Otoño				
t	0.031	0	0.48	-0.25
gl	0.04	0	3.97	6.85
P	0.99	0	0.65	0.8
Primavera vs. Invierno				
t	0	0.04	-0.27	-0.04
gl	0.07	0.04	4.06	2.41
P	0.99	0.99	0.79	0.97
Verano vs. Otoño				
t	0.11	0	0.29	0.19
gl	0.13	0	6.28	9.27
P	0.96	0	0.77	0.84
Verano vs. Invierno				
t	0	0	-0.53	0.24
gl	0.04	0	3.89	3.72
P	0.99	0	0.62	0.81
Otoño vs. Invierno				
t	-0.03	0	-0.74	0.1
gl	0.04	0	4.15	3.58
P	0.99	0	0.49	0.92

De acuerdo con el análisis de similitud (ANOSIM) de dos vías, la composición de especies no varía entre estaciones ($R = 0.094$, $P = 0.38$) aunque sí entre sitios ($R = 0.6$, $P = 0.003$; sin embargo, estas pruebas no permiten saber qué sitios son los que difieren).

El análisis PERMANOVA del efecto de la temporada y el sitio sobre la abundancia de las hormigas indicó que hay un efecto tanto de la temporada ($F_{1,8} = 2.19$, $P = 0.042$) como del sitio ($F_{3,8} = 4.05$, $P = 0.0002$), pero no de la interacción

temporada por sitio ($F_{3,8} = 1.53$, $P = 0.10$). Debido a que la mayor proporción de varianza es explicada por el efecto del sitio, se hizo un análisis de PERMANOVA de una vía para conocer el efecto del sitio en temporada de sequía y otro para conocer el efecto del sitio en temporada de lluvia. Únicamente el análisis del efecto de los sitios durante lluvia sobre la abundancia de hormigas fue significativo (sequía: $F = 1.88$, $P = 0.08$; lluvia: $F = 4.45$, $P = 0.01$).

Un análisis de cluster realizado usando distancia de Bray-Curtis para conocer cómo se agrupan los sitios de acuerdo con la abundancia de cada especie durante la temporada de sequía, mostró la formación de dos grupos, en un grupo con una similitud de 0.86 se encuentran los sitios Jardín y Sendero y en otro grupo con similitud de 0.38, los sitios Lacustre y Arbolada (Figura 1). Para la temporada de lluvia se obtuvo el mismo patrón, se formó un grupo con Jardín y Sendero con una similitud entre ellos de 0.85, y otro grupo con Arbolada y Lacustre con una similitud de 0.53 entre ellos (Figura 2).

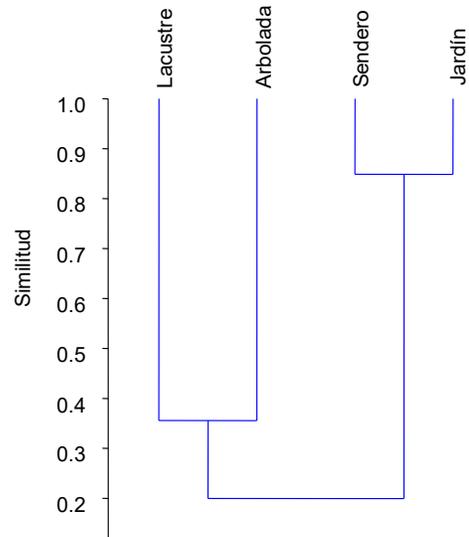


Figura 1. Dendrograma de similitud entre los sitios basado en la abundancia de especies de hormigas de la Cantera Oriente, de la REPSA para la temporada de sequía.

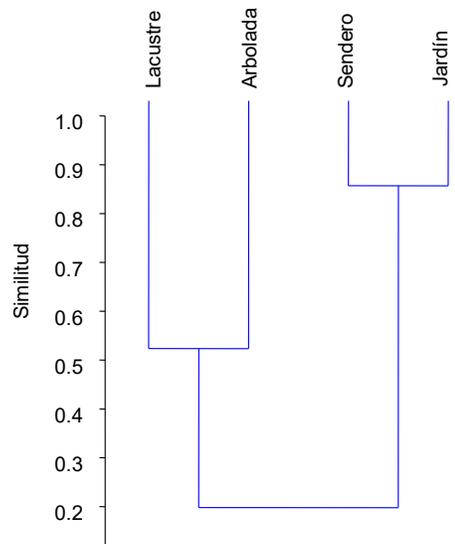


Figura 2. Dendrograma de similitud entre los sitios basado en la abundancia de especies de hormigas de la Cantera Oriente, de la REPSA para la temporada de lluvia.

Rango-abundancia

La gráfica de rango abundancia para el sitio del Jardín muestra a *Monomorium minimum* como la especie dominante en sequía, seguida de *Pheidole* sp. 1 y *Pheidole* sp. 3. Sequía fue la temporada con la mayor dominancia numérica. En la temporada de lluvia *Paratrechina longicornis*, *M. minimum* y *Pheidole* sp. 1 fueron las especies más dominantes (Figura 3).

En el caso del Sendero la especie dominante en sequía fue *M. minimum*, seguida por *Dorymyrmex pyramycus* y *Pheidole* sp. 1. En lluvia *P. longicornis*, *M. minimum* y *Pheidole* sp. 3 fueron las especies dominantes (Figura 3). Debido a la baja riqueza y abundancia de hormigas encontradas en los sitios Arbolada y Lacustre, no se construyeron gráficas de rango-abundancia para dichos sitios.

