



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**DIVERSIDAD DE HORMIGAS (HYMENOPTERA:
FORMICIDAE) ASOCIADAS A LA HOJARASCA EN EL
PEDREGAL DE SAN ÁNGEL, D.F., MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

LUCÍA GONZÁLEZ BENÍTEZ



**DIRECTOR 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 está 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

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Área de estudio	11
Colecta de hormigas.....	13
Análisis de riqueza, abundancia y composición de especies obtenidas con el método de tamiz entomológico	15
Análisis de correlación entre los parámetros de diversidad y la precipitación.....	16
Acumulación de especies	17
Comparación entre métodos de recolecta.....	17
RESULTADOS.....	19
Riqueza, abundancia y diversidad.....	19
Composición de especies	24
Grupos funcionales y gremios tróficos	25
Relación de riqueza y abundancia con precipitación	28
Acumulación de especies	32
Comparación entre métodos	33
DISCUSIÓN	34
CONCLUSIONES	40
LITERATURA CITADA.....	41

RESUMEN

Estudiamos a la comunidad de hormigas asociadas a la hojarasca en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) en la Ciudad de México. La REPSA se divide en zonas núcleo (conservadas) y zonas de amortiguamiento (menos conservadas) además de que presenta una temporada de lluvia y una de sequía bien definidas, por lo que nuestro objetivo fue estudiar los efectos de la variación espacial y temporal sobre las hormigas de la hojarasca. Esperábamos encontrar mayor riqueza, abundancia y diversidad en las zonas núcleo, durante la época de lluvia debido a una mayor presencia de recursos. Para cumplir con nuestro objetivo, colectamos principalmente con un tamiz entomológico. Los muestreos se realizaron mensualmente durante un año, tomando en cada ocasión 15 muestras de hojarasca de 20 x 20 cm en cada tipo de zona, de las cuales extrajimos a todas las hormigas. Obtuvimos un total de 989 individuos pertenecientes a 20 especies, 16 géneros y cinco subfamilias, las cuales clasificamos en ocho grupos funcionales, de los cuales el grupo de oportunistas tuvo el mayor número de especies. Encontramos que la riqueza de hormigas no difiere entre sitios pero sí entre temporadas, siendo mayor durante la época de lluvia. Esto puede atribuirse, de acuerdo a lo esperado, a que en ésta temporada hay más recursos y por lo tanto menos competencia entre especies favoreciendo la coexistencia. Sin embargo, contrario a nuestras expectativas, la abundancia mayor ocurrió en la temporada de sequía en la zona núcleo, mientras que en la zona de amortiguamiento fue mayor en la temporada de lluvia. La abundancia alta en la temporada de sequía puede deberse a la dominancia de algunas especies como *Nylanderia bruessi* y *Forelius pruinosus*. Con respecto a la precipitación, ésta se correlacionó positivamente con la abundancia, riqueza y diversidad de hormigas en la REPSA lo que sugiere que la productividad primaria podría estar directamente relacionada con los patrones de riqueza y abundancia de las hormigas asociadas a la hojarasca de esta reserva, independientemente de la zona en la que habiten.

INTRODUCCIÓN

Las hormigas son insectos pertenecientes a la familia Formicidae del orden Hymenoptera (Hölldobler y Wilson 1990). Esta familia se divide en 290 géneros y 21 subfamilias con representantes vivos y cuatro conocidas sólo a partir de especímenes fósiles (Vázquez-Bolaños 2011). Hasta el momento se reportan cerca de 26,000 especies y subespecies descritas para el mundo (AntWeb, 2017). Para México se conocen 927 especies pertenecientes a 93 géneros en once subfamilias (Ríos-Casanova, 2014; Vázquez-Bolaños, 2015).

Las hormigas son insectos eusociales, por lo cual presentan un cuidado cooperativo de la descendencia, traslape de generaciones y división del trabajo (Branstetter y Sáenz, 2012). Son de gran relevancia para la mayoría de los ecosistemas terrestres debido a que participan en diversos procesos ecológicos, como la dispersión de semillas, el reciclaje de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica, entre otros (Agosti *et al.*, 2000). Además, las hormigas participan en procesos biogeoquímicos, los cuales pueden modificar la disponibilidad de recursos del suelo lo que a su vez afecta a otros organismos y procesos del sistema, por lo que se les conoce como ingenieros del ecosistema. También, son consideradas como bioindicadores de disturbio debido a su alta diversidad y abundancia, a la variedad de nichos que ocupan, a su rápida respuesta a cambios ambientales y a su identificación relativamente fácil (Folgarait, 1998).

La presencia de hormigas y otros artrópodos puede estar determinada por la disponibilidad de recursos, los cuales, muchas veces están regulados por variaciones climáticas como la precipitación y la temperatura, lo cual implica cambios en la productividad, competencia y depredación de un sistema (Ríos-Casanova, 1993; Guerrero y Sarmiento, 2010). La temperatura ambiental es muy importante para las hormigas, ya que la mayoría están limitadas por esta variable para forrajear, por lo que la temporalidad es determinante en su abundancia. En aquellos ambientes que son fríos la mayor parte del tiempo, las hormigas son comunes sólo con la presencia del sol; mientras que en ambientes donde la mayor

parte del tiempo el clima es cálido, las hormigas son visibles en casi todo momento (Kaspari, 2003).

Por su parte, la precipitación es un factor muy importante, ya que determina la productividad de las comunidades de regiones que tienen una marcada estacionalidad con épocas secas y húmedas. En estas zonas se encuentran drásticas diferencias en el número de especies de insectos, de la cantidad de individuos de cada una de ellas y su biomasa entre las dos épocas del año (Ortega y Hernández, 1983). Otros estudios han encontrado que la precipitación influye directamente sobre la diversidad de hormigas (Armbrecht y Armbrecht, 1997) ya que la lluvia puede predecir la producción de recursos alimentarios para ellas (Morton y Davidson, 1988).

La hojarasca es un sitio de anidamiento y forrajeo muy importante para las hormigas (Agosti *et al.*, 2000), esto se debe a que en ella hay micrositios como hojas, ramas y pedazos de corteza, que son usados por varias especies para anidar. Además, en la hojarasca habitan muchos artrópodos, como colémbolos y termitas, que son alimento de varias especies de hormigas (Hölldobler y Wilson, 1990; Bestelmeyer y Wiens, 2003). Cuando la hojarasca es más abundante y diversa, los insectos que viven en ella suelen ser más diversos, ya que cuanto más hojarasca se acumule será más estable el microclima (humedad y temperatura), lo que favorece a la mayor parte de especies que en ella habitan incluyendo a las hormigas (Barrientos, 2003). Se ha documentado que los nidos de hormigas de hojarasca no alcanzan grandes tamaños que les permita lograr dominar a otra especie, ya que estos nidos presentan descomposición, la cual previene el establecimiento de un territorio grande y estable (Kaspari, 2003).

La mayoría de los estudios sobre las comunidades de hormigas de hojarasca se han hecho en bosques tropicales o selvas nubladas. En ellos se ha estudiado cómo los gradientes altitudinales afectan la riqueza de especies de hormigas, documentando que a mayor altitud, menor riqueza de especies (Lattke, 2003; Lattke y Riera-Valera, 2012). Sin embargo, hay algunos datos que demuestran que puede existir una relación positiva de la riqueza de hormigas con el aumento de la altitud, encontrando mayor número de especies en altitudes

intermedias, lo que puede ser debido a la influencia de otros factores como la condición climática, los tipos de vegetación y la latitud, además de la topografía y el estado de conservación del ambiente (Sanders *et al.*, 2003; Piedra *et al.*, 2016; Ward, 2000).

Los patrones globales de diversidad de hormigas de la hojarasca, indican que Mirmicinae es la subfamilia predominante y que los géneros comúnmente encontrados en este hábitat son *Stenammas*, *Hypoponera*, *Solenopsis*, *Strumigenys*, *Paratrechina* (ahora *Nylanderia*), *Pheidole*, *Tetramorium* y *Pachycondyla* (Ward, 2000).

También se ha documentado que en los trópicos se encuentra el mayor número de especies que anida en la hojarasca, lo que se atribuye a la gran humedad que hay en estos lugares asociada a la vegetación abundante, por lo que las hormigas tienen suficientes sitios para anidar y alimentarse (Kaspari, 2003).

Sin embargo, muchos de estos ambientes se encuentran en peligro debido a la explotación intensiva de recursos naturales (Ribas *et al.*, 2012) y a disturbios naturales o antropogénicos que pueden causar modificaciones en los ecosistemas (Verzero-Villaba *et al.*, 2014). La tala de árboles, incendios y la urbanización son las principales causas de la modificación de estos entornos, la consecuencia más evidente de estas acciones son la disminución de flora y fauna (García, 2016). Por todos estos motivos se han hecho estudios para conocer el daño de estas actividades dentro de los ecosistemas, para lo cual se han utilizado bioindicadores, los cuales facilitan la evaluación de estos impactos (Ribas *et al.*, 2012). Entre los organismos considerados como bioindicadores se encuentran las hormigas, las cuales, presentan características que facilitan el estudio para conocer el deterioro que causan las actividades antrópicas y los fenómenos naturales. Para estos estudios se utiliza el modelo de grupos funcionales que propone Andersen (1997). Esta clasificación pretende lograr mejores predicciones sobre las respuestas que presentan las comunidades de hormigas al disturbio (García, 2016). Estos grupos se definen de acuerdo con la tolerancia que tienen las hormigas a la perturbación y al estrés ambiental, así como su capacidad para

establecer interacciones competitivas. Los grupos funcionales propuestos son: Dolichoderinae dominantes, Myrmicinae generalistas, Oportunistas, Camponotini subordinadas, Especialistas de clima (tropical, cálido y frío), Especies crípticas y Depredadoras especialistas (Andersen, 1997).

Además de la clasificación de grupos funcionales también puede categorizarse a las hormigas por gremios tróficos, los cuales están basados en la alimentación de estos organismos. Así, podemos encontrar especies que recolectan todo tipo de alimento hasta las que hacen uso de un solo recurso. La asignación de una especie a una determinada categoría no siempre es fácil, ya que las preferencias alimenticias pueden variar espacial y temporalmente (Rojas, 2001). Las categorías básicas de los gremios tróficos son: omnívoras, micófagas, granívoras y depredadoras (Brown, 2000; Rojas, 2001).

El conocimiento sobre hormigas en México, es escaso, por lo que se requieren estudios que ayuden a determinar la diversidad de estos organismos en varias regiones del país. Un ejemplo es la Ciudad de México, en donde se registran 14 especies únicamente (Vázquez-Bolaños, 2015).

En nuestro país, la acelerada transformación de los ambientes naturales constituye una amenaza significativa para la biodiversidad de los organismos terrestres incluyendo a las hormigas (Ríos-Casanova, 2014). Por lo cual se han creado las zonas de reserva, que son sitios que ayudan a la preservación de la flora y fauna, tal es el caso de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) ubicada al Sur de la Ciudad de México. Esta reserva es de gran importancia ya que es el último relicto de la comunidad vegetal de *Pittocaulon praecox* (Robinson y Brettell) (Castillo-Argüero *et al.*, 2004). Actualmente la reserva tiene una extensión de 2.37 ha lo cual representa tan sólo el 2.9% del total de la extensión original, lo que muestra la pérdida de su biodiversidad por el crecimiento de esta ciudad. A pesar de lo anterior aún conserva una cantidad importante de especies. Esta reserva está constituida por zonas núcleo (ZN) y zonas de amortiguamiento (ZA) las cuales tienen funciones específicas, por lo que es posible que contribuyan de manera diferencial a la conservación de la diversidad (De la Fuente, 2005). Con respecto a la hojarasca, no se conoce si

existen diferencias entre los dos tipos de zonas, sin embargo, las ZN tienen una mayor proporción de árboles como *Buddleja cordata* Kunth 1818, el cual es el que aporta la mayor cantidad de hojarasca en la REPSA además de que tiene tasas bajas de descomposición, lo que podría estar marcando fuertes diferencias entre la hojarasca de las ZN y ZA (Arango, 2006). En esta reserva se muestra una marcada estacionalidad, presentando una temporada de lluvias y una de sequía (Castillo-Argüero *et al.*, 2004), las cuales también pueden contribuir a la determinación de la presencia o ausencia de las hormigas. Es por esto que resulta interesante comparar las especies que existen en cada uno de estos sitios y temporadas.

