



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

**DIVERSIDAD DE ESCARABAJOS CARÁBIDOS Y
COPRÓFAGOS (COLEOPTERA) EN UN
GRADIENTE DE URBANIZACIÓN EN LA CIUDAD
DE PACHUCA, HIDALGO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A

J U A N R A F A E L C E R Ó N G Ó M E Z

DIRECTOR DE TESIS: DR. IGNACIO ESTEBAN CASTELLANOS STUREMARK

CODIRECTOR DE TESIS: M. EN C. ENRIQUE DAVID MONTES DE OCA TORRES

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO

2016



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Institute of Basic Sciences and Engineering
Área Académica de Biología
Biology Department

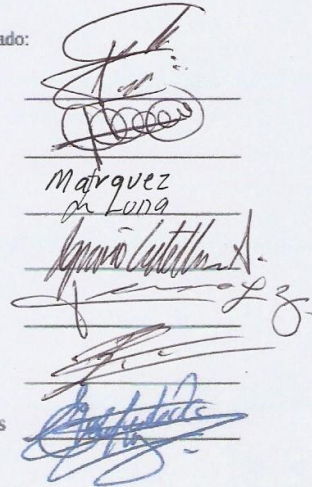
ICBI-AAB/160/2016

M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR, UAEH
PRESENTE

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado al pasante de Licenciatura en Biología Juan Rafael Cerón Gómez, quien presenta el trabajo recepcional de tesis intitulado "Diversidad de escarabajos carábidos y coprófagos (Coleoptera) en un gradiente de urbanización en la ciudad de Pachuca, Hidalgo", después de revisarlo en reunión de sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

PRESIDENTE: Dr. Gerardo Sánchez Rojas
SECRETARIO Dra. Claudia Elizabeth Moreno Ortega
PRIMER VOCAL: Dr. Juan Márquez Luna
SEGUNDO VOCAL: Dr. Ignacio Esteban Castellanos Sturemark
TERCER VOCAL: Dra. Iriana Leticia Zuria Jordan
PRIMER SUPLENTE: Dr. Luis Fernando Rosas Pacheco
SEGUNDO SUPLENTE: M. en C. Enrique David Montes de Oca Torres



Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi más atenta consideración.

ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
 Mineral de la Reforma, Hidalgo a 22 de enero de 2016

Ulises Iturbe Acosta
BIOL. ULISES ITURBE ACOSTA

COORDINADOR DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA



C.C.P. Archivo
 USAmbh



Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
 Colonia Carboneras
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Tel. +52 771 7172000 exts. 6640 y 6642, Fax 2112
 aab_icbi@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

DEDICATORIAS

El presente trabajo está dedicado a mis padres por todo el apoyo y esfuerzo recibido en mi preparación académica, y la dedicación y orientación brindada durante mi camino de vida.

A mis hermanos por el cariño y apoyo a pesar de la distancia que siempre ha sido importante para mí.

AGRADECIMIENTOS

A mamá, papá y hermanos quienes siempre me han brindado todo su apoyo.

A Karina Cué (nenita) por todo lo que hemos podido lograr. Gracias por tu apoyo, presencia, cariño y amor.

Al Dr. Ignacio Castellanos por permitirme realizar este trabajo bajo su dirección, el apoyo otorgado en su elaboración y la motivación para involucrarme en la entomología y la ciencia en general.

A la Dra. Iriana Zuria por la motivación de cada semestre desde el inicio con sus tutorías y el apoyo en la realización de este trabajo.

Al M. en C. Enrique Montes de Oca por la ayuda en la taxonomía de los carábidos y la codirección de este trabajo.

Al Dr. Fernando Rosas por su ayuda no solo en la elaboración de este trabajo sino durante las clases universitarias y la gran amistad y confianza que me ha otorgado.

A los doctores Juan Márquez, Claudia Moreno y Gerardo Sánchez, por sus valiosas aportaciones que han permitido mejorar este trabajo y al M. en C. Luis Leonardo Delgado Castillo por la ayuda en la taxonomía de los escarabajos escarabaeinos.

A Ricky, Arthur, Mich, John, Neto, Eduar, Shop, Leo, Quique por ser amigos desde siempre.

Parte importante de este proceso fueron: Rodri, Román, Jaimito, Leo, Fer, Sandra, Karen, Jaz, Alejandro, Ingrid, Chay, Ivy, Grey y a todos mis compañeros "del grupo de la tarde"

A mis compañeros de laboratorio Martha, Janice, Karina, Ada, Eynith, Maryev, Hublester, Elsi, Ara, por su compañía y apoyo durante esta etapa.

Al al Fondo Mixto-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (FOMIX CONACyT) por el apoyo al proyecto 191908 "Diversidad Biológica del Estado de Hidalgo (tercera etapa)"

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 6 |
| INTRODUCCIÓN | 7 |
| ANTECEDENTES..... | 9 |
| EFECTOS DE LA URBANIZACIÓN SOBRE DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS | 9 |
| URBANIZACIÓN Y DIVERSIDAD TAXONÓMICA..... | 10 |
| GENERALIDADES DE LA FAMILIA CARABIDAE | 11 |
| GENERALIDADES DE LA SUBFAMILIA SCARABAEINAE | 13 |
| EFECTOS DE LA URBANIZACIÓN EN CARABIDAE Y SCARABAEINAE | 15 |
| INVENTARIOS BIOLÓGICOS..... | 16 |
| OBJETIVOS | 17 |
| GENERAL | 17 |
| PARTICULARES | 18 |
| HIPÓTESIS..... | 18 |
| MÉTODO..... | 18 |
| ZONA DE MUESTREO | 18 |
| SITIOS DE MUESTREO | 20 |
| TRAMPAS | 25 |
| COLECTA | 27 |
| PROCESAMIENTO DE EJEMPLARES..... | 28 |
| ANÁLISIS DE DATOS | 28 |
| RESULTADOS..... | 30 |
| RELACIÓN ENTRE LA ABUNDANCIA Y RIQUEZA DE ESCARABAJOS Y LA URBANIZACIÓN..... | 34 |
| RELACIÓN ENTRE LA DIVERSIDAD TAXONÓMICA DE ESCARABAJOS Y LA URBANIZACIÓN..... | 35 |
| DISCUSIÓN | 37 |
| INVENTARIO DE ESCARABAJOS CARÁBIDOS Y ESCARABAEINOS EN LA ZONA METROPOLITANA DE PACHUCA | 37 |
| RELACIÓN ENTRE LA RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE ESCARABAJOS CARÁBIDOS Y ESCARABAEINOS Y LA URBANIZACIÓN | 39 |
| RELACIÓN ENTRE LA DIVERSIDAD TAXONÓMICA DE ESCARABAJOS CARÁBIDOS Y LA URBANIZACIÓN..... | 41 |
| CONCLUSIONES | 44 |
| RECOMENDACIONES | 44 |
| LITERATURA CITADA..... | 45 |

RESUMEN

En las últimas décadas el cambio de la población humana de rural a urbana ha ocasionado un incremento de la urbanización y la disminución de las zonas rurales y los hábitats naturales. La urbanización consiste en una serie de procesos de transformación, los cuales se ven reflejados al incrementar la densidad de la población humana, surgiendo una necesidad de cambios en el uso del suelo con asentamientos humanos en un área determinada. A pesar de ser un fenómeno mundial, aún se sabe poco sobre los efectos que tienen estos cambios sobre las comunidades de insectos y son pocos los trabajos en los que se comparan los efectos de la urbanización en diferentes grupos taxonómicos.

En este trabajo se dan a conocer las especies de dos grupos de escarabajos (Carabidae y Scarabaeinae) que habitan en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo y se analiza si la riqueza y abundancia de los dos grupos de escarabajos y la diversidad taxonómica de los carábidos disminuye con la urbanización.

Entre los meses de mayo y octubre del 2014 se colectaron en 14 diferentes sitios en la zona metropolitana de Pachuca un total de 1020 individuos de escarabajos, 540 de la familia Carabidae representados en 4 subfamilias, 9 tribus, 12 géneros y 14 especies y 480 de la subfamilia Scarabaeinae representados en 3 tribus, 3 géneros y 5 especies.

No se encontró que la riqueza y abundancia de los escarabajos carábidos estuvieran relacionadas significativamente con la urbanización (porcentaje de cobertura impermeable dentro de círculos de 500 m de radio alrededor de los sitios de colecta). Para los escarabeinos se encontró una relación negativa entre su abundancia y el porcentaje de superficie de cobertura impermeable, mientras que no se encontró que la riqueza de especies tuviera relación significativa con el porcentaje de cobertura impermeable. Al analizar la relación entre la diversidad taxonómica de los escarabajos carábidos y la urbanización, se encontró una relación negativa, lo que sugiere que la urbanización podría estar afectando a las comunidades de este grupo de coleópteros. Se propone implementar más áreas verdes dentro de la ciudad, lo cual podría significar un hábitat importante no solo para los escarabajos, sino para insectos y fauna en general.

INTRODUCCIÓN

La concentración de la población humana en las grandes ciudades, la expansión de las mismas en zonas geográficamente más amplias y el rápido crecimiento de las megalópolis, se encuentran entre las transformaciones más importantes de los asentamientos sociales en los últimos años, reconociendo esto como urbanización (Vejrup, 2004). Este fenómeno está relacionado con el acondicionamiento de una porción de terreno con estructuras que permiten satisfacer las necesidades de vivienda de la sociedad, lo que genera la sustitución de los hábitats preexistentes en el sitio (Berkowitz *et al.* 2003). Los cambios provocados por la urbanización desencadenan una serie de procesos como deforestación, cambios en el uso de la tierra, variación en los elementos del paisaje, etc. (Faggi y Perepelizin, 2006).