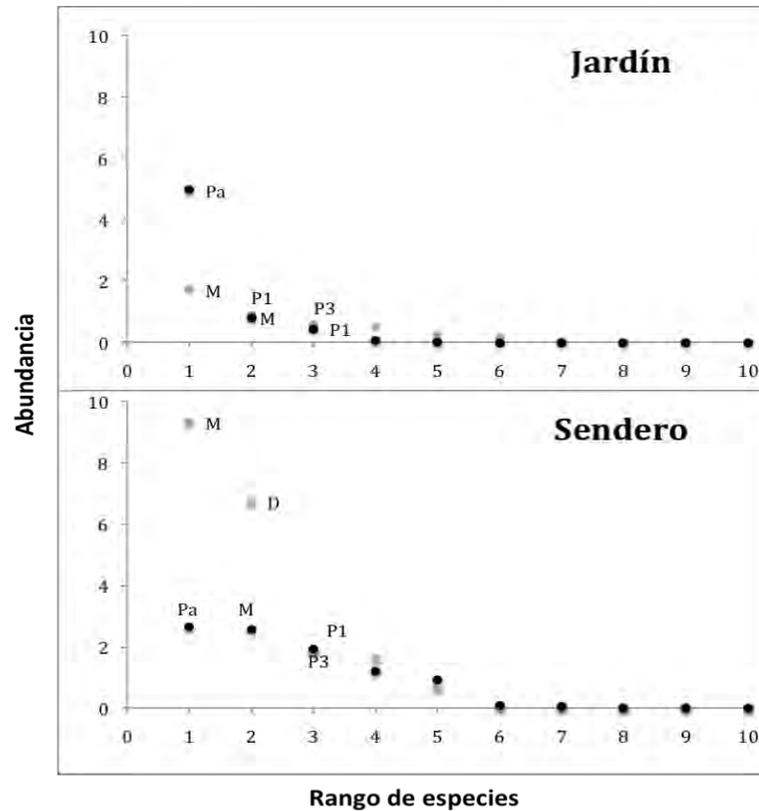


Figura 3. Rango de especies según su abundancia para Jardín y Sendero de la Cantera Oriente de la REPSA en sequía (gris) y lluvia (negro). M = *Monomorium minimum*; D = *Dorymyrmex pyramicus*; P1 = *Pheidole* sp. 1, P3 = *Pheidole* sp. 3 y Pa = *Paratrechina longicornis*.

Curva de acumulación de especies

Durante el estudio, se colectaron 10 especies en la Cantera Oriente. De acuerdo con el esfuerzo realizado, la curva de acumulación de especies, calculada con el método de Jackknife de primer orden, predice 11 especies, por lo que con este método, se conoce el 91% de las especies para este sitio. Debido a que la curva de especies esperadas no llega a una asíntota, la forma de la curva sugiere que esperaríamos encontrar más especies en la Cantera (Figura 4).

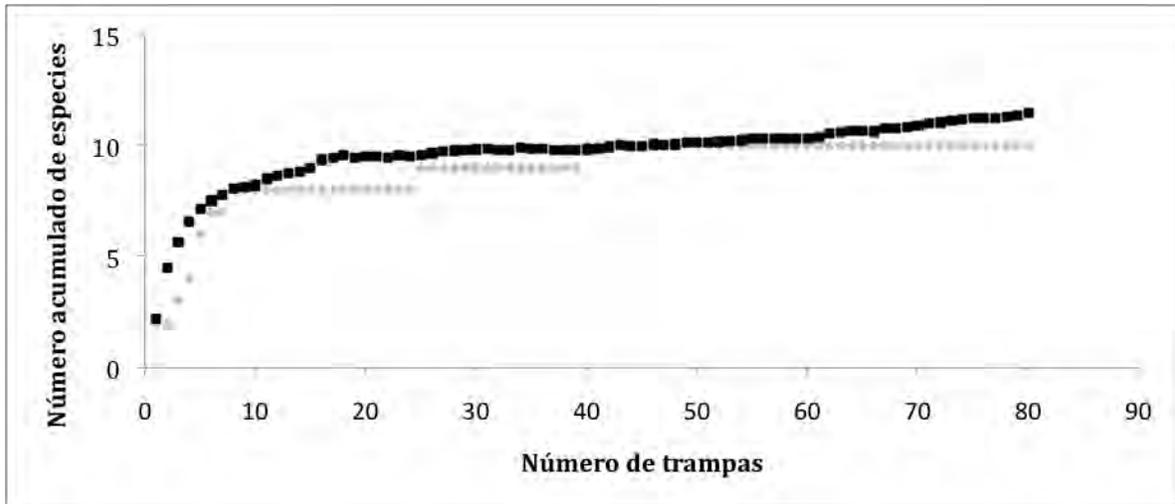


Figura 4. Curva de acumulación de especies en los sitios Sendero y Jardín de la Cantera Oriente de la REPSA (lluvia y sequía juntos). Especies observadas (gris), especies esperadas (negro).

Grupos funcionales

En la Cantera se encontraron cinco grupos funcionales Myrmicinae generalistas (*M. minimum*, *Pheidole* sp.1, *Pheidole* sp. 2, *Pheidole* sp.3), oportunistas (*D. pyramicus* y *P. Longicornis*), especialistas de climas fríos (*P. imparis* y *Temnothorax* sp), especialistas de climas cálidos (*S. stricta*) y Camponotini subordinadas (*C. atriceps*). Los grupos funcionales más abundantes tanto en la temporada de sequía como en lluvia, fueron Myrmicinae generalistas y oportunistas (Figura 5).

