



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**DIVERSIDAD DE HORMIGAS (HYMENOPTERA:  
FORMICIDAE) DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL:  
UN ESTUDIO EMPLEANDO TRAMPAS DE CAÍDA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGO**

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

**Christian Eduardo Jiménez Vargas**



**DIRECTORA DE TESIS:  
Dra. Leticia Ríos Casanova  
Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México  
2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>8</b>
<b>Sitio de Estudio.....</b>	<b>8</b>
<b>Recoleta y determinación de hormigas.....</b>	<b>10</b>
<b>Variables ambientales.....</b>	<b>12</b>
<i>Estructura vertical de la vegetación.....</i>	<b>12</b>
<i>Estructura de la superficie de suelo.....</i>	<b>12</b>
<b>Análisis de datos.....</b>	<b>14</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>16</b>
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>26</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>32</b>

## RESUMEN

La variación espacio-temporal del ambiente influye en el establecimiento, reproducción y supervivencia de las especies, la cual se ve reflejada en los patrones de distribución y abundancia de las mismas, como por ejemplo las hormigas; que son un componente importante en los ecosistemas terrestres y actúan también como ingenieros del ecosistema en los diferentes procesos biogeoquímicos.

En este trabajo estudiamos a las comunidades de hormigas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) la cual se caracteriza por tener una marcada estacionalidad, así como por estar dividida en zonas núcleo (ZN) y zonas de amortiguamiento (ZA). Los objetivos fueron conocer los efectos de la variación temporal y espacial sobre los patrones de diversidad de las comunidades de hormigas, así como conocer la relación que hay entre dicha diversidad y la estructura superficial del suelo y la estructura vertical de la vegetación. Para cumplir con estos objetivos, se recolectó a las hormigas usando trampas de caída en los dos tipos de zonas y durante cuatro estaciones. Se obtuvieron 747 individuos pertenecientes a 16 especies. Encontramos que las ZN tuvieron la mayor abundancia y riqueza, aunque la abundancia no fue diferente entre zonas pero sí entre estaciones ya que en primavera se encontró la mayor abundancia de hormigas. La variación espacial fue más evidente para la riqueza ya que las ZN presentaron mayor número de especies. En cuanto a la composición de especies, no se encontraron efectos de las zonas o de las estaciones, *Monomorium minimum*, *Nylanderia bruessi* y *Pheidole* sp. fueron las especies más abundantes y dominantes a lo largo del muestreo en ambas zonas de la REPSA. La riqueza estuvo correlacionada negativamente con el porcentaje de vegetación de la superficie del suelo en sequía en ZA. La abundancia se correlacionó con el porcentaje de hojarasca negativamente en sequía y positivamente en lluvia, mientras que con el porcentaje de vegetación en la superficie del suelo se correlacionó positivamente en temporada de lluvia y negativamente en sequía. Dichas correlaciones solo se encontraron para la ZA. En este estudio encontramos que las comunidades de hormigas de la REPSA presentaron principalmente diferencias estacionales. Las pocas diferencias espaciales pueden deberse a la alta heterogeneidad característica de la reserva dentro y entre zonas.

## INTRODUCCIÓN

Las hormigas tienen numerosos atributos que las hacen ideales para el estudio de la diversidad, tales como su número de especies, su abundancia, así como su biomasa dominante en casi todos los ecosistemas terrestres, además de ser muy sensibles a los cambios ambientales (Andersen, 1991; Alonso y Agosti, 2000).

En el mantenimiento de la diversidad de especies, la variación espacio-temporal del ambiente influye en el establecimiento, desarrollo, reproducción y supervivencia de las mismas (Breshears *et al.*, 1998; Stewart *et al.*, 2000). Estos cambios del ambiente, resultado de la variación en los factores bióticos y abióticos, es lo que conocemos como heterogeneidad y puede verse reflejada en los patrones de distribución y abundancia de las especies (Clark *et al.*, 1998; García, 2006).

La relación que existe entre la heterogeneidad del hábitat y la diversidad ha generado una hipótesis que establece que los hábitats estructuralmente complejos pueden proporcionar más nichos y diversas formas de la explotación de los recursos, lo que provocaría un aumento en la diversidad de las especies (MacArthur y Wilson, 1967). En la mayoría de los hábitats, las comunidades de plantas determinan la estructura física del entorno y por lo tanto, tienen una influencia considerable en la distribución y las interacciones de las especies animales (Bazzaz, 1975; McCoy y Bell, 1991). Por ejemplo, para la diversidad de especies de aves en los bosques, se ha demostrado que la estructura vertical del follaje es más importante que la composición de las especies de plantas (MacArthur y MacArthur, 1961).

Muchos artrópodos responden a la heterogeneidad del ambiente producida por la presencia de diferentes especies de plantas así como por la variabilidad ambiental y el disturbio, como por ejemplo, las hormigas. En un estudio realizado en un gradiente de plantaciones de café que iban de las más a las menos sombreadas, Perfecto y Snelling (1995) encontraron una alta diversidad de hormigas en los lugares más sombreados debido a que tenían una mayor complejidad en la estructura vegetal, contrastando con lo que ocurría en los monocultivos.

También los sitios de anidación de las hormigas varían con respecto a la complejidad estructural del hábitat. Los ambientes más complejos ofrecen sitios de anidación que son menos frecuentes o abundantes en sitios más simples, y por lo tanto

pueden mantener a las especies de hormigas que son poco frecuentes o están ausentes en otros lugares (Wilson, 1987; Benson y Harada, 1988; Byrne, 1994).

Estos sitios de anidación así como los sitios de forrajeo son afectados directamente por las características del suelo (Johnson, 1992). Ríos-Casanova *et al.* (2006) encontraron que existen relaciones positivas de la diversidad de hormigas con el suelo arenoso, aunque en otro estudio (Ríos-Casanova *et al.*, 2015) hallaron que existe una relación positiva del suelo arcilloso con la abundancia de algunas especies de hormigas. En ambos mencionan que las características del suelo son un tema importante al estudiar la diversidad y composición de hormigas, ya que éstas permiten su locomoción y la construcción de nidos.

La combinación de la temperatura y la humedad se pueden utilizar para definir los climas favorables para la actividad de las hormigas. Las áreas que están expuestas al viento y la luz directa del sol, son más secas y cálidas que las que están protegidas por una cubierta arbórea. Por lo tanto, las variaciones en la estructura vegetal pueden mejorar o reducir la diversidad de hormigas aumentando o reduciendo la heterogeneidad del hábitat (Hölldobler y Wilson, 1990; Andersen, 1992; Human y Gordon, 1996). Un ejemplo claro es el trabajo realizado por Bestelmeyer y Schooley (1999) quienes encontraron que las diferencias en la composición y abundancia de las hormigas se ven afectadas por la presencia de árboles que generan sombra, lo cual es beneficioso para las especies poco tolerantes a la alta radiación solar en el Desierto Sonorense.

Así como existen cambios espaciales en el ambiente, también hay cambios temporales. En algunas regiones, la cantidad de precipitación puede cambiar drásticamente a lo largo del año, lo que define estaciones secas y lluviosas, que sin duda, puede interferir en la distribución y la actividad de forrajeo de las hormigas (Coelho y Ribeiro, 2006). Los efectos de la estacionalidad sobre las variaciones en la abundancia y la riqueza de hormigas aun es una pregunta abierta en la ecología (Kaspari, 2000).

Las hormigas son insectos eusociales con una gran diversidad tanto funcional como taxonómica por lo que son un grupo con un gran éxito biológico que se manifiesta en su enorme riqueza específica, la diversidad de ambientes que ocupan y su

extraordinaria abundancia en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Rojas, 2001). Estos organismos tienen una gran importancia debido a que desempeñan importantes funciones en el ecosistema como depredadoras, herbívoras y/o detritívoras. Además, participan en los procesos fisicoquímicos del suelo, incluyendo la descomposición y el reciclaje de nutrientes (Lobry de Bruyn y Conacher, 1990).

También son consideradas como buenas indicadores de alteración (Ribas *et al.*, 2011) y fragmentación en ambientes terrestres, ya que pueden indicar el grado de disturbio y de restauración de los ecosistemas (Andersen, 1991; 2000). Debido a esta propiedad, se les ha agrupado en diferentes grupos funcionales, dependiendo de su respuesta al estrés ambiental (factores que afectan la productividad) y el disturbio (factores que remueven biomasa). Estos grupos propuestos inicialmente por Greenslade (1978) y modificados por Andersen (1997; 2000) separan a las hormigas en 7 grupos: Dolichoderinae dominantes, Myrmicinae generalistas, Oportunistas, Camponiti subordinadas, Especialistas al clima (frío, cálido, tropical), Cripticas y Depredadoras especialistas.

En México, el conocimiento de los himenópteros, en particular de las hormigas, aún es muy escaso y se requiere de estudios que ayuden a determinar la diversidad de estos organismos. Muchas regiones del país no han sido suficientemente estudiadas o permanecen inexploradas, un ejemplo es la Ciudad de México para la cual se tiene el registro de 14 especies (Vásquez-Bolaños, 2015). Esta cifra la convierte en una de las entidades con la menor riqueza de hormigas, en comparación con los estados de Veracruz (395), Hidalgo (224) y Chiapas (186) que poseen los valores más altos de riqueza de hormigas para el país (Vásquez-Bolaños, 2015).

Las hormigas de las grandes ciudades han sido muy poco estudiadas por lo que la Ciudad de México representa un sitio cuya mirmecofauna requiere ser explorada. En las ciudades, las comunidades biológicas, así como el tamaño de sus poblaciones, se ven fuertemente afectadas por cambios en factores ambientales, muchas veces provocadas por la perturbación antropogénica, lo que puede causar cambios en la estructura y diversidad de las comunidades de hormigas (Rojas, 2001; Rivas-Arancibia *et al.*, 2014). Sin embargo, la existencia de reservas naturales permite a muchos de estos insectos seguir viviendo en zonas urbanas (REPSA, 2014).

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) en Ciudad Universitaria, al sur de la Ciudad de México, se caracteriza por ser una comunidad de matorral xerófilo. Este matorral está formado por numerosos parches, con grandes variaciones en composición florística y estructura del ambiente (Rzedowski, 1954; Cano-Santana, 1994; Siebe, 2000). La reserva presenta una marcada temporalidad, con una época de lluvias de junio a octubre y una época de sequía de noviembre a mayo (Castillo *et al.*, 2004).

Existe un patrón ecológico general que plantea que la heterogeneidad del hábitat está positivamente relacionada con la diversidad (Tews *et al.*, 2004) y se esperaría que las hormigas se ajustaran a dicho patrón tomando en cuenta las características de las zonas en que se ha dividido a la REPSA. Actualmente la REPSA está dividida en zonas de amortiguamiento (ZA) y zonas núcleo (ZN). Las primeras son las áreas sujetas a uso restringido para protección ambiental, cuya presencia permite reducir el efecto de la perturbación antrópica sobre las ZN. Las ZN son las áreas de la REPSA que por su alto grado de conservación y diversidad están sujetas a protección estricta (REPSA, 2014).

