



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**PATRONES ESPACIO- TEMPORALES DE LA
DIVERSIDAD DE HORMIGAS (HYMENOPTERA:
FORMICIDAE) DE LA RESERVA ECOLÓGICA DEL
PEDREGAL DE SAN ÁNGEL, D. F., MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

Raquel Trejo Pérez



**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. LETICIA RIOS CASANOVA**

LOS REYES IXTACALA, TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO 2015



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.

1. Datos del alumno

Trejo

Pérez

Raquel

66 48 69 62

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

Biología

302266353

2. Datos del tutor

Dra.

Leticia

Ríos

Casanova

3. Datos del sinodal 1

Dr.

Héctor Octavio

Godínez

Álvarez

4. Datos del sinodal 2

Dra.

Gabriela

Castaño

Meneses

5. Datos del sinodal 3

Dra.

Verónica

Farías

González

6. Datos del sinodal 4

Dr.

Víctor

Gómez

López

7. Datos del trabajo escrito

Patrones espacio-temporales de la diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F., México.

38

2015

Agradecimientos

De antemano les agradezco a las autoridades correspondientes por permitirme realizar esta investigación dentro de la REPSA, así como el otorgamiento de los permisos.

A los sinodales Dr. Héctor Octavio Godínez Álvarez, Dra. Gabriela Castaño Meneses, Dra. Verónica Farías González y al Dr. Víctor López Gómez por sus valiosos comentarios y sugerencias fueron de gran utilidad. En particular a Dra. Leticia Ríos Casanova, por alentarme, auxiliarme en cada uno de los pasos de este trabajo, por el préstamo de material y sobre todo haberme tenido mucha paciencia.

A Javier Valentín, Juan Ramos Martínez, Esther Trejo Pérez, Itzel Moctezuma Pérez por su ayuda en los muestreos realizados en este trabajo, fue esencial su colaboración, en específico a aquellos que me apoyaron y brindaron su ayuda cuando se tornaron las cosas difíciles, espero algún día regresarles el favor.

No puede faltar los buenos amigos, que fueron y han sido importantes e irremplazables; por aquellas experiencias y por todos los momentos irrepetibles que compartimos. Hago hincapié a todos los que conocí en la universidad, ya que hicieron que esta fuera una de las mejores etapas de mi vida.

Sin duda alguna a mi familia por haber sido participes durante este recorrido, por haberme tolerado y ayudado en los tiempos complicados, valió la pena la espera. En especial a mi hermana Esther Trejo, por su incondicional apoyo, te estoy y te estaré eternamente agradecida. A mis amados Kirino, Mustafina y al inigualable Mésala por su sincero afecto y compañía.

Por último y no menos importantes, a mis profesores de idiomas, por su conocimiento, ayuda y dedicación, fueron participes indispensables para que este día por fin llegara.

Sobre todo a los que se nos adelantaron en el camino, pero que siempre están presentes.

INDICE

Resumen

Introducción	1
Antecedentes.....	3
Objetivos.....	4
Hipótesis.....	4
Justificación.....	4

Materiales y métodos

Área de estudio.....	5
Colecta de hormigas.....	7

Variables ambientales

<i>Temperatura de la superficie del suelo</i>	8
<i>Caracterización de la superficie del suelo</i>	8
<i>Caracterización de la estructura vertical de la vegetación</i>	9
Análisis de datos.....	10

Resultados

Diversidad de hormigas.....	12
Gremios alimentarios.....	12
Curvas de acumulación de especies.....	13
Patrones de diversidad.....	14

Variables ambientales

<i>Temperatura de la superficie del suelo</i>	16
<i>Caracterización de la superficie del suelo</i>	16
<i>Caracterización de la estructura vertical de la vegetación</i>	18
Relación entre las variables ambientales y la diversidad de hormigas.....	18

Discusión	19
------------------------	----

Conclusión	24
-------------------------	----

Literatura citada	25
--------------------------------	----

RESUMEN

Este estudio se realizó para conocer la variación estacional en los patrones de diversidad, la composición de la comunidad de hormigas y sus hábitos alimentarios, en las zonas núcleo y de amortiguamiento de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). Los patrones de diversidad se relacionaron con variables ambientales que incluyeron características de la superficie del suelo, temperatura de la superficie del suelo y de la estructura vertical de la vegetación. Dado que las zonas núcleo son sitios mejor conservados, se esperaba encontrar una mayor riqueza y abundancia de hormigas en estas zonas, en comparación con las zonas de amortiguamiento, al igual que durante la temporada de lluvia, que es cuando hay mayor disponibilidad de recursos para estos insectos.

Por medio del uso de cebos, se colectaron 940 individuos de la familia Formicidae pertenecientes a tres Subfamilias, 10 géneros y 12 especies. De acuerdo a lo esperado, se encontró que la diversidad fue significativamente mayor en zona núcleo en temporada lluviosa debido probablemente, a la alta productividad y heterogeneidad del hábitat que se genera en la REPSA en esta temporada. Dicha heterogeneidad, también puede ser la causa de que no se encontrara ninguna relación con las variables ambientales estudiadas: temperatura de la superficie del suelo, estructura vertical de la vegetación y las características de la superficie del suelo. Por otro lado no se encontraron diferencias significativas en la riqueza, la abundancia y composición de las especies de hormigas de la REPSA entre las zonas núcleo y de amortiguamiento. Las especies *Crematogaster nocturna* y *Temnothorax nitens* solo se encontraron en la zona núcleo, por lo que estas especies podrían ser indicadoras de sitios conservados. En las zonas de amortiguamiento se encontró a *Cardiocondyla* sp., *Forelius* sp. y *Solenopsis* sp., las cuales podrían considerarse indicadoras de perturbación. Respecto a los hábitos alimentarios, se encontró un marcado predominio del gremio alimentario. Se sugiere que las hormigas podrían ser empleadas para conocer el grado de recuperación de las zonas de amortiguamiento que han sido sometidas a programas de preservación de la REPSA.

INTRODUCCIÓN

Las hormigas están consideradas uno de los grupos más exitosos en los ecosistemas terrestres, con más de 12,000 especies descritas (Agosti & Johnson, 2005). Su éxito ecológico y evolutivo es derivado de las modificaciones a la vida social, así como de sus estrategias de forrajeo (Kaspari, 2000; Phillips & Willis, 2005). Estos insectos realizan múltiples funciones ecológicas que estabilizan los ecosistemas y contribuyen a varios servicios del ecosistema como la infiltración de agua y la productividad del suelo (Sanford *et al.*, 2008).

Las hormigas juegan un papel como ingenieros del ecosistema (Folgarait, 1998, Jones *et al.*, 1994) influenciando procesos biogeoquímicos que pueden afectar la disponibilidad de recursos, los flujos de materiales, las condiciones de humedad y temperatura del suelo, que afectan a otros organismos y procesos del sistema (Gutiérrez & Jones, 2006; Huhta, 2007; Da Silva *et al.*, 2009). Son consideradas buenos indicadores de alteraciones (Ribas *et al.*, 2011) y fragmentaciones en ambientes terrestres, debido a que pueden indicar el grado de disturbio y de restauración de los ecosistemas (Majer, 1983; Andersen, 1991; Andersen & Majer, 2004). Entre las principales características por las cuales las hormigas son consideradas como indicadores de diversidad biológica y de cambios ambientales en el ecosistema se encuentran su alta diversidad y abundancia en casi todos los hábitats terrestres, su facilidad de captura y de monitoreo, y su estrecha relación con otros organismos, principalmente con plantas las cuales les proveen comida y/o resguardo (Schmidt *et al.*, 2013).

Las hormigas tienen una relación directa con las plantas vasculares, por lo que al variar la estructura de la vegetación, también puede cambiar la composición de especies de hormigas y/o su abundancia (Alonso, 2000). Las variaciones de la estructura de la vegetación pueden aumentar o reducir la diversidad de hormigas por el aumento o reducción de la heterogeneidad del hábitat, microclima o la actividad de las especies dominantes (Retana & Cerda, 2000).

Numerosos estudios han encontrado relaciones positivas entre la complejidad de la vegetación y los patrones de diversidad de las hormigas. Perfecto & Snelling (1995) encontraron una alta diversidad de hormigas en sitios con estructura compleja de la vegetación y con alta cobertura vegetal, al contrario de lo que ocurría en monocultivos.

Retana & Cerda (2000) también encontraron que la cobertura vegetal tiene una relación positiva con la abundancia y riqueza de especies de hormigas en un matorral Mediterráneo, lo cual relacionaron con la tolerancia térmica de las distintas especies. De

forma semejante, Bestelmeyer & Schooley (1999) atribuyeron las diferencias en la composición y abundancia de las hormigas a la heterogeneidad del hábitat originada por la presencia de árboles, que proveen sombra a especies intolerantes a la radiación solar alta en el Desierto Sonorense.

El ambiente también puede ser clasificado con base en la importancia relativa del estrés y la perturbación, que son factores que modelan la estructura de las comunidades de hormigas (Andersen, 1995). Los ambientes con altos grados de perturbación o estrés se caracterizan por albergar especies ruderales o tolerantes al estrés, respectivamente; en ausencia de cualquiera de estos dos factores la competencia es el principal factor que moldea las comunidades de estos insectos y aquí dominarán las especies competitivamente dominantes (Andersen, 2000). Los factores estresantes principales para hormigas son, entre otros, la temperatura baja y la estructura de los microhábitats, la temperatura baja se considera el principal factor estresante que controla los patrones globales de productividad y la estructura de la comunidad de las hormiga (Andersen, 1995); por otro lado la complejidad estructural de la superficie de forrajeo ejerce una gran influencia en la capacidad de las hormigas para capturar recursos alimentarios (Andersen, 2000).