El crecimiento acelerado de la población mundial en el último siglo ha generado fuertes demandas de recursos y espacios que implican alteraciones de hábitats naturales a gran escala (Pimentel *et al.* 1992; Cohen, 2003). Con el cambio de los ecosistemas naturales por hábitats urbanos, se ve reflejado un impacto directo en la estructura y función de los mismos (MacGregor-Fors *et al.* 2010), y la expansión de estas zonas urbanas y suburbanas han sido identificadas como una de las causas de la pérdida y fragmentación del hábitat (Wang y Moskovits, 2001; Wade *et al.* 2003). Se estima que las actividades antrópicas, como lo es el fenómeno de la urbanización, contribuyen anualmente a la extinción de cerca de 17 mil especies de diferentes grupos taxonómicos (Wilson, 1988; May *et al.* 1995).

En general, la urbanización ha provocado que disminuya el número de especies, principalmente de organismos especialistas y que algunas especies se vuelvan dominantes (especies generalistas) y también se ha visto que las comunidades en diferentes zonas urbanas son más similares entre sí, que las comunidades en zonas más naturales (McKinney, 2006), lo cual ha sido reconocido como un fenómeno de homogenización biótica.

Una manera de estudiar a la urbanización y el efecto que tiene sobre los grupos biológicos, es mediante un gradiente de urbanización. El cual va desde las zonas núcleo más densamente construidas de las ciudades, hasta las zonas con un entorno más rural. Con esto se pretende reflejar una disminución de la intervención humana sobre las bases terrestres de una determinada zona (Niemelä, 2000).

Esta metodología es común para abordar el estudio de algunos de los efectos que provoca la urbanización sobre insectos, que son uno de los muchos grupos biológicos que utilizan a las ciudades como hábitat, aprovechando los parques, jardines, baldíos y cuerpos de agua y muchas especies son cruciales para el mantenimiento de la biodiversidad dentro de las ciudades, ya que desempeñan un papel muy importante en la polinización de plantas, descomposición de materia orgánica, depredación de insectos nocivos y actúan como hospederos y presas para otras especies (Magura *et al.* 2010; Varet *et al.* 2011; Korasaki *et al.* 2013; Martinson y Raupp, 2013). Sin embargo, aún no se conoce con certeza sobre los efectos que tiene el fenómeno de la urbanización sobre la riqueza y composición de las comunidades en general de insectos, ya que la respuesta a la urbanización podría ser diferente para cada grupo biológico.

En este trabajo se pretende dar a conocer por medio de un gradiente de urbanización generado en la zona metropolitana de Pachuca la riqueza, abundancia y diversidad taxonómica de dos grupos de escarabajos que, debido a su importante papel dentro de las funciones de un ecosistema, han sido utilizados como indicadores ecológicos útiles para estudiar impactos ambientales (Carabidae y Scarabaeinae).

ANTECEDENTES

El planeta cuenta con una enorme diversidad de organismos vivos: plantas, vertebrados, hongos, bacterias, algas, etc, sin embargo, el grupo más diverso son los insectos, con aproximadamente 915,350 especies descritas en el mundo (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). Dentro de los insectos el grupo más rico en especies son los coleópteros o escarabajos, que están divididos en cuatro grandes subórdenes, Polyphaga, Adephaga, Myxophaga y Archostemata, dentro de los cuales se encuentran incluidas entre 150 y 168 familias, dependiendo del criterio utilizado (Lawrence, 1982). Se ha estimado que alrededor de 380,000 especies se han descrito en todo el mundo, lo que corresponde aproximadamente al 40% del total de los insectos (Costa, 2000), en México se estima que existen entre 20,000 a 35,500 especies de coleópteros (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008; Morón y Valenzuela-González, 1993).

Efectos de la urbanización sobre diferentes grupos biológicos

El proceso de urbanización genera una modificación en el medio ambiente, afecta los flujos de energía, ciclos bioquímicos, condiciones del clima, hidrología y propiedades de los suelos, lo que tiene un fuerte impacto en la biodiversidad (Breuste *et al.* 1998; Baker

et al. 2002). En años recientes, se han realizado estudios que indican que la biodiversidad es menor en los entornos urbanos, sin embargo, los efectos que tengan los ambientes urbanos sobre la diversidad pueden depender del grupo taxonómico, ya que cada taxón podría responder de manera diferente al proceso de urbanización, un ejemplo de esto, es lo encontrado por MacGregor-Fors y colaboradores en 2014, en un estudio de patrones de diversidad en una zona con diferente grado de intensidad de urbanización, con siete grupos taxonómicos (plantas vasculares, hongos, mariposas, hormigas, escarabajos, anfibios y aves) encontrando que los patrones de diversidad difieren dependiendo del grupo taxonómico.

Otro ejemplo de estudio utilizando diferentes grupos taxonómicos, es el realizado en una de las ciudades más urbanizadas del mundo, como lo es Paris, Francia en 2014 por Vergnes y colaboradores, utilizando tres grupos de artrópodos diferentes; arañas, carábidos y estafilínidos. Los autores reportaron que la urbanización afectó negativamente a la riqueza de especies de los tres taxones.

Urbanización y diversidad taxonómica

En algunos de los trabajos en los que se ha estudiado la biodiversidad de insectos, se ha analizado cómo cambia el número de especies presentes en áreas con diferente grado de urbanización, pero de esta manera únicamente se expresa el número de especies presentes en un área, lo que asume que todas las especies contribuyen por igual a la biodiversidad de la zona (Moreno *et al.* 2009). Por ello, se han señalado limitaciones en este tipo de medidas, ya que son medidas neutrales de biodiversidad que consideran de igual forma a todas las especies sin incorporar información acerca de sus diferencias (Harper y Hawksworth, 1994;

Gaston, 1996; Magurran, 2004; Chao *et al.* 2010). Una propuesta para una medición más completa de la diversidad en donde se reconozcan diferencias entre las especies es la diversidad taxonómica (Purvis y Hector, 2000; Chao *et al.* 2010), la cual es tomada como una distancia taxonómica promedio entre dos organismos elegidos al azar en una muestra, y esta distancia es la longitud de conexión entre los dos organismos, trazada a través de una clasificación filogenética (Clarke y Warwick, 1998).

El efecto de la urbanización en la abundancia y riqueza de especies ha sido relativamente bien estudiado, sin embargo, se conoce poco sobre el efecto que tiene sobre la diversidad taxonómica. Un ejemplo del análisis de los efectos de la urbanización en la diversidad taxonómica es el realizado por Luck y colaboradores en 2011, quienes evalúan las relaciones espaciales entre las similitudes taxonómicas de las comunidades de aves y el nivel de urbanización en 18 ciudades del sureste de Australia, encontraron que la urbanización afecta negativa y marginalmente la diversidad taxonómica a nivel local, y de manera marcada cuando se analiza a escala regional.

Generalidades de la familia Carabidae

Los escarabajos de la familia Carabidae pertenecen al suborden Adephaga, uno de los subórdenes de los Coleoptera que comprende varias familias acuáticas y terrestres. Los carábidos han conquistado una gran variedad de ambientes, desde el subsuelo a los doseles de los árboles, playas de mar, hendiduras en rocas y bajo los glaciares de la alta montaña (Erwin, 1991). Por lo general son solitarios y depredadores, aunque algunos son parásitos o fitófagos. Algunas especies tienen estructuras o hábitos muy especializados, como los cavernícolas o los escarabajos de la corteza.

En el mundo existen aproximadamente 30,000 especies descritas de escarabajos carábidos (Bouchard *et al.* 2009). La fauna de carábidos conocida en México consiste en 172 géneros y 1957 especies, de las cuales 1191, es decir, el 60 % son endémicas (Ball y Shpeley, 2000).

Los carábidos (Figura 1) se reconocen por tener patas largas y delgadas, de tipo corredor, coxas posteriores grandes que interrumpen el primer segmento abdominal, no extendidas lateralmente hasta la epipleura del élitro, trocánter posterior grande, y en la mayoría, la existencia de sutura notopleural (Borror *et al.* 1989). Los carábidos varían en tamaño, forma y color; en general los adultos presentan un tamaño entre 1 y 70 mm, la forma de su cuerpo puede ser plana o muy convexa y la coloración varía desde totalmente negra, pasando por tonos amarillentos, marrón, manchados hasta colores metálicos (Reichardt, 1977). Viven bajo piedras o troncos, dentro del suelo, o las ramas de árboles y arbustos (Morón y Terrón, 1988), por lo que pueden vivir tanto en zonas urbanas, como jardines y parques, o zonas rurales. Muchas especies descansan en el día y salen a buscar alimento en la noche. Entre los carábidos hay especies que se distinguen por ser braquípteros, es decir poseer el segundo par de alas reducido (Lövei y Sunderland, 1996); estas especies por tanto no son voladores y están asociadas al suelo, hojarasca y corteza.

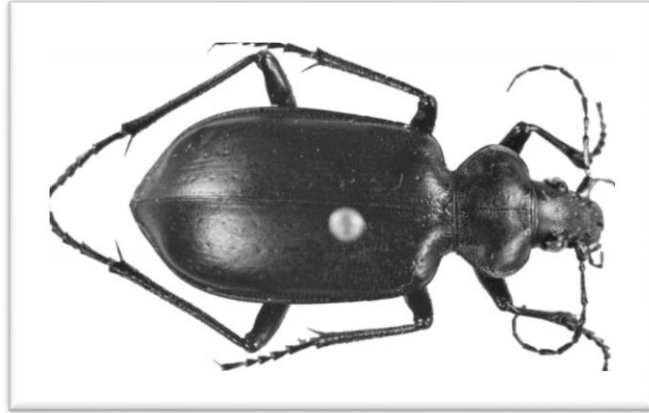


Figura 1- Ejemplar adulto de *Calosoma peregrinator* de la familia Carabidae

Generalidades de la subfamilia Scarabaeinae

La subfamilia Scarabaeinae pertenece a la familia Scarabaeidae, clasificada en el suborden Polyphaga (Coleoptera). Se estima que la familia Scarabaeidae cuenta con 25,000 especies a nivel mundial (Costa, 2000), y 462 especies para México (Jiménez-Sánchez *et al.* 2009).