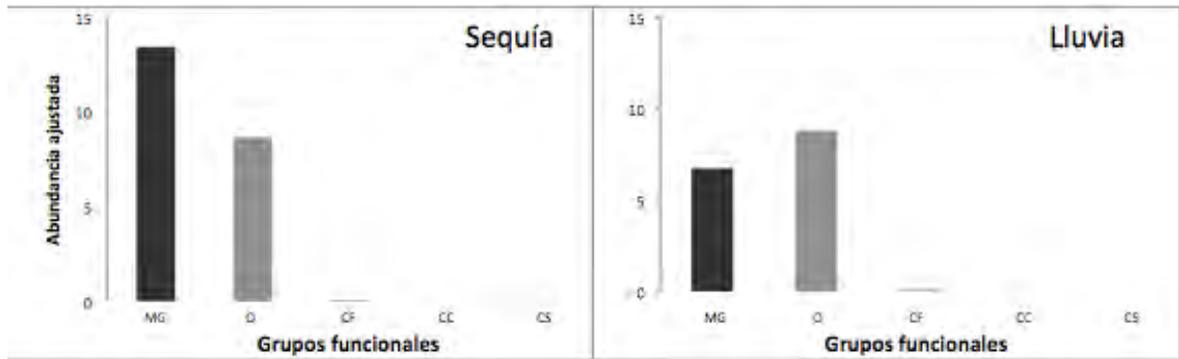


Figura 5. Abundancia ajustada de los grupos funcionales encontrados en dos temporadas en la Cantera Oriente de la REPSA. MG = Myrmicinae generalistas, O = oportunistas, CF = especialistas de climas fríos, CC = especialistas de climas cálidos y CS = Camponotini subordinadas.

Al igual que lo obtenido en el análisis de PERMANOVA para la abundancia de hormigas, el análisis del efecto de la temporada y el sitio sobre la abundancia de los grupos funcionales encontrados en la Cantera indicó que existe un efecto tanto de la temporada ($F_{3,5} = 5.16$, $P = 0.0002$) como del sitio ($F_{1,5} = 2.99$, $P = 0.02$), pero no de la interacción temporada por sitio ($F_{3,5} = 1.70$, $P = 0.08$).

Caracterización de la vegetación

De acuerdo con el análisis de Kruskal-Wallis, en el caso de las herbáceas, no existen diferencias significativas entre los diferentes sitios ($\chi^2 = 6.500$, $P = 0.896$), así mismo la estructura de la vegetación compuesta por árboles, no es diferente entre sitios ($\chi^2 = 4.997$, $P = 0.171$). Debido a que no se registró ninguna medida correspondiente a los arbustos, no se hizo ningún análisis para esta categoría (Figura 6).

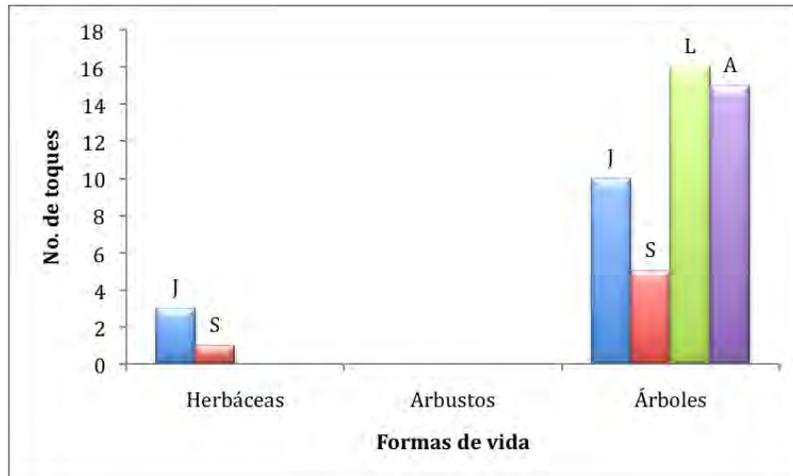


Figura 6. Estructura vertical de la vegetación (número de toques) en los cuatro sitios de la Cantera Oriente para tres formas de vida de las plantas.

A = Arbolada, L = Lacustre, J = Jardín y S = Sendero.

Caracterización de la superficie del suelo

Los elementos de la superficie del suelo variaron entre sitios dependiendo de las estaciones (Cuadro 4). Los que tuvieron el mayor porcentaje en las 4 estaciones fueron hojarasca y pasto. En el caso de la hojarasca los sitios con los porcentajes más altos fueron Lacustre y Arbolada, siendo el sitio Lacustre en invierno el que tuvo el porcentaje más alto (77.6 %). El pasto tuvo el mayor porcentaje durante el verano, particularmente en el Sendero (81.4 %). El porcentaje de suelo y rocas permanece relativamente constante a lo largo de las estaciones. En cuanto al porcentaje de costras biológicas, éste es siempre mayor en el sitio Lacustre aunque solo difirió significativamente de los otros sitios en primavera y verano (Cuadro 4; Figura 7).

Cuadro 4. Valores de F obtenidos de los análisis de varianza de una vía para el porcentaje de las diferentes categorías de la superficie del suelo entre los sitios de la Cantera Oriente de la REPSA. ** = $P < 0.001$, * = $P < 0.05$, ns = diferencias no significativas.