Los estudios que se han enfocado en el efecto de la perturbación sobre la riqueza y abundancia de hormigas en diferentes ecosistemas, han encontrado resultados muy variables. Analizando la perturbación del hábitat, se ha encontrado que la riqueza de especies de hormigas y la equidad son más bajos en ambientes altamente perturbados, pero la abundancia de hormigas es mayor, en los sitios con perturbación moderada y ligera, la riqueza de especies y la equidad es mayor, los sitios moderadamente perturbados son medianamente abundantes (Graham *et al.*, 2004). En zonas conservadas se ha encontrado riqueza y diversidad de especies alta, encontrando lo opuesto en las zonas perturbadas, las especies más abundantes de hormigas se presentaron en las zonas perturbadas (Rivas-Arancibia *et al.*, 2014).

Las hormigas, son importantes revolvedoras del suelo, incluso superando en este aspecto la labor realizada por las lombrices de tierra, aumentan la aireación del suelo, transportan materia orgánica al nido y la mezclan con la tierra removida, teniendo un efecto positivo en la concentración de nutrientes en el suelo, su excavación favorece el crecimiento vegetal, además son buenas dispersoras de semillas, importantes depredadores de insectos (Hölldobler & Wilson, 1990; MacMahon *et al.*, 2000; Rojas, 2001).

Han sido frecuentemente utilizadas por la minería industrial en Australia como indicadores del éxito de la restauración (Majer, 1983, 1984; Andersen, 1997). También se ha estudiado la respuesta de su diversidad a las emisiones de contaminantes atmosféricos (Andersen *et al.*, 2002), para conocer el grado de recuperación de bosques (Estrada & Fernández, 1999) y como bioindicadoras de perturbación (Gutiérrez, 2014) en zonas urbanas (Miranda *et al.*, 2012).

A pesar de su amplia distribución y abundancia, es poco lo que se conoce sobre las hormigas en México (Rojas, 1996; Ríos-Casanova, 2014; Vásquez-Bolaños, 2011; Vásquez-Bolaños, 2015). Existen algunos estudios de regiones geográficas que abarcan zonas del centro de México, como el estado de México e Hidalgo y algunos más para el estado de Puebla y el Distrito Federal (Cuadro 1).

Cuadro 1. Riqueza de especies de hormigas encontrada en los estados del centro de México.

Sitio	Especies	Autor
Valle de Tehuacán (Puebla)	28	Ríos-Casanova <i>et al.</i> , 2004
Valle de Zapotitlán (Puebla)	27	Guzmán-Mendoza <i>et al.</i> , 2010
Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F.)	21	Hernández,2010
Hidalgo	28	Varela-Hernández, 2013
Estado de México	20	Guzmán-Mendoza <i>et al.</i> , 2014.
Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F.)	10	Valentin,2015

El conocimiento de la mirmecofauna en México es muy escaso y más aún para las zonas urbanas del centro de México (Ríos-Casanova, 2014). El Distrito Federal tenía un registro de al menos 8 especies (Rojas, 2001) aunque recientemente Vásquez-Bolaños (2011) registró 13 especies. En particular para la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Hernández (2010) registra 21 especies de hormigas. A pesar de lo anterior, aún es escaso el conocimiento sobre estos organismos en el Valle de México. Los patrones de diversidad de estos insectos, son escasamente conocidos por lo que es muy importante realizar estudios faunísticos sobre este grupo, así como de las funciones que

desempeñan en los diferentes ecosistemas que alberga la Ciudad, como es el caso de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA).

La REPSA se creó como una medida de protección que evitara la rápida e intensiva destrucción y fragmentación de sus sistemas ecológicos, resultado del desarrollo urbano creciente de la Ciudad de México. Esta reserva dio un gran impulso a investigaciones de diversa índole incluyendo el funcionamiento general del ecosistema, siendo numerosos los estudios florísticos y de ecología vegetal (Castillo-Argüero *et al.*, 2004).

Dentro de la REPSA es posible reconocer dos tipos de sitios: las zonas núcleo y las zonas de amortiguamiento, las primeras se caracterizan por ser los sitios con más alto grado de conservación y diversidad, sujeta a protección estricta, mientras que las segundas están sujetas a uso restringido y permiten reducir el efecto de los disturbios sobre las zonas núcleo (Gaceta UNAM, 2006).

La REPSA, se encuentra sobre los restos de la erupción del volcán Xitle, ocurrida hace 2000 años (Siebe, 2009). El enfriamiento desigual de la lava originó una heterogeneidad geomorfológica, dando lugar a microambientes con diversas condiciones de suelo, humedad, temperatura y exposición a la luz (Peralta-Higuera & Prado-Molina, 2009). Los microambientes juegan un papel importante en el mantenimiento de la diversidad, debido a que la presencia de una gran variedad de ellos puede crear una amplia gama de condiciones favorables para un mayor número de especies (Clark *et al.*, 1993).

El objetivo de este trabajo se centró en determinar los patrones espaciales y temporales de diversidad y composición de la comunidad, así como en conocer los hábitos alimentarios de las hormigas en la REPSA tanto en las zonas núcleo como en las de amortiguamiento. Dado que diversas variables ambientales pueden estar cambiando debido al uso diferencial en cada tipo de zona, los patrones de diversidad se relacionaron con variables ambientales como la estructura de la vegetación, temperatura superficial del suelo y la estructura de la superficie del suelo (roca, hojarasca, suelo desnudo y vegetación). Además, debido a que en la REPSA se distinguen claramente dos temporadas (lluvia y sequía), se analizaron los cambios estacionales de la comunidad de hormigas de cada una de las zonas estudiadas.

Debido a que se considera que las zonas núcleo están más conservadas y por lo tanto presentan una mayor heterogeneidad en la estructura superficial del suelo y en la estructura vertical de la vegetación, se esperaría encontrar más diversidad de hormigas

en las zonas núcleo en comparación con las zonas de amortiguamiento. Igualmente, al haber un incremento de la vegetación, y por lo tanto de recursos como hojas, semillas y otros artrópodos, durante la época de lluvia, se espera que en las dos zonas haya mayor riqueza y abundancia de hormigas en esta temporada que en la de sequía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La REPSA se localiza al suroeste de la Ciudad de México, dentro del campus principal de Ciudad Universitaria (19° 19' 17" N, 99° 11' 52" O), de la Universidad Nacional Autónoma de México. Cuenta con una superficie de 237 ha, su altitud se encuentra entre los 2200 y 2277 m snm. El clima es templado subhúmedo con una precipitación promedio anual de 833 mm y una temperatura media anual de 15.6 °C (Castillo-Argüero *et al.*, 2004). La lluvia se distribuye de manera diferencial, lo que permite distinguir dos épocas, la de lluvias que va de junio a octubre y la de secas, que abarca de noviembre a mayo (Rzedowski, 1954).

En la Reserva hay tres zonas núcleo cuya superficie total es de aproximadamente 171 hectáreas; y 13 zonas de amortiguamiento que cubren un área aproximada de 66 hectáreas (SEREPSA, 2008). El presente estudio se realizó en tres puntos de la zona Núcleo Poniente y en tres puntos de las zonas de amortiguamiento contiguas a esta misma zona, cercanas a las zonas denominadas A11 (Vivero Alto) y A8 (Biológicas) (Figura 1).

El tipo de vegetación que alberga la REPSA corresponde a un matorral xerófilo denominado "*Senecionetum praecosis*", debido a la abundancia de la especie *Pittocaulon praecox* H. Rob. & Brettell (palo loco) (Rzedowski, 1954). Como resultado del derrame de lava durante la erupción del volcán Xitle. En el terreno predomina la roca madre expuesta, el suelo, de origen eólico y orgánico, es joven, escaso y poco desarrollado (4.5 ± 0.27 cm), y se acumula en grietas, fisuras y depresiones (Meave *et al.*, 1994). Los estratos presentes en esta zona son el rastrero (< 10 cm), herbáceo (>10 cm < 30 cm), arbustivo (30 cm a 1.5 m de altura) y arbóreo (> 1.5 m), siendo éste último poco representativo (Rzedowski, 1954; Cano-Santana, 1994).

La REPSA es uno de los últimos refugios que alberga a la biodiversidad silvestre del matorral de palo loco la cual coexiste con uno de los sistemas urbanos más complejos y contaminados del mundo. Este matorral sólo queda representado en la actualidad por

las poblaciones protegidas en los terrenos universitarios destinados a la Reserva, ya que otras áreas cuentan con presencia del matorral xerófito que desafortunadamente no están adecuadamente conservadas (SEREPSA,2008).