Los organismos adultos de esta subfamilia (Figura 2) tienen cuerpos robustos, mientras que las larvas se distinguen por tener la lacinia y la galea maxilares claramente separadas entre sí (Morón, 2003). Los adultos se caracterizan por tener antenas lameladas, formadas por once artejos, de los cuales los tres últimos forman una maza laminar o arosetada, presentan el labro y las mandíbulas ocultas bajo el clipeo que está completamente fusionado con la frente y las metatibias con un espolón apical (Morón, 2003). Es muy frecuente encontrar especies que muestran cuernos u otras estructuras de diversas formas en la frente y el pronoto. Las patas anteriores de los adultos están notablemente modificadas para cavar en el suelo. En muchas de las especies existe dimorfismo sexual, en el cual por lo general los machos tienen formas más vistosas con

cuernos o protuberancias más grandes. La coloración del cuerpo en este grupo es predominantemente negra, pero existen amarillos, verdes, rojizos, azules, y en algunos casos con reflejos metálicos. Tanto los adultos como las larvas se alimentan de excrementos de bovinos, equinos, ovinos, cabras, venados, monos, cerdos, perros, humanos, y de restos animales terrestre o anfibios, sin embargo algunas especies son necrófagas y otras consumen detritus vegetales o están asociados a nidos de hormigas, termitas y vertebrados, por lo cual tiene una gran importancia ecológica como degradadores de materia orgánica (Morón y Terón, 1988; Morón, 2003). La degradación de materia orgánica por este grupo de escarabajos influye en el funcionamiento del ecosistema terrestre, al tener efectos directos sobre el reciclaje de nutrientes mediante el procesamiento de materia orgánica (Halffter y Matthews, 1966). Debido a esto y a la diversidad de especies y la gran abundancia del grupo, el conocimiento de su taxonomía y su facilidad para ser muestreados, se han convertido en un grupo utilizado como indicador ambiental. También contribuyen a la dispersión de semillas, la bioturbación y el control de las moscas parasitarias de vertebrados (Korasaki *et al.* 2013).



Figura 2- Ejemplar adulto de *Canthon humectus* de la subfamilia Scarabaeinae

Efectos de la urbanización en Carabidae y Scarabaeinae

Los escarabajos carábidos son un grupo ecológicamente muy diverso, abundante y muy sensibles a las perturbaciones antropogénicas (Niemelä *et al.* 2001). Debido a esto y a su importancia en los ecosistemas, los escarabajos carábidos han sido relativamente bien estudiados en ambientes urbanos. Para probar si el fenómeno de la urbanización tiene efectos similares sobre la diversidad en escarabajos carábidos en diferentes lugares, Martinson y colaboradores en el 2013 realizaron un meta análisis con datos de 18 publicaciones que presentan efectos de la urbanización sobre la riqueza de especies de escarabajos carábidos, utilizando datos que abarcan doce países, pudiendo determinar que el efecto global de la urbanización en la riqueza de especies es negativo.

Uno de los estudios que muestra los efectos de la urbanización sobre la riqueza de escarabajos carábidos es el realizado por Tibor Magura y colaboradores en el 2010, utilizando tres diferentes tipos de áreas, una zona boscosa tomada como rural, un área suburbana donde el bosque original fue fragmentado y aislado, y los remanentes del bosque original en bosques urbanos, formando así un gradiente de urbanización en Europa, Canadá y Japón. Los autores encontraron que la biodiversidad global mostró tendencias inconsistentes por la intensidad de la urbanización o por la posición geográfica de los sitios. Sin embargo, cuando se compararon únicamente especies forestales, la riqueza de especies fue mayor en las zonas rurales que en las zonas de bosques urbanos. Esto indica que el grado de la urbanización tiene un efecto de disminución sobre algunas especies de escarabajos carábidos.

A diferencia de los escarabajos carábidos, el estudio del efecto de la urbanización sobre los escarabajos de la subfamilia Scarabaeinae ha sido muy limitado, a pesar de que estos organismos han sido utilizados como grupo indicador ya que desempeñan un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas (Halffter y Favila, 1993; Korasaki *et al.* 2013). Algunos trabajos han mostrado que estos escarabajos pueden utilizar el excremento de animales domésticos (perros, gatos, etc.) disponibles en los ambientes urbanos, y realizan una importante función en el proceso de reciclaje de nutrientes (Carpaneto *et al.* 2005; Wallace y Richardson, 2005). Sin embargo, a la fecha existen pocos estudios en los que se analice el efecto de la urbanización sobre las comunidades de estos escarabajos.

Proporcionando evidencia empírica de los efectos de la urbanización sobre la riqueza, abundancia, composición y estructura de las comunidades de escarabajos coprófagos, Korasaki y colaboradores en 2013 realizaron un estudio en la Mata Atlántica brasileña, en Londrina, Paraná. Estos autores estudiaron en tres fragmentos de bosque rodeados por diferente grado de urbanización en Brasil, y colectaron un total de 1,719 individuos, pertenecientes a 29 especies de 11 géneros. Los autores encontraron que el número de especies y su abundancia tienden a disminuir en los fragmentos rodeados por una mayor urbanización.

Inventarios biológicos

Los inventarios de diversidad biológica a menudo no tienen registrada la totalidad de las especies presentes en un área determinada (y se conoce muy poco acerca de las especies presentes en las ciudades), y dado que la riqueza de especies es una de las principales variables descriptivas de la biodiversidad, esto se convierte en un importante

problema (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). Sin embargo, a través de los años se han desarrollado una variedad de métodos y medidas para estimar la biodiversidad dependiendo de los múltiples objetivos que se pueda tener en mente para estudiarla (Pineda-López y Verdú-Faraco, 2013).

Una de las formas para poder determinar los inventarios de diversidad de especies en una zona, son las curvas de acumulación de especies, en donde la incorporación de especies al inventario está relacionada con alguna medida de esfuerzo de muestreo, el cual puede referirse a unidades como; número de trampas, número de cuadrantes, días/horas de muestreo, metros/horas de trampeo (Pineda-López y Verdú-Faraco, 2013). De esta manera las curvas de acumulación son un método para estimar la riqueza obtenidas en uno o distintos trabajos de inventariado, permitiendo tener una herramienta muy útil para planificar el esfuerzo de muestreo que se debe invertir en un trabajo de inventariado (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

OBJETIVOS

General

Conocer las especies de escarabajos carábidos y escarabaeinos (coprófagos) que habitan en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo y analizar si su riqueza, abundancia y diversidad taxonómica están relacionadas con la urbanización.

Particulares

- 1) Conocer las especies de escarabajos carábidos y coprófagos que habitan en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo.
- 2) Determinar si la abundancia y la riqueza de especies de escarabajos coprófagos y carábidos disminuyen con la urbanización (porcentaje de cobertura impermeable) y si existe congruencia en las respuestas de los dos grupos.
- 3) Determinar si la diversidad taxonómica en las comunidades de escarabajos carábidos y coprófagos está relacionada con la urbanización.

HIPÓTESIS

Se espera encontrar una mayor abundancia y riqueza de escarabajos coprófagos y carábidos en las zonas con un menor grado de urbanización. En las zonas más urbanizadas se espera encontrar un mayor número de escarabajos carábidos con respecto a escarabajos coprófagos, debido a que los escarabajos coprófagos son más especialistas (alimentación, refugios, sitios de anidación). Se espera que la diversidad taxonómica de escarabajos en la zona metropolitana de Pachuca muestre alguna tendencia ya sea positiva o negativa con la urbanización.

MÉTODO

Zona de muestreo

El trabajo se realizó dentro de la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México, la cual está conformada por siete municipios: Pachuca de Soto, San Agustín Tlaxiaca,

Mineral de la Reforma, Mineral del Monte, Zempoala, Zapotlán de Juárez y Epazoyucan (INEGI, 2005). Se muestreó únicamente los primeros tres municipios (Figura 3) debido a que son los municipios colindantes con la ciudad de Pachuca.

La ciudad de Pachuca, Hidalgo, se encuentra a 90 km de la zona metropolitana de la Ciudad de México (Arcopla, 1994). Se localiza entre los $20^{\circ} 07' 18''$ N y $98^{\circ} 44' 09''$ O y se encuentra a una altitud promedio de 2380 msnm (INEGI, 2014). La ciudad presenta un clima semiseco templado con verano cálido, con una temperatura media anual de 15.5°C , en el mes de mayo se presenta un promedio de temperatura de 17.8°C , siendo este el mes más caluroso del año, mientras que el mes de enero se tiene un promedio de 12.5°C , indicando como el mes más frío. La precipitación media anual que presenta la ciudad es de 361.5 mm (INEGI, 2014).

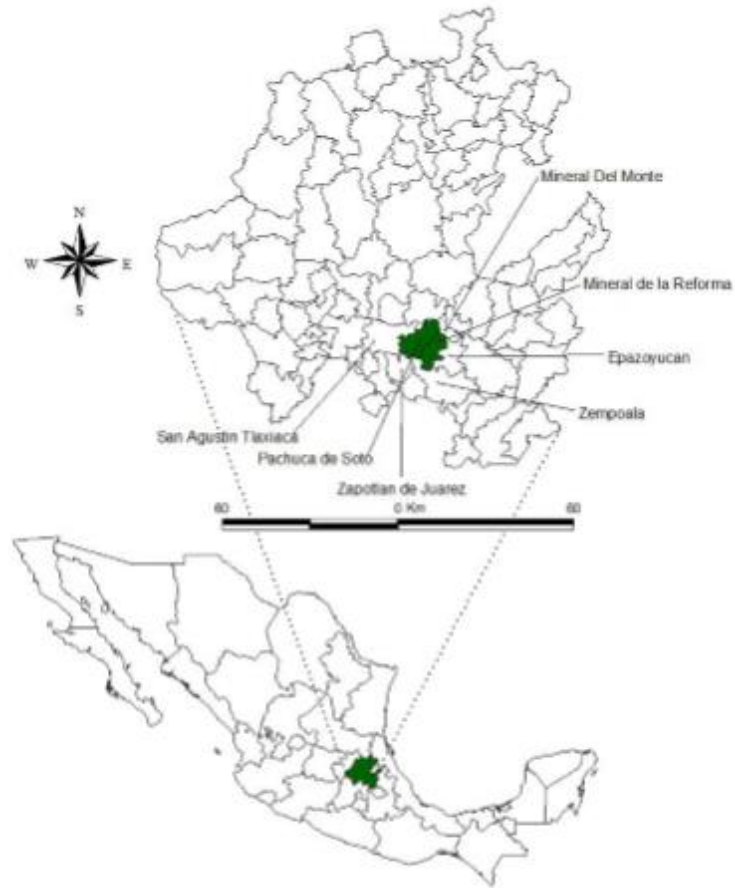


Figura 3- Ubicación del Estado de Hidalgo y los municipios que conforman la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México.