Categoría de la superficie del suelo	Estaciones			
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Suelo desnudo	11.6 **	1.26 ns	6.11 *	1.46 ns
Roca	1.06 ns	1.05 ns	0.8 ns	3.35 *
Pasto	14.1 **	11.1 **	16.3 **	6.4 **
Hojarasca	17.8 **	12.9 **	16.5 **	6.3 **
Costra biológica	1.5 ns	3.2 *	8.3 **	1.84 ns

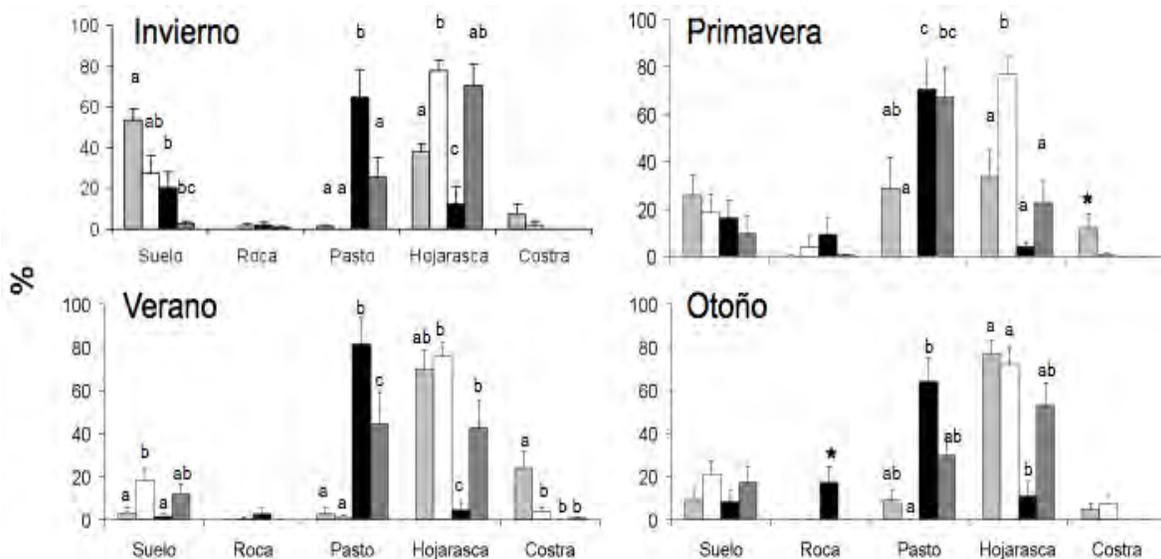


Figura 7. Porcentaje de elementos encontrados en la superficie del suelo de la Cantera Oriente de la REPSA, en cuatro estaciones del año, en cuatro zonas: gris claro = Arbolada, blanco = Lacustre, negro = Sendero, gris oscuro = Jardín. Letras minúsculas iguales indican diferencias significativas y grupos que se forman al realizar la prueba de Tukey ($P = 0.05$), * = hay diferencias significativas pero no se forman grupos.

Relación entre las variables ambientales y la diversidad de hormigas

Con respecto a las correlaciones entre las variables de la superficie del suelo y la diversidad de hormigas, algunas variables estuvieron relacionadas positiva y significativamente con la abundancia, como es el caso del porcentaje de pasto y abundancia en todas las estaciones así como el porcentaje de rocas en otoño.

En cuanto a la hojarasca, ésta tuvo una relación significativa y negativa, al igual que el suelo desnudo y la costra biológica.

En el caso de la riqueza, en todas las estaciones a excepción del invierno, el porcentaje de hojarasca presentó una relación significativa y negativa con la riqueza de hormigas, mientras que el porcentaje de rocas en otoño se relacionó positivamente con la riqueza. El porcentaje de pasto presentó una relación positiva con la riqueza, en todas las estaciones (Cuadro 5, Figuras 8).

Cuadro 5. Valores de r_s de las correlaciones lineales entre porcentaje de suelo desnudo, rocas, pasto, hojarasca y costra biológica con la riqueza y abundancia de hormigas de la REPSA, en cuatro estaciones del año. * = $P < 0.05$.

I = invierno, P = primavera, V = verano, O = otoño.

Categorías de la superficie del suelo	Abundancia (ajustada)				Riqueza			
	I	P	V	O	I	P	V	O
Suelo desnudo	-0.48*	-0.27	-0.2	0	-0.48*	-0.13	-0.26	0
Roca	0.14	0.1	0.08	0.37*	0.12	0.22	0.08	0.37*
Pasto	0.73*	0.61*	0.56*	0.54*	0.71*	0.52*	0.58*	0.54*
Hojarasca	-0.25	-0.56*	-0.54*	-0.51*	-0.2*	-0.51	-0.59*	0
Costra biológica	-0.25	-0.25	-0.31*	-0.29*	-0.28	-0.26	-0.33*	0