A pesar de la importancia de la REPSA, su inventario biótico aún no está completo, sobre todo lo que se refiere a la fauna de artrópodos. Este grupo es el más diverso de los animales en la tierra, el cual juega un papel importante en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, ya que son fundamentales en la preservación de la diversidad biológica (Peralta y Prado, 2009; Ríos-Casanova *et al.*, 2010).

Rueda-Salazar y Cano-Santana (2009) sugirieron que en la REPSA hay algunos órdenes de insectos para los que se han registrado muy pocas especies. Esto muy probablemente se debe a que son grupos que no han sido suficientemente estudiados, pues al conocer la riqueza y proporción mundial de ordenes como Coleoptera, Hymenoptera y Diptera éstos deberían de tener un mayor registro de especies.

Para la REPSA se ha reportado una riqueza de 74 especies para el orden Hymenoptera, las cuales corresponden principalmente a abejas y avispas, y solo 4 especies de hormigas correspondientes a 3 géneros (Rueda-Salazar y Cano-Santana; 2009). Recientemente, Hernández (2010) realizó un estudio utilizando cebos y colecta manual de la mirmecofauna perteneciente a las áreas que constituyen las ZN y



encontró 21 especies pertenecientes a 16 géneros, de los cuales solo dos, con una especie cada uno, ya se conocían en la REPSA.

En 2015, García-Villar y Ríos-Casanova llevaron a cabo un primer esfuerzo para conocer la diversidad de hormigas en la Cantera Oriente de la REPSA, empleando trampas de caída y encontraron un total de once especies pertenecientes a nueve géneros, de las cuales, cinco especies son de nuevo registro para la reserva.

En la zona poniente de la REPSA, Valentín (2015) efectuó un trabajo sobre las interacciones entre las hormigas y las plantas de la reserva. Recolectó a las hormigas de forma manual y con aspirador entomológico; obteniendo una riqueza de diez especies de las cuales tres son nuevos registros para la Ciudad de México, mientras que Trejo, en el mismo año, determinó los patrones espacio-temporales de las hormigas de la REPSA recolectando a estos organismos con dos tipos diferentes de cebos en los que registró un total de doce especies. Estos datos demuestran que los formícidos necesitan ser estudiados de una manera más exhaustiva y con métodos diferentes que permitan capturar un mayor número de especies.

Uno de los métodos más ampliamente utilizados en estudios sobre mirmecofauna son las trampas de caída, las cuales son muy eficaces y permiten conocer a las hormigas que se mueven por la superficie del suelo para forrajear, además de que se pueden coleccionar tanto a especies diurnas como nocturnas durante todo el tiempo que la trampa permanece abierta (Bestelmeyer *et al.*, 2000). Debido a la topografía de la REPSA y a su heterogeneidad espacial se consideraba que las trampas de caída no se podrían utilizar en este sitio (Hernández; 2010); sin embargo, en el presente estudio insistimos en el uso de trampas de caída, que es posible utilizar en las zonas de la REPSA que tienen suelo lo suficientemente profundo como para que estas sean instaladas y aprovechar las ventajas de este método.

Dado que las ZA han estado expuestas a mayores perturbaciones, es probable que su vegetación se haya simplificado y homogeneizado; por lo tanto, se espera encontrar una menor diversidad de hormigas en estas zonas en comparación con las ZN que, por estar más conservadas, tendrán una diversidad mayor. Debido a que en verano y otoño existe un aumento en la precipitación que incrementa la disponibilidad de alimento para las hormigas (Bestelmeyer y Schooley, 1999; Ríos-Casanova *et al.*,

2006) se espera que en estas estaciones hubiera una mayor diversidad de hormigas en contraste con las estaciones que corresponden a la temporada de sequía.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Conocer los patrones de diversidad de las hormigas en la zona núcleo y de amortiguamiento de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel a lo largo de un año.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

Estimar la riqueza, abundancia y diversidad de las hormigas en las zonas núcleo y de amortiguamiento de la REPSA.

Conocer la riqueza, abundancia y diversidad de las hormigas de la REPSA en la época de sequía y lluvia.

Determinar los grupos funcionales a los que corresponden las hormigas de la REPSA.

Estimar si la heterogeneidad del suelo y la estructura vertical de la vegetación se encuentran relacionadas con la riqueza y abundancia de las hormigas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Sitio de Estudio

La REPSA se localiza al sur de la Ciudad de México en Ciudad Universitaria ( $19^{\circ} 20' 22''$  y  $19^{\circ} 13' 25''$  N y  $99^{\circ} 8' 26''$  y  $99^{\circ} 14' 3''$  O) a una altura de 2365 msnm y tiene un clima templado subhúmedo. Esta reserva se desarrolla sobre el conjunto de formaciones basálticas que hoy conocemos como el Pedregal de San Ángel, las cuales se originaron por la solidificación de lava de la erupción del volcán Xitle ocurrida entre los años 245-315 a.C. (Castillo *et al.*, 2004).

La reserva presenta una marcada temporalidad, durante la temporada de lluvias, es cuando la mayoría de los organismos vuelven a reactivar sus actividades, incluso, es la única época del año en que el 100% de las plantas se hacen evidentes, siendo contrastante con las época de sequía, en la cual, la mayoría de organismos se resguardan o entran en dormancia y es cuando solo es perceptible el 16% de las especies vegetales (REPSA, 2014).

Al ser una reserva ecológica, está dividida en zonas núcleo (ZN) y zonas de amortiguamiento (ZA). Las ZN tienen una superficie de 171 ha, mientras que las ZA de la REPSA abarcan un total de 66 ha (De la Fuente, 2005).

Para este estudio se seleccionaron seis sitios de muestreo, tres en ZN y tres en ZA. Las tres primeras pertenecen a la ZN Poniente, mientras que los tres sitios de las ZA se encuentran inmersas en la ZN estudiada (A10-Jardín Botánico; A11-Vivero Alto; 54-Instituto de Biología) (Figura 1).

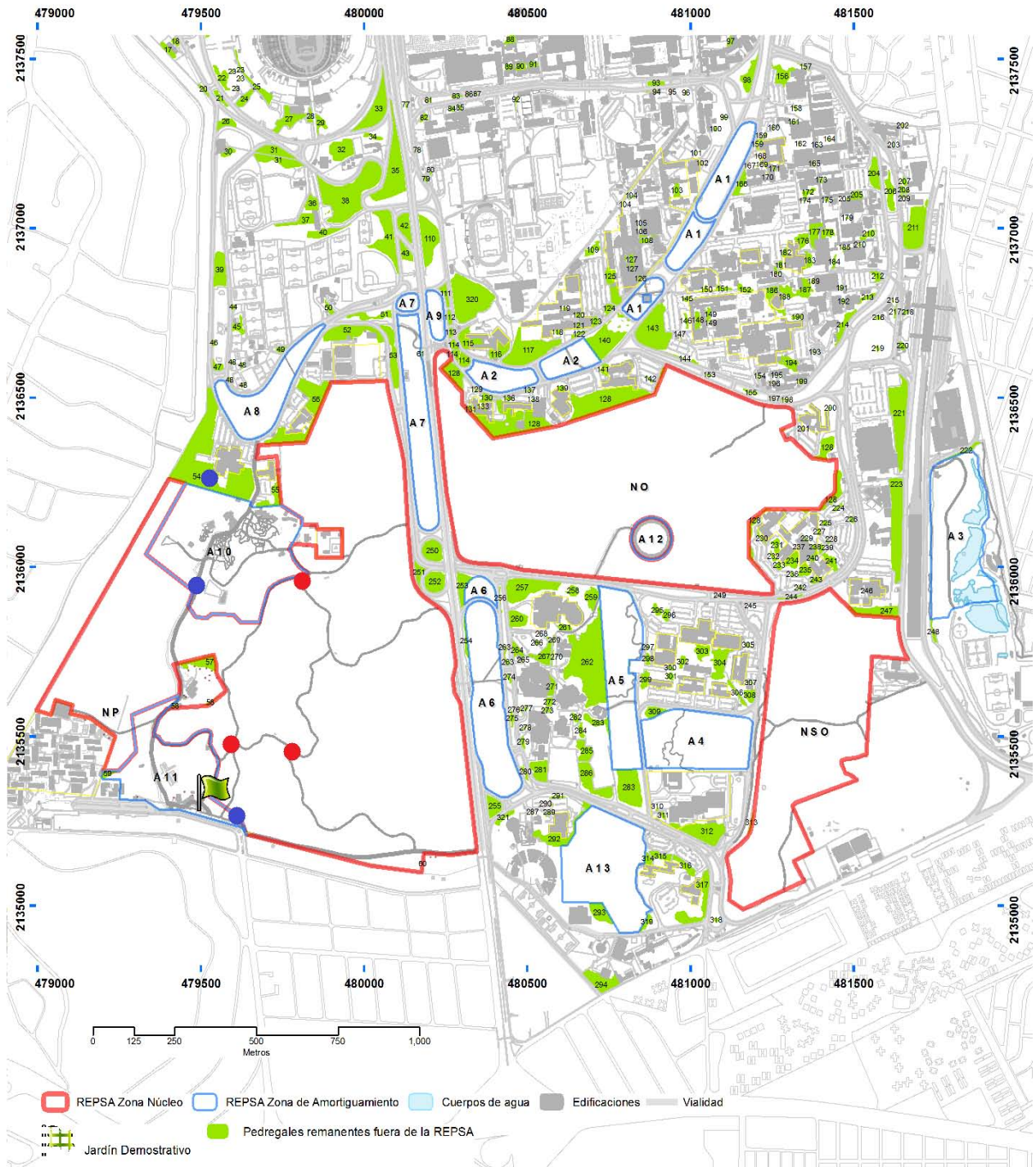


Figura 1. Sitios de muestreo de hormigas en la REPSA. Puntos rojos = ZN, puntos azules = ZA. (mapa modificado de REPSA, 2014).

## Recolecta y determinación de hormigas

Para conocer la riqueza y abundancia de hormigas se realizaron colectas por medio de trampas de caída (Pitfall), las cuales se colocaron en dos transectos de 90 m lineales en cada uno de los tres sitios de ZN y en los tres de ZA. En cada transecto se colocaron cuatro trampas de caída ubicadas a 30 m de distancia entre ellas. Las trampas consistieron en recipientes de plástico con capacidad de 120 ml y 5.5 cm de diámetro, conteniendo 50 ml de alcohol al 70% (Figura 2). Éstas se enterraron en el suelo y permanecieron cerradas por 24 horas para evitar el efecto de la excavación (Ríos-Casanova *et al.*, 2004), posteriormente se abrieron por 48 horas, para finalmente ser recogidas y llevadas al laboratorio. Los muestreos se llevaron a cabo en la época de lluvia (otoño 2014 y verano 2015) y en la época de sequía (invierno y primavera 2015). El esfuerzo total de captura fue de 192 trampas (48 trampas x 4 colectas).