Descripción de los sitios de muestreo

Los muestreos se realizaron en 14 sitios (Figura 4) con diferente grado de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca. Para cada sitio de muestreo se determinó el porcentaje de cobertura de superficie impermeable (casas, edificios, áreas cubiertas por concreto, calles y estacionamientos cuyo material de construcción sea asfalto) tomándose como una medida del grado de urbanización del lugar (Cuadro 1). Para obtener el área cubierta de superficie impermeable en cada sitio se trazó un buffer de 500 m de

radio, digitalizando el área cubierta por superficies impermeables (Figura 5). Esta área se digitalizó utilizando una imagen de satélite de la ciudad (Worldview-2 Standard Bundle, con 4 bandas multiespectrales, 50 cm de resolución tomada en febrero 2015) y el programa ArcGis (ver. 10.0).

Cuadro 1- Porcentaje de superficie de cobertura impermeable de los 14 sitios de muestreo en la zona metropolitana de Pachuca.

| Sitio de muestreo | Porcentaje de superficie de cobertura impermeable |
|--------------------|---|
| 1-ICSA | 13.48 |
| 2-Torres | 19.36 |
| 3-Campo de Tiro | 46.40 |
| 4-Piracantos | 69.46 |
| 5-CUC | 78.58 |
| 6-Cristo | 4.46 |
| 7-San Javier | 84.65 |
| 8-Montessori | 10.63 |
| 9-Nopalera | 14.14 |
| 10-Providencia | 50.87 |
| 11-Prepa 3/4 | 88.73 |
| 12-Perrera | 35.49 |
| 13-Foxis | 25.29 |
| 14-Casa de 3ª edad | 33.61 |

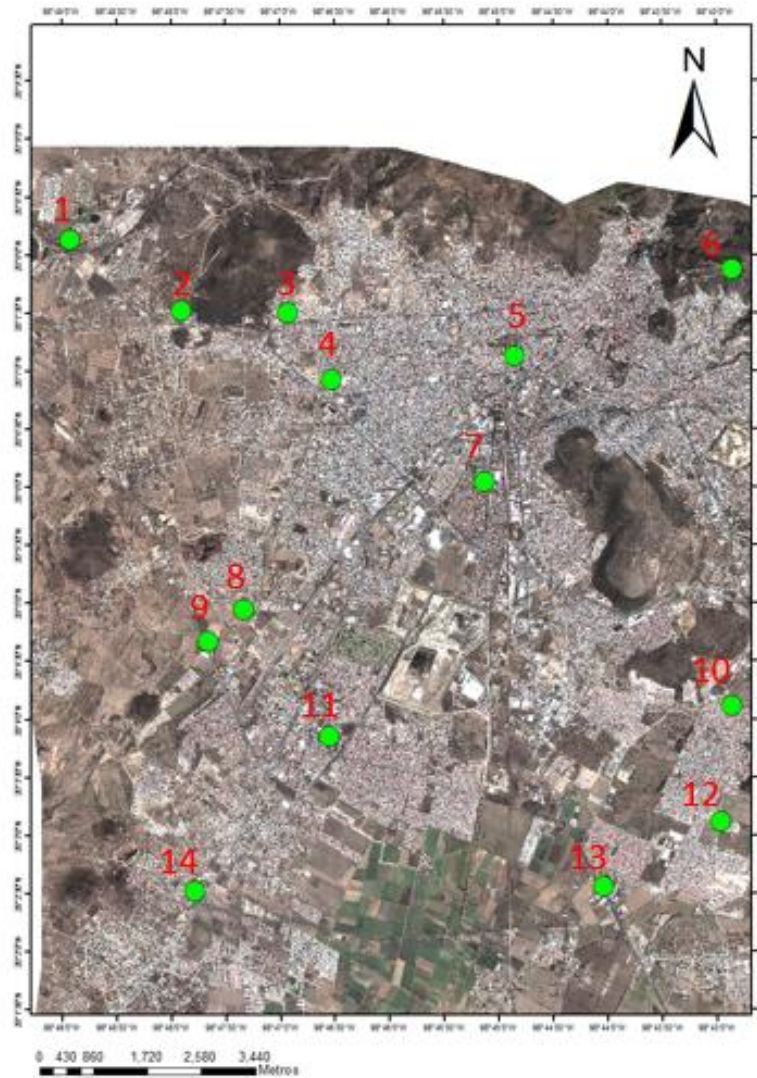


Figura 4- Sitios de muestreo señalizados con puntos verdes en una imagen satelital de la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo. Los números corresponden a los diferentes sitios del Cuadro 1.

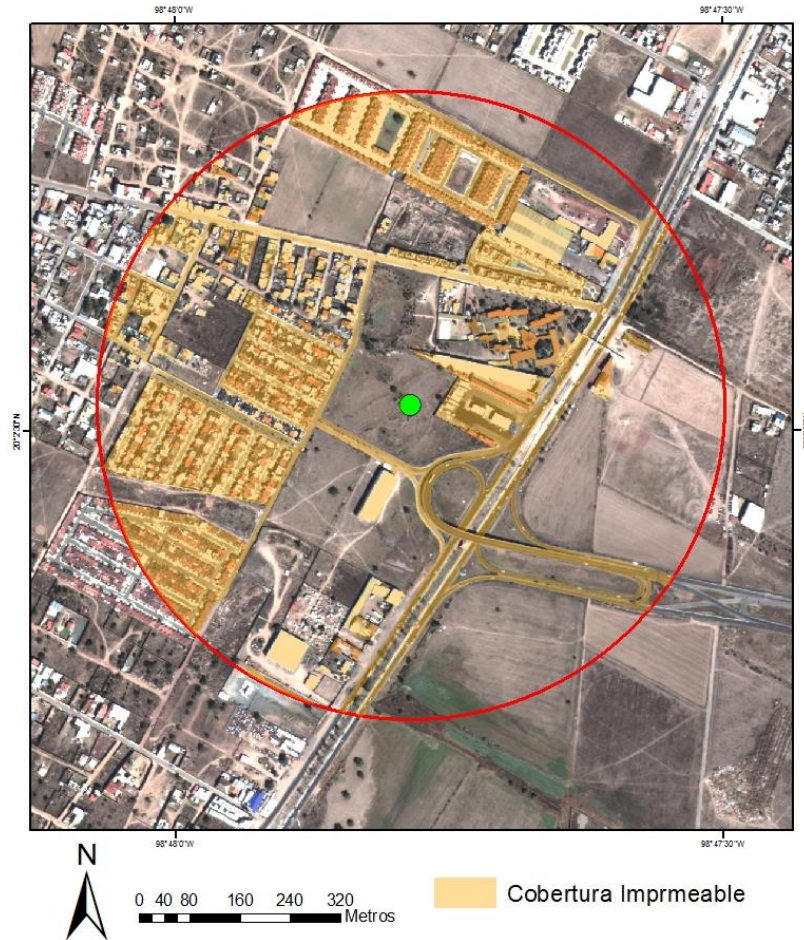


Figura 5- Ejemplo de un sitio de colecta alrededor del cual se digitalizó la cobertura de superficie impermeable dentro de un buffer de 500 m de radio.

En cada sitio de muestreo se midió la temperatura ambiental y velocidad del viento para determinar si estas variables están relacionadas con la urbanización (porcentaje de cobertura de superficie impermeable). La temperatura de cada sitio se midió utilizando dataloggers iButton 1-Wire ThermoChron cubiertos por una capa de goma Plasti Dip, para evitar el contacto directo con agua en caso de lluvias, lo cual puede generar error en la toma de datos (Roznik y Alford, 2012). Los dataloggers fueron programados para registrar la temperatura cada 15 minutos durante 15 días dentro del periodo de tiempo en el que

estuvieron activas las trampas. Los datos obtenidos de temperatura se promediaron y se realizó una regresión lineal para determinar la relación entre la temperatura y el porcentaje de superficie de cobertura impermeable en la zona metropolitana de Pachuca.

La velocidad del viento se registró con un anemómetro digital HWA4204HA Digital Hotwire Anemometer marca General, durante los periodos de 48 horas que estuvieron activas las trampas. Se midió la velocidad del viento en m/s dos veces en cada visita a los sitios de muestreo entre las 9:00 hrs y 13:00 hrs. Los datos obtenidos de velocidad del viento se promediaron y se realizó una regresión lineal para determinar su relación con el porcentaje de superficie de cobertura impermeable en la zona metropolitana de Pachuca.

En los 14 sitios se trazaron dos transectos de 20 m en línea recta donde se colocaron 3 trampas pitfall y 3 coprotrampas, separadas e intercaladas entre sí a una distancia de 10 m entre cada una (Figura 6).