Existen diversos estudios sobre la diversidad de flora y fauna que habitan en esta reserva, sin embargo, el conocimiento sobre insectos y particularmente sobre hormigas es escaso, más aún, tratándose de las hormigas asociadas a la hojarasca. Cada trabajo dedicado al estudio de la mirmecofauna tiene distintos objetivos, por lo que cada uno utiliza diferentes métodos para la colecta de estos insectos. Se ha considerado que la captura de hormigas con extractores mini-Winkler es una técnica que puede ser fácilmente estandarizada para los inventarios, además puede ser un complemento para las trampas de caída (Silva *et al.*, 2013). Se han comparado distintos métodos para conocer la comunidad de hormigas del suelo, estos trabajos han utilizado trampas de caída, tamices, extractores mini-Winkler, colecta manual y cebos, obteniendo mejores resultados con el tamizado de hojarasca (Piedra *et al.*, 2016). Por lo cual, uno de los objetivos de este trabajo es comparar la eficacia del tamizado de hojarasca y de los extractores mini-Winkler dentro de la REPSA, ya que en los trabajos anteriormente realizados en este lugar no se han estudiado a las hormigas asociadas a la hojarasca por lo que no han utilizado ninguno de estos dos métodos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estudios de hormigas realizados en la REPSA con el uso de distintos métodos de colecta.

Método	Número de especies recolectadas	Autor
Cebos y colecta manual	21	Hernández, 2010
Cebos	12	Trejo, 2015
Aspirador entomológico sobre vegetación	10	Valentín, 2015
Trampas de caída	11	García, 2016
Trampas de caída	15	Jiménez, 2017

Este estudio sería el primero en documentar a las hormigas asociadas a la hojarasca en la REPSA, por lo que calculamos la diversidad de hormigas de las ZN y amortiguamiento, en las temporadas de lluvia y sequía, esperando que ésta sea mayor en la ZN debido a que son áreas más conservadas, heterogéneas y con mayor variedad de microambientes que las ZA, las cuales son zonas con diferentes grados de disturbio y que por el contacto con humanos son áreas poco conservadas. La hojarasca de estos sitios difiere en cuanto a las plantas que la originan y a la cantidad que aportan, siendo mayor en las ZN, por lo que esperamos que hubiese mayor abundancia y diversidad de hormigas en estas zonas en comparación con las ZA. En cuanto a los grupos funcionales esperamos encontrar al grupo de las especies crípticas en las ZN, este grupo se caracteriza porque las hormigas forrajean predominantemente dentro del suelo y la hojarasca, además de ser sensibles a la perturbación del ambiente (Hoffmann y Andersen, 2003); mientras que para las ZA esperamos la presencia del grupo de las oportunistas que no tienen una dieta especializada y son tolerantes al disturbio, asimismo esperamos encontrar a las Dolichoderinae dominantes, las cuales son muy abundantes, activas, agresivas y tolerantes por lo que son competitivamente más fuertes que otras especies de hormigas (Hoffmann y Andersen, 2003).

OBJETIVOS

General

- Conocer la comunidad de hormigas asociadas a la hojarasca de la REPSA.

Particulares

- Determinar las variaciones espaciales y temporales de la riqueza y abundancia de hormigas de la hojarasca.
- Estimar la diversidad y equitatividad de hormigas.
- Determinar si la precipitación influye en la abundancia, riqueza y diversidad de hormigas.
- Comparar los dos métodos de recolecta utilizados y determinar cuál es el más efectivo para el estudio de hormigas de hojarasca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel está localizada al suroeste de la Ciudad de México, dentro del campus de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente ocupa un área de 237.3 ha (De la Fuente, 2005). El clima de la zona es templado subhúmedo, presenta una temperatura media anual de 15.5°C y una precipitación promedio anual de 835 mm. La lluvia se distribuye de manera diferencial lo que permite distinguir dos temporadas, la de lluvias, que va de junio a octubre, y la de sequía que abarca de noviembre a mayo (Castillo-Argüero *et al.*, 2004).

Casi toda la superficie de la REPSA corresponde a la comunidad de matorral xerófilo, la vegetación que caracterizaba a la REPSA era *Pittocaulon praecox* (palo loco) (Rzedowski, 1954), sin embargo, de esta comunidad vegetal en la actualidad solamente existen fragmentos aislados (Lot y Cano-Santana 2009). Esta reserva tiene una estructura muy heterogénea expresada en forma de masas rocosas, cortes abruptos y grietas, lo cual forma un microrrelieve que ha dado lugar a una gran variedad de ambientes locales con diversas condiciones de suelo, humedad, temperatura, etc., y con grandes diferencias en la composición florística (Castillo-Argüero *et al.*, 2004; Lot y Cano-Santana 2009).

La REPSA está dividida en ZN y ZA. Las ZN son las áreas de la reserva que por su alto grado de conservación y diversidad están sujetas a protección estricta, son las zonas de mayor superficie y en mejor estado de conservación, con una gran riqueza biológica (Gaceta UNAM, 2006). La mayor parte de la vegetación es cerrada y existe una menor radiación solar y por ello mayor humedad (Farfán, 2016) están dominadas por el estrato herbáceo, con predominancia de *Opuntia robusta* Wendland 1837, *Pittocaulon praecox* y *Muhlenbergia robusta* (Fourn.) Hitchc. 1935. Se sabe también que una de las especies con mayor abundancia en estas zonas es el árbol *Buddleia cordata* la

cual es una de las que aporta mayor cantidad de hojarasca en la REPSA (Arango, 2006). En cambio, las ZA son áreas de la reserva sujetas a uso restringido para protección ambiental, cuya presencia permite reducir el efecto de la perturbación antrópica sobre las zonas núcleo (Gaceta UNAM, 2006). Gran parte de la vegetación de estas zonas es abierta, presenta sitios planos en donde la radiación solar es constante y directa, por lo que la temperatura se eleva y la humedad disminuye (Farfán, 2016), presentan elementos herbáceos, sin embargo, también dominan gran cantidad de árboles, como el *Eucalyptus* sp. L'Hér., 1789.



Figura 1. Fotografía aérea de la REPSA. Áreas marcadas con color rojo (ZN), áreas marcadas con azul (ZA). Las estrellas son los sitios donde se tomaron las muestras de hojarasca durante todo el muestreo.

Colecta de hormigas

Para conocer la diversidad de hormigas de la hojarasca de la REPSA, utilizamos inicialmente los extractores mini-Winkler, sin embargo, con dicho método se colectaron muy pocos individuos de muy pocas especies. Por tal motivo, decidimos cambiar el método y usar el tamiz entomológico mensualmente. No obstante, decidimos seguir usando los extractores trimestralmente y hacer una comparación de la eficiencia de los dos métodos. Todos los muestreos con ambos métodos fueron efectuados generalmente por la mañana, entre las 10 y 12 del día. Los datos de abundancia y riqueza que obtuvimos con los extractores mini-Winkler no fueron considerados en ninguno de los análisis.

Extractores mini-Winkler. Los extractores mini-Winkler son una herramienta en forma de embudo utilizada para la colecta de artrópodos de la hojarasca, incluyendo hormigas. Está hecho de tela de algodón de color claro y dos marcos de alambre galvanizado que son lo que le dan forma de prisma rectangular. Esta estructura cubre una bolsa de malla que se encuentra en el interior y que es donde se coloca la muestra de hojarasca. Las hormigas que llegaran a estar dentro de la malla, emigran hacia el fondo del saco y se recogen en un receptáculo atado al fondo que consiste en un frasco con alcohol al 96% (Bestelmeyer *et al.*, 2000). Los extractores mini-Winkler tuvieron un tamaño de 85 cm de largo, 22.5 cm² en la abertura superior, y 5 cm² en la abertura inferior, donde se encuentra el recipiente con alcohol. La malla que se encuentra en el interior, tuvo una luz de malla de tres mm y un volumen de un litro.

En cada tipo de zona (núcleo: ZN y amortiguamiento: ZA) colectamos 10 muestras de hojarasca de 20 x 20 cm, cada 10 m aproximadamente. Obtuvimos estas muestras una vez en cada una de las cuatro estaciones (octubre de 2014 y enero, mayo y agosto de 2015) para un total de 80 muestras. Una vez colectada la hojarasca, cada muestra se cernió una sola vez con un tamiz con una luz de malla de 4.75 mm. Las hormigas que cayeron en la charola de recolección fueron

capturadas con pinzas entomológicas y aspirador manual para ser colocadas en frascos viales con alcohol al 96%. Posteriormente, cada muestra de hojarasca se introdujo en una bolsa con cierre hermético (ziploc). Transportamos todas las muestras al laboratorio y las colocamos en los extractores mini-Winkler durante 72 horas para facilitar la extracción de las hormigas (Bestelmeyer *et al.*, 2000).

Las hormigas obtenidas a partir de los extractores, fueron separadas de los otros artrópodos con la ayuda de un microscopio estereoscópico y colocadas en frascos viales con alcohol al 96% para posteriormente ser montadas y determinadas.

Tamiz entomológico. El tamiz consiste en dos charolas de plástico de color blanco, una charola interior, donde se colocó la muestra de hojarasca, cuyo fondo tenía una luz de malla de 5 mm, y la charola de recolección, sin aberturas en el fondo, donde las hormigas fueron colectadas.

Las muestras para el tamiz entomológico se tomaron en las mismas zonas que las muestras para el extractor, sin embargo, éstas se tomaron mensualmente de marzo 2015 a febrero 2016. Tomamos estas muestras directamente del suelo y las colocamos en el tamiz. Agitamos cada muestra cinco veces aproximadamente y todos los organismos que cayeron en la charola de recolección fueron colectados con pinzas entomológicas y aspirador manual. Colocamos a las hormigas colectadas en frascos viales con alcohol al 96%. En cada muestreo se tomaron 15 muestras por cada zona para finalmente tener un total de 360 muestras durante todo el año. Transportamos a las hormigas al laboratorio para ser separadas, montadas y determinadas.

Para la determinación de todas las hormigas usamos las claves para géneros de la familia Formicidae (Bolton, 1994; Fisher y Cover, 2007), además de claves especializadas para cada género. Además contamos con la ayuda del Dr. Miguel Vásquez-Bolaños, de la Universidad de Guadalajara, especialista en sistemática de la familia Formicidae.

A partir de la determinación de las hormigas, se obtuvieron datos de riqueza y abundancia para cada zona y mes. La riqueza fue la suma de todas las especies encontradas en las 15 muestras de cada zona en un mes y la abundancia el número de individuos pertenecientes a cada especie. Realizamos los análisis estadísticos únicamente con los datos obtenidos mensualmente del tamiz entomológico. Los datos que obtuvimos con los extractores mini-Winkler solo se utilizaron para comparar la composición de especies obtenida con cada uno de los dos métodos.

Análisis de riqueza, abundancia y composición de especies obtenidas con el método de tamiz entomológico

Debido a la marcada estacionalidad de la REPSA, los datos fueron agrupados en temporada de sequía que comprendió los meses de noviembre a mayo, y temporada de lluvia que comprendió los meses de junio a octubre. Además de estar ordenados de acuerdo al tipo de zona (ZN y ZA).

Para conocer si existen diferencias en la abundancia y riqueza de las hormigas entre zonas y entre temporadas, realizamos un análisis de varianza por permutaciones (PERMANOVA) para cada una de estas variables. Este análisis es análogo al análisis de varianza (ANOVA) pero, debido a que estamos usando una variable discreta, utilizamos un análisis no paramétrico (Anderson, 2005). El PERMANOVA tuvo al factor zona con dos niveles: núcleo y amortiguamiento, así como al factor temporada también con dos niveles: lluvia y sequía. Realizamos estos análisis usando el programa PAST 3.0, haciendo 9999 permutaciones y utilizando la distancia de Bray-Curtis (Hammer, 2016).