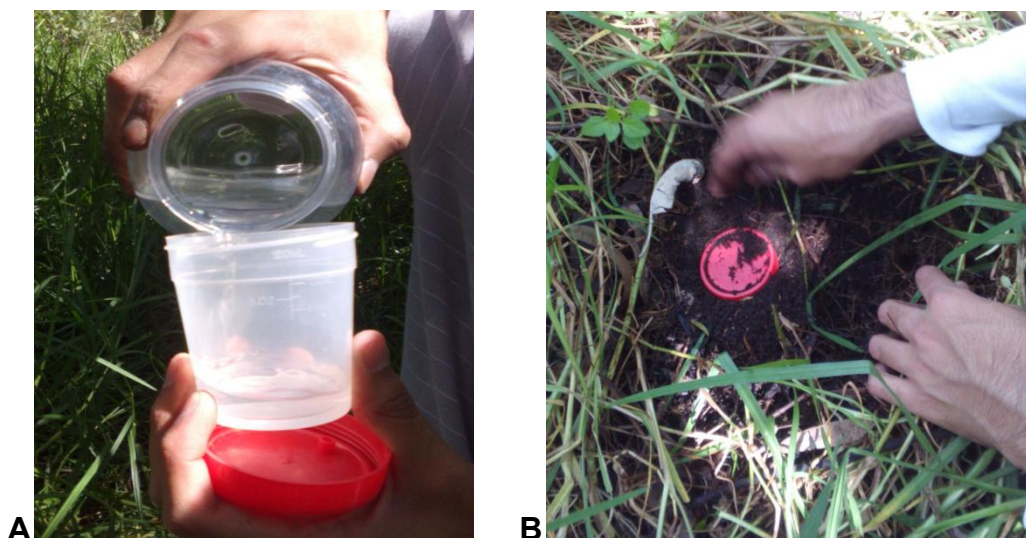


Figura 2. Colocación de las trampas de caída. A) Trampa con alcohol al 70 %; B) Trampa enterrada.

Todas las hormigas recolectadas fueron separadas y guardadas en frascos con alcohol al 70%. Posteriormente se separaron por morfoespecies y al menos un individuo de cada morfoespecie se montó en seco (Figura 3). Para la determinación a

nivel de género se utilizaron las claves de Bolton (1994) y Fisher y Cover (2007), mientras que para determinar a nivel específico se usaron claves de cada uno de los géneros encontrados, así como la colaboración del Dr. Miguel Vásquez Bolaños de la Universidad de Guadalajara para la corroboración de los especímenes. Todas las hormigas recolectadas se encuentran en la colección de hormigas del Laboratorio de Ecología de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Una vez identificados los organismos, se contó a todos los individuos de cada especie para obtener la riqueza y abundancia. De igual manera, las especies se asignaron a los grupos funcionales según la clasificación de Andersen (2000).



Figura 3. Colección de hormigas de la REPSA montadas en seco.

## **Variables ambientales**

Se midieron algunas variables ambientales que pudieran reflejar la heterogeneidad del suelo y la vegetación del sitio donde viven las hormigas. Las variables que se midieron fueron la estructura vertical de la vegetación y la estructura de la superficie del suelo.

### *Estructura vertical de la vegetación.*

Para conocer la estructura vertical de la vegetación en cada sitio muestreado se contó el número de veces que una pértiga interceptó o tocó la vegetación (Bestelmeyer y Schooley, 1999). Este método es empleado para determinar la estructura vegetal, registrando la posibilidad de la presencia o ausencia de plantas sobre un punto del suelo y su altura. Para ello se utilizó una pértiga de plástico de 3 m de altura marcada cada 10 cm (Figura 4). La pértiga se colocó en forma vertical para registrar el número de veces que una planta tocaba la pértiga, en cada sitio donde se colocaron las trampas, una vez por temporada.

### *Estructura de la superficie del suelo.*

Para caracterizar la superficie del suelo se tomaron fotografías de cada uno de los sitios donde se colocaron las trampas (un total de 48 puntos por estación), con una cámara digital (Sony modelo DSC-S700) a una distancia aproximada de 30 cm. Como punto de referencia se colocó un marco de madera de 20 x 20 cm sobre el suelo. Posteriormente, a cada fotografía se le dibujó una cuadrícula de 10 x 10 (cuadros de 2 cm por lado) para conocer la proporción de suelo desnudo, hojarasca, roca y vegetación en cada punto (Ríos-Casanova *et al*, 2015; Figura 5).



Figura 4. Pértiga utilizada para conocer la estructura vertical de la vegetación.



Figura 5. Cuadro de 20 x 20 cm para caracterizar la superficie del suelo.



## Análisis de datos

La riqueza se midió como la suma de las especies de cada trampa. La abundancia de cada sitio fue la suma de los individuos de cada especie obtenida de las 48 trampas colocadas en cada muestreo. Las abundancias fueron corregidas sacando el logaritmo natural, debido a que al trabajar con insectos sociales la abundancia podría sobrestimarse ya que las trampas pueden estar cerca de un nido o camino de hormigas (Bestelmeyer y Wiens, 2001).

Para conocer si existían diferencias en la abundancia y riqueza de hormigas entre zonas y estaciones, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías utilizando el programa SPSS 9.0 para Windows (SPSS, 1998). Previamente, se probaron los supuestos de homoscedasticidad (prueba de Levene) y normalidad de los residuales. En los casos en los que algún factor fue significativo, se realizó la prueba de Tukey para comparar las medias.

Para tener una medida de la diversidad, se calculó el índice de diversidad de Shannon y el índice de equitabilidad de Pielou para cada zona de muestreo en cada estación. El índice de Shannon se obtuvo con la fórmula:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde:  $H'$  = índice de diversidad de Shannon,  $p_i$  = la abundancia proporcional de la especie  $i$ .

El índice de Pielou se obtuvo con:

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

Dónde:  $H'$  índice de diversidad de Shannon,  $\ln S$  = logaritmo natural de la riqueza de especies ( $S$ ) (Magurran, 1988).

Para saber si existían diferencias significativas entre los índices de diversidad, tanto entre sitios como entre estaciones, se usó la prueba de  $t$  para índices de diversidad usando el programa PAST versión 3.12 (Magurran, 1988; Hammer, 2016).

Se determinó la eficiencia del muestreo haciendo curvas de acumulación de especies, mediante el estimador Chao 2, que permite estimar el número de especies esperadas a partir de las colectas realizadas. Este estimador utiliza datos basados en la incidencia, por lo que es adecuado para insectos sociales (Colwell y Codington, 1994). Las curvas se obtuvieron empleando el programa EstimateS versión 9.1 para Windows (Colwell, 2013).

Con la finalidad de conocer a las especies dominantes en la comunidad, se hicieron curvas de rango-abundancia empleando los logaritmos naturales de las abundancias totales y ordenándolos de mayor a menor (rango). Estas curvas se hicieron para cada estación y sitio de muestreo.

Con el fin de saber si existían diferencias en la composición de especies entre zonas y temporadas, se usó un análisis de similitud por permutaciones (ANOSIM). Este análisis se realizó usando la distancia de Bray-Curtis en el programa PAST versión 3.12 (Hammer, 2016).

Para conocer el efecto de los factores (zona o temporada) sobre la abundancia de los grupos funcionales, realizamos un PERMANOVA de dos vías en el programa PAST versión 3.12 (Hammer, 2016), en este análisis usamos la distancia de Bray-Curtis y 9999 permutaciones.

Para determinar si la riqueza y abundancia de las hormigas se correlacionaban con la estructura vertical de la vegetación y la estructura de la superficie del suelo, se efectuaron análisis de correlación de Spearman con el programa SPSS 9.0 para Windows (SPSS, 1998).

Se decidió comparar los resultados de este trabajo con los obtenidos en estudios previos sobre la mirmecofauna de la REPSA. Para dicha comparación se usaron las listas de especie incluidas en cada estudio e hicimos un análisis de similitud de Sorensen, con la fórmula:

$$I_s = \frac{2C}{A+B}$$

Dónde A = Número de especies exclusivas del sitio 1; B= Número de especies exclusivas del sitio 2, C = Número de especies presentes en ambos sitios.

## RESULTADOS

Se recolectaron 747 individuos de la familia Formicidae pertenecientes a cuatro subfamilias, 14 géneros y 16 especies. Myrmicinae fue la subfamilia más diversa con ocho especies, seguida de Dolichoderinae y Formicinae con tres especies cada una, mientras que Ponerinae fue la subfamilia con menor riqueza al presentar solo dos especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies encontradas en la REPSA y el grupo funcional al que pertenecen de acuerdo con Andersen (2000). DD = Dolichoderinae dominantes, CS = Camponitini subordinadas, ECF = Especialistas de climas fríos, O = Oportunistas, MG = Myrmicinae generalistas, C= Crípticas.

Subfamilia	Especie	Grupo funcional
DOLICHODERINAE	<i>Dorymyrmex insanus</i> (Buckley, 1866)	DD
	<i>Forelius pruinosus</i> (Roger, 1863)	DD
	<i>Liometopum apiculatum</i> Mayr, 1870	DD
FORMICINAE	<i>Camponotus atriceps</i> Smith, 1858	CS
	<i>Formica subcyanea</i> Wheeler, 1913	ECF
	<i>Nylanderia bruesii</i> (Wheeler, 1903)	O
MYRMICINAE	<i>Crematogaster</i> sp. Lund, 1831	MG
	<i>Pheidole</i> sp. Westwood, 1839	MG
	<i>Monomorium minimum</i> (Buckley, 1867)	MG
	<i>Solenopsis bicolor</i> Emery, 1906	C
	<i>Stenamma</i> sp. Westwood, 1839	ECF
	<i>Temnothorax andrei</i> (Emery, 1895)	ECF
	<i>Temnothorax</i> sp. 1 Mayr, 1861	ECF
	<i>Temnothorax</i> sp. 2 Mayr, 1861	ECF
PONERINAE	* <i>Hypoponera</i> sp. Santschi, 1938	C
	<i>Odontomachus clarus</i> Roger, 1861	O

\*=Especie excluida de los análisis estadísticos ya que se recolectó manualmente.

La especie más abundante fue *Monomorium minimum* con 254 individuos, seguida de *Nylanderia bruesii* con 137 y *Pheidole* sp. con 119.

Las ZN siempre tuvieron mayor abundancia de hormigas que las ZA; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $F_{1, 24} = 2.05$ ,  $P = 0.17$ ). No obstante, la abundancia sí varió entre estaciones ( $F_{3, 24} = 5.95$ ,  $P = 0.006$ ), ya que primavera fue la estación con la mayor abundancia de hormigas (prueba de Tukey  $P < 0.05$ ). La interacción zona por estación no fue significativa sobre la abundancia ( $F_{3, 24} = 0.25$ ,  $P = 0.86$ ).