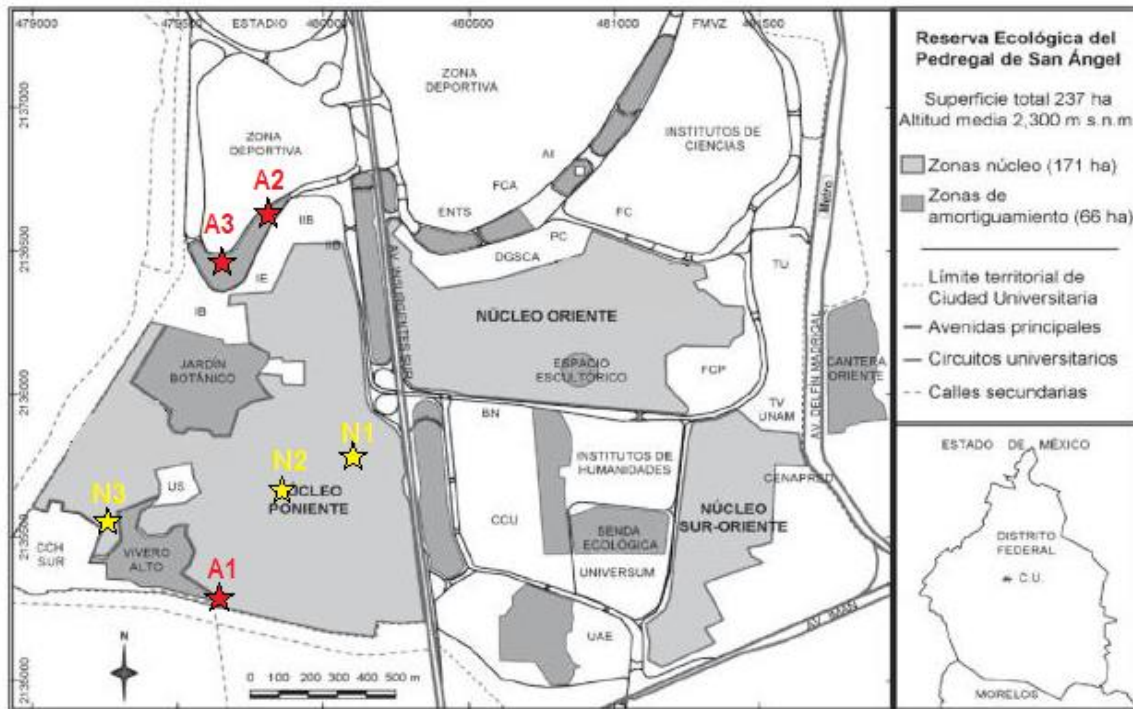


Figura 1. Sitios de la zona núcleo (N1, N2 y N3) y de las zonas de amortiguamiento (A1, A2 y A3) de la REPSA donde se realizaron las colectas. Localización de la REPSA (Gaceta UNAM, 2006)

Colecta de hormigas

Para coleccionar a las hormigas, se realizaron muestreos en la temporada de sequía (marzo y mayo de 2012 y abril de 2013) y de lluvia (agosto, septiembre y octubre de 2012). Se eligieron 6 sitios, 3 en la zona Núcleo Poniente, que se denominaron como N1, N2 y N3 y 3 sitios en las zonas de amortiguamiento, designados como (A1, A2 y A3 (Figura 1). En cada sitio se realizaron 3 o 4 transectos de 30 o 40 m (dependiendo del tamaño de la zona estudiada), separados entre sí por 10 m y se marcaron 15 estaciones equidistantes donde se colocaron dos cebos de tipo epigeo, uno de atún comercial en aceite (5 g) y uno de miel de maíz (5 ml). Ambos cebos se colocaron sobre una

plataforma de plástico de 5 cm² de acuerdo a lo sugerido por Bestelmeyer *et al.* (2000) y Bestelmeyer & Ríos-Casanova (2010), como se muestra en la Fig. 2.



Figura 2. Cebos epigeos de atún (a) y miel (b) sobre plataforma de plástico.

Se hicieron observaciones en los cebos cada 20 minutos, de 10:20 am. a 11:40 am., colectando todas las hormigas que visitaban los cebos, por medio de un aspirador entomológico. Cabe mencionar que los muestreos se realizaron uno por día en cada fecha, en siete ocasiones, el número de observadores fue de dos personas. Las hormigas colectadas se guardaron en frascos con alcohol al 70%, con su rotulación correspondiente. Posteriormente, algunos especímenes fueron montados en seco, tratando de que hubiera al menos un representante de cada una de las diferentes especies. Se identificaron a nivel de género utilizando las claves de Bolton (1994) y Fisher & Cover (2006). Para la identificación a nivel específico se utilizaron las claves de especies de los géneros *Dorymyrmex*, *Lasius*, *Paratechina*, *Crematogaster*, *Pheidole*, *Temnothorax* y *Monomorium*, de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Hernández (2010). Todos los organismos colectados se depositaron en la Colección Entomológica del Laboratorio de Ecología de la Unidad de Biotecnología y Prototipos de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM.

Una vez que se determinaron las especies, se contó el número de individuos pertenecientes a cada una, lo que permitió obtener datos de riqueza y abundancia. Se realizó la clasificación de los gremios alimentarios de acuerdo a Brown (2000) y Rojas (2001).

Variables ambientales.

Con el objetivo de conocer los factores ambientales que podrían estar afectando a la diversidad de hormigas, se midieron algunos atributos que se sabe que pueden modificar la estructura y composición de la comunidad de hormigas. Tales variables fueron: temperatura de la superficie del suelo y la estructura vertical de la vegetación, además se midieron variables que permiten caracterizar la superficie del suelo como porcentaje de roca, porcentaje de suelo desnudo, porcentaje de hojarasca y porcentaje de vegetación (Andersen, 2000; Armbrrecht *et al.*, 2004; McIntyre *et al.*, 2001).

Temperatura de la superficie del suelo.

Para conocer la variabilidad de la temperatura durante el periodo de muestreo, se tomó la temperatura en °C, por medio de un termómetro infrarrojo Cen-Tech Modelo 91778. Para hacer la lectura, el termómetro se colocó aproximadamente a 15 cm de la superficie durante cada una de las observaciones en las 15 estaciones, cada 20 min. donde estuvieron colocados los cebos.

Caracterización de la superficie del suelo.

Para caracterizar la superficie del suelo se tomaron fotografías con una cámara digital (Cannon Power Shot modelo A 640) de cada uno de los 15 puntos muestreados, en cada zona y temporada. La cámara se colocó a aproximadamente 30 cm de altura respecto de la superficie del suelo y como punto de referencia se utilizó un marco de madera de 20 × 20 cm. Posteriormente, sobre cada fotografía se dibujó una cuadrícula de 10 × 10 cada uno de los cuadrados midieron dos centímetros por lado. En esta cuadrícula se contabilizó el número de cuadros con presencia de suelo desnudo, hojarasca, roca y vegetación (Ríos-Casanova *et al.*, 2015; Fig. 3).

Caracterización de la estructura vertical de la vegetación.

Para conocer la estructura vertical de la vegetación en cada uno de los sitios muestreados se midieron los toques de vegetación por medio del método llamado punto de intercepción (modificado de Herrick *et al.*, 2005). Este método es utilizado para determinar la estructura y composición de una formación vegetal, basándose en la posibilidad de registrar las plantas presentes o ausentes sobre un punto del suelo y su altura. Para ello se utilizó una pértiga de plástico de 3 m de altura con escala graduada

cada 10 cm (Fig. 4). La pértiga se colocó en forma vertical para registrar aquellas plantas que se interceptaron en las diferentes alturas.



Figura 3. Marco de madera de 20 × 20 cm, con cuadrícula sobrepuesta colocada sobre el suelo para contabilizar la presencia de suelo desnudo, roca, hojarasca y/o vegetación.



Figura 4. Pértiga utilizada para medir la estructura vertical de la vegetación en la REPSA

Análisis de datos

Por tratarse de insectos sociales la medida de abundancia debe corregirse, ya que ésta puede estar influenciada por la cercanía de los nidos o los caminos troncales a las estaciones en donde se realizan las colectas. De la misma manera, la abundancia puede sobrestimarse debido a la conducta de reclutamiento que presentan las hormigas al encontrar un recurso, en este caso, un cebo. Por lo anterior, se utilizó la medida conocida como abundancia ajustada, la cual combina el valor de abundancia con el porcentaje de ocurrencia (Linsey & Skinner, 2001). Para conocer la abundancia de hormigas en cada tipo de zona, se calculó la abundancia ajustada utilizando la siguiente fórmula:

Abundancia ajustada (AA) = $A \times (O / 100)$, donde:

A= abundancia o el número total de individuos de cada especie y O = proporción del total de estaciones de muestreo en las que se encontró una especie.

La riqueza de especies (S) se obtuvo como el total de especies encontradas. Para conocer la diversidad en cada tipo de zona estudiada (núcleo y amortiguamiento), se calculó el índice de diversidad de Shannon y el índice de Pielou para la equitatividad en cada temporada. El índice de Shannon se calculó como:

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

Dónde: H' = índice de Shannon y p_i , la abundancia proporcional de la p -ésima especie. También se calculó el índice de Pielou J' o equitatividad:

$$J' = H' / \ln S$$

dónde H' = índice de Shannon y $\ln S$ = es el logaritmo natural de la riqueza de especies (S).

Para comparar los valores del índice de diversidad se utilizó la prueba de t de student para índices de diversidad (Magurran, 1988)

$$t = (H'_1 - H'_2) / \sqrt{(\text{VAR } H'_1 + \text{VAR } H'_2) / 2}$$

Dónde H'_1 es la diversidad del sitio 1 y $\text{VAR } H'_1$ es su varianza. Posteriormente se calculan los grados libertad con la fórmula:

$$df = (\text{VAR } H'_1 + \text{VAR } H'_2)^2 / ((\text{VAR } H'_1)^2 / N_1) + ((\text{VAR } H'_2)^2 / N_2)$$

Dónde:

N₁ es el número de individuos en el sitio 1.

N₂ es el número de individuos en el sitio 2.