Para medir la diversidad se calculó el índice de diversidad de Shannon para cada mes, con la siguiente fórmula:

$$H' = -\sum_i^S p_i \ln p_i$$

Donde:

S: Número de especies (riqueza)

p_i : proporción de individuos de cada especie

\ln = logaritmo natural

También se calculó la equitatividad (E) como:

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

Donde:

H': índice de diversidad de Shannon

$\ln S$: logaritmo natural de la riqueza.

Comparamos entre temporadas y zonas los diferentes índices de Shannon obtenidos, para lo cual usamos una prueba de t para índices de diversidad (Magurran, 1988). Esta prueba se realizó con el programa estadístico PAST 3.0. Asimismo, para conocer la dominancia de especies de hormigas se realizaron gráficas de rango-abundancia por temporada (lluvia y sequía) en cada una de las zonas (ZN y ZA).

Análisis de correlación entre los parámetros de diversidad y la precipitación

Obtuvimos los datos de precipitación total mensual de la página de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos, del Observatorio Atmosférico de la UNAM perteneciente al Centro de Ciencias de la Atmósfera de Ciudad Universitaria. Específicamente usamos los datos de la estación meteorológica ubicada en el Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Sur que es la más cercana a la REPSA. Con estos datos de precipitación diarios obtuvimos el total

mensual para tener un sólo dato por cada mes y así poder correlacionarlo con las variables estudiadas (abundancia, riqueza y diversidad).

Para determinar si existe una relación entre la riqueza, la abundancia y la diversidad mensual de hormigas con la precipitación total mensual, realizamos correlaciones lineales usando el programa JMP 3.1.2. Esto se hizo relacionando la precipitación mensual con la abundancia del mes correspondiente, y también con la precipitación retrasada un mes, es decir, la precipitación de un mes se asoció con la abundancia del mes siguiente, y así se hizo con todos los meses (Wolda, 1988; Pinheiro *et al.*, 2002; Kato *et al.*, 1995)

Acumulación de especies

Debido a que los datos de riqueza y abundancia dependen directamente del esfuerzo de muestreo, hicimos curvas de acumulación para conocer la proporción de especies conocidas de un total esperado. Para construir dichas curvas usamos el programa EstimateS para Windows versión 8.2 (Colwell, 1997). Se utilizó el estimador Jackknife de primer orden, el cual está basado en el número de especies que ocurren solamente una vez en una muestra (Bautista-Hernández *et al.*, 2013).

Para determinar las diferencias en la composición de especies entre zonas y entre temporadas, se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) de dos vías que es un análisis no paramétrico que usa como medida de similitud la distancia de Bray-Curtis, se hicieron 9999 permutaciones en el programa PAST 3.0.

Comparación entre métodos de recolecta

Para conocer si existen diferencias entre los dos tipos de métodos utilizados para coleccionar a las hormigas (mini-Winkler y tamiz), se realizó un análisis de la composición de especies que se obtienen a través de cada uno de los dos métodos. Se usó el análisis de similitud por permutaciones, ANOSIM de una vía, en donde el factor fue el método utilizado y la variable de respuesta la

composición de especies encontrada con cada método. Para realizar esta comparación se tomaron los 10 datos de ZN y los 10 de ZA obtenidos de los extractores mini-Winkler de cada muestreo y de los 15 datos obtenidos con tamiz entomológico se tomaron 10 al azar del mes que corresponde a los muestreos realizados con los extractores.

Finalmente las especies de hormigas que se obtuvieron fueron clasificadas en grupos funcionales y gremios tróficos de acuerdo con Andersen (1997) y Brown (2000) respectivamente, los cuales analizamos con un PERMANOVA de dos vías para conocer el efecto del sitio y temporada sobre la abundancia de hormigas en cada uno de los grupos y gremios con el programa PAST 3.0, haciendo 9999 permutaciones y utilizando la distancia de Bray-Curtis (Hammer, 2016).

RESULTADOS

Riqueza, abundancia y diversidad

Recolectamos un total de 989 individuos (Tamiz = 875, extractores mini-Winkler = 114) que pertenecen a cinco subfamilias, 16 géneros y 20 especies. La subfamilia más abundante es Myrmicinae con siete géneros y 11 especies, seguida de Dolichoderinae con cuatro especies y Formicinae con tres, mientras que Dorylinae y Ponerinae solo tienen una especie cada una (Cuadro 2 y 3).

Al analizar la riqueza de especies, no encontramos un efecto significativo de la zona ($F_{1, 356} = 0.42$, $P = 0.55$), pero sí de la temporada ($F_{1, 356} = 20.6$, $P = 0.0001$). La interacción zona por temporada no fue significativa ($F_{1, 356} = -11.9$, $P = 1$). Sin embargo, para la abundancia si hubo efecto del tipo de zona ($F_{1, 356} = 3.9$, $P = 0.0043$), de la temporada ($F_{1, 356} = 9.6$, $P = 0.0001$) y de la interacción zona por temporada ($F_{1, 356} = -2.95$, $P = 0.0008$). En la zona núcleo encontramos la abundancia mayor de hormigas en la temporada de sequía (290), en cambio en la zona de amortiguamiento la abundancia mayor la encontramos en la época de lluvias (231; Figura 2).

El índice de diversidad de Shannon indicó que la mayor diversidad de especies de hormigas en ambas zonas se presenta en la temporada de lluvias, mientras que el índice de equitatividad de Pielou fue muy similar entre zonas y temporadas, todos superiores a 0.7 (Cuadro 2). Al comparar los índices de diversidad de Shannon entre zonas, para una misma temporada, encontramos que no hay diferencias significativas entre la zona de amortiguamiento y la zona núcleo (lluvia: $t = 0.68$, g.l. = 425, $P = 0.5$; sequía: $t = 1.66$, g.l. = 257, $P = 0.1$), sin embargo, al comparar la diversidad entre temporadas, ésta fue diferente tanto en las zonas núcleo ($t = 3.32$, g.l. = 455, $P = 0.001$) como en las de amortiguamiento ($t = 3.7$, g.l. = 254, $P = 0.0003$).

Cuadro 2. Abundancia relativa, riqueza (S), diversidad (H') y equitatividad (E) de las hormigas encontradas en las zonas núcleo (ZN) y de amortiguamiento (ZA) de la REPSA durante la temporada de lluvia (LL) y de sequía (SE) con el uso del tamiz entomológico. Se indica el grupo funcional (GF) al que pertenece cada especie: ECT = Especialistas en climas tropicales, EC = Especies crípticas, EO = Especies oportunistas, DD = Dolichoderinae dominantes, CS = Camponotini subordinadas, MG = Myrmicinae generalistas, ECF = Especialistas en climas fríos y ECC = Especialistas en climas cálidos; así como el gremio trófico (GT) al que corresponden: D=Depredadoras, O=Omnívoras y G=Granívoras.

Subfamilia Especie	ZN		ZA		GF	GT
	LL	SE	LL	SE		
Dorylinae						
<i>Neivamyrmex rugulosus</i> Borgmeier	0	1	45	0	ECT	D
Ponerinae						
<i>Hypoponera punctatissima</i> (Roger)	5	0	2	0	EC	O
Dolychoderinae						
<i>Dorymyrmex insanus</i> (Buckley)	24	3	0	0	EO	O
<i>Forelius pruinosus</i> (Roger)	51	70	38	5	DD	O
<i>Linepithema humile</i> Mayr	2	0	0	0	DD	O
<i>Liometopum apiculatum</i> Mayr	0	0	0	0	DD	O
Formicinae						
<i>Camponotus atriceps</i> (Smith)	0	0	1	0	CS	O
<i>Formica subcyanea</i> (Wheeler)	1	0	0	0	ECF	O
<i>Nylanderia bruesii</i> (Wheeler)	43	97	38	22	EO	O
Myrmicinae						
<i>Crematogaster nocturna</i> (Buren)	2	2	3	0	MG	O
<i>Monomorium minimum</i> (Buckley)	31	25	16	12	MG	O
<i>Pheidole</i> sp. 1	23	16	1	2	MG	G/O
<i>Pheidole</i> sp. 2	1	6	4	8	MG	G/O
<i>Stenamamma ignotum</i> (Branstetter)	0	0	2	2	ECF	D
<i>Temnothorax andrei</i> (Emery)	9	43	2	6	ECF	O
<i>Temnothorax</i> sp. 1	4	18	10	10	ECF	O
<i>Temnothorax</i> sp. 2	3	1	1	0	ECF	O
<i>Cardiocondyla</i> sp.	2	0	18	1	EO	O

<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius)	0	6	50	76	ECC	O
<i>Solenopsis bicolor</i> (Emery)	3	2	0	6	ECC	O
Abundancia total	204	290	231	150		
S	15	13	15	11		
H'	2.08	1.85	2.08	1.7		
E	0.76	0.72	0.77	0.7		

Cuadro 3. Hormigas encontradas en las zonas núcleo (ZN) y de amortiguamiento (ZA) de la REPSA, Cd. de México durante la temporada de lluvia (LL) y de sequía (SE) con el uso de extractores mini-Winkler.

Subfamilia	ZN		ZA	
	LL	SE	LL	SE
Especie				
Dolychoderinae				
<i>Dorymyrmex insanus</i>	X	-	-	-
<i>Forelius pruinus</i>	X	X	X	-
<i>Liometopum apiculatum</i>	X	-	-	-
Formicinae				
<i>Camponotus atriceps</i>	-	X	-	-
<i>Nylanderia bruesii</i>	X	X	X	X
Myrmicinae				
<i>Pheidole</i> sp. 2	X	-	X	-
<i>Stenamma ignotum</i>	-	-	-	-
<i>Temnothorax andrei</i>	X	X	X	X
<i>Temnothorax</i> sp. 1	X	-	-	-
<i>Solenopsis geminata</i>	-	-	X	X
<i>Solenopsis bicolor</i>	X	-	-	-

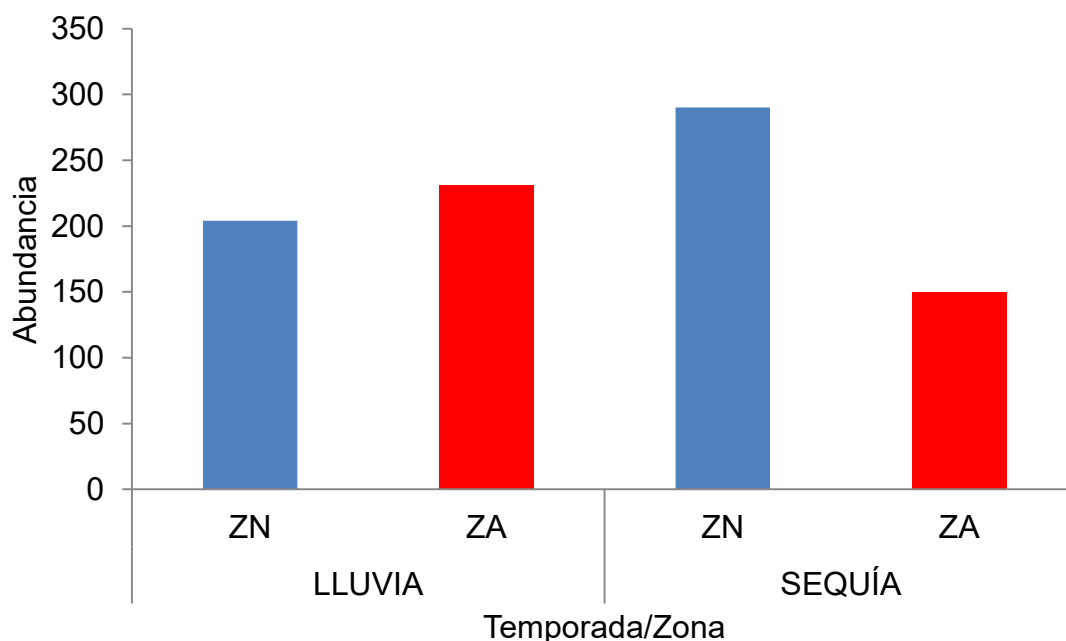


Figura 2. Abundancia de hormigas de la REPSA en zonas núcleo (ZN) y de amortiguamiento (ZA) en dos temporadas.