La mayor riqueza también se encontró en la ZN durante el otoño y el verano aunque no fueron apreciables diferencias significativas entre estaciones ( $F_{3, 24} = 0.74$ ,  $P = 0.55$ ), pero sí entre zonas ( $F_{1, 24} = 5.04$ ,  $P = 0.04$ ), ya que la ZN tuvo una mayor riqueza que las ZA. La interacción estación por zona, no fue significativa para esta variable ( $F_{3, 24} = 0.57$ ,  $P = 0.64$ ).

Acerca de la diversidad de hormigas, obtuvimos el valor más alto en la ZN durante el verano, y el más bajo en la ZA en el otoño (Cuadro 2), aunque no se encontraron diferencias significativas al comparar el índice de Shannon entre zonas para cada estación (Otoño:  $t = -1.90$ ,  $P = 0.09$ ; Invierno:  $t = -1.28$ ,  $P = 0.22$ ; Primavera:  $t = -0.80$ ,  $P = 0.42$ ; Verano:  $t = -0.91$ ,  $P = 0.37$ ).

Encontramos exclusivamente en la ZN a las especies, *Dorymyrmex insanus*, *Liometopum apiculatum*, *Formica subcyanea* y *Crematogaster* sp, mientras que especies como *Forelius pruinosus*, *Solenopsis bicolor*, *Stenamma* sp. y *Odontomachus clarus* se recolectaron únicamente en las ZA (Cuadro 2). Otras especies como las del género *Temnothorax*, *N. bruesii*, *M. minimum*, *Camponotus atriceps* y *Pheidole* sp. se encontraron presentes en las dos zonas (Cuadro 2).

De forma temporal, también observamos especies exclusivas en una sola estación del año, por ejemplo *O. clarus*, *S. bicolor* y *Stenamma* sp. estuvieron presentes únicamente en invierno, primavera y verano, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Abundancia (ln), riqueza, índice de diversidad de Shannon y equitatividad de Pielou para las hormigas de la REPSA en cuatro estaciones y dos zonas. ZA = zona de amortiguamiento, ZN = zona núcleo.

Subfamilia Especie	Otoño		Invierno		Primavera		Verano	
	ZA	ZN	ZA	ZN	ZA	ZN	ZA	ZN
<b>Dolichoderinae</b>								
<i>Dorymyrmex insanus</i>	0	2.08	0	2.20	0	3.18	0	2.30
<i>Forelius pruinosus</i>	0	0	0	0	2.48	0	1.10	0
<i>Liometopum apiculatum</i>	0	0.69	0	0	0	0	0	0.69
<b>Formicinae</b>								
<i>Camponotus atriceps</i>	0	0.69	1.39	0	2.08	1.39	1.39	1.39
<i>Formica subcyanea</i>	0	1.10	0	1.39	0	0	0	1.79
<i>Nylanderia bruesii</i>	1.95	2.08	0.69	2.89	2.94	4.08	2.71	2.83
<b>Myrmicinae</b>								
<i>Crematogaster</i> sp.	0	0	0	0.69	0	1.10	0	0
<i>Monomorium minimum</i>	0.69	2.64	2.77	3.26	4.38	4.51	3.18	2.20
<i>Pheidole</i> sp.	1.39	3.00	3.09	3.30	3.09	3.00	2.20	1.10
<i>Temnothorax andrei</i>	1.10	1.39	1.39	1.95	3.30	2.48	1.95	1.10
<i>Temnothorax</i> sp. 1	0.69	2.48	0	2.08	0	2.40	1.39	2.56
<i>Temnothorax</i> sp. 2	0	0.69	1.10	2.08	1.79	3.04	0	0.69
<i>Solenopsis bicolor</i>	0	0	0	0	0.69	0	0	0
<i>Stenamma</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0.69	0
<b>Ponerinae</b>								
<i>Odontomachus clarus</i>	0	0	0.69	0	0	0	0	0
<b>Abundancia (ln)</b>	5.82	16.80	11.10	19.80	20.80	25.20	14.6	16.7
<b>Riqueza</b>	5	10	7	9	8	9	8	10
<b>H'</b>	1.53	2.17	1.80	2.12	1.99	2.12	1.98	2.20
<b>Equitatividad</b>	0.95	0.94	0.92	0.97	0.96	0.97	0.95	0.96

En las curvas de acumulación de especies observamos que aparentemente se alcanza una asíntota en ambas zonas en invierno y primavera; pero en verano se ve un incremento en el número de especies, lo cual nos indicaría que un aumento en el muestreo, seguramente resultaría en un mayor número de especies. Con el esfuerzo realizado hasta el momento, el estimador Chao2 predijo que se conoce el 88.8% para la ZN y el 90.9% para las ZA (Figura 6).

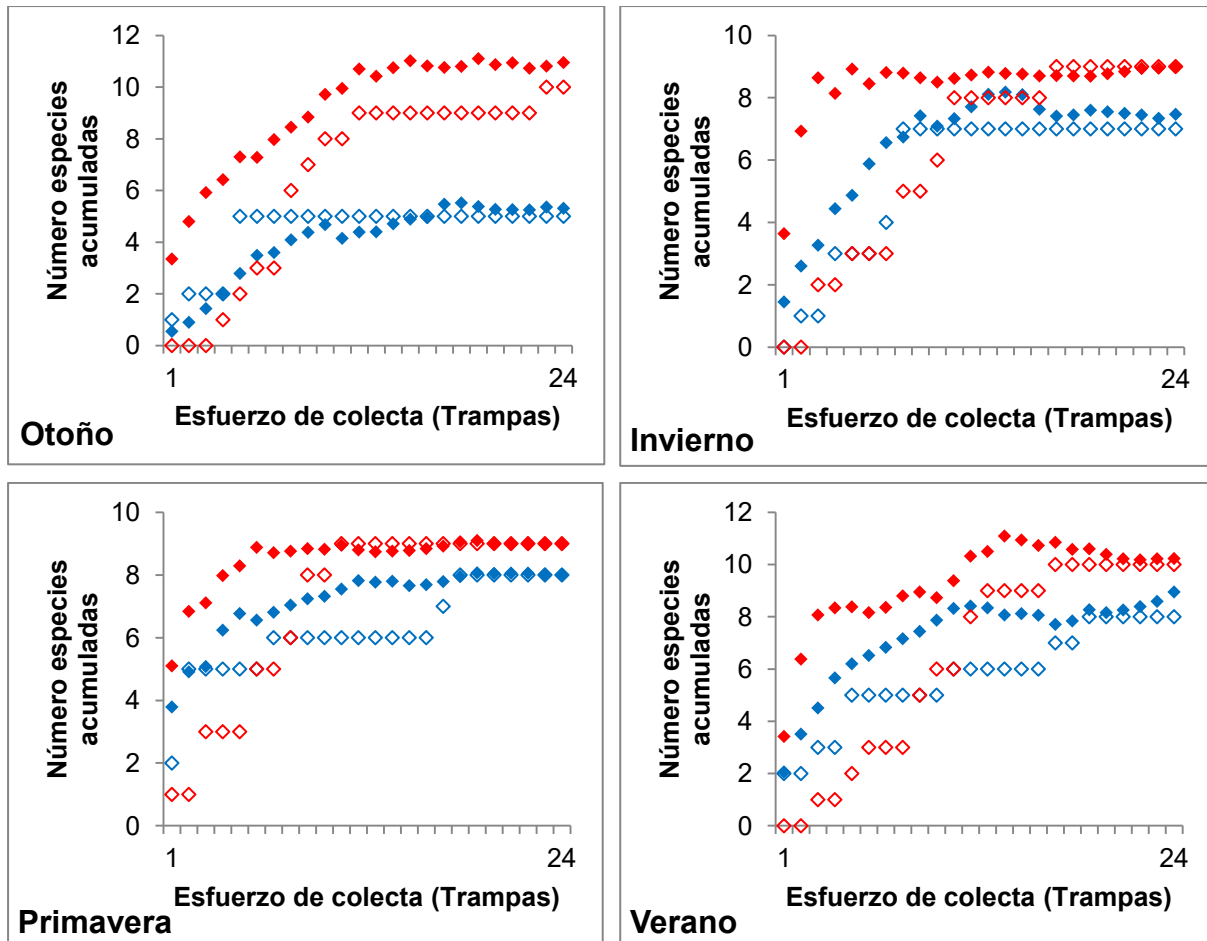


Figura 6. Curvas de acumulación de especies para cuatro estaciones y dos zonas de la REPSA. Puntos rojos = ZN, puntos azules = ZA. Puntos rellenos = especies esperadas, puntos vacíos = especies observadas.

De acuerdo con las curvas de rango-abundancia, las especies que presentaron dominancia en las ZN y ZA fueron *M. minimum*, *N. bruessi* y *Pheidole* sp. Estacionalmente, *Pheidole* sp. fue dominante en otoño e invierno y *M. minimum* durante primavera y verano (Figura 7).