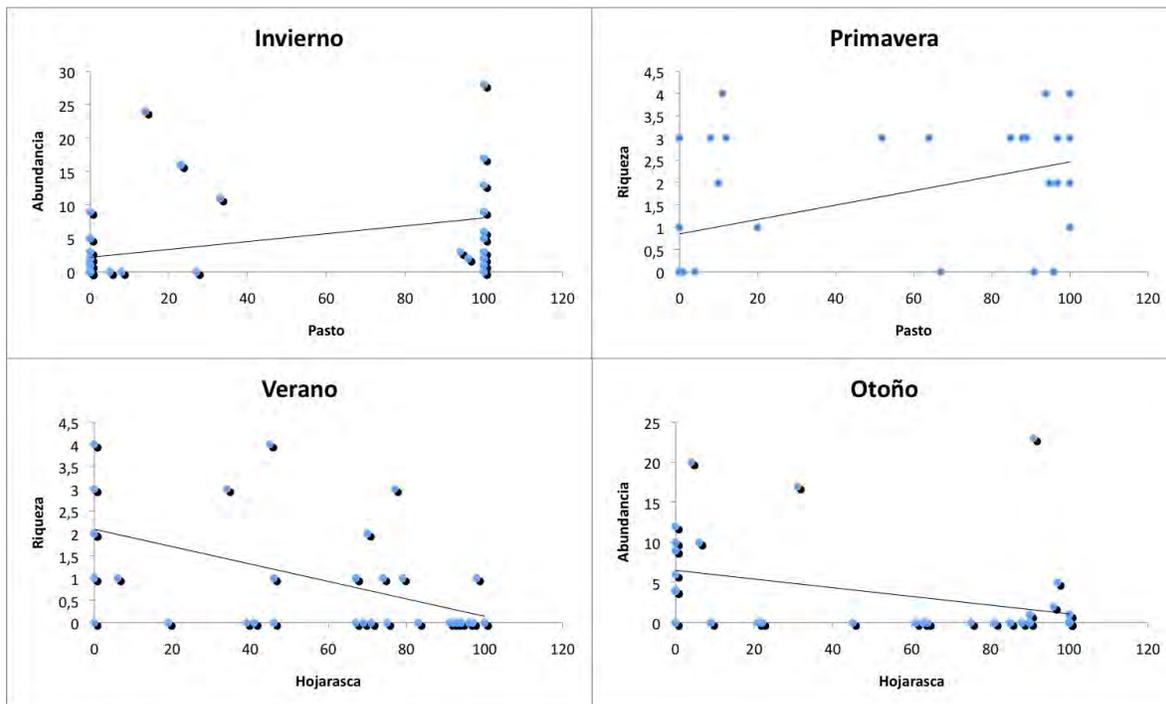


Figura 8. Correlación lineal entre el porcentaje de pasto y hojarasca con la abundancia y riqueza de hormigas en las cuatro estaciones de la Cantera Oriente de la REPSA.

No se encontró una relación significativa entre la estructura vertical de la vegetación y la riqueza de hormigas ($R^2 = 0.003$ y $F = 0.14$, $P = 0.7$), ni entre la estructura vertical de la vegetación y la abundancia de hormigas ($R^2 = 0.02$ y $F = 0.93$, $P = 0.3$).

Comparación entre la Cantera Oriente y las zonas núcleo de la REPSA

Monomorium minimum y *C. atriceps* son las únicas especies que comparten la Cantera Oriente y las zonas núcleo de la REPSA. El índice de Sorensen fue de 0.08, lo cual indica que la similitud de especies de hormigas de la Cantera Oriente y las zonas núcleo es muy baja.

DISCUSIÓN

A pesar de la historia de manejo que se ha llevado a cabo en la Cantera Oriente, encontramos que algunas especies de hormigas han prosperado, debido a su capacidad para colonizar diversos ambientes, particularmente al sitio denominado Sendero. En este sitio, durante la época de lluvia, se encontraron la mayor riqueza y abundancia de hormigas, al igual que los porcentajes más altos de pasto. Este resultado sugiere que el pasto podría estar determinando una mayor riqueza y abundancia de hormigas, como se ha encontrado en algunos agroecosistemas tropicales de Costa Rica. En estos sistemas se ha encontrado que la presencia de pastos favorece a algunas especies de hormigas que consumen los exudados producidos por áfidos que viven en las raíces de los pastos (Perfecto y Vandermeer, 1996). Aunque no hay evidencia de este tipo de interacciones en el Sendero de la Cantera Oriente, existe la posibilidad de que esté ocurriendo una interacción similar lo cual deberá ser estudiado en el futuro.

Sin embargo, el aspecto que con mayor probabilidad puede estar contribuyendo a que el Sendero tenga la diversidad más alta de hormigas, es la presencia de plantas típicas de la REPSA. Comparado con los otros sitios de la Cantera Oriente, el Sendero presenta plantas como *Verbesina virgata*, *Buddleia*

cordata, *Echeverria gibiflora*, entre otras, que pueden estar interactuando con un mayor número de especies de hormigas incluyendo a las que ya se han registrado para las zonas núcleo de la REPSA (Valentín, 2015; Trejo, 2015).

En contraste con el Sendero el sitio Lacustre presentó la menor riqueza y abundancia de hormigas en verano y otoño. Dicho sitio tuvo el mayor porcentaje de hojarasca en casi todas las estaciones a excepción del otoño, además, la hojarasca se relacionó de forma negativa con la riqueza y abundancia de hormigas, lo cual sugiere que la presencia de hojarasca, a pesar de aumentar la complejidad estructural de la superficie del suelo, puede reducir la eficiencia con la que las hormigas pueden localizar, extraer y defender un recurso (Andersen, 2000).

La Arbolada también fue un sitio con muy pocas especies en todas las estaciones, sin embargo, el Jardín, aunque presentó una riqueza y abundancia mayores presenta especies como *M. minimum* y *P. longicornis* que son muy abundantes y por lo tanto disminuyen la diversidad de este sitio.

No se encontró que la estructura vertical de la vegetación tuviera una influencia significativa en la diversidad de hormigas, sin embargo, podría estar teniendo una influencia indirecta ya que modifica la temperatura del suelo. Es bien conocido que uno de los principales factores que regulan la actividad de las hormigas es la temperatura ya que afecta su riqueza y abundancia (Andersen, 2000; Clarke *et al.*, 2008). Los datos de temperatura que se tienen para la Cantera Oriente de la REPSA, señalan que las temperaturas mínimas son de alrededor de 8°C durante el invierno y las máximas pueden alcanzar 34°C en verano (datos no publicados). Las temperaturas más bajas se han registrado en los sitios Lacustre y

Arbolada, donde al haber más árboles que generan sombra, provocan que la superficie del suelo sea más fría. Las temperaturas bajas a nivel del suelo como consecuencia de la sombra, representan un nivel de estrés para las especies que no están especializadas para vivir en temperaturas bajas (Trejo, 2015). Se han encontrado resultados similares en los pastizales mediterráneos, en donde los hábitas abiertos presentaron una mayor diversidad de especies de hormigas, mientras que en los sitios sombreados la diversidad era menor (Retana y Cerdá, 2000).