Las curvas de rango abundancia muestran que en la zona núcleo durante la sequía, las especies dominantes fue *N. bruessi*, mientras que las especies raras fueron *S. bicolor* y *C. nocturna* al presentarse sólo dos individuos de cada una de estas especies (Figura 3). En lluvia, la especie dominante fue *F. pruinosus* en la zona núcleo y encontramos tres especies raras con tan sólo dos individuos cada una, *Cardiocondyla* sp., *C. nocturna* y *L. humile*. En la zona de amortiguamiento *S. geminata* fue la especie dominante tanto en lluvia como en sequía, y las especies raras fueron *S. ignotum* y *Pheidole* sp. 1 en sequía y *T. andrei*, *S. ignotum* y *H. punctatissima* en lluvias (Figura 4).

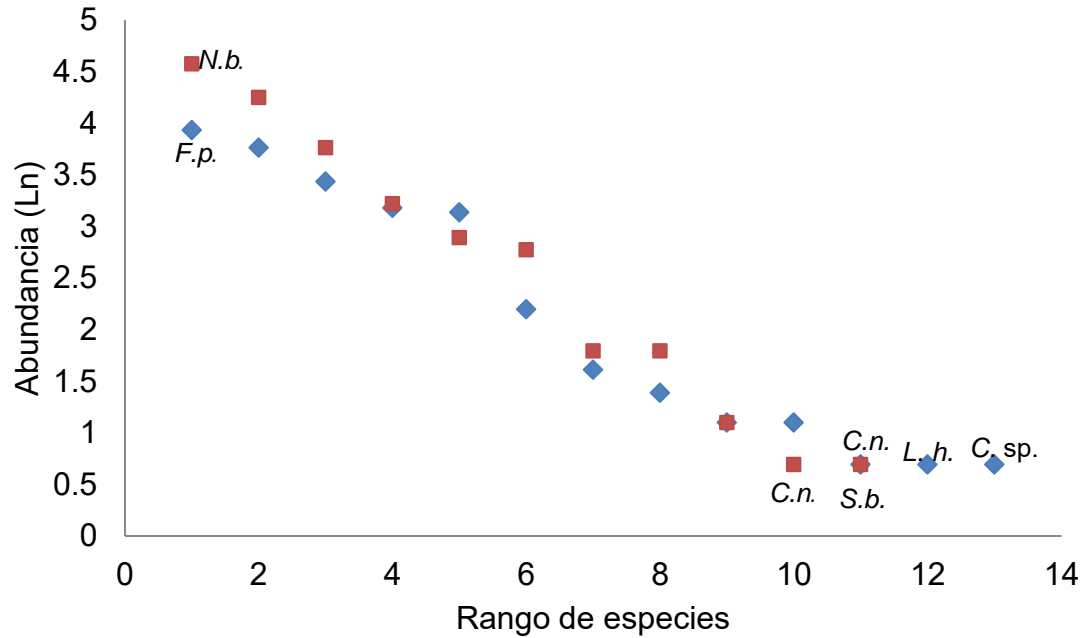


Figura 3. Curva de rango-abundancia para las hormigas de la REPSA en la zona núcleo. Los cuadrados representan a la temporada de sequía y los rombos a la temporada de lluvia. *N.b.* = *Nylanderia bruessi*, *F.p.*= *Forelius pruinosus*, *S.b.*= *Solenopsis bicolor*, *C.n.*= *Crematogaster nocturna*, *L.h.*= *Linepithema humile* y *C. sp.*= *Cardiocondyla sp.*

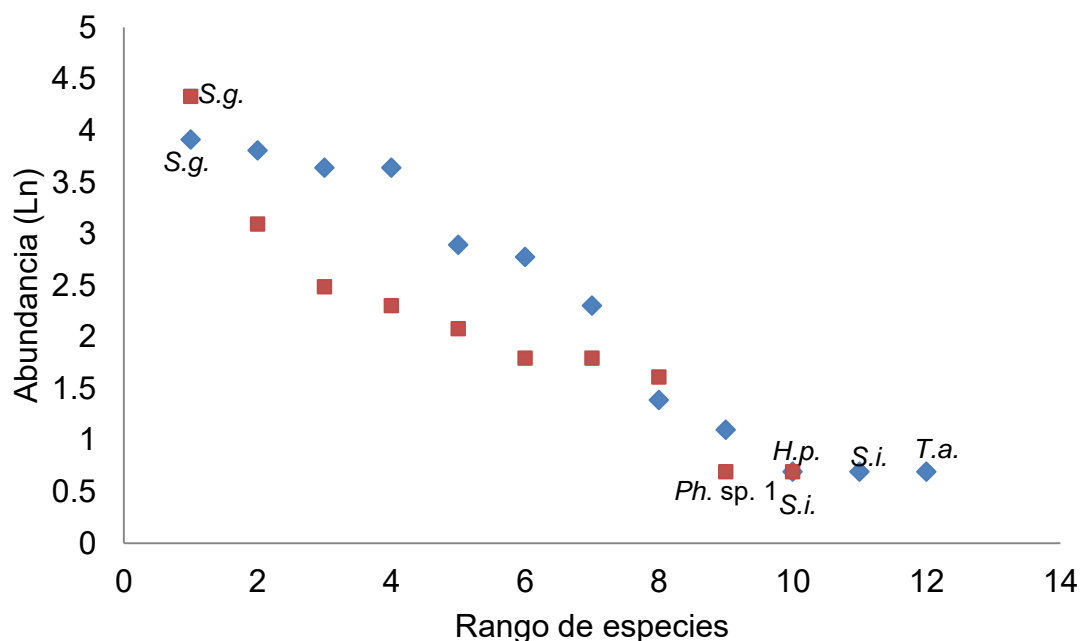


Figura 4. Curva de rango-abundancia en la zona de amortiguamiento. Los cuadrados representan a la temporada de sequía y los rombos a la temporada de lluvia. S.g.= *Solenopsis geminata*, Ph. Sp. 1= *Pheidole* sp. 1, S.i.= *Stenammina ignotum* y T.a.= *Temnothorax andrei*.

Composición de especies

El análisis de similitud (ANOSIM) realizado para saber si la composición de especies difiere entre temporadas y entre zonas indicó que sí existe una composición diferente tanto entre sitios ($R = 0.016$, $P = 0.008$) como entre temporadas ($R = 0.065$, $P = 0.0001$). Especies como *L. apiculatum* y *F. subcyanea* solo las encontramos en la ZN y *S. ignotum* solo en la ZA. Mientras que a la especie *H. punctatissima* sólo la recolectamos durante la temporada de lluvia (Cuadro 2).

Grupos funcionales y gremios tróficos

En cuanto a los grupos funcionales, el grupo de oportunistas es el más abundante, en las dos zonas y en las dos temporadas, seguidas de Dolichoderinae dominantes. Los grupos con menor número de individuos presentes en ambas zonas y temporadas son Camponotini subordinadas y las especies crípticas (Figura 5). Sin embargo, al realizar el análisis PERMANOVA encontramos que no hay un efecto significativo ni de la zona ($F_{1,20} = 1.45$, $P = 0.15$) ni de la temporada ($F_{1,20} = 0.75$, $P = 0.65$) sobre la abundancia de los grupos funcionales, ni tampoco hubo efecto significativo de la interacción temporada por zona ($F_{1,20} = -0.96$, $P = 0.1$).

Respecto a la riqueza, el grupo funcional que tuvo mayor número de especies, en los dos tipos de zona y en las dos temporadas fue Myrmicinae generalistas. Las Especialistas de climas fríos tuvieron más especies en las ZN en la temporada de lluvia. Los grupos con menos especies en general fueron las Camponotini subordinadas, las Especies crípticas y las Especialistas de clima tropical (Figura 6). A pesar de lo anterior, no encontramos un efecto significativo del tipo de zona ($F_{1,20} = 1.42$, $P = 0.19$), ni de la temporada ($F_{1,20} = 1.8$, $P = 0.10$), ni de la interacción zona por temporada ($F_{1,20} = -0.93$, $P = 0.89$) sobre la riqueza de los grupos funcionales.

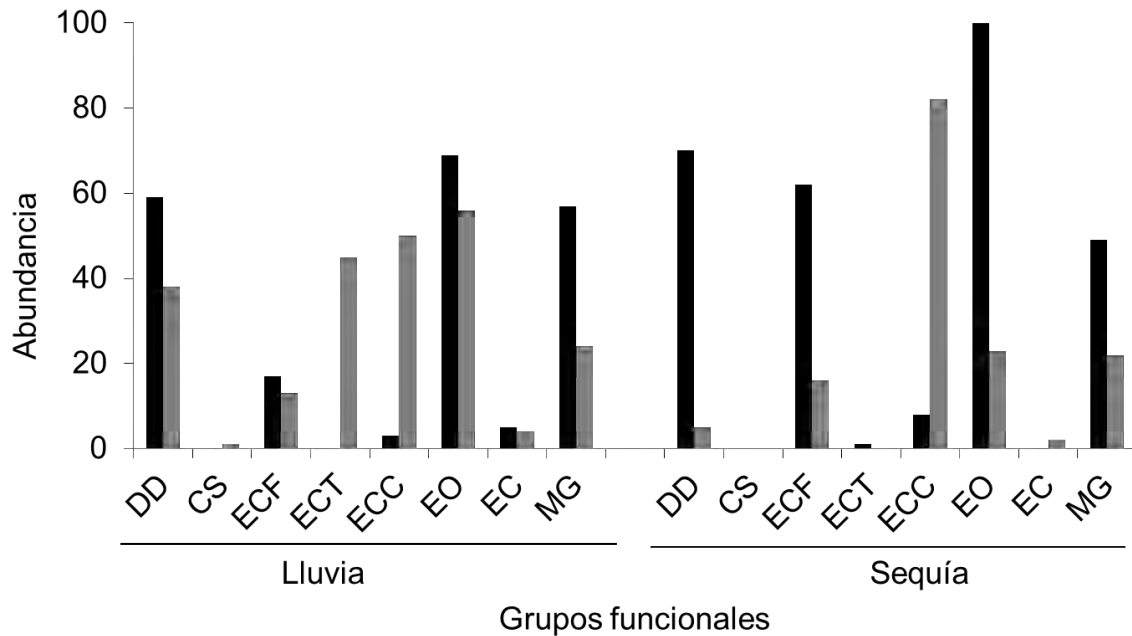


Figura 5. Grupos funcionales presentes en ZN (negro) y ZA (gris) en dos las temporadas. DD: Dolichoderinae dominantes, CS: Camponotini subordinada. ECF: Especialistas a clima frío, ECT: Especialistas a climas tropicales, ECC: Especialistas a climas cálidos, EO: Especies oportunistas, EC: Especies crípticas y MG: Mirmicinae generalistas.

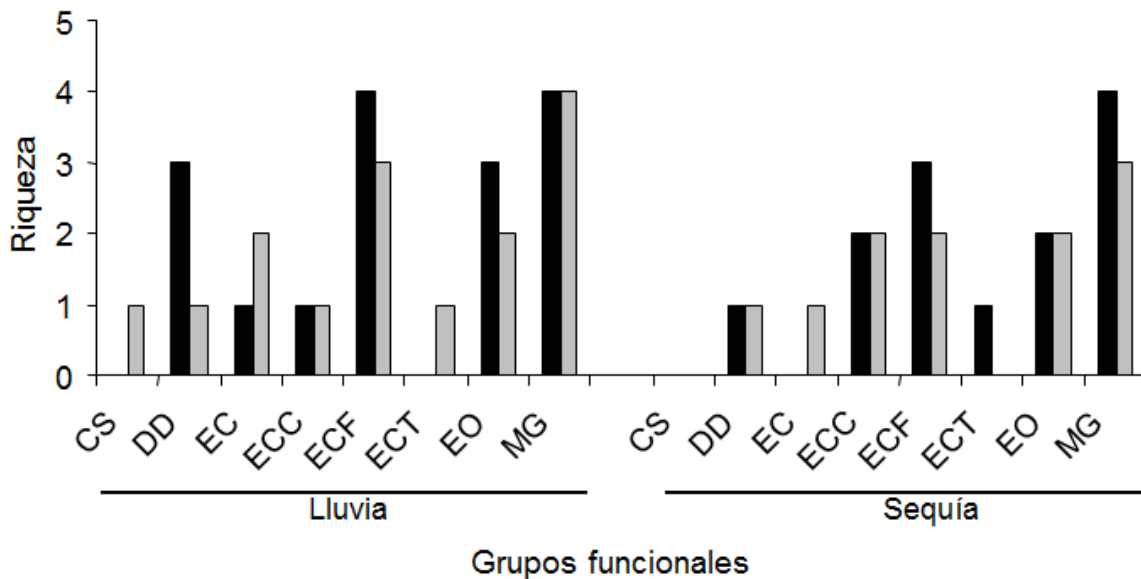


Figura 6. Riqueza de los grupos funcionales presentes en ZN (negro) y ZA (gris) en las dos temporadas.