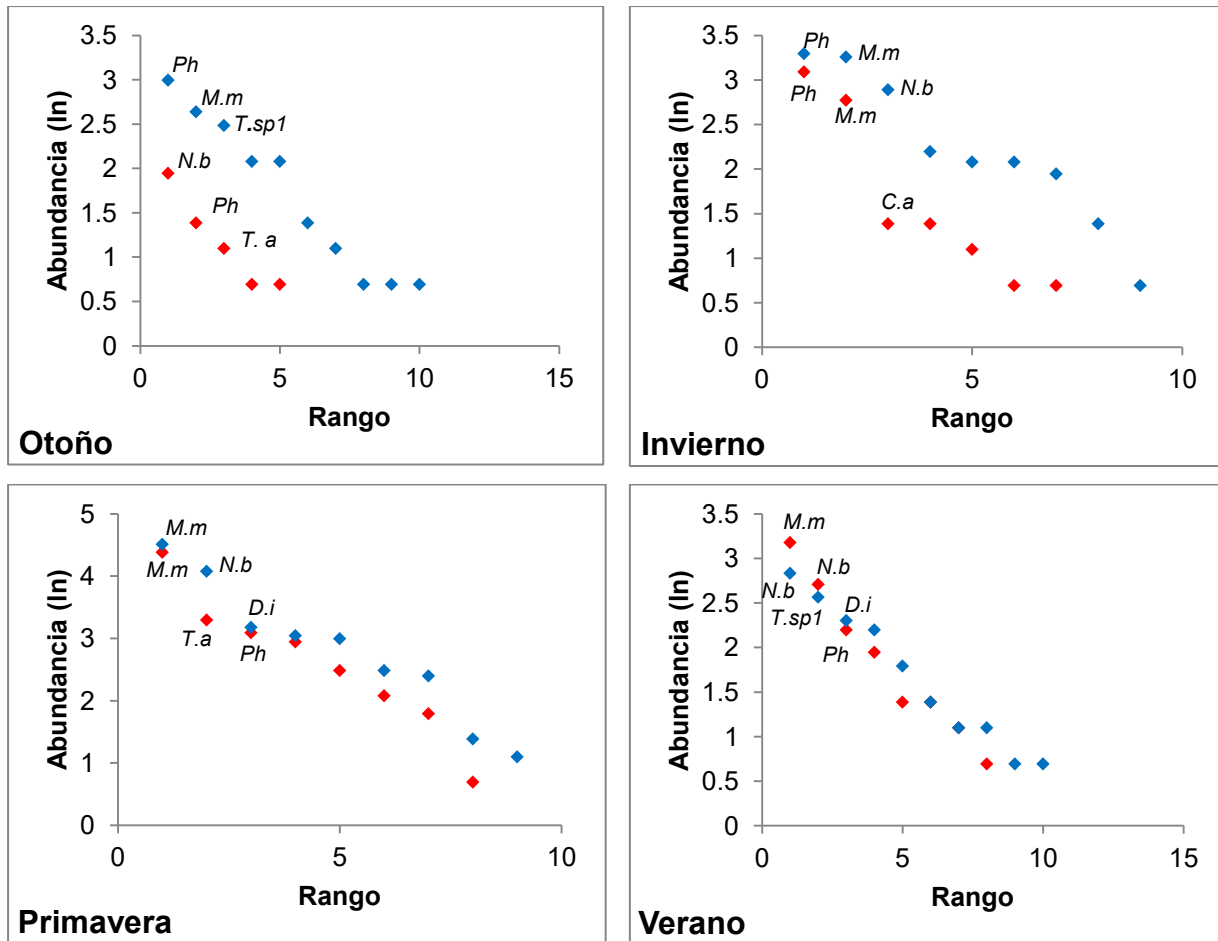


Figura 7. Curvas de rango-abundancia para cuatro estaciones en las zonas núcleo y de amortiguamiento de la REPSA. Rojo = ZN, azul = ZA. (*C.a* = *Camponotus atriceps*, *D.i* = *Dorymyrmex insanus*, *M.m* = *Monomorium minimum*, *N.b* = *Nylanderia bruessi*, *Ph* = *Pheidole* sp., *T.a* = *Temnothorax andrei*, *T.sp1* = *Temnothorax* sp.1).

Con el análisis de similitud (ANOSIM de dos vías), no encontramos diferencias significativas en la composición de especies ni entre temporadas ( $R = 0.15$ ,  $p = 0.17$ ) ni entre zonas ( $R = -0.09$ ,  $P = 0.71$ ).

Las especies determinadas se clasificaron en seis grupos funcionales según la clasificación de Andersen (2000) (Cuadro 1). El grupo de Myrmicinae Generalistas (MG) fue el más abundante tanto por zonas como por temporadas, seguidas de las Especialistas de Climas Fríos (ECF) y las Oportunistas (O), mientras que las menos abundantes fueron las Crípticas (C), teniendo solo un individuo recolectado a lo largo del estudio (Figura 8).

Al analizar el efecto de las temporadas y las zonas sobre los grupos funcionales, se encontró efecto de las temporadas sobre el grupo de ECF (Cuadro 3), mientras que la zona y la interacción zona por temporada, no tuvieron un efecto estadísticamente significativo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de F (resultado de PERMANOVA) para cada grupo funcional presente en la REPSA, \* = valor significativo con una P = 0.04, DD = Dolichoderinae dominantes, CS = Camponitini subordinadas, ECF = Especialistas de climas fríos, O = Oportunistas, MG = Myrmicinae generalistas, C= Crípticas.

Factor	Grupos Funcionales					
	DD	CS	ECF	O	MG	C
Zona	4.18	0.24	1.81	0.87	0.65	1
Temporada	0.24	2.35	<b>4.06*</b>	1.89	2.10	1
Zona x Temporada	0.11	1.1	0.48	0.90	0.13	1

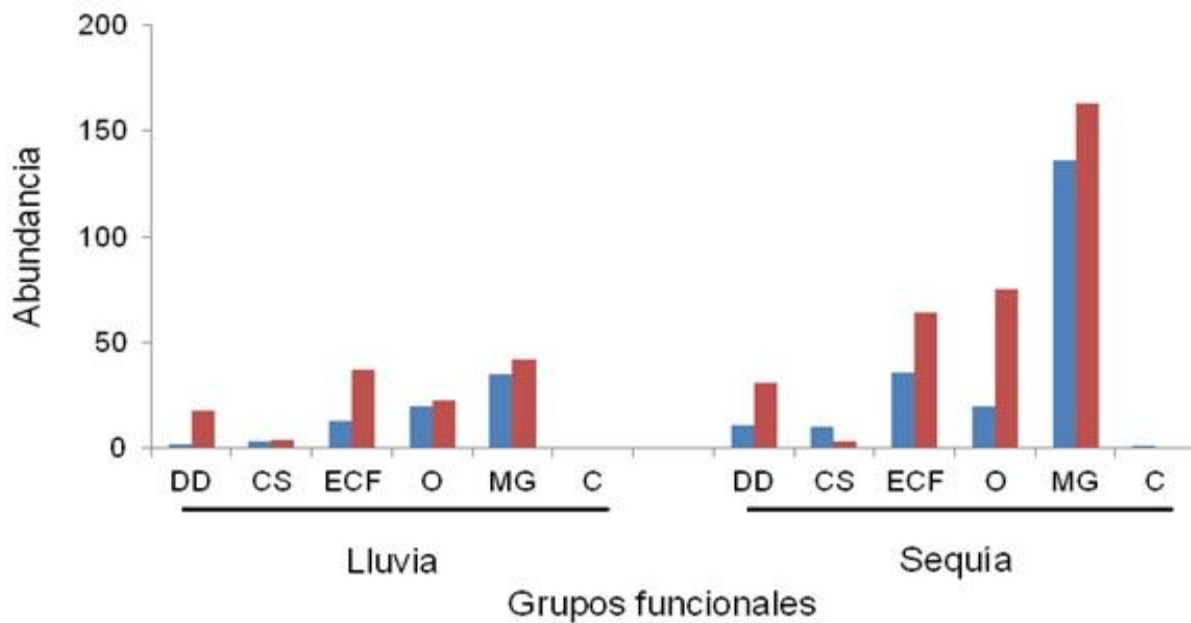


Figura 8. Abundancia de los Grupos Funcionales presentes en dos zonas de la REPSA y dos temporadas. Azul = ZA, rojo = ZN. (DD = Dolichoderinae dominantes, CS = Camponitini subordinadas, ECF = Especialistas de climas fríos, O = Oportunistas, MG = Myrmicinae generalistas, C= Crípticas).



Acerca de la estructura vertical de la vegetación, en las ZA encontramos una mayor dominancia del estrato arbustivo (plantas registradas entre los 31 y 150 cm) tanto en temporada de lluvia como en sequía. En las ZN observamos dominancia del estrato arbóreo pero solo en la época de lluvia, ya que en sequía se observó una mayor dominancia del estrato de plantas herbáceas (menores a los 30 cm; Figura 9).

En las tres categorías de la vegetación en época de sequia se observaron diferencias significativas (0-30:  $Z = -2.63$ ,  $P = 0.01$ ; 31-150:  $Z = -2.41$ ,  $P = 0.02$ ; 151-300:  $Z = -2.18$ ,  $P = 0.03$ ), mientras que en la época de lluvia solo se apreciaron diferencias estadísticas en la vegetación superior de los 151 cm ( $Z = -2.49$ ,  $P = 0.01$ ).

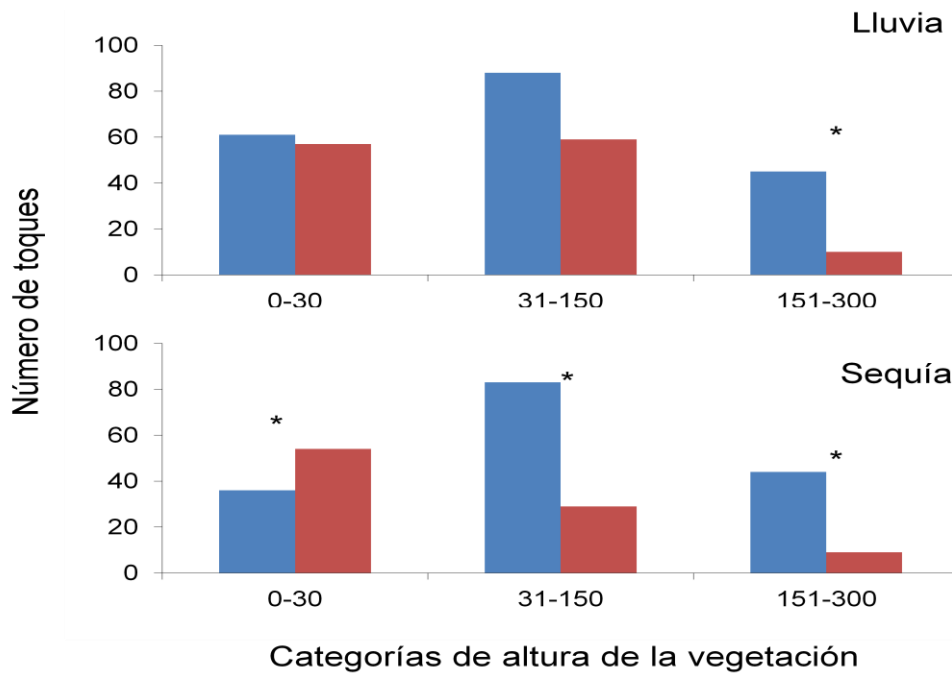


Figura 9. Estructura vertical de la vegetación (número de toques por categoría de altura de la vegetación) en dos temporadas del año en ambas zonas de la REPSA. Azul = ZA, rojo = ZN. \* =  $P < 0.05$

Con respecto a la estructura de la superficie del suelo, en la temporada de sequía el porcentaje de vegetación del suelo presentó diferencias entre las ZN y las ZA ( $P = 0.01$ ) mientras que el resto de las categorías no presentaron diferencias. En la temporada de lluvia tampoco hubo diferencias en ninguna de las categorías (Figura 10).