Debido a que la diversidad y la equitatividad pueden ser afectadas por el esfuerzo de colecta realizado durante el trabajo de campo, se realizaron curvas de acumulación especies para estimar el número de especies esperadas a partir de un muestreo, así como para determinar la eficiencia en la colecta de especies mediante el estimador Chao 2. Este estimador utiliza datos de presencia / ausencia y es el estimador menos sesgado para muestras pequeñas y el más recomendado para insectos sociales (Colwell & Coddington, 1994). De la misma manera, las curvas de acumulación de especies se utilizaron con la finalidad de comparar los datos de riqueza de especies. Las curvas se realizaron utilizando el programa EstimateS versión 5.1 (Colwell, 1997).

Para determinar si existen diferencias significativas en la composición de las especies entre zonas y temporadas, se empleó el estadístico ANOSIM (análisis de similaridad) con distancia de Bray-Curtis, usando el programa estadístico PAST versión 3.09-2015 (Hammer *et al.*, 2001).

Para conocer si existen diferencias en la abundancia encontrada en cada tipo de zona se realizaron pruebas de Mann-Whitney utilizando el programa SSPS (Dytham, 1999; Salafranca *et al.*, 2000).

Para conocer si existían diferencias entre las características de la superficie del suelo entre las zonas núcleo y las de amortiguamiento se hicieron análisis de varianza de una vía con el programa estadístico SPSS 9.0.

Los datos de estructura vertical de la vegetación se dividieron en tres grupos: plantas menores a 50 cm, plantas entre 51 y 100 cm y plantas de 101 a 300cm. Las diferencias entre zonas para cada una de estas categorías de la estructura vertical de la vegetación se conocieron realizando la prueba de Mann-Whitney con el programa SPSS 9.0.

Para saber si existía una relación lineal entre las variables ambientales (temperatura superficial del suelo, estructura de la vegetación, la estructura de la superficie del suelo) y la riqueza y abundancia de las hormigas se realizaron análisis de correlación de Spearman usando el programa JMP versión 3.1.2.

RESULTADOS

Diversidad de hormigas

Se colectaron 940 hormigas, pertenecientes a tres Subfamilias, 10 géneros y 12 especies. El número mayor de especies pertenecen a la Subfamilia Myrmicinae siendo la especie *Monomorium minimum* (Buckley) la más abundante (264), seguida de *Pheidole* sp.3 (169) y *Pheidole* sp.1 (156). Únicamente en las zonas núcleo (ZN) se presentaron las especies *Lasius niger* (Linnaeus), *Crematogaster nocturna* (Buren) y *Temnothorax nitens* (Emery) mientras que fueron exclusivas de las zonas de amortiguamiento las especies *Forelius* sp., *Cardiocondyla* sp. y *Solenopsis* sp. (Cuadro 1)

Gremios alimentarios

La clasificación de los gremios alimentarios se hizo de acuerdo a Brown (2000) y Rojas (2001). Se encontró que las especies pertenecen principalmente al gremio de las omnívoras, aunque hay referencia de que algunas de las especies del género *Pheidole*, pueden pertenecer al gremio de las granívoras. (Cuadro 1).

Curvas de acumulación de especies

Las curvas de acumulación de especies indicaron que se ha colectado el mismo número de especies que el que se predijo mediante el estimador Chao 2, en temporada de lluvia, es decir 7 especies para las zonas núcleo y 5 para las de amortiguamiento (Figura 5). Para la temporada de sequía el estimador Chao 2 predice 11 especies para las zonas núcleo y 10 para las zonas de amortiguamiento, lo cual indica que solo se ha colectado el 72.7 % para las zonas núcleo y el 80% para las de amortiguamiento (Figura 6).

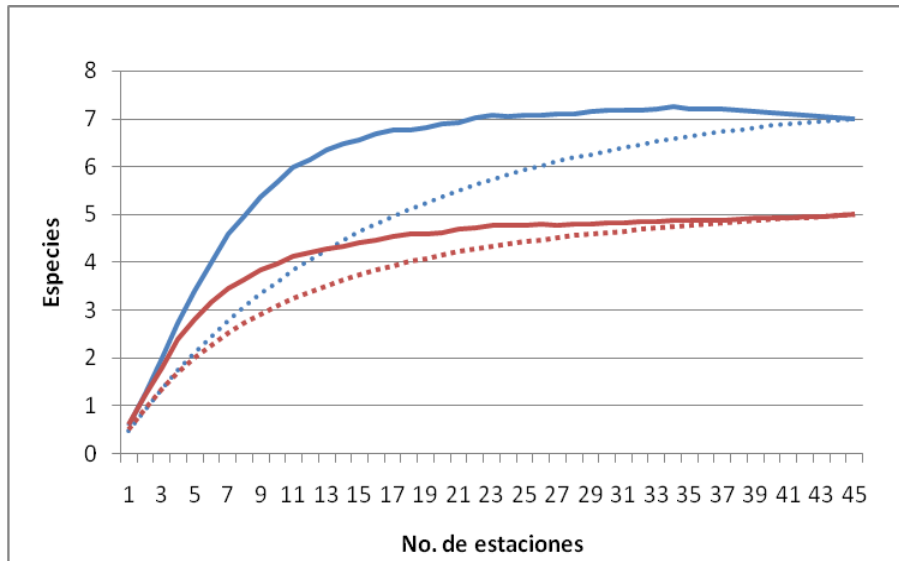


Figura 5. Curva de acumulación de especies de hormigas de la REPSA en temporada lluviosa en zonas núcleo (azul) y de amortiguamiento (rojo). Las líneas punteadas corresponden a los datos observados y las continuas a los datos esperados.

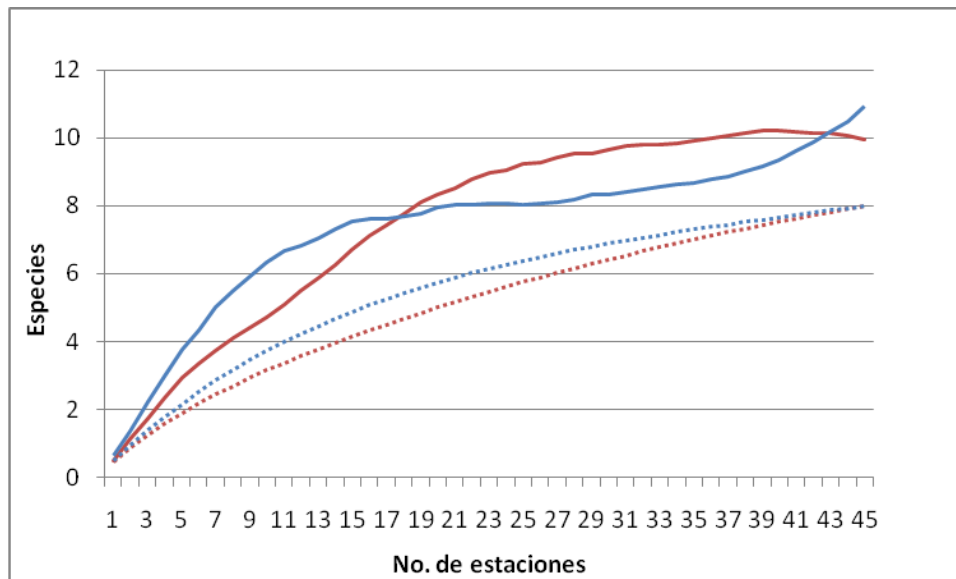


Figura 6. Curva de acumulación de especies de hormigas de la REPSA en temporada de sequía en zonas núcleo (azul) y de amortiguamiento (rojo). Las líneas punteadas corresponden a los datos observados y las continuas a los datos esperados. (Estimador utilizado Chao 2)

Patrones de diversidad

La abundancia de las hormigas fue siempre mayor en la temporada de sequía en ambas zonas, disminuyendo en la temporada de lluvia. A pesar de lo anterior, no hubo diferencias significativas entre las abundancias totales de las hormigas encontradas en ambos tipos de zonas durante ninguna de las temporadas (temporada de sequía: $Z = -0.22$, $P = 0.83$; temporada lluviosa: $Z = -0.22$, $P = 0.83$; Cuadro 2).

En cuanto a la riqueza, no fue diferente entre zonas en la época de sequía, ya que en ambas zonas se encontraron 8 especies, tampoco hubo diferencias en la época de lluvia, a pesar de que se encontraron más especies en la zona núcleo en comparación de las de amortiguamiento ($Z = -1.12$, $P = 0.26$; Cuadro 2).

La diversidad, calculada como el índice de Shannon fue muy similar para ambas zonas durante la temporada de sequía y entre ellas no hubo diferencias significativas ($t = -0.03$, $F = 89$, $P = 0.97$). Con un nivel de significancia de 0.05. En contraste, durante la época de lluvia se encontró mayor diversidad en la zona núcleo, y las diferencias en el índice de diversidad son notables y significativamente diferentes ($t = 3.96$, $F = 71$, $P = 0.0002$; Cuadro 2).

Cuadro 2. Abundancia ajustada (AA), riqueza específica (S) y gremios alimentarios de las hormigas colectadas en la zona núcleo (ZN) y de amortiguamiento (ZA) de la REPSA en dos temporadas. También se presentan el índice de diversidad de Shannon (H) y la equitatividad (E).