Las hormigas que recolectamos en la REPSA fueron clasificadas en tres gremios tróficos: Depredadoras, Omnívoras y Granívoras. El grupo de las Omnívoras fue el más abundante en ambas zonas y temporadas, sin embargo, no encontramos un efecto significativo ni de la temporada ($F_{1,20} = 0.61$, $P = 0.64$) ni de la zona ($F_{1,20} = 1.04$, $P = 0.31$) sobre la abundancia de los gremios tróficos. Tampoco encontramos un efecto en la interacción temporada por zona ($F_{1,20} = 0.64$, $P = 0.83$; Figura 7).

El gremio de las omnívoras fue el que tuvo más especies tanto en ZN como en ZA, siendo mayor en las ZN en la temporada de lluvias. El análisis de la riqueza para los gremios tróficos mostró que hay un efecto significativo de la temporada ($F_{1,20} = 2.4$, $P = 0.03$) pero no de la zona ($F_{1,20} = 1.10$, $P = 0.31$) ni de la interacción temporada por zona ($F_{1,20} = -0.96$, $P = 0.8$) sobre esta variable. Al analizar a cada gremio por separado encontramos que solo hubo un efecto significativo de la temporada para el gremio de las omnívoras ($F_{1,20} = 3.4$, $P = 0.01$; Figura 8).

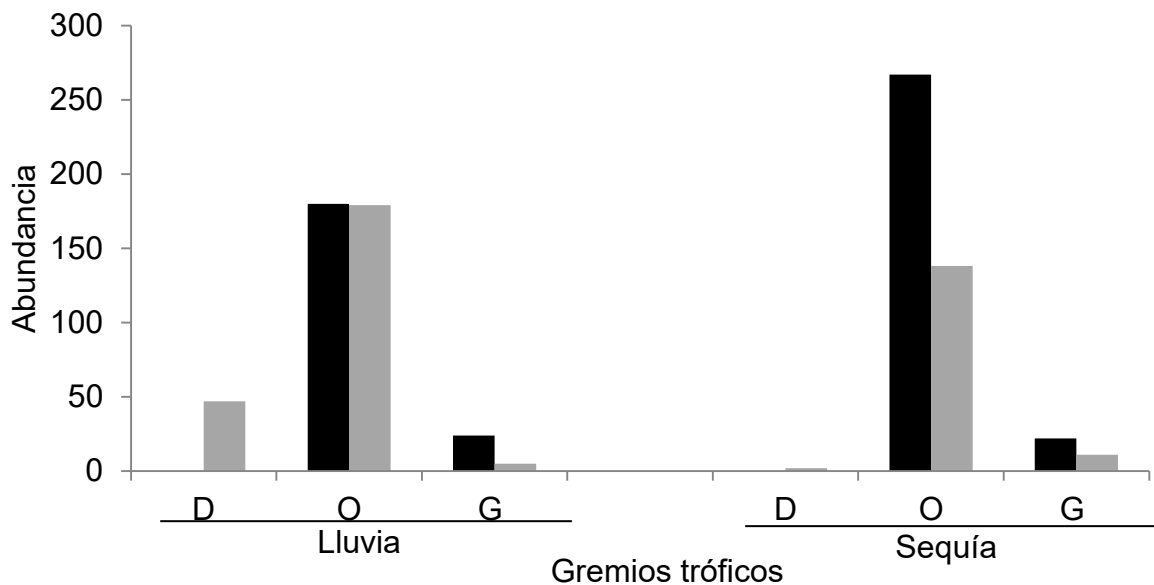


Figura 7. Abundancia de los gremios tróficos en ZN (negro) y ZA (gris) en las dos temporadas. D= Depredadoras, O=Omnívoras y G=Granívoras.

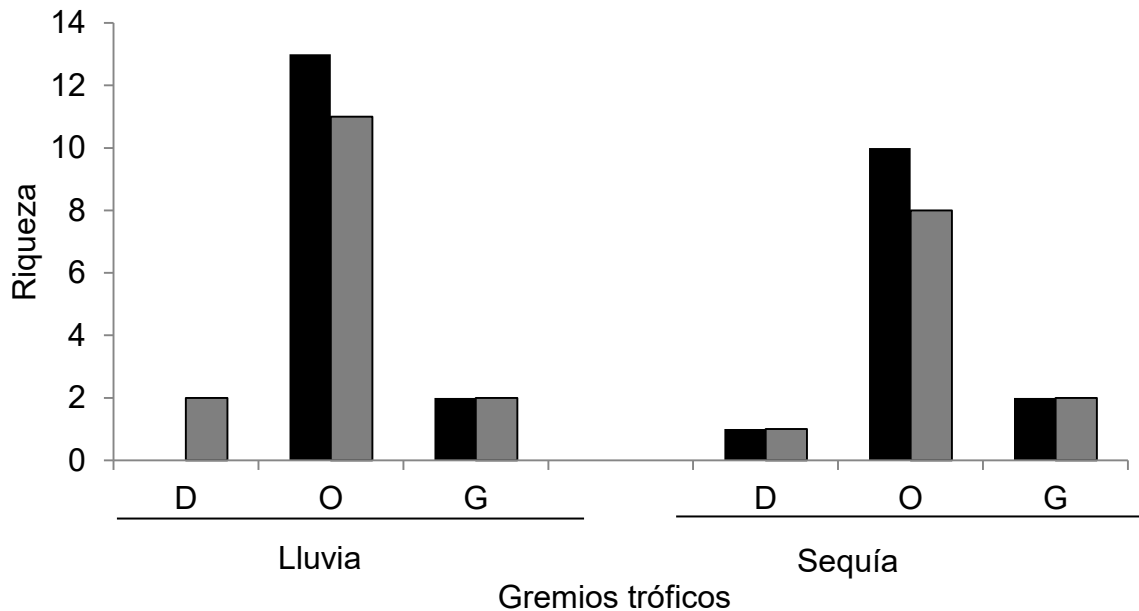


Figura 8. Riqueza de los gremios tróficos presentes en la hojarasca de la REPSA, ZN (Negro), ZA(gris), en ambas temporadas.

Relación de riqueza y abundancia con precipitación

Para analizar la posible relación entre la riqueza, la abundancia y la diversidad con la precipitación, utilizamos los datos mensuales obtenidos para cada una de estas variables. Para la riqueza de especies de hormigas encontramos que para la zona núcleo en los meses de octubre (11) y junio (9) hay la mayor riqueza de hormigas, mientras que en la zona de amortiguamiento, los meses con la mayor riqueza fueron abril, julio y octubre (9) (Figura 9).

En cuanto a la abundancia, la mayor ocurrió en marzo en la zona núcleo y en octubre en la zona de amortiguamiento (Figura 10). Con respecto a la precipitación, los meses de junio a octubre presentaron los valores más altos, siendo junio el mes con la mayor cantidad de lluvia (Figuras 9 y 10).

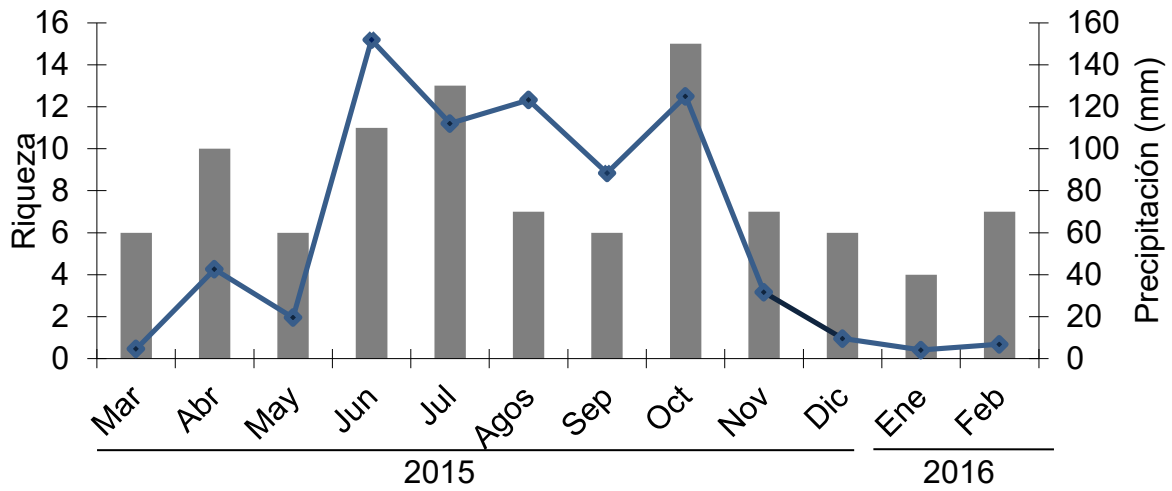


Figura 9. Riqueza mensual de hormigas (barras) y precipitación total mensual (líneas) para la REPSA.

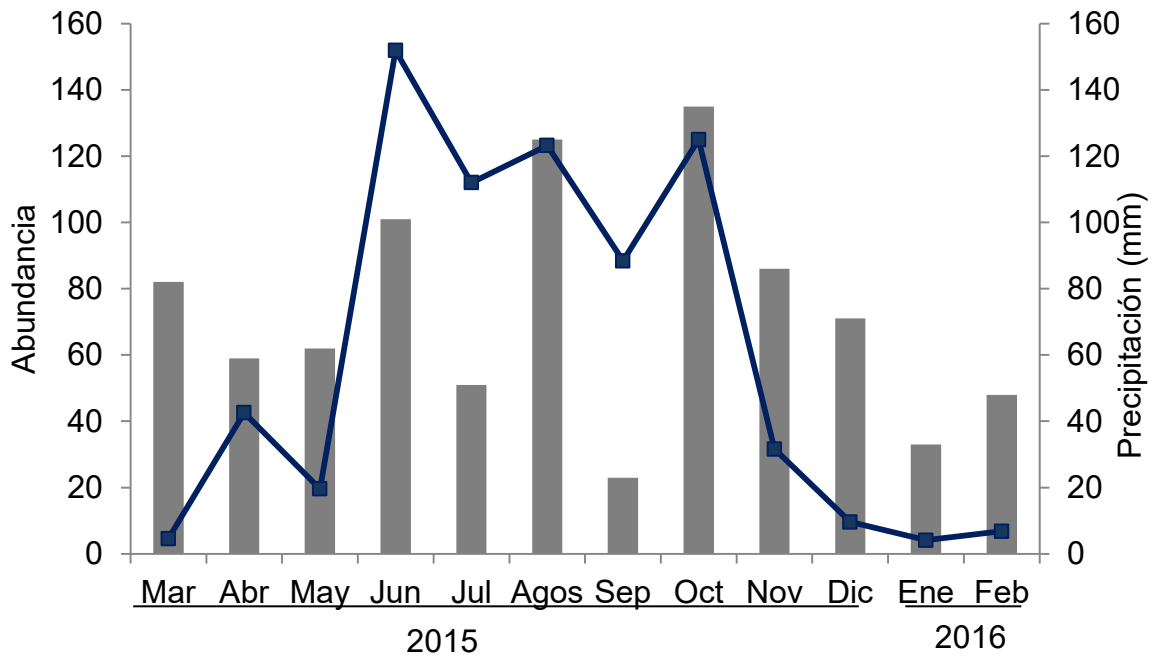


Figura 10. Abundancia mensual de hormigas (barras) y precipitación total mensual (líneas) para la REPSA.