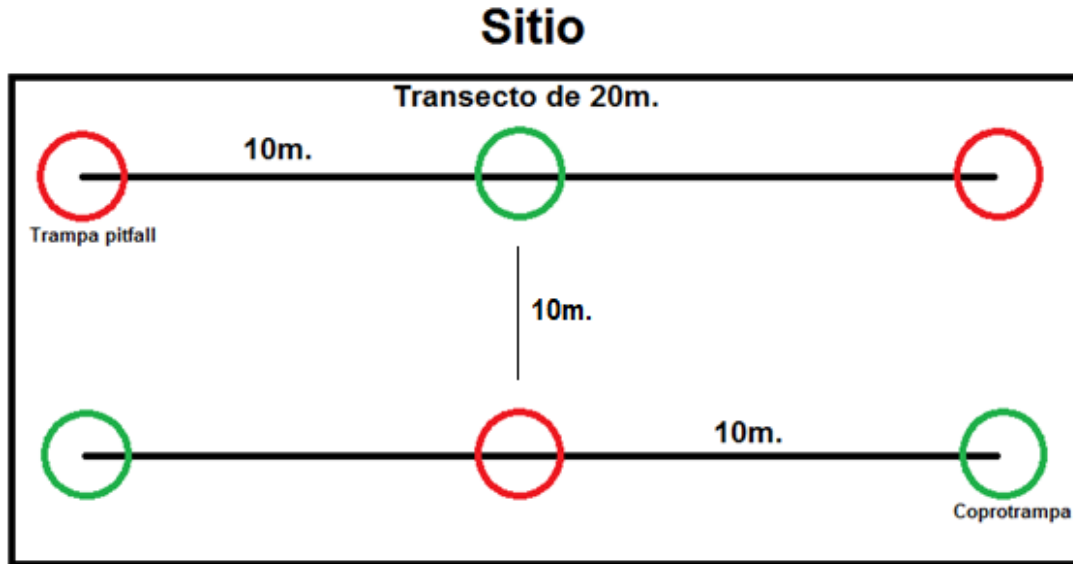


Figura 6- Representación de la ubicación de las trampas utilizadas en los sitios de muestreo para la colecta de escarabajos.

Trampas

Las trampas utilizadas para colectar a los escarabajos fueron de caída al hueco o pitfall para los carábidos y coprotrampas para los escarabajos de la subfamilia Scarabaeinae. Este tipo de trampas han sido utilizadas extensamente en diversos estudios sobre coleópteros (Lobo *et al.* 1988; Figueroa y Alvarado, 2001) incluyendo zonas antropizadas como las ciudades (Hartley *et al.* 2007).

Las trampas pitfall o de caída al hueco utilizadas para los escarabajos carábidos consistieron en botes de plástico de 1 litro con 2 ventanas de 3x2 cm a una altura de 5 cm desde la base, cada ventana cubierta por una malla, esto para evitar la inundación del bote en caso de fuertes lluvias. Estas trampas fueron colocadas al nivel del suelo, adicionándole

agua con jabón, lo que provoca que se rompa la tensión superficial cuando los insectos entran en contacto con la solución impidiendo que puedan escapar y mueran (Figura 7).



Figura 7- Trampa pitfall utilizada para la colecta de escarabajos carábidos

Las coprotrampas consistieron en recipientes de plástico tipo bandeja, a las cuales se les colocó una malla sostenida por 2 alambres en su superficie sobre la cual se colocaba una mezcla de excremento de caballo (70%) y excremento de borrego (30%). A cada trampa se le colocó agua con jabón en el recipiente tipo bandeja y se colocó al nivel del suelo (Figura 8).



Figura 8- Coprotrampa utilizada para la colecta de escarabajos coprófagos.

Colecta

La colecta de los individuos fue realizada entre los meses de mayo y octubre de 2014. Las trampas estuvieron activas en cada sitio una vez al mes durante 48 horas, realizando un total de 6 muestreos por sitio y 84 muestreos a lo largo del gradiente de urbanización. Al concluir las 48 horas, los individuos capturados en las trampas fueron transportados en botes de 250 ml con etanol preparado al 70% al Laboratorio de Interacciones Biológicas en el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo para su identificación taxonómica y conteo.

Procesamiento de ejemplares

Los ejemplares colectados fueron montados para su identificación taxonómica. La identificación de las especies de escarabajos carábidos fue realizada por el M. en C. Enrique David Montes de Oca Torres de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana, y la identificación de los escarabajos coprófagos fue realizada por el M. en C. Luis Leonardo Delgado Castillo del Instituto de Ecología (INECOL).

Análisis de datos

Para determinar si las variables ambientales de temperatura y velocidad del viento están relacionadas con la urbanización, se realizaron regresiones lineales o correlaciones de Spearman entre las variables climáticas registradas en los sitios de muestreo y el porcentaje de superficie de cobertura impermeable de estos sitios.

Para medir la completitud del inventario de las especies de escarabajos coprófagos y carábidos colectados en los 14 sitios de muestreo a lo largo del gradiente de urbanización durante los seis meses de muestreo, se utilizaron curvas de acumulación de especies generadas mediante un reordenamiento aleatorio de 100 repeticiones. Estas se realizaron con el programa EstimateS versión 9.1.0 utilizando estimadores no paramétricos, Chao 2, Jacknife 1, Jacknife 2 y Bootstrap, ya que éstos estiman el número total de especies basándose en las especies raras en los muestreos, utilizando datos de incidencia (presencia/ausencia) y no se ajustan a un modelo matemático predeterminado (Pineda-López y Verdú-Faraco, 2013).

Para analizar la relación entre las variables de riqueza y abundancia de los escarabajos y el porcentaje de superficie de cobertura impermeable, se transformaron los datos a logaritmo y se realizaron regresiones lineales, o correlaciones de Spearman cuando los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

La diversidad taxonómica de los dos grupos de escarabajos se midió con el índice de distancia taxonómica promedio entre pares de especies de cada sitio. Este índice toma en cuenta la categoría taxonómica en la cual están relacionadas cualquier pareja de especies, es decir la distancia que une a las especies en la clasificación taxonómica. La distancia taxonómica promedio fue calculada a partir de 1000 aleatorizaciones del conjunto de especies de cada sitio, esto fue realizado en el programa Primer 5 para Windows. Posteriormente, para cada grupo de escarabajos, se analizó la relación entre diversidad taxonómica y el porcentaje de superficie de cobertura impermeable utilizando regresiones lineales, o correlaciones de Spearman cuando los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Todos los análisis de regresión lineal y las correlaciones de Spearman se realizaron con el programa SigmaStat 3.5.

RESULTADOS

Se colectaron un total de 1020 individuos en 14 sitios que variaron en porcentaje de cobertura de superficie impermeable desde 4.45% (el menos urbanizado) hasta 88.72% (el más urbanizado) con un promedio de 41.15%.

Al analizar la relación entre la temperatura ambiental en los 14 sitios y el porcentaje de cobertura impermeable alrededor de estos, se encontró que conforme el porcentaje de cobertura impermeable en un sitio es mayor, la temperatura incrementa significativamente ($R^2= 0.305$, $P= 0.024$). También se encontró una relación significativa pero negativa, entre la velocidad del viento tomada en cada uno de los sitios y el porcentaje de cobertura impermeable ($R^2= 0.331$, $P= 0.018$), es decir los sitios que se encuentran en la periferia de la ciudad, registran una mayor velocidad del viento con respecto a los sitios que se encuentran dentro de la mancha urbana.

El número total de escarabajos colectados de la familia Carabidae fue de 540 individuos representados en 4 subfamilias, 9 tribus, 12 géneros y 14 especies. *Amara sera* fue la especie más representada con 208 individuos, mientras que la especie *Pasimachus mexicanus* fue la menos abundante con solo 1 individuo colectado (Cuadro 2).

Se colectó un total de 480 escarabajos de la subfamilia Scarabaeinae, representados en 3 tribus, 3 géneros y 5 especies. *Onthophagus lecontei* fue la especie más abundante con 324 individuos, mientras que *Phanaeus queadridens* fue la menos abundante con 1 individuo (Cuadro 3).

Cuadro 2- Número de individuos de escarabajos carábidos colectados en la zona metropolitana de Pachuca.

| Subfamilia | Tribu | Especie | No. Individuos |
|-------------------|--------------|--|-----------------------|
| Scaritinae | Scaritini | <i>Pasimachus mexicanus</i> (Gray, 1832) | 1 |
| Harpalinae | Harpalini | <i>Notiobia (Anisotarsus) brevicollis</i> (Chaudoir, 1837) | 95 |
| Harpalinae | Harpalini | <i>Notiobia (Anisotarsus) mexicana</i> (Dejean, 1829) | 11 |
| Harpalinae | Amarini | <i>Amara sera</i> (Say, 1830) | 208 |
| Carabinae | Carabini | <i>Calosoma laevigatum laevigatum</i> (Chaudoir, 1869) | 23 |
| Harpalinae | Harpalini | <i>Bradycellus (Stenocellus) nigrellus</i> (Bates) | 48 |
| Harpalinae | Platynini | <i>Agonum placidum</i> (Say, 1823) | 4 |
| Harpalinae | Lebiini | <i>Cymindis (Pinacodera) chevrolati</i> (Dejean, 1836) | 2 |
| Trechinae | Bembidiini | <i>Bembidion (Furacampa) pullulum</i> (Casey, 1918) | 11 |
| Trechinae | Bembidiini | <i>Bembidion sp.</i> | 13 |
| Harpalinae | Chlaeniini | <i>Chlaenius brevilabris</i> (LeConte, 1847) | 4 |
| Harpalinae | Harpalini | <i>Selenophorus striatopunctatus</i> (Putzeys, 1878) | 115 |
| Harpalinae | Morionini | <i>Morion cordicollis</i> (Laferté) | 4 |
| Harpalinae | Lebiini | <i>Calleida cyanippe</i> (Bates, 1883) | 2 |

Cuadro 3- Número de individuos de escarabajos coprófagos colectados en la zona metropolitana de Pachuca.

| Familia | Subfamilia | Tribu | Especie | No. Individuos |
|----------------|-------------------|--------------|--|-----------------------|
| Scarabaeidae | Scarabaeinae | Phanaeini | <i>Phanaeus quadridens</i> (Say, 1835) | 1 |
| Scarabaeidae | Scarabaeinae | Onthophagini | <i>Onthophagus mexicanus</i> (Bates, 1887) | 91 |
| Scarabaeidae | Scarabaeinae | Onthophagini | <i>Onthophagus lecontei</i> (Harold, 1871) | 324 |
| Scarabaeidae | Scarabaeinae | Onthophagini | <i>Onthophagus knulli</i> (Howden yCartwright, 1963) | 27 |
| Scarabaeidae | Scarabaeinae | Scarabaeini | <i>Canthon humectus</i> (Say, 1832) | 37 |

Se encontró que la completitud del inventario de las especies de escarabajos carábidos colectadas en el gradiente de urbanización durante los seis meses de muestreo fue mayor al 80% para los tres estimadores utilizados. El estimador Chao 2 pronostica 16 especies, obteniendo una completitud del 87%, con Jackknife 1 se estimaron 17 especies, por lo que la completitud es del 82% y con Bootstrap se obtuvo un estimado de 15 especies, lo que da una completitud del inventario del 93% (Figura 9). Los tres estimadores indican que hace falta un mayor esfuerzo de muestreo para poder obtener un 100% de representatividad.