Con base en estos resultados, se considera que será muy importante realizar estudios donde se registren las temperaturas del suelo en cada uno de los sitios de la Cantera Oriente para poder conocer si existe una relación clara entre la temperatura de la superficie del suelo y los patrones de distribución de las hormigas.

En cuanto a la estacionalidad, el verano fue la estación con mayor diversidad, esto puede deberse a que en esta estación, no se presentaron especies numéricamente dominantes como *D. pyramicus*, *M. minimum* y *P. longicornis*. Esta alta diversidad también puede asociarse a que verano es la temporada de lluvia, en la cual se sabe que hay una mayor productividad y hay más recursos disponibles (Ríos-Casanova *et al.*, 2006). Un patrón similar se encontró en las zonas núcleo de la REPSA ya que en la temporada de lluvia la diversidad de hormigas fue significativamente más alta que en la estación seca (Trejo, 2015). Sin embargo, al comparar la composición de especies entre estaciones, no hubo diferencias entre ellas, lo que puede atribuirse a que, en la actualidad, la Cantera Oriente se encuentra manipulada constantemente por el

hombre, al realizar actividades como el riego, poda de la vegetación y recolección de hojarasca, lo que podría estar alterando los cambios que de manera natural sucederían en el ambiente y no permitirían que hubiera una diferencia marcada entre una y otra estación, afectando a las comunidades de hormigas.

En comparación con las zonas núcleo de la REPSA (Hernández 2010 y Trejo 2015), en la Cantera se encontraron pocas especies de hormigas y una dominancia numérica de especies como: *M. minimum*, *P. longicornis*, *D. pyramicus*, *Pheidole* sp. 1 y *Pheidole* sp. 3, las cuales fueron las más abundantes en todos los sitios y estaciones, específicamente *M. minimum* y *Pheidole* sp. 3 estuvieron presentes en todos los sitios. Trejo (2015) reporta resultados similares al encontrar a *M. minimum* y al género *Pheidole* como las más abundantes en las zonas de amortiguamiento de la REPSA.

Las especies *M. minimum*, *P. longicornis* y *Pheidole* spp. son consideradas como “hormigas urbanas”, cuyas características son tener colonias poliginias (excepto algunas especies de *Pheidole*) y ser omnívoras (Silverman, 2005; Alder y Silverman, 2006). El ser poliginias les permite ser muy abundantes y dominantes en comparación con las especies monogíneas nativas, mientras que el ser omnívoras les permite sobrevivir explotando casi cualquier recurso disponible. Dichas características permiten a estas hormigas asociarse estrechamente con sitios en donde viven los humanos (Silverman, 2005).

La presencia de estas especies, así como la baja diversidad encontrada, puede relacionarse con el alto grado de disturbio ocurrido en la Cantera Oriente y la posterior introducción de especies de plantas exóticas. También es importante mencionar, que la Cantera Oriente se encuentra separada de la REPSA y está

localizada en medio de una zona urbana, cercana a una de las estaciones del metro más concurridas de la Ciudad de México, lo que podría promover el establecimiento de especies de hormigas invasoras y dominantes como *P. longicornis* (Lessard y Buddle, 2005). Un patrón similar se encontró en Manitoba Canadá, en donde las hormigas encontradas en bosques urbanos que han sido sometidos a disturbios, son hormigas consideradas como “generalistas de hábitat”, las cuales pueden adaptarse a un amplio rango de condiciones ambientales, lo cual les permite persistir en ambientes altamente degradados, como el caso de dichos bosques (Thompson y McLachlan, 2007).

Especies como *C. atriceps* y *Temnothorax* sp., fueron especies exclusivas del sitio Lacustre y Sendero, respectivamente. El sitio Lacustre tiene una vegetación dominada por árboles, *C. atriceps* tiende a construir sus nidos en la base de los árboles y suele forrajear a lo largo de las ramas de los árboles, lo cual podría explicar por que la encontramos sólo en este sitio (Bestelmeyer y Schooley, 1999).

Las hormigas pertenecientes al género *Temnothorax*, se caracterizan por tener colonias muy pequeñas con un número de individuos menor a 100, suelen anidar en pequeños troncos y tallos huecos, son hormigas cuyos hábitos las hacen pasar a menudo desapercibidas. Esto podría explicar por que la abundancia encontrada de *Temnothorax* sp. fue tan baja (Espadaler y Coollingwood, 1982 Mackay, 2000).

Por último la especies *D. pyramicus*, *S. invicta*, *P. longicornis* y *Prenolepis imparis* representan el primer registro para la REPSA. La especie *P. imparis* se caracteriza por ser una especie muy tímida y retraída, parece evitar la luz directa

del sol y es más activa en la sombra y en días frescos y nublados. Por lo cual se le considera como una hormiga con hábitos crepusculares y nocturnos (Wheeler, 1930).

Los grupos funcionales más abundantes en la Cantera Oriente fueron Myrmicinae generalistas (MG) y Oportunistas (O), tanto en sequía como en lluvia, lo cual es un patrón que se esperaba debido a que las MG suelen ser las hormigas más abundantes en casi cualquier ecosistema (Andersen, 2000). Un patrón similar sucede con las O, ya que se encuentran distribuidas en un amplio rango geográfico y no tienen una dieta especializada, aunque a diferencia de las MG, tienen una capacidad de competencia pobre. Lo más importante de estos grupos es que se les encuentra constantemente en sitios que han sido sometidos a disturbios severos. En sitios donde se ha llevado a cabo la remoción de vegetación se ha encontrado una proliferación de especies O y MG, siendo estas últimas más comunes cuando mayor ha sido la perturbación (Andersen *et al.*, 2003 2004). Las hormigas O y MG son grupos ampliamente adaptados con una extensa tolerancia a diferentes hábitats (Hoffman y Andersen, 2003).