La correlación entre la riqueza total de hormigas de la REPSA y la precipitación total mensual no fue significativa ($F = 0.025$, $P = 0.6$), sin embargo, al retrasar un mes la precipitación, la correlación con la riqueza sí fue significativa ($R^2 = 0.49$, $F = 9.6$, $P = 0.01$; Figura 11). La abundancia de hormigas y la diversidad también se correlacionaron con la precipitación recorrida un mes y en ambos casos la correlación fue significativa ($R^2 = 0.39$, $F = 5.8$, $P = 0.04$; $R^2 = 0.39$, $F = 6.5$, $P = 0.03$; respectivamente; Figuras 12 y 13).

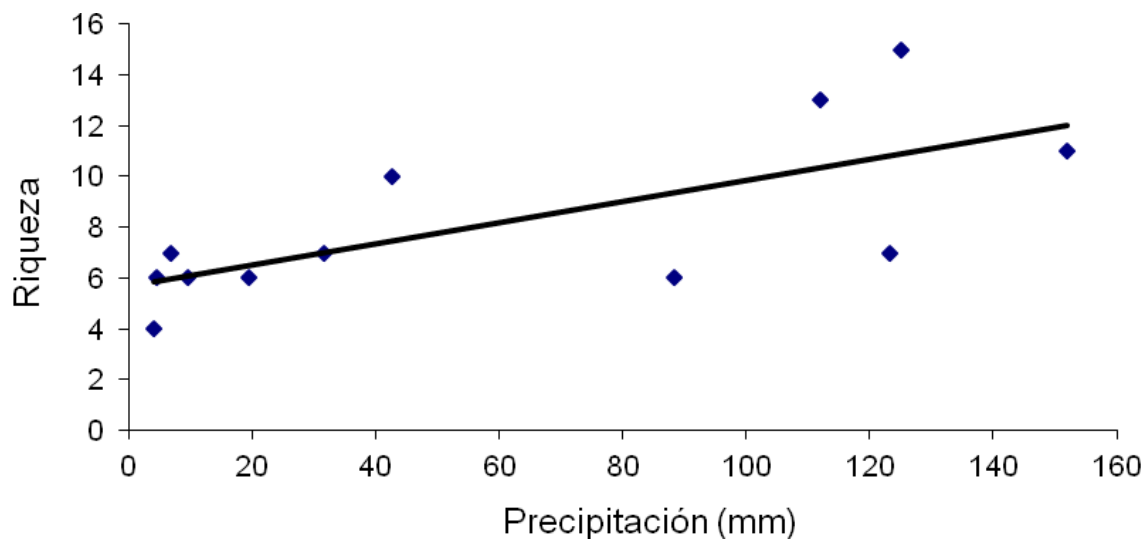


Figura 11. Correlación entre la precipitación total mensual y la riqueza de hormigas de la REPSA.

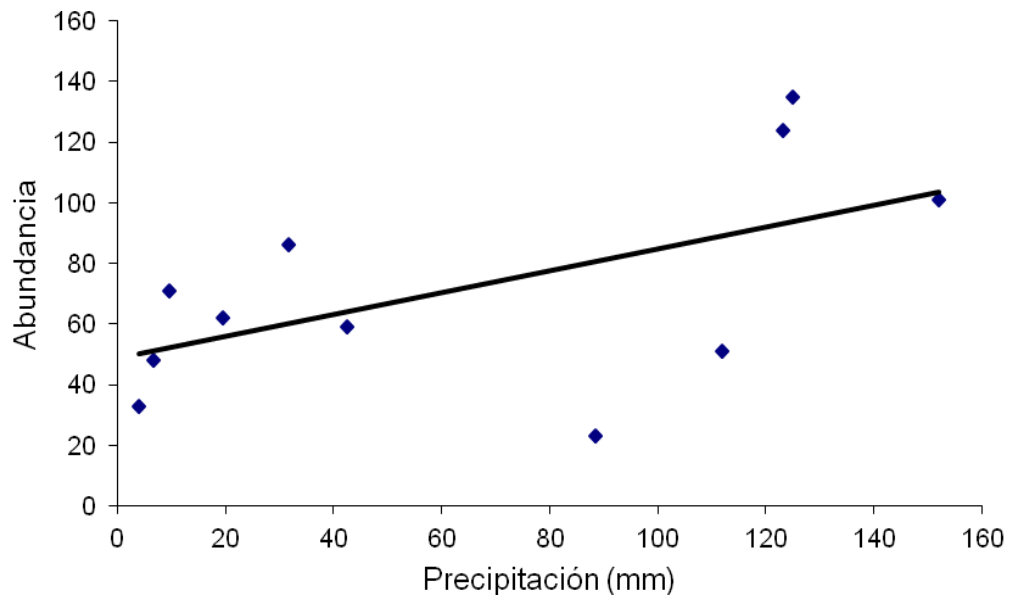


Figura 12. Correlación entre la precipitación total mensual y la abundancia de hormigas de la REPSA.

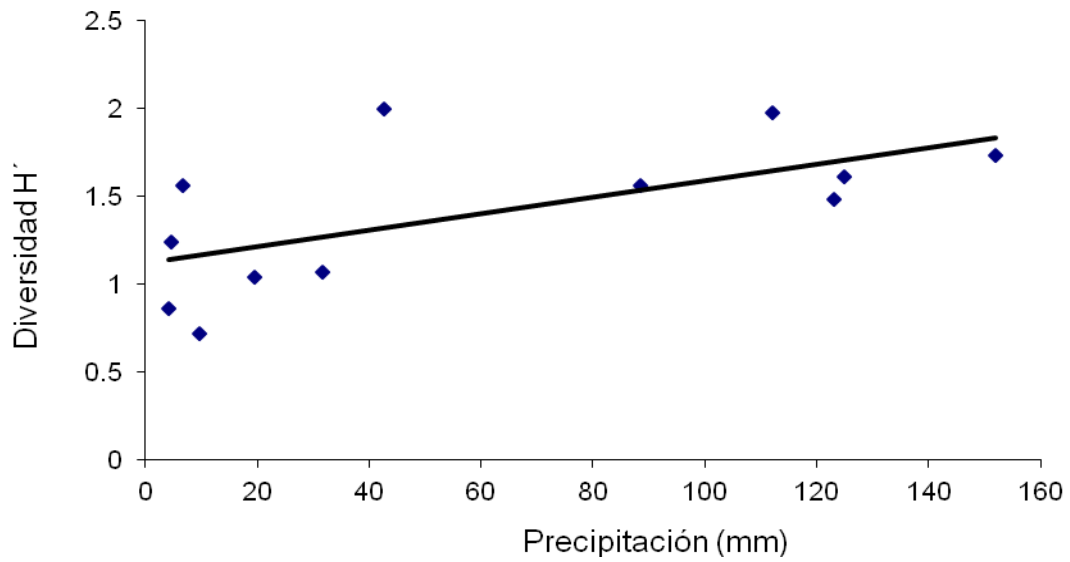


Figura 13. Correlación entre la precipitación total mensual y la diversidad de hormigas (H') de la REPSA.

Acumulación de especies

Con respecto a la acumulación de especies, las curvas observadas y esperadas indicaron que en las zonas núcleo conocemos aproximadamente el 75% de las especies esperadas (Figura 14), mientras que en las zonas de amortiguamiento obtuvimos el 79% aproximadamente (Figura 15).

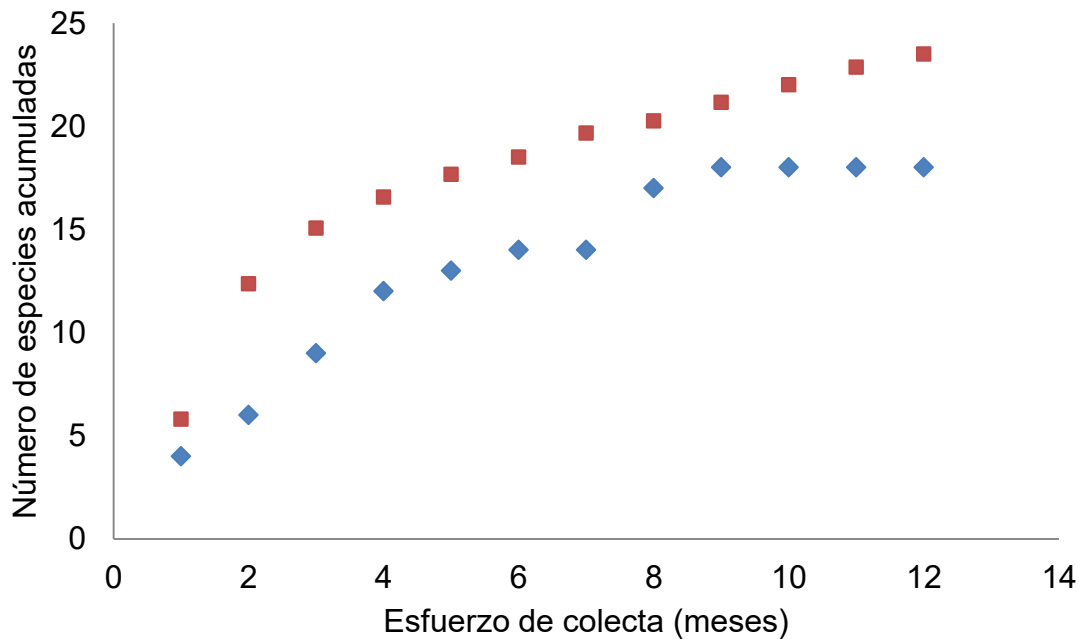


Figura 14. Curva de acumulación de especies de hormigas de la zona núcleo Poniente de la REPSA. Los cuadrados indican la curva de especies esperadas y los rombos, el número de especies observadas.

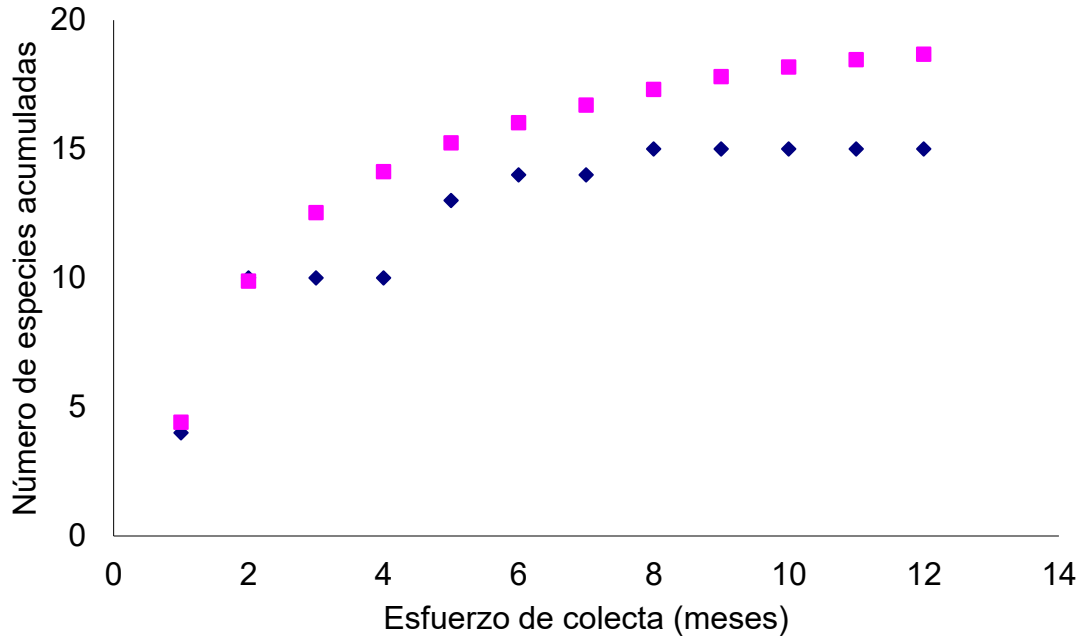


Figura 15. Curva de acumulación de especies de hormigas para las zonas de amortiguamiento aledañas a la ZN Poniente de la REPSA. Los cuadros indican la curva de especies esperadas y los rombos las especies observadas.