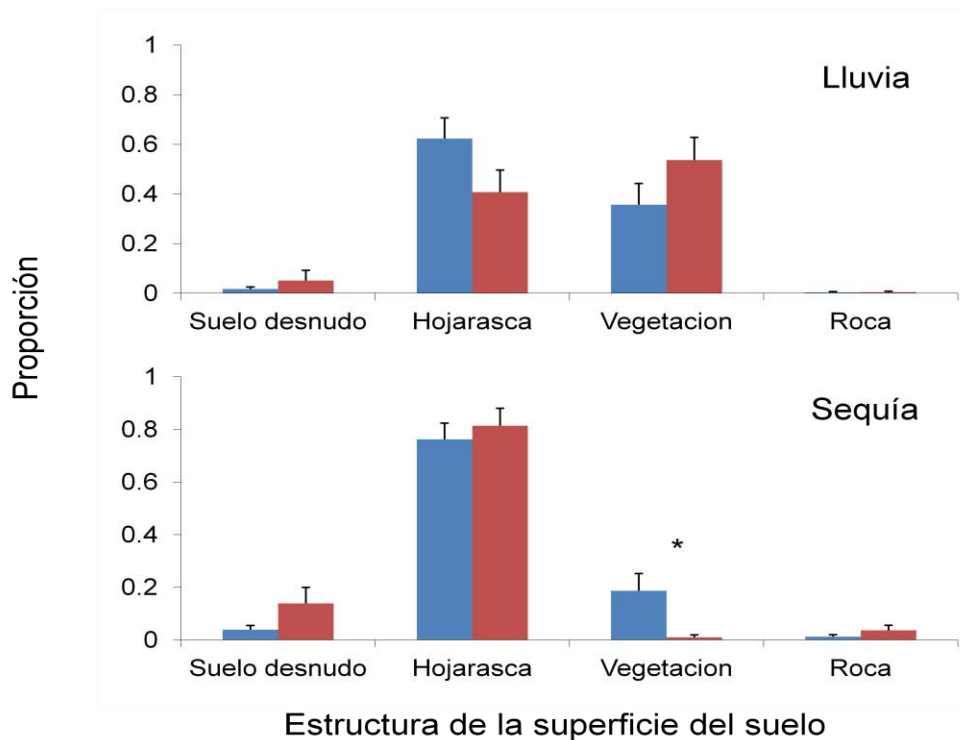


Figura 10. Proporciones de la estructura de la superficie del suelo en dos temporadas del año en ambas zonas de la REPSA. Azul = ZA, rojo = ZN. \* =  $P = 0.01$ .

Al realizar las correlaciones entre riqueza y abundancia de hormigas con variables ambientales, encontramos que la riqueza solo estuvo relacionada de manera negativa con el porcentaje de la vegetación de la superficie del suelo en temporada de sequía (Cuadro 4; Figura 11). La abundancia se relacionó de manera lineal con el porcentaje de hojarasca, sin embargo esta relación fue positiva durante la época de sequía y negativa en la época de lluvia. Un patrón similar ocurrió con la correlación entre la abundancia y el porcentaje de vegetación en la superficie del suelo ya que esta también fue lineal y significativa, pero negativa en la temporada de sequía y positiva durante la lluvia (Cuadro 4; Figura 12).

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Spearman ( $r_s$ ) para las correlaciones entre la abundancia (A) y la riqueza de hormigas (S), con la estructura de la superficie del suelo y la estructura vertical de la vegetación. Resultados para los dos tipos de zonas (ZN = zona núcleo; ZA = zona de amortiguamiento) y dos temporadas del año. \* = Correlaciones significativas con una  $P < 0.05$ .

Zona	Temporada	Estructura de la superficie del suelo								Estructura vertical de la vegetación	
		% suelo desnudo		% hojarasca		% vegetación		% rocas		No. de toques	
		A	S	A	S	A	S	A	S	A	S
ZA	Lluvia	0.09	0.26	<b>-0.46*</b>	-0.25	<b>0.47*</b>	0.25	-0.28	-0.30	0.06	0.06
	Sequía	0.13	0.13	<b>0.41*</b>	0.33	<b>-0.45*</b>	<b>-0.43*</b>	-0.09	0.02	0.17	0.07
ZN	Lluvia	0.15	0.12	0.38	0.30	-0.40	-0.31	0.24	0.18	0.03	-0.14
	Sequía	-0.02	0.02	0.08	0.06	-0.20	-0.30	0.14	0.23	-0.11	-0.19

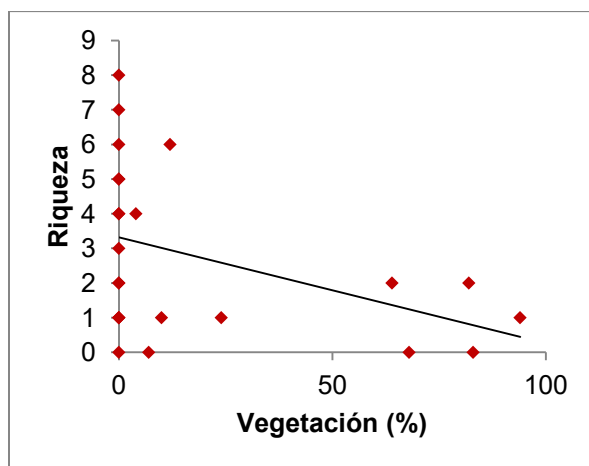


Figura 11. Relación entre la riqueza de hormigas y el porcentaje de la vegetación de la superficie del suelo, en la época de sequía en las ZA de la REPSA.

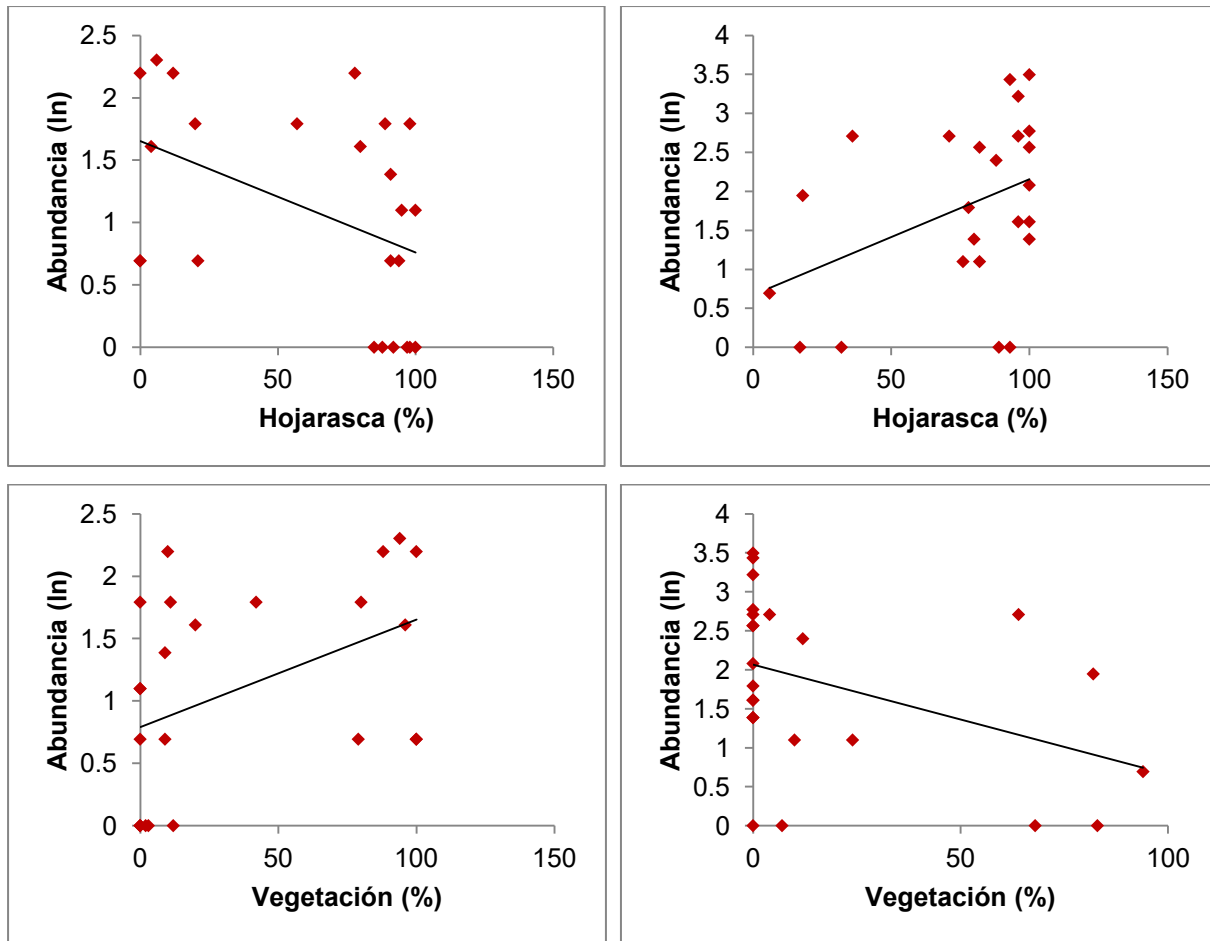


Figura 12. Relación de la abundancia de hormigas con el porcentaje de hojarasca (arriba) y el porcentaje de vegetación en la superficie del suelo (abajo), en época de lluvia (izquierda) y en época de sequía (derecha) en las ZA de la REPSA.

Al comparar la riqueza obtenida en este estudio con la de cada uno de los estudios previamente realizados en la REPSA por medio del índice de similitud de Sorensen, encontramos que la mirmecofauna de la Cantera Oriente es más similar ( $I_s=0.47$ ) a nuestro hallazgos en comparación con los realizados por Valentín (2015;  $I_s=0.46$ ), Hernández (2010;  $I_s=0.38$ ) y Trejo (2015;  $I_s=0.29$ ).

## DISCUSIÓN

En este estudio encontramos que la comunidad de hormigas de la REPSA presenta marcadas diferencias estacionales, ya que en verano obtuvimos el valor de diversidad más alto, y el más bajo durante el otoño. Igualmente encontramos que al comparar la abundancia y la composición de las especies y la abundancia de los grupos funcionales, hay claras diferencias en estos parámetros entre la temporada de lluvia y la de sequía. Sin embargo, a diferencia de lo que esperábamos encontrar, las diferencias en la diversidad de hormigas entre las zonas núcleo y las de amortiguamiento no son tan evidentes, la comunidad de hormigas de la REPSA tiene especies que pueden estar habitando tanto en ZN como en ZA aunque también hay algunas especies que solo se colectaron únicamente en un tipo de zona o en una sola estación.

La REPSA posee una marcada estacionalidad y una alta heterogeneidad ambiental que aunadas a otros factores como la precipitación y la radiación solar dan lugar a microambientes con diversas condiciones del suelo, de la temperatura y de la vegetación (Castillo *et al.*, 2004; Peralta y Prado, 2009), por lo que se esperaba que la diversidad y composición de las especies de hormigas respondieran a estas diferencias y variaran entre zonas y estaciones.

Aunque el valor mayor de diversidad se obtuvo en verano y el menor en otoño, no se observaron diferencias significativas entre los índices de diversidad en estas estaciones. Resultados similares fueron los obtenidos por Herbers (1989) en bosques secundarios de Vermont y Nueva York, ya que en verano halló el mayor número de especies en comparación con el otoño, cuando encontró la menor diversidad, debido a que el número de especies, así como el número de nidos, declinaban a medida que se acercaba el invierno. Un patrón similar fue encontrado por Rico-Gray *et al.* (1998), al realizar un estudio en el Valle de Zapotitlán, Puebla, pues hallaron que a medida que disminuía la temperatura a lo largo del año, la abundancia y la interacción de las hormigas con las plantas decaía, lo cual coincidía con la disminución de las temperaturas, siendo diciembre (invierno) el mes donde registraron la temperatura menor.