Por otro lado, las especies que se presentan con menos frecuencia en la Cantera Oriente son las Crípticas y Depredadoras especialistas ya que éstas tienen requerimientos altamente especializados, lo cual las vuelve muy sensibles al disturbio (Hoffman y Andersen, 2003).

Con respecto a la composición total de especies de la Cantera Oriente, es importante tener en cuenta el tiempo transcurrido desde que se hicieron esfuerzos por restaurar este lugar (25 años), ya que se ha visto que el tiempo necesario para que la composición original de la fauna de un sitio restaurado se restablezca puede

ser mayor a 37 años y muy probablemente la composición de la fauna no llegue a ser como la original (Majer *et al.*, 2013). Por lo tanto es posible que la comunidad de hormigas de la Cantera Oriente no vuelva a ser como lo era antes de haber sido perturbada.

CONCLUSIONES

- La Cantera Oriente de la REPSA tiene 11 especies de hormigas; la más abundante es *Monomorium minimum*.
- La mayor diversidad de hormigas de la Cantera Oriente se encuentra en el sitio Sendero durante el verano.
- El porcentaje de pasto en el suelo se correlacionó positivamente con la riqueza y abundancia de hormigas mientras que la hojarasca se correlacionó negativamente.
- Las especies *Dorymyrmex pyramicus*, *Paratrechina longicornis*, *Prenolepis imparis* y *Solenopsis stricta* se registraron por primera vez en la REPSA.
- Las Mirmicinae generalistas y Oportunistas son los grupos funcionales dominantes en la Cantera Oriente.
- La escasa riqueza y abundancia encontrada en la Cantera Oriente, así como la presencia de especies como *Monomorium minimum* y *Paratrechina longicornis* (invasora), indican que la Cantera ha estado bajo disturbios constantes provocados por actividades humanas que han disminuido su heterogeneidad disminuyendo la diversidad de especies.

LITERATURA CITADA

- Alder, A. y J. Silverman. 2006. Effects of interspecific competition between two urban ant species, *Linepithema humile* and *Monomorium minimum*, on toxic bait performance. *Journal of Economic Entomology* 98: 493-501.
- Álvarez-Sánchez. F. J., J. Carabias, J. Meave, P. Moreno-Casasola, D. Nava-Fernández, D. Rodríguez-Zahar, F. C. Tovar y A. Valiente-Banuet. 1982. *Proyecto para la creación de una reserva en el Pedregal San Ángel*. Serie de Cuadernos de Ecología No.1. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Andersen, A. N. 1997. Functional groups and patterns of organization in North American ant communities: a comparison with Australia. *Journal of Biogeography* 24: 433-460.
- Andersen, A. N. 2000. A global ecology of rainforest ants: Functional groups related to environment stress and disturbance. pp. 25-29 En: Agosti, D., J. Majer, L. E. Alonso y T. R. Schultz (Eds.). *Ants, standard methods for measuring and monitoring biodiversity*, Smithsonian Institution Press. Washington, DC.
- Andersen, A. 2010. Box 8.2. Functional groups in ant community ecology. En: Lach, L. C.L. Parr y K.L. Abbott (eds.). *Ant Ecology*. Oxford University Press. New York.
- Andersen, A. N., B. D. Hoffman y J. Somes. 2003. Ants as indicators of minesite restoration: community recovery at one of eight rehabilitation sites in central Queensland. *Ecological Management and Restoration* 4: 12-19.

- Andersen, A. N., Fisher, B. D. Hoffman, J. L. Read y R. Richards. 2004. Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australian rangelands, with particular reference to ants. *Austral Ecology* 29: 87-92.
- Bestelmeyer, T. B. y R. L. Schooley. 1999. The ants of the southern Sonora desert: community structure and the role of trees. *Biodiversity and Conservation* 8: 643-657.
- Bestelmeyer, T. B. y J. A. Wiens. 1996. The effects of land use on the structure of ground-foraging ant communities in the Argentine Chaco. *Ecological Applications* 6: 1225-1240.
- Cano-Santana, Z., S. Castillo-Argüero, Y. Martínez-Orea y S. Juárez-Orozco. 2008. Análisis de la riqueza vegetal y el valor de conservación de tres áreas incorporadas a la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal (México). *Boletín de la Sociedad Mexicana de Botánica* 82: 1-14.
- Colwell, R. K., 1997. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples, Version 5, User's Guide and application, published at: <http://viceroy.eeb.unconn.edu/estimates>.
- Chávez, C. y G. Ceballos. 1998. Diversidad y estado de conservación de los mamíferos del Estado de México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 3: 113-134.
- Choi, Y. D. 2007. Restoration Ecology to the Future: A call for New Paradigm. *Restoration Ecology* 15: 351-353.