Especies	Sequía		Lluvia		Gremio alimentario
	ZN	ZA	ZN	ZA	
Subfamilia Dolichoderinae					
<i>Dorymyrmex smithi</i>	3.58	1.61	3.26	0.69	Omnívora
<i>Forelius</i> sp.	-	10.13	-	5.26	Omnívora
Subfamilia Formicinae					
<i>Lasius niger</i>	-	-	1.79	-	Omnívora
<i>Paratrechina bruesii</i>	4.43	-	4.56	4.61	Omnívora
Subfamilia Myrmicinae					
<i>Cardiocondyla</i> sp.	-	0.69	-	-	Omnívora
<i>Crematogaster nocturna</i>	1.10	-	5.89	-	Omnívora
<i>Pheidole</i> sp. 1	1.61	5.97	4.28	23.36	Omnívora/granívora
<i>Pheidole</i> sp. 2	2.64	1.95	-	-	Omnívora/granívora
<i>Pheidole</i> sp. 3	18.80	3.58	-	-	Omnívora/granívora
<i>Temnothorax nitens</i>	2.48	-	2.08	-	Omnívora
<i>Monomorium minimum</i>	8.59	20.45	11.43	4.97	Omnívora
<i>Solenopsis</i> sp.	-	5.29	-	-	Omnívora
AA total	43.23	49.67	33.29	38.89	
S	8	8	7	5	
H'	1.67	1.67	1.77	1.16	
E	0.80	0.80	0.91	0.72	

De acuerdo con la prueba de ANOSIM no hubo diferencias significativas en la composición de las especies de hormigas entre las dos zonas de la REPSA estudiadas: $R = 0.30$, $P = 0.97$ en temporada de lluvias y $R = -0.074$, $P = 0.71$ en temporada de sequías.

Variables ambientales

Temperatura de la superficie del suelo

En la temporada de sequía, el promedio de las temperaturas fue más elevado en la zona de amortiguamiento (37°C) en comparación de la zona núcleo (30°C) aunque estadísticamente estos valores no difieren ($t = -2.03$, $F=4$, $P = 0.11$). Sucedió lo contrario en la temporada de lluvia, en la zona núcleo se registró el promedio más alto (31°C) y disminuyó considerablemente en la zona de amortiguamiento (19°C), la comparación de las temperaturas entre zonas para esta temporada, si fueron estadísticamente diferentes ($t = -5.65$, $F= 4$, $P = 0.005$; Fig. 9). Con un nivel de significancia de 0.05.

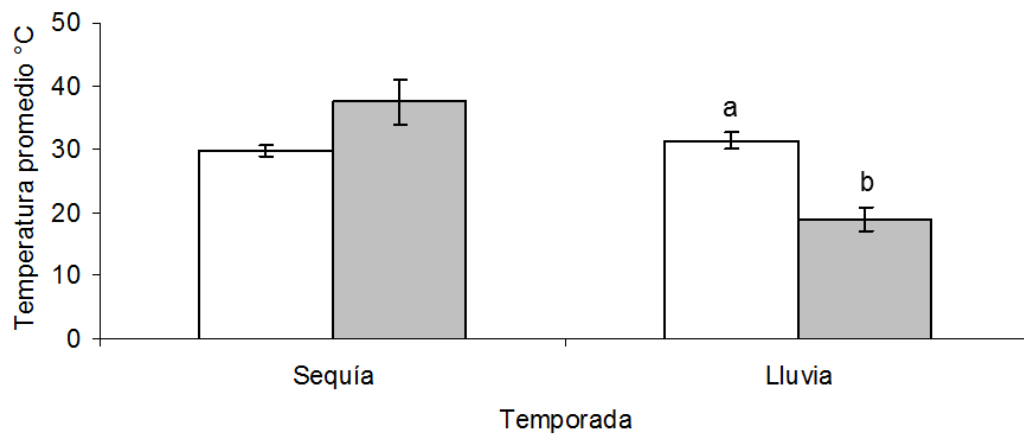


Figura 9. Temperatura promedio \pm error estándar en las zonas núcleo (blanco) y de amortiguamiento (gris) de la REPSA en temporada de sequía y de lluvia.

Caracterización de la superficie del suelo

En la temporada de sequía, el porcentaje de vegetación, hojarasca y suelo desnudo son diferentes entre las ZN y ZA ($F = 17.8$, $P < 0.01$; $F = 7.8$, $P < 0.01$; $F = 10.6$, $P < 0.01$ respectivamente), mientras que el porcentaje de rocas no fue diferente entre los dos tipos de zona ($F=0.02$, $P=0.9$). (Fig.10). Durante la temporada de lluvias solo se encontraron diferencias para el porcentaje de rocas y la vegetación de la superficie del suelo ($F=9.9$, $P<0.01$; $F=28.7$, $P<0.01$ respectivamente), mientras que la hojarasca y el

suelo desnudo no fueron diferentes entre zonas ($F=1.8$, $P=0.2$; $F=3.4$, $P = 0.06$ respectivamente). (Fig. 11).

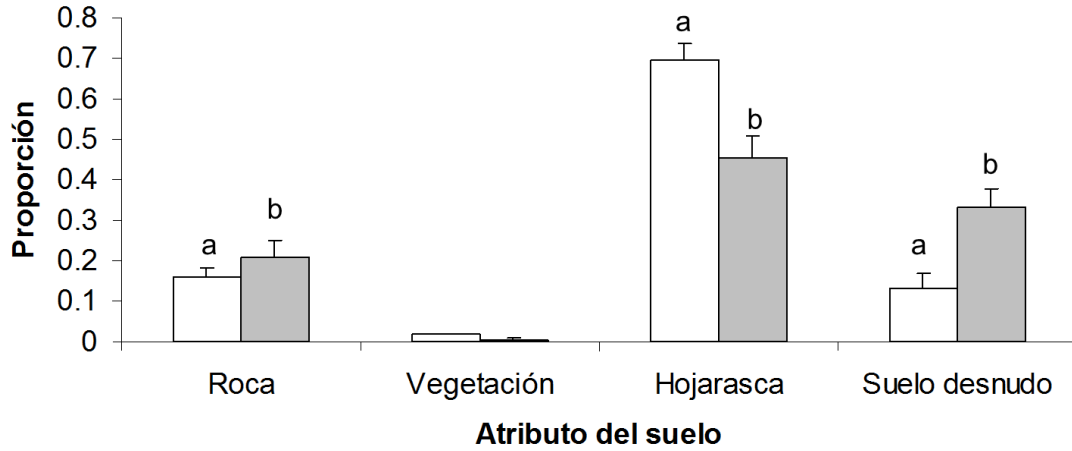


Figura 10. Caracterización de la superficie del suelo \pm error estándar en las zonas núcleo (blanco) y de amortiguamiento (gris) en temporada de sequía de la REPSA.

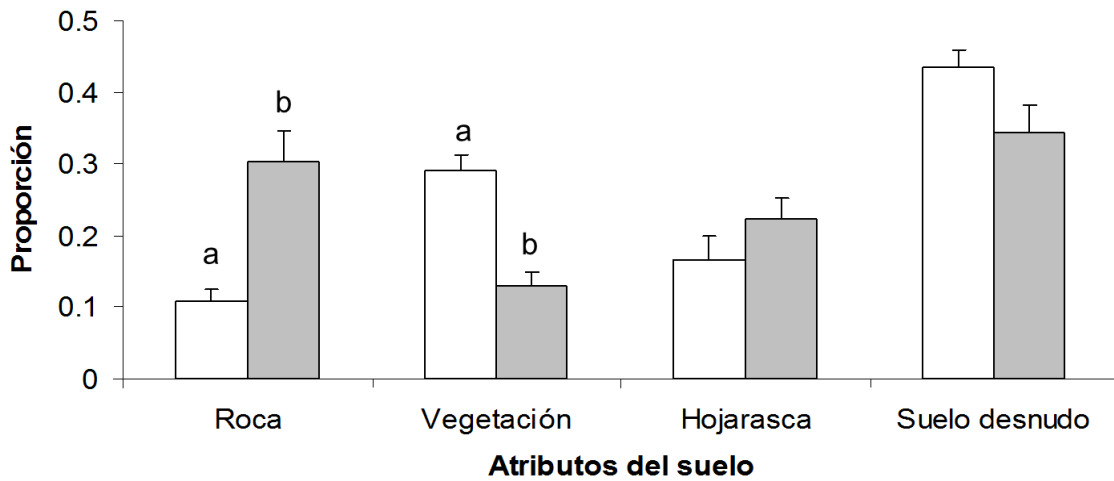


Figura 11. Caracterización de la superficie del suelo \pm error estándar en las zonas núcleo (blanco) y de amortiguamiento (gris) en temporada de lluvia de la REPSA.

Caracterización de la estructura vertical de la vegetación

Tanto en temporada de lluvia como en temporada de sequía dominó el estrato de las plantas menores a 50 cm (rastreras y herbáceas) en ambas zonas. La única diferencia significativa en la estructura vertical de la vegetación se encontró en la época de sequía para aquellas plantas de 0 a 50 cm de altura ($Z = -2.09$, $P = 0.04$). Las demás categorías no presentaron diferencias significativas ni en lluvias ni en sequía (todas las Z entre -0.21 y -0.65 , $P > 0.05$). (Fig. 12).