En la REPSA, encontramos que las abundancias más altas ocurrieron en primavera, contraponiéndose con nuestra hipótesis en la que esperábamos que durante las estaciones de lluvia (verano y otoño) existiera una mayor abundancia en comparación con el resto del año, pues en este momento había mayor cantidad de recursos. En otros estudios realizados en la REPSA, se ha encontrado que otros artrópodos como los ácaros y los colémbolos presentan abundancias altas en primavera debido a que en esta estación ocurre la mayor productividad primaria neta aérea en algunos sitios de la reserva (Cano-Santana, 1994; Ríos-Casanova *et al.*, 2010). Sin embargo, también sugieren que otros factores del hábitat más allá de la productividad primaria como el alimento, el sustrato, la humedad, los refugios y el microclima, podrían ser importantes para determinar los patrones de diversidad de los artrópodos de la REPSA (Ellis *et al.*, 2000).

La riqueza presentó diferencias entre zonas ya que la ZN, que se considera más conservada, tuvo una mayor riqueza en comparación con las ZA, probablemente debido a que estas zonas tienen una mayor heterogeneidad y, por lo tanto, la presencia de más sitios de anidación, ya que se sabe que esta condición permitiría un aumento en el número de las especies presentes (Herbers, 1989). En otros estudios sobre la mirmecofauna de una zona semiárida del centro de México, se encontró que en las zonas más conservadas, la riqueza de hormigas era mayor que las zonas perturbadas, ya que en las primeras había un mayor número de microhábitats y más recursos que podrían ser utilizados por las hormigas (Rivas-Arancibia *et al.*, 2014).

A pesar de lo anterior, dentro de la REPSA varias especies se encontraron indistintamente en las zonas núcleo y en las de amortiguamiento. Por ejemplo, *M. minimum*, *Pheidole* sp. y *N. bruessi*, que son también las especies más dominantes, fueron recolectadas tanto en ZN como en ZA durante todo el año; mientras que especies como *O. clarus*, *Stenammas* sp. y *S. bicolor* se colectaron en solo uno de los dos tipos de zonas. Esto podría deberse a que los sitios donde fueron encontradas tienen características del ambiente o recursos que mantienen a estas especies presentes en un solo lugar como por ejemplo la temperatura y el alimento (Hölldobler y Wilson, 1990; Andersen, 2000). También es probable que los efectos de la excavación, así como los sitios donde fueron colocadas las trampas no permitieran la captura de

estas especies en otros sitios u estaciones (Greenslade, 1973; Bestelmeyer *et al.*, 2000).

Este patrón de dominancia es común en estas especies, ya que *M. minimum* y *Pheidole* sp. pertenecen al grupo de las Myrmicinae generalistas (MG), las cuales son muy comunes en lugares de climas cálidos, como es el Valle de México, además de que son a menudo las hormigas más abundantes (Ward, 2000). Por otro lado, *N. bruessi*, pertenece al grupo de las oportunistas, las cuales tienen distribuciones muy amplias debido a que pueden utilizar una variedad extensa de hábitats particularmente en los sitios donde el estrés y la perturbación limitan la productividad y la diversidad de hormigas (Andersen, 2000), algo que es de esperarse en un lugar situado en medio de una de las ciudades más grandes del mundo.

Las MG (*Crematogaster* sp., *M. minimum* y *Pheidole* sp.) seguidas de las especialistas de climas fríos (ECF) (*F. subcyanea*, *Stenamma* sp., *T. andrei*, *Temnothorax* sp. 1 y *Temnothorax* sp. 2) fueron las más dominantes en este trabajo. Esa dominancia de las ECF, es un patrón muy común en las regiones Paleárticas y Neárticas debido a que muchas de estas especies tiene una alta tolerancia a bajas temperaturas, además que algunas pueden termorregular su nido cuando esto se requiere (Andersen, 2000), corroborándose una vez más que las especies que se encuentran en la REPSA son predominantemente Neárticas (Hernández, 2010). La REPSA es un matorral xerófilo el cual alcanzó, durante el estudio, temperaturas superiores a los 30°C y temperaturas medias inferiores a los 10°C (datos no publicados). Estas temperaturas son idóneas para encontrar especies que son poco tolerantes a las altas temperaturas como fue el caso de *F. subcyanea*, *Stenamma* sp. y *T. andrei* (Bestelmeyer y Schooley, 1999; Andersen, 2000).

Distintos autores (Perfecto y Snelling, 1995; Ríos-Casanova *et al.*, 2006) han relacionado algunos patrones de la diversidad de hormigas con la estructura vertical de la vegetación debido a que ésta determina la disponibilidad de alimento y de condiciones de temperatura, sin embargo, nosotros no encontramos una relación significativa entre estas dos variables, sugiriendo que la diversidad de las hormigas de la REPSA probablemente no se encuentra relacionada con esta variable ambiental.

Un estudio previo realizado en la REPSA en el que se relacionaron la estructura vertical de la vegetación y la estructura del suelo con la diversidad de hormigas no encontró ninguna relación (Trejo, 2015). No obstante, en este trabajo encontramos que la riqueza y la abundancia de hormigas disminuyen en ZA durante la sequía a medida que la vegetación de la superficie del suelo aumenta, al igual que ocurre con la relación de la abundancia de hormigas y el porcentaje de hojarasca en época de lluvia. Estas relaciones podrían deberse a que algunos factores como la vegetación seca y la hojarasca humedecida, estuvieran obstaculizando el forrajeo de las especies edáficas (Ríos-Casanova *et al.*, 2015). Por otro lado, la relación positiva que hay entre la abundancia de hormigas y el porcentaje de hojarasca en ZA durante la sequía y la abundancia y el porcentaje de la vegetación en el suelo durante la lluvia, en la misma zona, podría existir debido a que éstas influyen en la disponibilidad de recursos y la formación de diferentes microhábitats propicios para el anidamiento (Lozano-Zambrano *et al.*, 2009, Ríos-Casanova *et al.*, 2015). En otras comunidades, durante la época de lluvia se ha encontrado la mayor riqueza y abundancia de hormigas debido a que hay una mayor actividad de forrajeo y a que hay mayor producción de frutos y semillas que son forrajeadas por varias especies (Coelho Y Ribeiro, 2006). La hojarasca y la vegetación en el suelo también representan sitios idóneos de anidación para diferentes especies de hormigas, como algunas pertenecientes a los géneros *Crematogaster*, *Nylanderia*, *Odontomachus*, *Pheidole* y *Stenamma* (Branstetter y Saénz, 2012).

Aunque existen trabajos anteriores sobre la mirmecofauna realizados en la REPSA (Hernández, 2010; Valentín, 2015; Trejo, 2015; García-Villar y Ríos-Casanova, 2015), en este estudio encontramos hormigas que siguen incrementando el número de especies que se reportan para la reserva. En este trabajo determinamos seis especies (*F. pruinosus*, *F. subcyanea*, *O. clarus*, *S. bicolor*, *Stenamma* sp., *T. andrei*) las cuales representan nuevos registros para la REPSA, y todas ellas, con excepción de *O. clarus* son de nuevo registro para la Ciudad de México (Vásquez-Bolaños, 2015). Con nuestros resultados reafirmamos que el conocimiento de las hormigas en la Ciudad de México aun es muy escaso, en comparación con otros sitios del país.

Por medio del índice de similitud de Sorensen, se observó que la mirmecofauna de la Cantera Oriente es más similar a lo que obtuvimos nosotros, en comparación con



el resto de los trabajos realizados en la REPSA. Las diferencias encontradas pueden deberse, muy probablemente, a los métodos empleados en cada estudio, ya que en estos se utilizaron cebos (Hernández, 2010; Trejo, 2015), y/o colecta manual (Hernández, 2010; Valentín 2015). Los cebos tiene la desventaja de sesgar los datos al atraer o repeler especies de hormigas debido al uso de atrayentes (Bestelmeyer *et al*, 2000) y la colecta manual requiere de mucha experiencia por parte del colector (Bestelmeyer *et al*, 2000).

El estudio en la Cantera Oriente (García-Villar y Ríos-Casanova, 2015) que se realizó con trampas de caída es el más similar al presente estudio. Esto podría ser el reflejo de que, el usar el mismo método de captura puede estar incidiendo sobre el mismo ensamblaje de hormigas que forrajean en el suelo, a pesar de estar en extremos opuestos de la REPSA.

Aunque las trampas de caída han servido en este estudio para incrementar el conocimiento de la diversidad de las hormigas, la geología y topografía de la REPSA imponen algunas limitantes para la colocación adecuada de este tipo de trampas. Por lo anterior, se recomendaría tratar de encontrar más sitios dentro de la REPSA donde las trampas pueden ser colocadas adecuadamente y así aumentar los sitios de muestreo y poder recolectar hormigas que podrían ser nuevos registros para la REPSA. Estos nuevos sitios deberán incluir los relictos del Pedregal que aún conserva la universidad para poder comparar espacialmente la distribución de las especies de hormigas. Por último se sugiere utilizar varios métodos de colecta al mismo tiempo como por ejemplo, el muestreo de hojarasca, recolección con trampas, con cebos o colecta manual en diferentes estratos de la vegetación como ya ha sido sugerido (Bestelmeyer y Ríos-Casanova, 2010). El uso de varios métodos de colecta permitiría conocer un mayor número de especies lo que probablemente nos ayudará a conocer con mayor detalle si existen diferencias temporales y espaciales en las comunidades de hormigas de la REPSA.

## CONCLUSIONES

- La abundancia de las hormigas de la REPSA presenta diferencias temporales, siendo la primavera la estación con la mayor abundancia.
- La riqueza de las hormigas de la REPSA presenta diferencias espaciales, encontrando que la ZN tuvo una mayor riqueza a diferencia de las ZA.
- No se encontraron diferencias estadísticas tanto de la diversidad de hormigas como en la composición de especies, ni temporal ni espacialmente; sin embargo, se observaron especies que se distribuían exclusivamente en una zona o en una estación.
- *M. minimum*, *N. bruessi* y *Pheidole* sp. fueron las especies más abundantes y dominantes a lo largo del año de muestreo, tanto en ZN como en ZA.
- Las MG y las ECF, fueron los grupos funcionales más abundantes tanto temporal como espacialmente. Las ECF fueron el único grupo que presentó efecto de la temporalidad, mientras que las zonas no tuvieron efecto sobre los grupos funcionales.
- La riqueza estuvo correlacionada negativamente con el porcentaje de la vegetación de la superficie del suelo en época de sequía en ZA.
- La abundancia se correlacionó con el porcentaje de hojarasca positivamente en época de sequía y negativamente en época de lluvia; también se correlacionó negativamente con el porcentaje de vegetación en la superficie del suelo en época de sequía y positivamente durante la lluvia en ZA.
- *F. pruinosis*, *F. subcyanea*, *O. clarus*, *S. bicolor*, *Stenamma* sp. y *T. andrei* son de nuevo registro para la REPSA, y todas estas a excepción de *O. clarus* son de nuevo registro para la Ciudad de México.