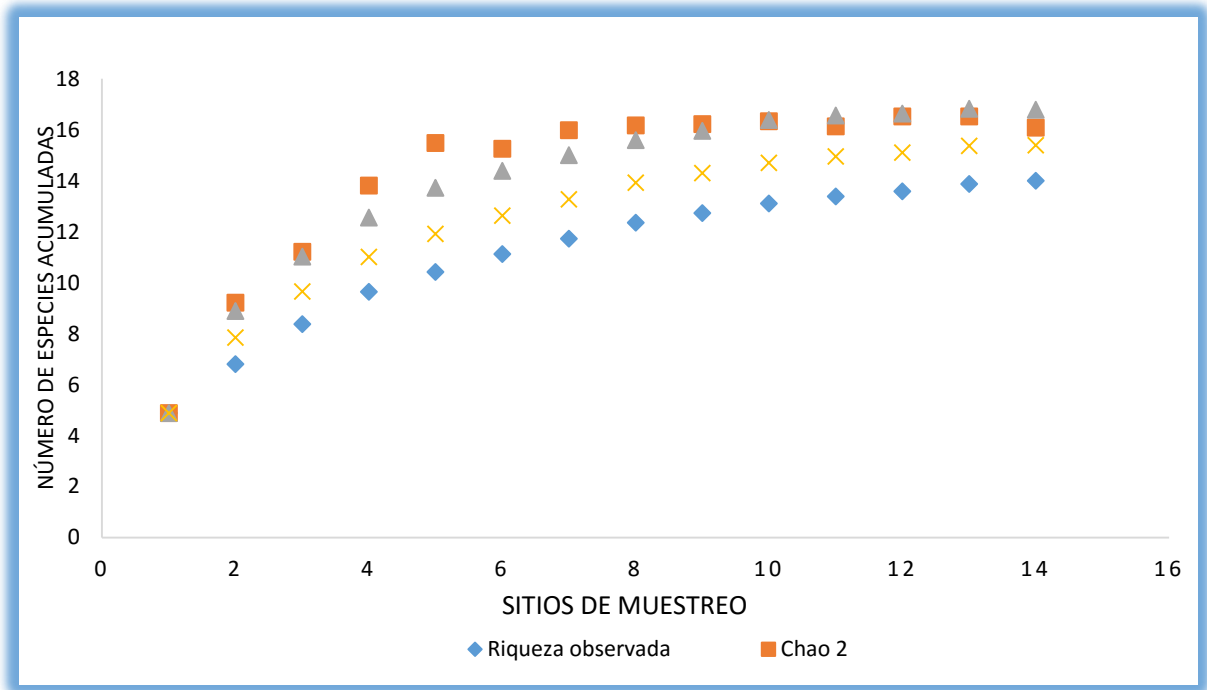


Figura 9- Curva de acumulación de especies de escarabajos carábidos según los estimadores basados en presencia/ausencia.

Para los escarabajos coprófagos también se encontró que la completitud del inventario de especies colectadas en el gradiente fue mayor al 80% para los tres estimadores utilizados el estimador. Chao 2 pronostica 5 especies, obteniendo un inventario completo de un 100%. Con Jackknife 1 se estiman 6 especies, obteniendo un 83% de completitud, y con Bootstrap se estimaron 5 especies indicando que se tiene un 100% de completitud del inventario (Figura 12). El único estimador que indica que es necesario un mayor esfuerzo de muestreo es Jackknife 1, para poder obtener una representatividad del 100% del inventario.

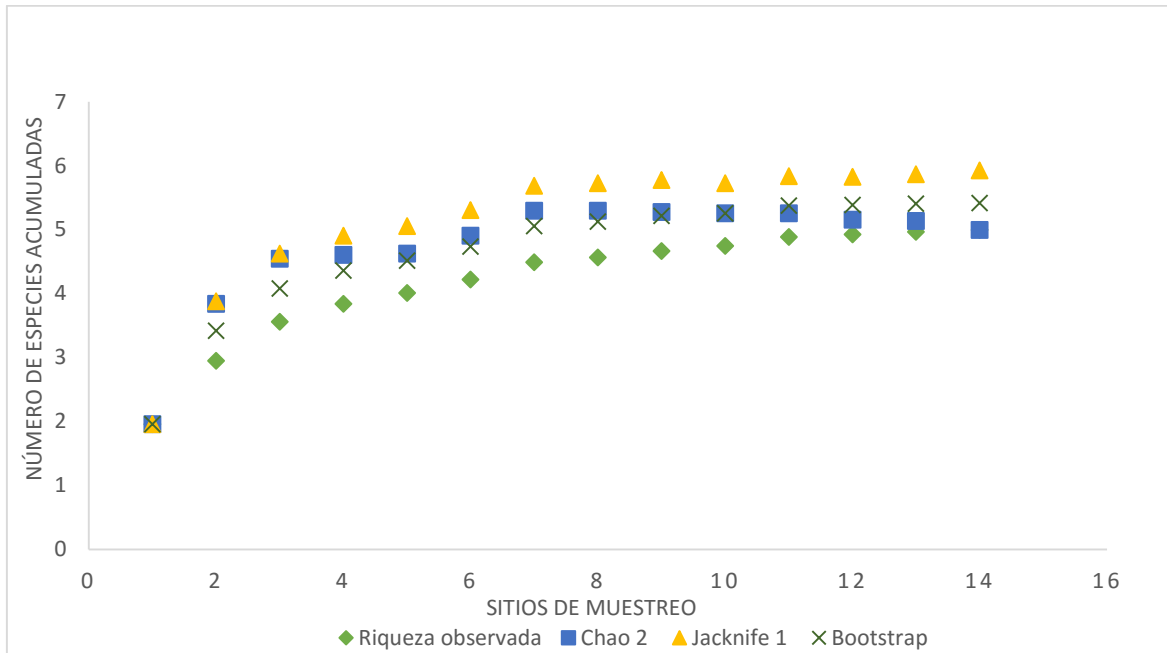


Figura 10- Curva de acumulación de especies de escarabajos coprófagos según los estimadores basados en presencia/ausencia.

Relación entre la abundancia y riqueza de escarabajos y la urbanización.

Al analizar la relación que existe entre la abundancia y riqueza de los escarabajos carábidos y el porcentaje de cobertura de superficie impermeable en la ciudad de Pachuca, se encontró que no existe una relación significativa entre la abundancia de carábidos y el porcentaje de cobertura de superficie impermeable ($R^2= 0.001$, $P= 0.456$). De manera similar, tampoco se encontró una relación significativa entre el número de especies de carábidos y el porcentaje de cobertura impermeable ($R^2= 0.001$, $P= 0.745$).

Al analizar la relación que existe entre la abundancia y riqueza de los escarabajos coprófagos y el porcentaje de cobertura de superficie impermeable en la ciudad de Pachuca, se encontró que la abundancia estuvo relacionada negativamente con el porcentaje de

cobertura impermeable ($R^2= 0.313$, $P= 0.022$) (Figura 11). Sin embargo, al analizar la riqueza de escarabajos coprófagos no se encontró que exista una relación significativa entre número de especies y el porcentaje de cobertura impermeable ($R^2 = 0.069$, $P= 0.18$).

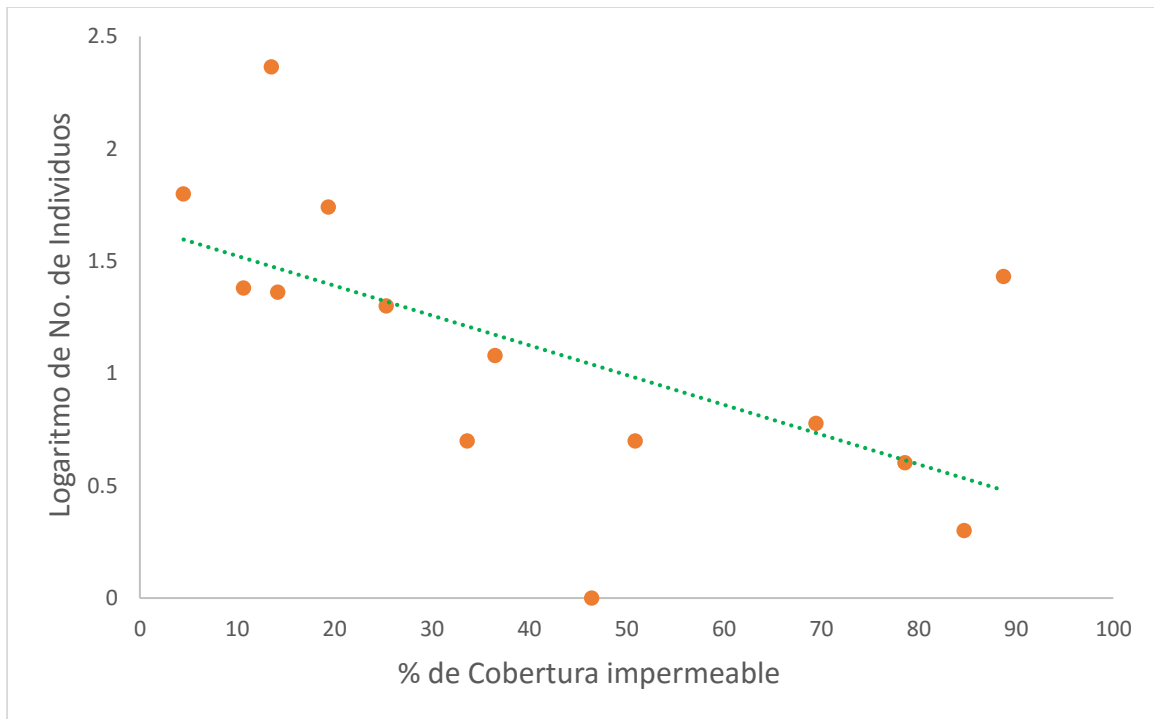


Figura 11- Relación entre el porcentaje de cobertura impermeable en buffers de 500 m de radio y el número de individuos (abundancia) de escarabajos coprófagos en un gradiente de urbanización en la ciudad de Pachuca ($R^2= 0.313$, $P= 0.022$).