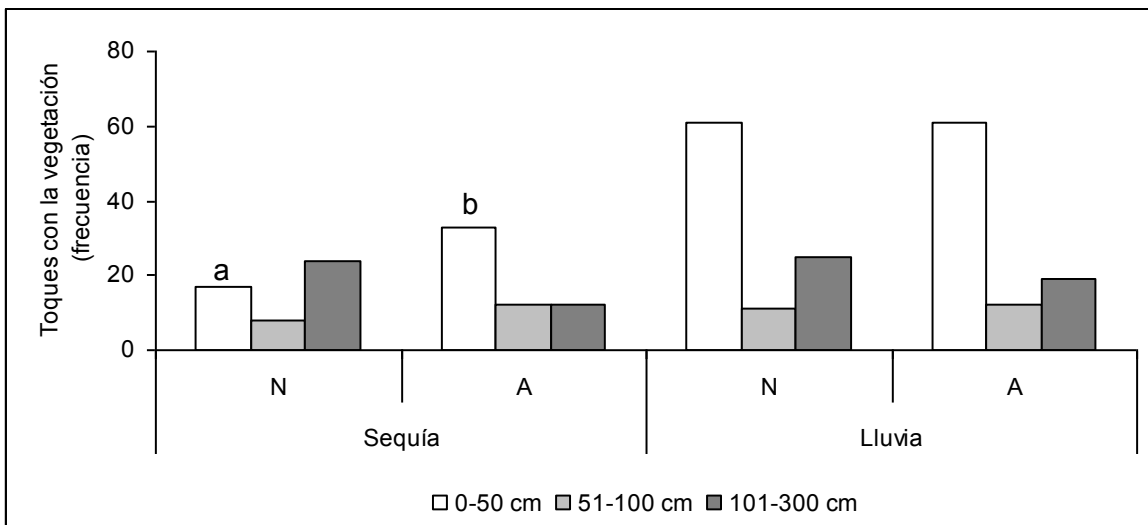


Figura 12. Estructura vertical de la vegetación (frecuencia de toques con la vegetación) en las zonas núcleo (N) y de amortiguamiento (A) de la REPSA en dos temporadas.

Relación entre variables ambientales y diversidad de hormigas

De acuerdo al análisis de correlación de Spearman, ni la riqueza ni la abundancia de hormigas se relacionaron con ninguna de las variables ambientales estudiadas: temperatura de la superficie del suelo, estructura vertical de la vegetación y la caracterización de la superficie del suelo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores del coeficiente de correlación de Spearman entre la abundancia ajustada (AA) o la riqueza específica (S) de hormigas con las variables ambientales estudiadas en la REPSA, en dos temporadas.

Temporada	Variable	Superficie del suelo								Vegetación		Temperatura	
		Roca		Vegetación		Hojarasca		Suelo desnudo		Toques con la vegetación		r_s	P
		r_s	P	r_s	P	r_s	P	r_s	P	r_s	P	r_s	P
Lluvia	AA	0.2	0.7	0.03	0.9	0.03	0.9	-0.14	0.8	0.66	0.2	0.14	0.8
	S	-0.17	0.7	0.03	0.9	0.29	0.6	0.11	0.8	0.58	0.2	0.35	0.5
Sequia	AA	0.23	0.7	-0.09	0.8	-0.14	0.8	0.08	0.8	0.49	0.3	-0.43	0.4
	S	-0.36	0.5	0.66	0.2	-0.14	0.8	-0.12	0.8	0.53	0.3	-0.62	0.2

DISCUSIÓN

En el presente estudio no se encontraron diferencias en la composición de las comunidades de hormigas de las zonas de amortiguamiento y núcleo de la REPSA, y relativamente pocas diferencias entre temporadas. La abundancia y la riqueza no presentaron diferencias entre zonas ni entre temporadas, sin embargo la diversidad fue significativamente mayor en las zonas núcleo durante la temporada de lluvia.

La REPSA se caracteriza por presentar una marcada estacionalidad y una alta heterogeneidad geomorfológica que, entre otros factores, da lugar a microambientes con diversas condiciones de suelo, humedad, temperatura y exposición a la luz (Castillo-Argüero *et al.*, 2004; Peralta-Higuera & Prado-Molina, 2009) por lo que se esperaba que las especies variaran entre zonas y temporadas. Sin embargo, la comunidad de hormigas de la REPSA comparte las especies entre zonas, aunque algunas especies son exclusivas de una zona o temporada.

En la zona núcleo se encontraron especies como *Crematogaster nocturna* y *Temnothorax nitens* que se esperaba encontrar en estas zonas ya que son las más conservadas y son especies que suelen estar presentes en sitios conservados en zonas de bosque (Guzmán-Mendoza *et al.*, 2014). Otra especie exclusiva de la zona núcleo y que solo se encontró en la temporada de lluvias fue *Lasius niger* la cual se caracteriza por una escasa resistencia a las temperaturas elevadas (Palacios *et al.*, 1999). Esta hormiga se colectó en cuanto la temperatura comenzó a descender llegando a 18°C. Esta hormiga

solo se colectó una sola vez y no se volvió a encontrar a pesar de que se registraron temperaturas relativamente bajas en otras ocasiones. Las bajas temperaturas a nivel del suelo en sitios sombreados, constituyen un factor de estrés para aquellas especies que no están especializadas a las temperaturas bajas (Andersen, 1995). En este caso, solo se ven beneficiadas las hormigas especialistas siendo esto un factor que favorece que la competencia entre especies sea mínima (Andersen, 2000).

En el caso de la zona de amortiguamiento la especie exclusiva y relativamente abundante fue *Forelius* sp. Lo anterior puede deberse a que la zona de amortiguamiento presenta condiciones particulares que son aprovechadas por algunas especies. Por ejemplo, existen parches con alta incidencia de radiación solar, que solo una especie tan tolerante a las altas temperaturas como las del género *Forelius* pueden soportar (Ríos-Casanova *et al.*, 2015). Se ha reportado que las hormigas de este género pueden sobrevivir entre los 29 y 63 °C (Bestelmeyer, 1997). Al igual que las temperaturas altas, otras características como la perturbación constante también son toleradas por *Forelius*, por ejemplo, en el desierto del Chaco en Argentina, se ha reportado que las especies de este género, son comunes en sitios altamente perturbados (Bestelmeyer & Wiens, 1996).

Otras especies exclusivas de la ZA y que solo se encontraron en la temporada de sequía fueron *Cardiocondyla* sp. y *Solenopsis* sp. Muchas especies de *Cardiocondyla* y *Solenopsis* tienen nidos poligínicos y apareamiento dentro de los nidos, además viven en lugares que experimentan disturbios frecuentes y/o son sitios abiertos como son las zonas expuestas a actividades humanas por lo que pueden convertirse fácilmente en especies invasoras (Heinze *et al.*, 2006). Sin embargo, la marcada temporalidad de la REPSA puede afectar a estas hormigas ya que en temporada de lluvia no están presentes, lo que puede estar evitando que sean invasoras exitosas (Heinze *et al.*, 2006).

La riqueza y abundancia de especies de hormigas de la REPSA no se vieron afectadas de una manera tan marcada por el tipo de zona como se esperaba. Esto se contrapone con lo reportado por Graham *et al.*, (2004) quienes encontraron que la riqueza de especies y la abundancia de hormigas, disminuye con el grado de perturbación de un sitio. Igualmente Rivas-Arancibia *et al.*, (2014) encontraron que en las zonas más conservadas, la riqueza y la diversidad de especies de hormigas tienden a ser mayor que en la perturbadas debido a la mayor disponibilidad de microhábitats y recursos que pueden ser utilizados por las hormigas.

No obstante lo anterior, en nuestro estudio la diversidad fue significativamente alta en la ZN durante la época de lluvia y esto puede asociarse a la alta productividad y heterogeneidad del hábitat que se genera en estos sitios durante la época lluviosa, como ya ha sido mencionado por varios autores (Bestelmeyer & Schooley, 1999; Ríos-Casanova *et al.*, 2006; Ríos-Casanova & Bestelmeyer, 2008; Rivas-Arancibia *et al.*, 2014). Las pocas diferencias entre sitios, a pesar de la perturbación que pudiera haber en las ZA, podrían asociarse con los hábitos de las especies ya que la mayoría son omnívoras. Este hecho favorece que, la pérdida de algunas especies sensibles a las perturbaciones sea compensada por la invasión de otras especies oportunistas o más generalistas (Gollan *et al.*, 2011). Por lo anterior, la composición de las especies debería ser un mejor parámetro para evaluar el efecto de perturbación en las comunidades de hormigas (Gollan *et al.*, 2011). Lo anterior, apoya por qué no se encontraron relaciones entre la riqueza, la abundancia y las características de las ZA, que representan las zonas con mayor perturbación de las REPSA.

Comparando estos resultados con otro estudio realizado en reservas naturales, Varela-Hernández (2013) encontró que las comunidades de las hormigas no presentaron patrones diferenciales en cuanto a su riqueza, diversidad y abundancia tanto espacial como temporalmente, atribuyéndolo a que no existe una heterogeneidad en el hábitat que lo permita.

En cuanto a la composición de las especies de hormigas de la REPSA, su distribución es homogénea, al menos en la escala espacial y temporal en la que se desarrolló este estudio. Esto podría deberse a que las zonas de amortiguamiento estudiadas han sido sometidas a programas de reforestación e introducción de especies nativas, jornadas de limpieza etc., (Lot *et al.*, 2012) que se han elaborado en los últimos años, por lo que no se reflejó cambios en la composición de las especies.

Algunos autores han encontrado relación entre algunos patrones de diversidad de las hormigas y la estructura vertical de la vegetación o cobertura vegetal (Perfecto & Snelling, 1995; Retana & Cerda, 2000; Ríos-Casanova *et al.*, 2006); de igual forma la temperatura y la estructura superficial del suelo se han relacionado con los patrones de diversidad de las comunidades de hormigas (Estrada & Fernández, 1999; Ríos-Casanova *et al.*, 2015). En el presente estudio, las hormigas de la REPSA no presentaron relación con ninguna de las variables ambientales estudiadas como las asociadas a la estructura de la vegetación o la estructura de la superficie del suelo. Estos resultados, sugieren que

muy probablemente son otros los factores que afectan a las comunidades de las hormigas de la REPSA (como la presencia de enemigos naturales o la distribución de alimento), y que no es posible ver una relación directa debido a la gran heterogeneidad espacial tanto de las zonas núcleo como de amortiguamiento de la REPSA, que ha generado diversos microambientes.