Comparación entre métodos

Encontramos diez especies colectadas sólo con tamiz entomológico, una colectada únicamente con extractores mini-Winkler y nueve colectadas con ambos métodos (Cuadros 3 y 4). Cuando analizamos la composición de especies obtenida por cada método, encontramos que sí existen diferencias. Hallamos estas diferencias tanto en la ZN ($R = 0.284$, $P = 0.0001$) como en la ZA ($R = 0.3919$, $P = 0.0001$), aunque estos resultados deben interpretarse con cuidado ya que los métodos no son estrictamente comparables.

DISCUSIÓN

Nuestros resultados muestran que las hormigas de la hojarasca responden principalmente a cambios estacionales, es decir, la abundancia y riqueza de hormigas dependen más de la temporada que del tipo de zona. Encontramos la mayor riqueza y diversidad de hormigas en la temporada de lluvia aunque la mayor abundancia la encontramos en la temporada de sequía.

Al comparar nuestros resultados con los de estudios realizados en ambientes con características semejantes a las de la REPSA, encontramos que la abundancia de hormigas responde claramente a cambios estacionales. Por ejemplo, en un matorral xerófilo del estado de Hidalgo, se encontró la mayor abundancia de hormigas durante los meses en que no hay precipitación (Varela-Hernández, 2013), de la misma manera que en el Valle de Tehuacán la mayor abundancia ocurrió durante la sequía (Guzmán-Mendoza *et al.*, 2010).

Se ha propuesto que la abundancia mayor en sequía se debe a la presencia de especies dominantes con hábitos generalistas, las cuales pueden utilizar diferentes recursos y mantener sus poblaciones sin que les afecte la ausencia de precipitación (Brown, 2000; Ríos-Casanova *et al.*, 2006). Esto coincide con nuestros resultados, ya que en la temporada de sequía se obtuvo la abundancia mayor en la ZN. Este resultado puede ser debido a que estas zonas, al presentar sitios cerrados y con menor incidencia de luz muestran poca humedad durante la temporada de sequía favoreciendo las condiciones para que las hormigas puedan salir a forrajear con más facilidad, además la abundancia en esta temporada está representada principalmente por dos especies (*N. bruessi* y *F. pruinosus*) las cuales son especies generalistas y pueden encontrarse en casi cualquier tipo de hábitat, ya que logran soportar diferentes temperaturas. Por el contrario, en la temporada de lluvia, la abundancia mayor se presentó en las ZA las cuales se caracterizan porque la mayoría de estos son sitios abiertos con radiación solar, por lo que ésta radiación puede disminuir la humedad más rápido y por lo tanto permite a las hormigas salir de sus nidos a forrajear eficientemente. Cuando hay humedad en el suelo y hojarasca, el forrajeo resulta más difícil para las hormigas,

ya que sus apéndices se humedecen y quedan adheridos impidiéndoles el movimiento, además, la humedad puede borrar las señales químicas que dejan las obreras (Rojas 2001).

Se sabe que la actividad y abundancia de las hormigas es controlada por factores como la precipitación y productividad primaria. También se ha determinado que la precipitación condiciona la riqueza y composición de especies (Fontalvo-Rodríguez y Domínguez-Haydar, 2009) ya que puede predecir la producción de recursos alimentarios para las hormigas, esto es, la productividad primaria aumenta, generando mayor cantidad de alimento y sitios de anidación (Morton y Davidson, 1988). La alta disponibilidad de recursos puede representar una menor competencia entre las especies de hormigas, permitiendo que más especies puedan coexistir, incrementando así la riqueza y diversidad.

De acuerdo con lo anterior, al analizar el índice de Shannon obtuvimos que la mayor diversidad de hormigas tanto en ZN como en ZA ocurrió en la temporada de lluvias, tal como lo sugiere la literatura antes mencionada. Lo mismo pasó con la riqueza de especies de hormigas ya que en la temporada de lluvias se obtuvo un mayor número de especies en ambas zonas debido a que la riqueza de hormigas tiende a incrementar conforme aumenta la precipitación (Ríos-Casanova *et al.*, 2004). El hecho de que la abundancia de hormigas sea mayor en la temporada de sequía y que la diversidad y riqueza sean mayores en lluvias, puede deberse, como ya se había mencionado, a la presencia de especies dominantes, en este caso *N. bruessi* y *F. pruinosus* alcanzaron abundancias mayores en la temporada de sequía, mientras que en la temporada de lluvias no hubo ni una especie con altas abundancias, al no haber especies dominantes, permite que haya más diversidad y riqueza de especies de hormigas.

En la reserva, encontramos especies de hormigas que dominan y algunas especies que son raras, que únicamente pudimos obtener algunas veces durante los muestreos. En este estudio la especie dominante fue *N. bruessi* que es una especie oportunista que anida en hojarasca, troncos podridos o debajo de rocas (Branstetter y Saenz, 2012). Esta especie no tiene dietas especializadas, así que aprovecha cualquier tipo de alimento que se encuentre cerca de sus nidos, se

caracteriza por encontrarse en sitios perturbados, además de considerarse una especie cosmopolita ya que vive en una amplia gama de hábitats (LaPolla *et al.*, 2011). En el presente trabajo esta especie la encontramos en prácticamente todos los meses y en ambas zonas y temporadas. Otras dos especies que fueron numéricamente abundantes fueron *F. pruinosus* y *S. geminata* ambas son omnívoras y es fácil encontrarlas en ambientes antropogénicos y perturbados, por lo que generalmente su abundancia es mayor que la de otras especies (Lara-Villalón *et al.*, 2015).

En cambio, las especies raras que obtuvimos durante el estudio, tienen una dieta más especializada y, que dependiendo de la temporada o zona, pueden o no encontrarse activas, por lo que su abundancia es mucho menor. Por ejemplo *Stenamma ignotum*, se caracteriza por su tolerancia a ambientes fríos y húmedos, es una especie depredadora que construye nidos pequeños en la hojarasca, las obreras se mueven muy lentamente volviéndose casi inmóviles ante la perturbación. Es raro observarla forrajeando, la mayoría de las colectas de esta especie se han hecho tamizando la hojarasca (Branstetter, 2013; Ward, 2000). Durante el estudio encontramos muy pocos individuos de *S. ignotum* lo que puede deberse a que la REPSA tiene un ambiente más seco, sin embargo, los individuos encontrados de esta especie fueron obtenidos de las zonas de amortiguamiento, específicamente las que se encuentran cerca del jardín botánico, donde hay más actividad humana y donde se van formando montículos de hojarasca causados por las actividades de mantenimiento del jardín, provocando que la hojarasca se quede acumulada en un solo sitio, lo que puede modificar variables como la humedad y cantidad de materia orgánica que favorezcan la presencia de *Stenamma* (Lot y Cano-Santana 2009; Ward, 2000).

De las 20 especies reportadas en este trabajo, 11 de ellas son consideradas especies asociadas a la hojarasca, las cuales fueron obtenidas en gran mayoría con el tamizado al igual que el trabajo de Ward (2000).

Dentro de las especies raras también se consideran aquellas especies que no viven o forrajean en la hojarasca y que sólo se encontraron eventualmente, en este caso nos referimos a *C. atriceps* y *F. subcyanea*. *Camponotus atriceps* es

una especie generalista en cuanto a su alimentación y los sitios de anidación (Lara-Villalón *et al.*, 2015), sin embargo, la mayoría de las especies pertenecientes al género *Camponotus* son frecuentemente más activas durante la noche (Ward 2005), por lo que sólo obtuvimos dos individuos durante todo el año del muestreo debido a que las colectas, con los dos métodos utilizados, fueron realizadas durante el día. Además *Camponotus* forrajea sobre troncos de árboles y herbáceas, por lo que no es frecuente encontrarla asociada a la hojarasca. La otra especie ocasional fue *F. subcyanea* representada con un solo individuo, de esta especie concretamente no hay mucha información pero se sabe que los miembros de este género prevalecen más en hábitats húmedos, pocas son las especies que prefieren lugares más secos (Ward 2005).

Para la reserva se han reportado ocho grupos funcionales propuestos por Andersen (1997). A diferencia del estudio de Hernández (2010) quien reportó a Mirmicinas generalistas como el grupo representativo, en este estudio el grupo con especies de mayor abundancia fue el de especies oportunistas, las cuales poseen alta tolerancia a variaciones en el hábitat y es muy probable encontrarlas en sitios perturbados (García, 2016). Con estos resultados podemos decir que nuestras hipótesis solo se cumplen parcialmente ya que esperábamos encontrar a las especies oportunistas en las ZA, sin embargo, ocurrió lo contrario, suponemos que esto muestra que a las especies oportunistas no les afecta ni la zona ni la temporada, por lo que fue posible encontrarlas durante todo el año de muestreo. Las diferencias mostradas entre el presente estudio y el de Hernández puede deberse a que nosotros estudiamos a las hormigas asociadas a la hojarasca, mientras que Hernández trabajó con hormigas del suelo, además de que las colectó por medio del uso de cebos.

Respecto a los gremios tróficos, encontramos a los grupos que frecuentemente son encontrados en otros estudios (omnívoras, depredadoras y granívoras; Rojas 2001). El gremio predominante en este estudio fue el de las especies omnívoras conformando el 80 % del total encontrado; las granívoras y depredadoras únicamente representan el 10 % cada una. Esto coincide con el trabajo de Rojas (2001) donde recopila información de las hormigas del suelo de

México, reportando que el gremio de las omnívoras es el dominante, seguido de las depredadoras. Aunque esto puede variar de acuerdo a la región geográfica y el ecosistema.

Las correlaciones positivas de abundancia, riqueza y diversidad de hormigas con la precipitación mensual desfasada, reflejan que el efecto de la precipitación no es inmediato sobre las hormigas, sino que está mediado a través de la productividad (Ortega y Hernández, 1983) por lo que la respuesta puede observarse tiempo después. Otros estudios han utilizado esta misma forma de correlación, es decir, desfasando uno o más meses la respuesta de los organismos con respecto a la precipitación y han encontrado correlaciones significativas, lo cual indica que las repuestas de los organismos no son inmediatas sino que ocurren tiempo después de que se han dado los eventos de lluvia (Pinheiro *et al.*, 2002; Kato *et al.*, 1995).

Con respecto a las especies de hormigas de la REPSA, en este estudio los resultados muestran que se conoce más de la tercera parte de especies de hormigas, de acuerdo al número de especies esperadas calculadas con el estimador Jackknife de primer orden. Obtuvimos 18 de las 24 especies esperadas para las ZN que equivalen al 75% y 15 de las 19 esperadas para las de amortiguamiento que representan el 79%. Es por esto que las gráficas no muestran que se haya llegado a una asíntota para las ZN, por lo tanto si el muestreo continuara se esperaría encontrar más especies. Por el contrario, en las ZA las curvas llegan a una aparente asíntota, sin embargo esto no significa que se conozca a todas las especies de hormigas de estas zonas. De acuerdo con las estimaciones hechas con Jackknife de primer orden, aún esperamos encontrar, al menos, cuatro especies más.

Para el estudio de las hormigas aún no existe el mejor método, ya que los objetivos de cada investigación determinan que tipo de método y la intensidad de muestreo a utilizar (Agosti *et al.*, 2000). A pesar de esto, los métodos más utilizados para el estudio de las comunidades de hormigas son las trampas pitfall, extractores Winkler, cebos de alimentos y colecta manual (Orsolon- Souza *et al.*, 2011). En nuestro caso, utilizamos dos métodos: extractores mini-Winkler y tamiz

entomológico que son las más adecuadas para hormigas de hojarasca. El análisis de similitud realizado para comparar la composición de especies de hormigas según el método empleado indicó que el método de recolecta si afecta a la composición de especies de hormigas que se colecta. La diferencia en la abundancia de acuerdo a cada método es muy notable, ya que encontramos una mayor abundancia con el método del tamiz. Sin embargo, esto no afirma que los extractores mini-Winkler no sean adecuados para estudiar a las hormigas de la hojarasca (Ward, 2000), sino que la manipulación de las muestras de los extractores debe hacerse de forma más rápida y cuidadosa para evitar que los individuos escapen durante el paso de la muestra al extractor y durante el traslado al laboratorio. Trabajos anteriores con extractores Winkler han obtenido buenos resultados debido a que el paso a los extractores se realiza en el mismo sitio de colecta (Ward, 2000). Por esta razón, podríamos considerar que nuestros métodos no son comparables, sin embargo, hicimos una comparación, únicamente de la composición y, como esperábamos, ésta fue muy diferente de acuerdo al método empleado.