Relación entre la diversidad taxonómica de escarabajos y la urbanización.

Solamente se analizó la relación entre la cobertura impermeable y la diversidad taxonómica de los carábidos, ya que fueron pocas las especies colectadas de los coprófagos. Se encontró que los sitios con mayor diversidad taxonómica de los carábidos no correspondieron a los sitios con mayor riqueza de especies; por ejemplo, el sitio con mayor

diversidad taxonómica (Cristo rey), fue de los sitios que presentaron el menor número de especies (Cuadro 4).

Cuadro 4- Diversidad taxonómica y riqueza de especies de escarabajos carábidos en 14 sitios de muestreo en la ciudad de Pachuca

| Sitios de muestreo | Riqueza de especies carábidos | Diversidad taxonómica carábidos |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| San Javier | 7 | 69.39 |
| Piracantos | 4 | 69.05 |
| Providencia | 4 | 76.19 |
| CUC | 3 | 66.67 |
| Prepa ¾ | 5 | 67.14 |
| Nopalera | 5 | 72.86 |
| Torres | 4 | 78.57 |
| Montessori | 8 | 73.47 |
| 3ª edad | 9 | 74.6 |
| Campo de Tiro | 3 | 66.67 |
| Perrera | 8 | 73.47 |
| Foxis | 6 | 73.33 |
| ICSA | 3 | 76.19 |
| Cristo rey | 4 | 80.95 |

Al analizar la relación entre la diversidad taxonómica de los escarabajos carábidos colectados y el porcentaje de cobertura de superficie impermeable a lo largo del gradiente de urbanización se encontró que en las comunidades de escarabajos carábidos, disminuye significativamente la diversidad taxonómica conforme aumenta el grado de urbanización ($R^2= 0.571$, $P= 0.001$. Figura 12).

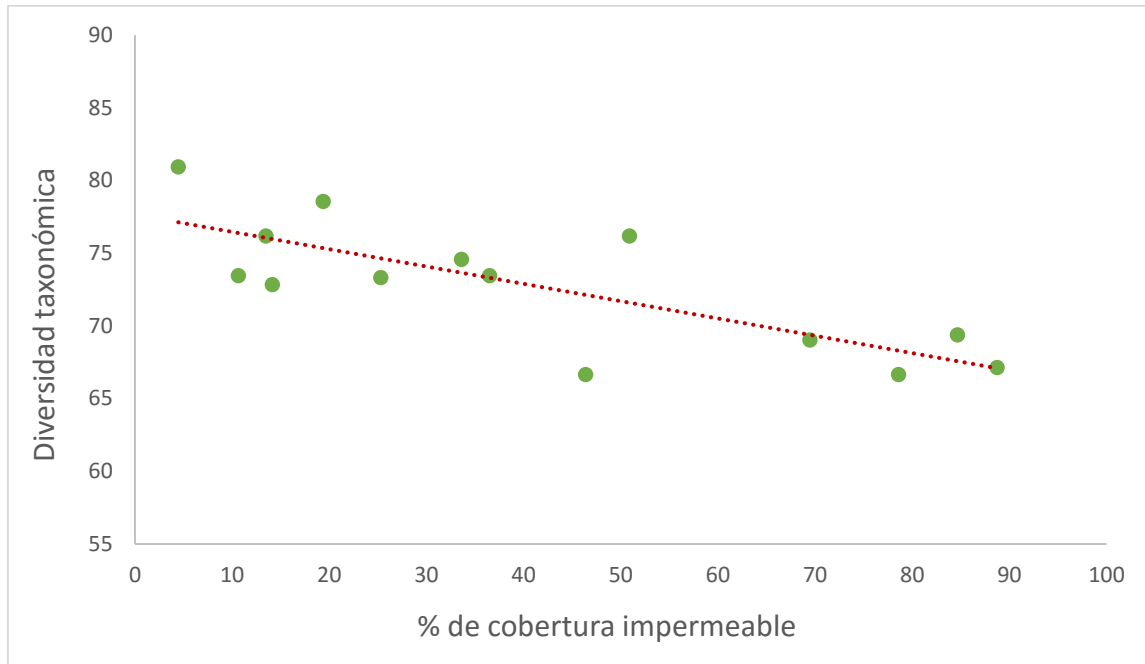


Figura 12- Relación entre el porcentaje de cobertura impermeable y la diversidad taxonómica de escarabajos carábidos en un gradiente de urbanización en la ciudad de Pachuca ($R^2= 0.571$, $P= 0.001$).

DISCUSIÓN

Inventario de escarabajos carábidos y escarabaeinos en la zona metropolitana de Pachuca

Los inventarios de grupos ecológicamente distintos no son tarea sencilla debido a que es necesario emplear diferentes métodos de muestreo de manera complementaria de acuerdo al grupo biológico a trabajar (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). En este trabajo se presenta un inventario de dos grupos ecológicamente distintos, si bien son pertenecientes a un mismo orden (Coleoptera) los hábitos particulares de cada familia a la que pertenecen son distintos, lo que forzó a realizar la captura de dichos individuos con diferentes trampas de muestreo (pitfall y coprotrampas). Los tres estimadores utilizados para evaluar la

completitud de los inventarios estiman una completitud por arriba del 80%, aunque la completitud es ligeramente mayor para el caso de los escarabajos coprófagos, lo cual en parte se debe probablemente a que la riqueza de especies es mayor para el caso de los carábidos. Estos resultados contribuyen de forma relevante al conocimiento de la fauna que vive en las ciudades en México, ya que se sabe muy poco acerca de los animales que habitan las urbes del país.

Relación entre la riqueza y abundancia de escarabajos carábidos y escarabajos y la urbanización

La urbanización es uno de los factores que ha provocado la reducción de la superficie que ocupan diferentes hábitats naturales y la desaparición de los mismos alrededor del mundo, lo cual es considerado como una amenaza para la biodiversidad (Czech y Krausman, 1997). Sin embargo, los innumerables cambios que implica la urbanización y el efecto que tienen sobre las comunidades ecológicas no puede considerarse predecible (Martinson y Raupp, 2013).

En este trabajo se reporta que tanto la riqueza de especies como la abundancia de escarabajos carábidos no disminuyen de manera significativa conforme aumenta el porcentaje de cobertura impermeable. Estos resultados contrastan con lo reportado en el 2003 por Johan Kotze y Robert O'Hara quienes reportan algunas de las causas de la disminución de escarabajos carábidos en Bélgica, Dinamarca y Países Bajos. Esto podría darse por la presencia mayoritaria de especies con capacidad para volar en el trabajo realizado en Pachuca y sus alrededores, lo que les permite tener gran potencial de dispersión entre hábitats. En la zona metropolitana de Pachuca se colectaron únicamente

dos especies ápteras (*Pasimachus mexicanus* y *Calosoma laevigatum laevigatum*) las cuales fueron encontradas en sitios con un porcentaje de superficie de cobertura impermeable menor al 50%, mientras que las especies con mayor abundancia colectadas poseen alas grandes que les permiten tener capacidad de vuelo, y la mayoría fueron encontradas prácticamente a lo largo del gradiente de urbanización.

En otro estudio realizado en Helsinki, Finlandia, en 2003 por Stephen Venn y colaboradores, en donde se estudió a los escarabajos carábidos en un gradiente urbano-rural, midiendo la riqueza y la abundancia, se reporta una disminución significativa de riqueza de especies conforme aumenta el grado de urbanización, aunque la disminución de abundancia encontrada no fue estadísticamente significativa, debido a que las especies con capacidad de vuelo fueron predominantes en los sitios urbanos y suburbanos.

En general no se puede descartar la posibilidad de que exista una relación significativa, ya sea positiva o negativa, entre la abundancia y la riqueza de especies de escarabajos carábidos y la urbanización, ya que los recursos que puedan encontrar en estas zonas para poder sobrevivir y desarrollarse, van a depender de las características ecológicas particulares de cada especie y de cada zona de la ciudad.