Otro factor importante que puede estar influyendo en los resultados obtenidos es el área muestreada ya que solo se incluyó la zona Núcleo Poniente de la REPSA y las zonas de amortiguamiento cercanas a ésta. También es importante, al analizar los resultados, considerar el lapso de tiempo en el que se realizó el estudio ya que solo se muestreó con cebos diurnos durante un año y no se está considerando la variación que puede existir en diferentes horas del día y entre diferentes años. Probablemente, si se hicieran estudios a largo plazo, en un periodo superior a cuatro años y considerando otras zonas de la REPSA, sería posible encontrar patrones de la diversidad de hormigas más claros y consistentes.

La mayoría de las hormigas encontradas en este estudio fueron principalmente del gremio de las omnívoras, sin embargo esto se debe posiblemente al empleo de cebos como atrayentes, lo que pudo haber excluido a las especies con otras preferencias alimentarias (Bestelmeyer *et al.*, 2000). En estudios recientes realizados en la REPSA, se han encontrado hormigas con otros hábitos alimentarios, como depredadoras y granívoras, sin embargo en estos estudios las hormigas se han colectado manualmente (Hernández, 2010; Valentín, 2015).

Entre las limitantes de este trabajo se considera el uso de cebos como atrayentes, lo que pudo haber proporcionado información sesgada sobre la diversidad de hormigas (Bestelmeyer *et al.*, 2000), sin embargo, debe considerarse que la REPSA presenta una topografía muy accidentada y suelo rocoso en su gran mayoría, por lo que el uso de cebos es considerado como uno de los mejores métodos para este tipo de sustrato, además de ser de bajo costo. No obstante lo anterior, lo más recomendable es utilizar combinaciones de diferentes métodos de muestreo, como muestreo de hojarasca, colecta manual (Underwood & Fisher, 2006), ya que esto permite colectar hormigas de diferentes estratos y hábitos (Delabie *et al.*, 2000; Bestelmeyer & Ríos-Casanova, 2010).

Si bien no se encontraron muchas diferencias entre las especies de hormigas de la zona núcleo y de amortiguamiento, es posible señalar a especies exclusivas de las zonas núcleo que podrían servir como indicadoras de sitios conservados como es el caso de *Crematogaster nocturna* y *Temnothorax nitens* (Guzmán-Mendoza *et al.*, 2014).

Paralelamente, especies como las de los géneros *Cardiocondyla*, *Forelius* y *Solenopsis* (Bestelmeyer & Wiens, 1996; Miranda, 2012) que solo se hallan en las zonas de amortiguamiento, podrían ser un indicador de los altos niveles de perturbación presentes en estas zonas. La presencia o ausencia de estas especies puede ser usada para evaluar atributos relacionados a cambios en el hábitat y dar una noción del grado de conservación y perturbación (Tejeda-Cruz *et al.*, 2008).

Se ha planteado que las zonas de amortiguamiento minimizan y resguardan a las zonas núcleo de disturbios (Castillo-Argüero *et al.*, 2004), los resultados de este trabajo apoyan esta idea ya que hasta ahora, no se han reportado especies invasoras o aquellas asociadas a la urbanización alta en las zonas núcleo. Por lo tanto, por medio de las especies de géneros como *Solenopsis*, *Cardiocondyla* y *Forelius*, podría decirse que las zonas de amortiguamiento presentan cierto grado de perturbación, cumpliendo su función al ser amortiguadoras para las zonas núcleo.

El presente estudio sugiere seguir estudiando a las hormigas en la REPSA para poder determinar su uso como indicador ecológico, ya que la presencia de ciertas especies aparentemente, indica cierto grado de perturbación y conservación en las zonas estudiadas de la REPSA, como ha sido demostrado en otros lugares (Estrada & Fernández, 1999; Gutiérrez, 2014; Miranda *et al.*, 2012). Además, las hormigas podrían ser utilizadas, para conocer el grado de recuperación de aquellas zonas de amortiguamiento que han sido sometidas a programas de reforestación e introducción de especies nativas, que se han elaborado en los últimos años en la REPSA.

CONCLUSIONES

- La diversidad de la comunidad de hormigas de la REPSA es similar entre zonas pero no entre temporadas, siendo la temporada lluviosa en las zonas núcleo la que presentó la mayor diversidad.
- No se encontraron diferencias en la composición de especies de hormigas en la REPSA entre zonas núcleo y amortiguamiento.
- Las morfoespecies *Forelius* sp., *Cardiocondyla* sp. y *Solenopsis* sp. solo se encontraron en las zonas de amortiguamiento, por lo que se sugiere podrían ser indicadoras de perturbación.
- *Lasius niger* y *Temnothorax nitens* se encontraron exclusivamente en las zonas núcleo. Estas especies podrían servir como indicadoras de sitios conservados.
- No se encontraron relaciones significativas entre la diversidad de hormigas de la REPSA y variables ambientales como la estructura vertical de la vegetación y las características de la superficie del suelo.
- En la REPSA predominó el gremio alimentario de las hormigas omnívoras.

LITERATURA CITADA

Agosti, D. & Johnson, N.F. 2005. *Ant base*. World Wide Web Electronic publication. Antbase.org. version. 2005; ultimo acceso: 06/10/2015

Alonso, L. E. 2000. Ants as indicators of diversity. 80-88 pp. in: Agosti, D., Majer, J.D., Alonso L.E. & Schultz, T.R. (eds.), *Ants-Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Biological Diversity Handbook Series, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.

Andersen, A. N. 1991. Responses of ground-foraging ant communities to three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. *Biotropica* 575-585

Andersen, A. N. 1995. A classification of Australia ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. *Journal of Biogeography* 22:15-19.

Andersen, A. N. 1997. Ants as indicators of ecosystem restoration following mining: a functional group approach. 319-325 pp. in: Hale, P.T. & Lamb, D. (eds.). *Conservation Outside Nature Reserves*. Centre for Conservation Biology. The University of Queensland. Brisbane.

Andersen, A. N. 2000. Global ecology of rainforest ants: Functional groups in relation to environmental stress and disturbance. 22-29 pp. in: Agosti, D., Majer, J.D., Alonso L.E. & Schultz, T.R. (eds.), *Ants-Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Biological Diversity Handbook Series, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.

Andersen, A. N. & Majer, J. D. 2004. Ants show the way down under: invertebrates as bioindicators in land management. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2:291-298.

Andersen, A. N., Hoffmann, B. D., Muller, W. J & Griffiths, A. D. 2002. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. *Journal of Applied Ecology* 39:8-17.

Ambrecht, I., Perfecto, I. & Vandermeer, J. 2004. Enigmatic biodiversity correlations: ants diversity responds to diverse resources. *Science* 204:284-286.

Bestelmeyer, B.T. 1997. Stress tolerance in some Chacoan dolichoderine ants: Implications for community organization and distribution. *Journal of Arid Environments* 35: 297-310.

Bestelmeyer, B. T., Agosti, D., Alonso, L., Brandao, C., Brown Jr. W., Delabie, J. & Silvestre R. 2000. Field techniques for the study of ground-dwelling ants: An overview, description an evaluation. 122-144 pp. in: Agosti, D., Majer, J. D., Alonso L.E. & Schultz, T.R. (eds.), *Ants-Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Biological Diversity Handbook Series, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.

Bestelmeyer, B. T. & Ríos-Casanova, L. 2010. Field techniques for sampling ants. 39-41 pp. In: Lach, L., Parr, C. L., Abbott, K.L., (eds.). *Ant ecology*. Oxford University Press, United States.

Bestelmeyer, B. T. & Schooley R. L. 1999. The ants of the southern Sonoran desert: community structure and the role of trees. *Biodiversity and conservation* 8:643-657.

Bestelmeyer, B. T. & Wiens A. J.1996. The effects of land use on the estructure of Ground-Foraging ant communities in the Argentine Chaco. *Ecological Aplications* 6:1225-1240.

Bolton, B.1994. *Identification guide to the ant genera of the world*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA.

Brown, W. L. Jr. 2000. Diversity of ants. 45-69 pp. in: Agosti, D., Majer, J.D., Alonso L.E. & Schultz, T.R. (eds.), *Ants-Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Biological Diversity Handbook Series, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.

Cano–Santana Z. 1994. Flujo de energía a través de *Sphenarium purpurancens* (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerofita. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Castillo-Argüero, S., Montes-Cartas, G., Romero-Romero, M. A., Martínez-Orea, Y., Guadarrama-Chávez, P., Sánchez-Gallén, I. & Núñez-Castillo, O. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F., México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 74: 51-75.

Clark, D. B., Clark, D. & Rich, P. 1993. Comparative analysis of microhabitat utilization by saplings of nine tree species in Neotropical rain forest. *Biotropica* 25: 397-407.

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>.

Colwell, R. K., & Coddington, J. A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical transactions of the royal society of London*. Series B 345:101-118.

Da Silva, M. K., Da Gama-Rodrigues, E. F., Da Gama-Rodrigues, A.C., Machado, R. C. R. & Baligar, V. C. 2009. Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforestry systems* 76:127-138.

Delabie, J. H. C., Fisher, B. L., Majer, J. D. & Wrigth, I. W. 2000. Sampling effort and choice of methods. 145-155 pp. in: Agosti, D., Majer, J.D., Alonso L.E. & Schultz, T.R. (eds), *Ants-Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Biological Diversity Handbook Series, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.