Debido a que las hormigas establecen múltiples interacciones con otras plantas y animales y a que llevan a cabo labores fundamentales para el funcionamiento del ecosistema, el estudio de los cambios espaciales y temporales de las hormigas que habitan la hojarasca en la REPSA es muy importante para entender la dinámica de sus comunidades y la dinámica de la reserva en general. El conocimiento de las comunidades de hormigas, su diversidad, sus grupos funcionales y los gremios tróficos a las que estos insectos pertenecen puede ser muy útil al momento de establecer programas de manejo y conservación de esta reserva.

CONCLUSIONES

- Encontramos 20 especies de hormigas asociadas a la hojarasca en la REPSA, de las cuales, 11 se reconocen como típicas de hojarasca.
- La riqueza de especies de hormigas asociadas a la hojarasca en la REPSA no difiere entre zonas pero sí entre temporadas, siendo la temporada de lluvia donde encontramos mayor número de especies.
- La abundancia fue diferente entre zonas y temporadas. Las mayores abundancias ocurrieron en las zonas núcleo en la temporada de sequía y en las zonas de amortiguamiento durante la temporada lluviosa.
- Las especies más abundantes fueron *N. bruessi*, *F. pruinosus* y *S. geminata*.
- La mayor diversidad de hormigas en ambas zonas se presentó en la temporada de lluvia.
- La precipitación se correlacionó positivamente con la riqueza, la abundancia y la diversidad de hormigas.

LITERATURA CITADA

- Agosti D, Majer D.J., Alonso L., Schultz T. 2000. *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*, Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- 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.
- Anderson M.J. 2005. *PERMANOVA: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance*. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand.
- AntWeb. 2017. AntWeb v6.53. *California Academy of Sciences*. San Francisco, California, U.S.A. World Wide Web electronic publication <http://www.antweb.org> (abril/2017).
- Arango G. A. 2006. *Heterogeneidad Espacial y Dinámica de la descomposición de hojarasca de cuatro especies abundantes en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel*. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 78 pp.
- Armbrrecht I. y Armbrrecht H. 1997. Observaciones sobre la variación espacial y temporal de hormigas en un bosque del Choco colombiano (Arusi). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 5:15-33.
- Barrientos L. Z. 2003. *Zoología general*. EUNED. San José, Costa Rica. 481 pp.
- Bautista-Hernández C. E., Monks S., Pulido-Flores G. 2013. Los parásitos y el estudio de su biodiversidad: un enfoque sobre los estimadores de la riqueza de especies. *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas* 2: 13-17.

- Bestelmeyer B.T., Agosti D., Alonso L.E, Brandão C.R., Brown W.L., Delabie J.H., Silvestre R. 2000. Field techniques for the study of ground-dwelling ants. In: Agosti D, Majer DJ, Alonso L, Schultz T. (eds) *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*, pp. 122-144. Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- Bestelmeyer B.T. y Wiens J.A. 2003. Scavenging ant foraging behavior and variation in the scale of nutrient redistribution among semi-arid grasslands. *Journal of Arid Environments* 53:373-386.
- Bolton B. 1994. *Identification guide to the ant genera of the world*. Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts. 232 pp.
- Branstetter M.G. y Sáenz L. 2012. Las hormigas (hymenoptera: formicidae) de Guatemala. *Biodiversidad* 2: 221-268.
- Branstetter M.G. 2013. Revision of the Middle American clade of the ant genus *Stenammas* Westwood (Hymenoptera, Formicidae, Myrmicinae). *ZooKeys* 295: 1–277.
- Brown W.L. Jr. 2000. Diversity of ants. 45-69. In: Agosti D., Majer J. D., Alonso L.E. y Schultz T.R. (eds.). *Ants-standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. *Biological Diversity Handbook Series*, Smithsonian Institution Press. Washington D.C.
- 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.
- Colwell R. K. 1997. EstimateS: Stistical estimation of species richness an shared species from samples. Versión 5. User's guide and aplicacion. Published at: <http://viceroy.eeb.unconn.edu/estimates>.

- De la Fuente 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, Universidad Nacional Autónoma de México 3813: 14-15, 22-23.
- Farfán B. M. E. 2016. *Estructura de la comunidad de artrópodos en sitios conservados, perturbados y sujetos a restauración ecológica en el Pedregal de San Ángel*. D.F., México Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 67 pp.
- Fisher B.L. y Cover S. P. 2007. *Ants of North America. A guide to the Genera*. University of California Press. 217 pp.
- Folgarait P.J. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and conservation*. 7:1221-1244
- Fontalvo-Rodríguez I. y Domínguez-Haydar Y. 2009. *Ectatomma ruidum* (Roger) como indicadora de diversidad de hormigas cazadoras (Hymenoptera: Formicidae) y relación con estructura vegetal en parches de bosque seco del caribe colombiano. *Intropica* 4:29-39.
- Gaceta UNAM. 2006. *Lineamientos para el desarrollo de actividades dentro de la reserva ecológica del pedregal de san ángel de ciudad universitaria*. Universidad Nacional Autónoma de México. 3924:22-24.
- García V. P. 2016. *Diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en una zona restaurada: La Cantera Oriente del Pedregal de San Ángel*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 52 pp.
- Guerrero R. y Sarmiento C. 2010. Distribución altitudinal de hormigas (Hymenoptera, Formicidae) en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta. *Acta Zoológica Mexicana*, 26:279-302.

- Guzmán-Mendoza R., Castaño-Meneses G. y Herrera-Fuentes M. del C. 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.
- Hammer O. 2016. *Past PAleontological STatistics versión 3.14*. Reference manual. Natural History Museum. University of Oslo, Oslo. 252 pp.
- Hernández G. R. A. 2010. *Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 110.
- Hoffmann B.D. y Andersen A.N. 2003. Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups. *Austral Ecology* 28: 444-464.
- Hölldobler B. y Wilson E.O. 1990. *The Ants*. Belknap Harvard University Press. Cambridge.
- Jiménez V. C. E. 2017. *Diversidad de hormigas (Hymenoptera:Formicidae) del Pedregal de San Ángel: un estudio empleando trampas de caída*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 37 pp.
- Kaspari M. 2003. *Introducción a la ecología de las hormigas*. Capítulo 6. En: Fernández, F. (Ed.) *Introducción a las Hormigas de la región Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- Kato M., Inoue T., Hamid A.A., Nagamitsu T., Merdek M.B., Nona A.R., Itino T., Yamane S. y Yumoto T. 1995. Seasonality and Vertical Structure of Light-Attracted Insect Communities in a Dipterocarp Forest in Sarawak. *Researches on Population Ecology* 37: 59-79.

- LaPolla J.S., Brady S.G., Shattuck S.O. 2011. Monograph of *Nylanderia* (Hymenoptera: Formicidae) of the World: An introduction to the systematics and biology of the genus. *Zootaxa* 3110: 1–9.
- Lara-villalón M., Rosas-Mejía M., Rojas-Fernández P., Reyes-Castillo P. 2015. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) asociadas a palma camedor (*Chamedorea radicalis* mart.) en el bosque tropical, Gómez Farías, Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 31: 270-274.
- Lattke J.E. 2003. *Biogeografía de las hormigas neotropicales*. Capítulo 4. En: Fernández, F. (Ed.) Introducción a las Hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- Lattke J.E. y Rierra-Valera A. 2012. Diversidad de hormigas (Hymenoptera:Formicidae) en la hojarasca y suelo de selvas nubladas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Métodos en Ecología y Sistemática* 7: 20-34.
- Lot A., Cano-Santana Z. 2009. *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal del San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 538 pp.
- Magurran A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press.
- Morton S.R. y Davidson D.W. 1988. Comparative structure of harvester ant Communities in arid Australia and North America. *Ecological Monographs*, 58:19-38.
- Orsolon-Souza G., Esbérard CEL., Mayhé-Nunes AJ., Vargas AB., Veiga-Ferreira S., y Folly-Ramos E. 2011. Comparison between Winkler's extractor and pitfall traps to estimate leaf litter ants richness (Formicidae) at a rainforest site in southeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 71: 873-880.

- Ortega A. y Hernández L. 1983. Abundancia relativa de insectos en un medio estacional; su influencia en la historia de vida de dos iguánidos simpátricos. *Folia Entomológica Mexicana* 55: 129-144.
- Piedra C.G., Lattke B.J., y Santín J. 2016. Patrones de diversidad de hormigas en el bosque nublado de las reservas Arcoiris y El Madrigal, Ecuador. *Bosques latitud cero* 6: 16-31.
- Pinheiro F., Diniz I. R., Coelho D., y Bandeira M. P. S. 2002. Seasonal pattern of insect abundance in the Brazilian cerrado. *Austral Ecology* 27: 132-136.
- Ribas C.R., Campos R.B.P., Schmidt F.A., Solar R.R.C. 2012. Ants as Indicators in Brazil: A Review with Suggestions to Improve the Use of Ants in Environmental Monitoring Programs. *Psyche* 2012: 1-23.
- Ríos-Casanova L. 1993. *Análisis espacial y temporal de la comunidad de artrópodos epífitos del Pedregal de San Ángel, D.F. (México)*. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 60 pp.
- Ríos-Casanova L., Valiente-Banuet A., Rico-Gray V. 2004. Las hormigas del Valle de Tehuacán (Hymenoptera:Formicidae): una comparación con otras zonas áridas de México. *Acta Zoológica Mexicana* 20: 37-54.
- Ríos-Casanova L, Valiente A, Rico-Gray V. 2006. Ant diversity and its relationship with vegetation and soil factors in an alluvial fan of the Tehuacán Valley, México. *Acta Oecologica* 316-323.
- Rios-Casanova L. 2014. Biodiversidad de hormigas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:392-398.
- Rojas P. 2001. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana* 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.
- Sanders N.J., Moos.J. y Wagner D. 2003. Patterns of ant species richness along elevational gradients in an arid ecosystem. *Global Ecology & Biogeography* 12:93-102.
- Silva F.H.O., Delabie J.H.C, Dos Santos G.B., Meurer E., Marques M.I. 2013. Mini-Winkler Extractor and Pitfall Trap as Complementary Methods to Sample Formicidae. *Neotropical Entomology* 42: 351-358.
- 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. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 33pp.
- 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. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 50 pp.
- Varela-Hernández F. 2013. Variación temporal de las comunidades de hormigas en matorral xerófilo con dominancia de *Cephalocereus senilis* y *Stenocereus dumortieri* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México. *Revista Peruana de Entomología* 48: 1-6.
- Vázquez-Bolaños M. 2011. Lista de especies de hormigas (Hymenoptera:Formicidae) para México. *Dugesiana* 18: 95-113.
- Vázquez-Bolaños M. 2015. Taxonomía de Formicidae (Hymenoptera) para México. *Métodos en Ecología y Sistemática* 10: 1-53.

- Verzero-Villalba F.I., A. Sgarbi C., Culebra M.S., E. Ricci M. 2014. Grupos funcionales dominantes de hormigas (Hymenoptera:Formicidae) en pastizales naturales con y sin pastoreo del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía* 113: 107-113.
- Ward P.S. 2000. Broad-Scale Patterns of Diversity in Leaf Litter Ant Communities. 99-122. In: Agosti D., Majer J. D., Alonso L.E. y Schultz T.R. (eds.). *Ants-standard methods for measuring and monitoring biodiversity. Biological Diversity Handbook Series*, Smithsonian Institution Press. Washington D.C.
- Ward P.S. 2005. A synoptic review of the ants of California (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa* 936:3–68.
- Wolda H. 1988. Insect Seasonality: Why?. *Annual Review of Ecology and Systematics* 19: 1-18.