- Clarke, M. K., B. L. Fisher, y G. LeBuhn. 2008. The influence of urban parks characteristics on ant (Hymenoptera, Formicidae) communities. *Urban Ecosystems* 11: 317–334
- Dearborn, D. C. y S. Kark. 2009. Motivations for Conserving Urban biodiversity, *Conservation Biology* 24: 432-440.
- Fisher, B. L. y S. P. Cover. 2007. *Ants of North America: a guide to the genera*. University of California Press. London, England.
- Folgarit, J. P. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation* 7: 1221-1224.
- Hammer, O. 2012. *Past. Paleontological statics versión 2.17*. Reference manual. Natural History Museum. University of Oslo. Oslo.
- Hernández, G. R. 2010. *Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F. México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hoffmman, B. D. y A. N. Andersen. 2003. Response of ants to disturbance in Australia with particular referente to functional groups. *Austral Ecology* 28: 444-464.
- Hölldobler, B. y E. O. Wilson. 1990. *The Ants*. Belknap Harvard University Press. Cambridge.
- Espadaler, X. y C. A. Collingwood. 1982. Notas sobre *Leptothorax Mayr, 1855*, con descripción de *L. gredosi* n. sp.(Hym. Formicidae). *Boletín de la Asociación Española de Entomología* 6: 41-48.

- Lassau, A. S. y D. F. Hochuli. 2004. Effects of habitat complexity on ant assemblages. *Ecography* 27: 157-164.
- Lassau, S. A., Cassis, G., Flemons, P. K. J., Wilkie, L. y Hochuli, D. F. 2005. Using high-resolution multi-spectral imagery to estimate habitat complexity in open-canopy forests: can we predict ant community patterns?. *Ecography* 28: 495_ 504.
- Lessard, J. P. y C. M. Buddle. 2005. The effects of urbanization on ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) associated with the Molson Nature Reserve, Quebec. *Canadian Entomologist* 137: 215–225.
- Lindsey, P. A. y J. D. Skinner. 2001. Ant composition and activity patterns as determined by pitfall trapping and other methods in three habitats in the semi-arid Karoo. *J. Arid. Environ* 48: 551-568.
- Lot, A. 2007. Guía ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización ambiental e inventario biológico. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Lot, A., Z. Cano-Santana. 2009. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- MacArthur, R. A. 1972. *Geographical ecology*. Harper Row, New York.
- MacKay, W. P. 2000. A review of the New World ants of the subgenus *Myrafant*, (Genus *Leptothorax*) (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 36: 265-444.
- Magurran, A. E. 1998. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton.

- Majer, J. D., B. Heterick, T. Ghor, E. Hughes, L. Mounsher y A. Grigg. 2013. Is thirty-seven years sufficient for full return of the ant biota following restoration? *Ecological Processes* 2: 19.
- Martínez, R. E. 1996. La restauración ecológica. *Ciencias* 43: 56-61.
- McIntyre, N. E., J. Rango, W. F. Fagan y S. H. Faeth. 2001. Ground arthropod community structure in a heterogeneous urban environment. *Landscape and Urban Planning* 52: 257–274.
- Pacheco, R. y H. L. Vasconcelos. 2007. Invertebrate conservation in urban areas: ants in the Brazilian Cerrado. *Landscape Urban Planning* 81: 193–199.
- Perfecto, I. y J. Vandermeer. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia* 108: 577-582.
- Putman, R. J. 1994. *Community ecology*. Chapman & Hall, London.
- Ríos-Casanova, L., A. Valiente-Banuet y V. Rico-Gray. 2006. Ant Diversity and its relationship with vegetation and soil factors in an alluvial fan of the Tehuacán Valley, México. *Acta Oecologica* 29: 316-323.
- Ríos-Casanova, L. 2014. Biodiversidad de hormigas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: S392-S398.
- Ríos-Casanova, L., P. Davila, H. Godínez-Alvarez y V. Rico-Gray. 2015. Diversity of ants inhabiting a mosaic of environmental conditions in a Semi-Desert of central Mexico. *Southwestern Entomologist* 40: 307-322.
- Rojas, P. 2001. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*: 189-238.

- Retana, J. y X. Cerdá. 2000. Patterns of diversity and composition of Mediterranean ground ant communities tracking spatial and temporal variability in the thermal environment. *Oecología* 123: 436-444.
- Salafranca, I. C. L., Solanas, P. A., Nuñez, P. M. I., Jiménez, F. M., Miralles, P. D. y Serra, D. G. 2000. Estadística aplicada con SPSS y StatGrafics. Ed. de la Universidad de Barcelona. Barcelona.
- Sarukhán, J. 1996. Acuerdo por el que se reordena e incrementa la zona de la Reserva Ecológica de la Ciudad Universitaria. Publicado en Gaceta UNAM. pp 9-11.
- SER, Society for Ecological Restoration International. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Society for Ecological Restoration International . Disponible en:
http://www.ser.org/pdfREV_Spanish_Primer.pdf.
- Silverman, J. 2005. Why do certain ants thrive in the urban environment? pp. 30-31
En: Chow-Yang, L. y H. R. William (Eds.). Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Pests. Perniagaan Ph'ng @ P&Y Design Network, Malaysia.
- Thompson, B. y S. McLachlan. 2007. The effects of urbanization on ant communities and myrmecochory in Manitoba, Canada. *Urban Ecosystems* 10: 43–52.
- Trejo, P. R. 2015. Patrones espacio-temporal de la diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F., México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.

- =Valentín, F. J. 2015. Redes de interacción hormiga-planta en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F., México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.
- =Vásquez-Bolaños, M. 2011. Lista de especies de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) para México. *Dugesiana* 18: 95-133.
- =Vásquez-Bolaños, M. 2015. Taxonomía de Formicidae (Hymenoptera) para México. *Métodos en Ecología y Sistemática* 10: 1-53.
- =Wheeler, M. W. 1930. The ant *Prenolepis imparis* Say. *Annals of the Entomological Society of America* 13: 1.
- =Zarco-Espinoza, V. M., J. I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Peréz y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 26: 1-17.