## LITERATURA CITADA

- Alonso, L. E. y D. Agosti. 2000. Biodiversity studies, monitoring, and ants: an overview. 1-8 pp. En: D. Agosti, J.D. Majer, L.E. Alonso y T.R. Schultz (Eds.). *Ants standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 280p.
- Andersen, A. N. 1991. Paralells between ants and plants: Implications for community ecology. 539-558 pp. En: C.R. Huxley y D.F. Cutler (Eds.). *Ant plant interactions*. Oxford University Press, Oxford. 601p.
- Andersen, A. N. 1992. Regulation of "momentary" diversity by dominant species in exceptionally rich ant communities of the Australian seasonal tropics. *American Naturalist* 140:401–420.
- 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. Global ecology of rainforest ants: Functional groups in relation to environment stress and disturbance. 25-34 pp. En: D. Agosti, J.D. Majer, L.E. Alonso y T.R. Schultz (Eds.). *Ants standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 280p.
- Bazzaz, F. A. 1975. Plant species diversity in old-field successional ecosystems in southern Illinois. *Ecology* 56:485-488.
- Benson, W. W. y A. Y. Harada. 1988. Local diversity of tropical and temperate ant faunas. *Acta Amazonica* 18: 275-289.
- Bestelmeyer, B. T. y L. Rios-Casanova. 2010. Field techniques for sampling ants. 39-41 pp. En: Lach, L., C. L. Parr y K. L. Abbott (Eds.). *Ant Ecology*. Oxford University Press, Oxford. 402p.
- Bestelmeyer, B. T. y R. L. Schooley. 1999. The ants of the southern Sonora desert: community estructura and the role of trees. *Biodiversity Conservation* 8: 643-657.
- Bestelmeyer, B.T y J. A. Wiens. 2001. Local and regional-scale responses to ant diversity to a semiarid biome transities. *Ecography* 24: 381-392.

- Bestelmeyer, B. T., D. Agosti, L. E. Alonso, C. R. F. Brandao, W. L. Brown, J. H. C. Delabie y R. Silvestre. 2000. Field techniques for the study of ground-dwelling ants. 122-144 pp. En: Agosti, D., D. J. Majer, L. Alonso, T. Schultz. (Eds.). *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. 280p.
- Bolton, B. 1994. *Identification guide to the ant Genera of the world*. Harvard University Press. 232 pp.
- Branstetter, M. G. y L. Saénz. 2012. Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Guatemala. *Biodiversidad 2*: 221-268.
- Breshears, D. D., J. W. Nyhan, C. E. Heil y B. P. Wilcox. 1998. Effects of woody plants on microclimate in a semiarid woodland: Soil temperature and evaporation in canopy and intercanopy patches. *International Journal of Plants Sciences* 159:1010-1017.
- Byrne, M. M. 1994. Ecology of twig-dwelling ants in a wet lowland tropical forest. *Biotropica* 26: 61-72.
- 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 del Instituto de Ecología, UNAM, México, D.F., 198 pp.
- Castillo, S., G. Montes, M. A. Romero, Y. Martínez, P. Guadarrama, I. Sánchez y O. Núñez. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F., México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 74: 52-53 pp.
- Clark, D. B., D. A. Clark y J. M. Read. 1998. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a neotropical forest. *Journal of Ecology* 86:101-112.
- Coelho, I. R. y S. P. Ribeiro. 2006. Environment heterogeneity and seasonal effects in ground-dwelling ant (Hymenoptera: Formicidae) assemblages in the Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brazil. *Neotropical Entomology* 35(1): 19-29.
- Colwell, R. K. 2013. *EstimateS Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. Versión 9.1.0. User's Guide*. Disponible en: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>

- Colwell, R. K y J. A. Codington. 1994. Estimating territorial biodiversity through extrapolation. *Philosophical transactions of the royal society of London. Series B* 345:101-118.
- De la Fuente, J. R. 2005. Acuerdo por el que se rezonifica, delimita e incrementa la zona de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. *Gaceta, UNAM*, 3813:19-21.
- Ellis, L. M., M. C. Molles Jr., C. S. Crawford y F. Heinzelmann. 2000. Surface-active arthropod communities in native and exotic riparian vegetation in the middle Rio Grande Valley in New Mexico. *Southwest Naturalist* 45: 456-471.
- Fisher, B. L. y P. Cover, S. 2007. *Ants of North America. A guide to the Genera*. University of California Press. 217 pp.
- García, D. 2006. La escala y su importancia en el análisis espacial. *Ecosistemas* 15: 7-18.
- García-Villar, P. y Ríos-Casanova, L. 2015. Diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en una zona restaurada: La Cantera Oriente del Pedregal de San Ángel. 139-150 pp. En: Castaño-Meneses, G., M. Vásquez-Bolaños, J. L. Navarrete-Heredia, G. A. Quiroz-Rocha, I. Alcalá-Martínez (Coord.). *Avances de Formicidae de México*. UNAM y UDG. 210 pp.
- Greenslade, P. J. M. 1973. Sampling ants with pitfall traps: Digging-in effects. *Insectes Sociaux* 20: 343-353.
- Greenslade, P. J. M. 1978. Ants. 109-113 pp. En: Lowe, W. A. (ed). *The physical and biological features of Kunoth Paddock in central Australia*. CSIRO Division of Land Resources Technical Paper No. 4, Canberra.
- Hammer, O. 2016. *Past. Paleontological statistics versión 3.12 Reference manual*. Natural History Museum, University of Oslo, Oslo.
- Herbers, J.M. 1989. Community structure in north temperate ants: temporal and spatial variation. *Oecologia* 81: 201-211.
- Hernández, R. A. 2010. *Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. México*. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Ciencias, UNAM. 110 p.

- Hölldobler, B. y E. O. Wilson. 1990. *The ants*. Springer, Berlin Heidelberg New York. 732p.
- Human, K. G. y D. M. Gordon. 1996. Exploitation and interference competition between the invasive Argentine ant, *Linepithema humile*, and native ant species. *Oecologia* 105:405–412.
- Johnson, R. A. 1992. Soil texture as an influence on the distribution of the desert seed-harvester ants *Pogonomyrmex rugosus* and *Messor pergandei*. *Oecologia* 89: 118-124.
- Lobry de Bruyn, L. A. y A. J. Conacher. 1990. The role of termites and ants in soil modification: a review. *Australian Journal of Soil Research* 28:55–93.
- Lozano-Zambrano, F. H., P. Ulloa-Chacón y I. Ambrecht. 2009. Hormigas: Relaciones especies-áreas en fragmentos de bosque seco tropical. *Neotropical Entomology* 38: 44-54.
- MacArthur, R. H. y J. W. MacArthur. 1961. On bird species diversity. *Ecology* 42: 594-598.
- MacArthur, R. H. y E. O. Wilson. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton. 224p.
- Magurran, E. A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Princeton. New Jersey.
- McCoy, E. D. y S. S. Bell. 1991. Habitat structure: the evolution and diversification of a complex topic. 3-27 pp. En: S. S. Bell, E. D. McCoy y H. R. Mushinsky (Eds). *Habitat structure: the physical arrangement of objects in space*. Chapman and Hall, New York. 438p.
- Peralta, A. y J. Prado. 2009. Los límites y la cartografía. 27-42 pp. En: Lot, A. y Z. Cano-Santa (Eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. Coordinación de la Investigación Científica. 538pp.
- Perfecto, I. y R. Snelling. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ant in coffee plantation. *Ecological Application* 5: 1084-1097.
- REPSA. 2014. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Disponible en: <http://www.repsa.unam.mx/>

- Ribas, C. R., R. B. Campos, F. A. Schmidt y R. R. Solar. 2011. Ants as indicators in Brazil: a review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. *Psyche: A Journal of Entomology* 2012.
- Rico-Gray, V., M. Palacios-Rios, J. G. Garcia-Franco y W. P. MacKay. 1998. Richness and seasonal variation of ant-plant associations mediated by plant-derived food resources in the semiarid Zapotitlan Valley, Mexico. *American Midland Naturalist* 140: 21-26.
- Ríos-Casanova, L., A. Valiente-Banuet y V. Rico-Gray. 2004. Las Hormigas del Valle de Tehuacán (Hymenoptera: Formicidae): Una Comparación Con Otras Zonas Áridas de México. *Acta Zoológica Mexicana* 20(1): 37-54.
- Ríos-Casanova, L., A. Valiente-Banuet y V. Rico-Gray. 2006. Ant diversity and its relationship with vegetation and soil factors in alluvial fan of the Tehuacan Valley, Mexico. *Acta Oecologica* 29: 316-323
- Ríos-Casanova, L., Z. Cano-Santana, H. Godínez-Álvarez. 2010. Patterns of arthropod diversity in contrasting habitats of El Pedregal de San Angel, a preserve of Mexico City. *Southwestern Entomologist* 35: 165-175.
- Ríos-Casanova, L., P. Dávila, H. Godínez-Álvarez 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.
- Rivas-Arancibia, S. P., H. Carrillo-Cruz, A. Bonilla-Arce, D. M. Figueroa-Castro y A. R. Andrés-Hernández. 2014. Effect of disturbance on the ant community in a semiarid region of Central Mexico. *Applied Ecology and Environmental Research* 12: 703-716.
- Rojas, P. 2001. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana* Es1: 189-238.
- Rueda-Salazar, A. M. y Z. Cano-Santana. 2009. Artropodofauna. 171-201pp. En: Lot, A. y Z. Cano-Santa (Eds). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. UNAM. Coordinación de la Investigación Científica. 538pp.
- Rzedowski, J. 1954. *Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México)*. Tesis de Licenciatura de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. 58p.

- Siebe, C. 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 104: 45-48.
- SPSS Inc. 1998. *SPSS Base 8.0 for Windows User's Guide*. SPSS Inc., Chicago IL.
- Stewart, A. J. A., E. A. John y M. J. Hutchings. 2000. The world is heterogeneous: ecological consequences of living in a patchy environment. 1-8 pp. En: Hutchings. M. J., John. E. A. y Stewart. A. J. A. (Eds.). 2000. *The Ecological Consequences of Environmental Heterogeneity*. Blackwell Science Ltd, Oxford. 434p.
- Tews, J., U. Brose, V. Grimm, K. Tielborger, M. C. Wichmann, M. Schwager y F. Jeltsch. 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31: 79-92.
- Trejo, P. R. 2015. *Patrones espacio-temporales de la diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F., México*. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 39 pp.
- Valentín, C. F. X. 2015. *Redes de interacción hormiga-planta en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. México*. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 55 pp.
- Vásquez-Bolaños, M. 2015. Taxonomía de Formicidae (Hymenoptera) para México. *Métodos en Ecología y Sistemática* 10:1.
- Ward, P.S. 2000. Broad scale patterns of diversity in leaf litter and communities. 99-121 pp. En: Agosti, D., D. J. Majer, L. Alonso, T. Schultz. (Eds.). *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. 280p.
- Wilson, E. O. 1987. The arboreal ant fauna of Peruvian Amazon forests: A first assessment. *Biotropica* 19: 245-251.