Dytham, C. 1999. *Choosing and using statistics: A Biologist's guide*. Blackwell Science, Oxford.

Estrada, C. & Fernández, C. 1999. Diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en un gradiente sucesional del bosque nublado (Nariño, Colombia). *Revista de Biología Tropical* 47: 189-201.

Fisher, B. L. & Cover, P. S. 2006. *Ants of north America: A guide to the genera*. University of California press. Los Angeles, California, USA.

Folgarait, P. J. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and conservation* 7:1221-1244.

Gaceta UNAM. 2006. Lineamientos para el desarrollo de actividades de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. *Universidad Nacional Autónoma de México* 3924:22-24.

Gollan, J. R., De Bruyn, L. L., Reid, N., Smith, D. & Wilkie, L. 2011. Can ants be used as ecological indicators of restoration progress in dynamic environments? A case study in a revegetated riparian zone. *Ecological Indicators* 11:1517-1525.

Graham, J. H., Hughie, H. H., Jones, S., Wrinn, K., Krzysik, A. J., Duda, J. J., Freeman, D.C., Emlen, J. M., Zack, J.C., Kovacic, D. A., Chamberlin-Graham, C. & Balbach, H. 2004. Habitat disturbance and the diversity and abundance of ants (Formicidae) in the Southeastern Fall-Line Sandhills. *Journal of Insect Science* 4: 30.

Gutierrez, J. L., & Jones, C. G. 2006. Physical ecosystem engineers as agents of biogeochemical heterogeneity. *BioScience* 56: 227-236.

Gutiérrez, M. R. P. 2014. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del bosque tropical lluvioso de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, Costa Rica. *Entomotropica*. 29:69-76.

Guzmán-Mendoza, R., Castaño-Meneses, G. & Herrera-Fuentes, M. 2010. Variación espacial y temporal de la diversidad de hormigas en el Jardín Botánico del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81:427-435.

Guzmán-Mendoza, R., Zavala-Hurtado, J. A., Castaño-Meneses, G. & León-Cortés, J. L. 2014. Comparación de la mirmecofauna en un gradiente de reforestación en bosques templados del centro occidente de México. *Madera y Bosques* 20: 71-83.

Hammer, O., Harper, D. T. A. & Ryan, D. P. 2001. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia electronica* 4:1-9. Version 3.09. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf

Heinze, J., Cremer, S. Eckl, N. & Schrempf, A. 2006. Stealthy invaders: the biology of *Cardiocondyla tramp* ants. *Insectes Sociaux* 53: 1-7.

Herrick, J. E., Van Zee J. W., Havstad, K. M., Burkett, L. M. & Whitford, W. G. 2005. Monitoring manual for grassland. *Shrubland and Savanna Ecosystems*. Vol. II: Design, supplementary methods and interpretation. USDA-ARS Jornada Experimental Range, Las Cruces, NM: Distributed by University of Arizona Press.

Hernández, G. 2010. *Las Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. México*. Tesis de Licenciatura, carrera Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Huhta, V. 2007. The role of soil fauna in ecosystems: a historical review. *Pedobiologia* 50: 489-495.

Hölldobler, B. & Wilson, E. O. 1990. *The ants*. Harvard University Press.

Jones, C. G., Lawton, H. J., Shachak, M. 1994. Organism as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.

Kaspari, M. 2000. A primer on ant ecology. 9-24 pp. in: Agosti, D., Majer, J.D., Alonso L.E. & Schultz, T.R. (eds.), *Ants-Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Biological Diversity Handbook Series, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.

Linsey, P.A. & Skinner, J. D. 2001. Ant composition and activity patterns as determined by pitfall trapping and other methods in three habitats in the semi-arid Karoo. *Journal of Arid Environments* 48: 551-568.

Lot. A., Pérez-Escobedo, M., Gil-Alarcón, G., Rodríguez-Palacios, S. & Camarena, P. 2012. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de riesgos. 30 aniversario 1983-2013*. Secretaria ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, ICyT.

MacMahon, J. A., Mull, J. F., & Crist, T. O. (2000). Harvester ants (*Pogonomyrmex* sp.): their community and ecosystem influences. *Annual Review of Ecology and Systematics* 265-291.

Majer, J. D. 1983. Ants: bio-indicators of mine site rehabilitation, land use, and land conservation. *Environmental Management* 7: 375-383.

Majer, J. D. 1984. Recolonization by ants in rehabilitated open-cut mines in northern Australia. *Reclamation and Revegetation Research* 2: 279–298.

Magurran, E. A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Princeton. New Jersey.

McIntyre, N. E., Rango, J., Fagan, W. F. & Faeth, S. H. 2001. Ground arthropod community structure in a heterogeneous urban environment. *Landscape and urban planning* 52: 257-274.

Meave J., Carabias J., Arriaga V. & Valiente-Banuet, A. 1994. Observaciones fenológicas en el Pedregal de San Ángel. *Reserva ecológica el Pedregal de San Ángel: Ecología, Historia Natural y Manejo, A. Rojo (comp.)*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal.

Miranda, B.A., Kazuya, M. & Limachi, M. 2012. Ensamble de hormigas en relación cobertura vegetal en una zona periurbana de la Paz (Bolivia). *Ecología en Bolivia* 47: 119-133.

Palacios, R., Martínez-Ferrer, M. T. & Cerda, X. 1999. Composición, abundancia y fenología de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en campos de cítricos de Tarragona. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas* 25: 229-240.

Peralta-Higuera A. & Prado-Molina J. 2009. Los límites y la cartografía en: Santibáñez, A. G., Castillo, A. S., Zavala, H. J. A., Martínez O. & Hernández, A. M. 2009. *La heterogeneidad ambiental en un Matorral Xerófilo*. Boletín de la sociedad Botánica de México 85: 71-79.

Perfecto, I. & Snelling, R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ants in coffee plantations. *Ecological applications* 5: 1084-1097

Phillips, I. & Willis, R. 2005. Defensive behavior of ants in a mutualistic relationship with aphids. *Behavioral Ecology and sociobiology* 59: 321-325.

Retana J. & Cerda X. 2000. Patterns of diversity and composition of Mediterranean ground ant communities tracking spatial and temporal variability in the thermal environment. *Oecologia* 123: 436-444.

Ribas, C. R., Campos, R. B., Schmidt, F. A., & Solar, R. R. 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.

Ríos-Casanova, L. 2014. Biodiversidad de hormigas en Mexico. *Revista Mexicana de biodiversidad* 85: 392-398.

Ríos-Casanova, L. & Bestelmeyer, B. T. 2008. What can ant diversity-energy relationships tell us about land use land change (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News* 11: 183-190.

Ríos-Casanova, Valiente-Banuet., B. & Rico-Gray V. 2004. Las hormigas del Valle de Tehuacán (Hymenoptera: Formicidae): una comparación con otras zonas áridas de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 20: 37-54.

Ríos-Casanova, L., Valiente-Banuet, A. & Rico-Gray, V. 2006. Ant diversity and its relationship with vegetation and soil factors in a alluvial fan of the Tehuacan Valley, Mexico. *Acta Oecologica* 29: 316-323.

Ríos-Casanova, L., Dávila, P., Godínez-Álvarez, H. & Rico-Gray, V. 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., Carrillo-Ruiz, H., Bonilla, A. A., Figueroa-Castro, D. M., & Andres-Hernández, A.R. 2014. Effect of disturbance on the ant community in a semiarid region of central México. *Applied ecology and environmental research* 12: 703-716.

Rojas, P. 1996. Formicidae (Hymenoptera) 483-500 pp. en: Llorente, J., García, A. y González E. (eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. CONABIO-UNAM, México, D.F.

Rojas, P. 2001. Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) número especial. no.1:189-238.

Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 8: 59-129.

Salafranca, I. C. L., Solanas, P. A., Núñez, P. M. I, Jiménez, F. M., Miralles, P. D. & Serra, D. G. 2000. *Estadística aplicada con SPSS y StatGrafics*. Ed. de la Universidad de Barcelona. Barcelona.

Sanford, M., Manley, N. & Murphy, D. 2008. Manley effects of urban development on Ant Communities: Implications for Ecosystem Services and Management. *Conservation Biology* 23:131-141.

Schmidt, F. A., Ribas, C. R. & Schoereder, J. H. 2013. How predistable is the response of ant assemblages to natural forest recovery? Implications for their use as bioindicators. *Ecological Indicators*. 24:158-166.

SEREPSA, 2008. *Manual de Procedimientos. Programa de Adopción de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel*. Secretaría Ejecutiva REPSA, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM, México.

Siebe, C. 2009. La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/- 35 años AP y sus implicaciones. En: Lot, A. y Cano, Z. (eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Tejeda-Cruz, C., Mehlreter, K., & Sosa, V. J. 2008. Indicadores ecológicos multitaxonómicos. 271-278 pp. en: Manson, R. H., Hernández-Ortiz, V., Gallina, S. & Mehlreter K. (eds.). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación*. INE-INECOL, México, D. F.

Underwood, E.C. & Fisher, L. B. 2006. The role of ants in conservation monitoring: If, when, and how. *Biological conservation* 132:166-182.

Valentín, C.F.J. 2015. *Redes de interacción hormiga-planta en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F., México*. Tesis de licenciatura, carrera de Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.

Varela-Hernández, F. 2013. Variación temporal de las comunidades de hormigas en matorral xerófilo con dominancia en *Cephalocereus senilis* y *Stenocereus dumortieri* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Revista peruana de entomología* 48:1-8.

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