Por otro lado, en este trabajo se encontró que la abundancia de los escarabajos coprófagos decrece significativamente conforme aumenta el porcentaje de cobertura de superficie impermeable. Esta tendencia coincide con lo reportado en el 2013 por Korasaki y colaboradores, en donde documentan que la abundancia y riqueza de especies tiende a disminuir en los fragmentos rodeados por una mayor urbanización. Sin embargo, en el presente trabajo la riqueza de especies no mostró una disminución estadísticamente

significativa, contrastando con lo publicado por el mismo Korasaki y colaboradores. La diferencia entre los resultados encontrados en este trabajo y aquellos encontrados por Korasaki y colaboradores en 2013 puede deberse a que las especies encontradas en los sitios más urbanizados de la zona metropolitana de Pachuca (*Onthophagus mexicanus*, *Onthophagus lecontei* y *Onthophagus knulli*) utilicen los recursos disponibles dentro de la ciudad, como el excremento de mamíferos domésticos o incluso de seres humanos, que son recursos utilizados en los hábitos alimenticios del género *Onthophagus* (Morón, 2003) y además todas poseen alas. Esto puede favorecer a que las especies estén presentes, aunque en menor abundancia. Los resultados encontrados para Pachuca también coinciden con aquellos reportados por Venugopal y colaboradores en el 2012, quienes trabajaron con comunidades de escarabajos coprófagos al sur de la India, haciendo una comparación de los escarabajos entre bosques regionales no urbanizados y zonas con urbanización. Venugopal *et al.* (2012) encontraron que la riqueza de especies no disminuye de manera significativa con la urbanización debido a la presencia de especies sinantrópicas y es equivalente en las zonas urbanizadas y en los bosques regionales, aunque sí se reporta una baja en la abundancia asociada a la urbanización, al igual que en este trabajo.

No obstante, las condiciones de un ambiente urbano siguen generando una complicación en los individuos para disponer de los recursos que hay dentro de la ciudad, y el fenómeno de la urbanización debe tener una influencia en las comunidades de escarabajos coprófagos. Por ejemplo, como ya se ha mencionado, los organismos encontrados dentro de la ciudad son pertenecientes a un mismo género (*Onthophagus*), estos organismos se desplazan y buscan el recurso del excremento, que es vital para ellos, por medio del vuelo. En los sitios más urbanizados de la zona metropolitana de Pachuca, se

encontró que la velocidad del viento disminuye con respecto a las zonas menos antropizadas, lo que podría tener repercusiones para los escarabajos coprófagos que busquen recursos dentro de la ciudad. De manera similar, los sitios más urbanizados también difirieron de los menos urbanizados en la temperatura ambiental, ya que se encontró que esta variable climática aumenta con la urbanización, y cambios en la temperatura también pueden afectar a los escarabajos coprófagos (Verdú *et al.* 2006). Sin embargo, es difícil poder asegurar que la urbanización como acción, es la responsable de la pérdida total de la diversidad de un ecosistema, ya que diversos factores como la disponibilidad de recursos dentro de las zonas urbanas así como los hábitos alimenticios y la capacidad de dispersión de las especies involucradas juegan un papel muy importante para el desarrollo de los escarabajos coprófagos.

De esta manera, en este trabajo no se puede descartar la posibilidad de encontrar especies de escarabajos coprófagos que puedan desarrollarse aprovechando los recursos que pueda haber en zonas urbanas. Por ejemplo, la existencia de animales domésticos dentro de la ciudad, puede favorecer la presencia de escarabajos coprófagos, ya que el excremento de estos animales, como perros y gatos, o incluso excremento humano pueden ser un recurso para el desarrollo de los escarabajos escarabaeinos. Esto puede proporcionar un refugio temporal para las especies de escarabajos coprófagos, que de otra manera podrían llegar a la extinción local en las zonas urbanas (Carpaneto *et al.* 2005).

Relación entre la diversidad taxonómica de escarabajos carábidos y la urbanización

Los resultados de diversidad taxonómica de escarabajos carábidos obtenida en este trabajo, muestran que existen diferencias entre la riqueza de especies y la diversidad

taxonómica en las comunidades de escarabajos colectadas a lo largo del gradiente de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca. En particular, los resultados muestran que los sitios con mayor riqueza de especies, no son necesariamente los que cuentan con una mayor diversidad taxonómica (Cuadro 4). Esto quiere decir que los sitios que presentan comunidades con una diversidad taxonómica alta son los que están conformados por especies que no pertenecen a un mismo género, tribu o subtribu en este caso, tal y como lo reporta García de Jesús, y colaboradores en 2015, al evaluar la diversidad de los escarabajos Melolonthinae, Rutelinae y Dynastinae encontrando diferentes tendencias entre la riqueza de especies y la diversidad taxonómica en las comunidades de escarabajos.

En este trabajo se observa que la diversidad taxonómica de escarabajos carábidos, tiende a disminuir cuando las comunidades de los mismos se encuentran en sitios con un mayor porcentaje de superficie de cobertura impermeable, es decir, las comunidades más cercanas a la mancha urbana de la zona metropolitana de Pachuca tienen una menor diversidad taxonómica con respecto a las comunidades de escarabajos carábidos en sitios más alejados a la mancha urbana. De esta manera, el decremento de la diversidad taxonómica de las comunidades de escarabajos carábidos puede deberse a que el paisaje, las condiciones climáticas y la historia del lugar se modifican a tal grado con el fenómeno de la urbanización, que puede desfavorecer a algunas especies en particular, estrechamente relacionadas entre sí.

En este trabajo, no se puede asegurar que la urbanización sea la causa principal de una disminución en la diversidad taxonómica de escarabajos carábidos, sin embargo, no se descarta que sea una de las causas que pudieran estar afectando la composición de las comunidades de estos escarabajos.

CONCLUSIONES

Se encontraron 14 especies de escarabajos de la familia Carabidae, representados en 4 subfamilias, 9 tribus, 12 géneros y 14 especies, y 5 especies de escarabajos de la subfamilia Scarabaeinae, representados en 3 tribus, 3 géneros y 5 especies en la zona metropolitana de Pachuca.

La riqueza y abundancia de escarabajos carábidos no presentó una relación significativa con el porcentaje de cobertura de superficie impermeable, lo cual fue utilizado como medida para determinar el grado de urbanización. La abundancia de escarabajos coprófagos está relacionada de forma negativa con el porcentaje de superficie de cobertura impermeable, no así la riqueza de especies, la cual no mostró una relación significativa.

Se encontró una relación negativa entre la diversidad taxonómica de los escarabajos carábidos y el porcentaje de cobertura impermeable, lo que sugiere que la urbanización podría estar afectando la estructura de las comunidades de este grupo de coleópteros.

Recomendaciones

Debido a que en México, los planes de manejo y desarrollo urbano han sido insuficientes e inadecuados, las ciudades del país en general imponen una amenaza potencial importante para la conservación de la biodiversidad (Ortega-Álvarez *et al.* 2011). Por esta razón, se propone una mayor implementación de áreas verdes dentro de la ciudad como parques, jardines, camellones, ya que éstos pueden significar un papel importante como hábitat para diversas especies no solo de coleópteros, sino de insectos y fauna en general.

LITERATURA CITADA

- Arcopla. 1994. Programa de ordenamiento urbano en la zona conurbada Pachuca-Mineral de la Reforma. Arcopla S.A. de C.V. Gobierno del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo.
- Ball, G. E. y Shpeley, D. 2000. Carabidae (Coleoptera). En: Biodiversidad taxonómica y biogeográfica de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Llorente-Bousquets, J., González-Soriano, E., y Papavero, N. editores. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 363-399p.
- Baker, L. A., Brazel, A. J., Selover, N., Martin, C., McIntyre, N., Steiner, F. R., Nelson, A. y Musacchio, L. 2002. Urbanization and warming of Phoenix (Arizona, USA): impacts, feedbacks and mitigation. *Urban Ecosystems*, 6: 183-203.
- Berkowitz, A. R., Nilon, C. H. y Hollweg, K. S. 2003. Understanding urban ecosystems: A new frontier for science and education. Springer-Verlag.
- Borror, D. J., Triplehorn, C. A. y Johnson, N. F. 1989. An introduction to the study of insects. Sixth edition. Saunders College Publishing, Harcourt Brace College Publishers.
- Bouchard, P., Grebennikov, V, V., Smith A. B. y Douglas, H. 2009. Biodiversity of Coleoptera. En: *Insect Biodiversity: Science and society*. Foottit, R. G. y Adler, P. H. editores. Wiley-Blackwell Publishing, 265-301p.
- Breuste, J., Feldamenn H. y Ohlmann, O. 1998. *Urban Ecology*. Springer Verlag, Berlin.

- Carpaneto, G. M., Mazziotta, A. y Piattella, E. 2005. Changes in food resources and conservation of scarab beetles: From sheep to dog dung in a green urban area of Rome (Coleoptera, Scarabaeoidea). *Biological Conservation*, 123: 547-556.
- Chao, A., Chiu, C. H. y Jost, L. 2010. Phylogenetic diversity measures based on Hill numbers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365: 3599-3609.
- Clarke, K. R. y Warwick, R. M. 1998. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35: 523-531.
- Cohen, J. E. 2003. Human population: The next half century. *Science*, 302: 1172-1175.
- Costa, C. 2000. Estado de conocimiento de los Coleoptera Neotropicales. En: Proyecto Iberoamericano de Biogeografía y Entomología Sistemática: PRIBES 2000: trabajos del primer taller de entomología sistemática. Morrone, J. J. y Melic, A. editores. Sociedad Entomológica Aragonesa, 99-114p.
- Czech, B. y Krausman, P. R. 1997. Distribution and causation of species endangerment in the United States. *Science*, 277: 1116-1117.
- Erwin T. L. 1991. Natural history of the carabid beetles at the BIOLAT Biological Station, Rio Manu, Pakitza, Peru. *Revista Peruana de Entomología*, 33: 1-85.
- Faggi, A. y Perepelizin, V. P. (2006). Riqueza de aves a lo largo de un gradiente de urbanización en la ciudad de Buenos Aires. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 8: 289-297.

- Figuerola, L. y Alvarado, M. 2011. Coleópteros coprófagos (Scarabaeidae: Scarabeinae) de la Reserva Nacional Tambopata, Madre de Dios, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 18: 209-212.
- García de Jesús, S., Moreno, C. E., Morón, M. A., Castellanos, I. y Pavón, N. P. 2015. Especies y composición taxonómica: dos enfoques para evaluar la diversidad alfa y beta de escarabajos Melolonthidae en la Faja Volcánica Transmexicana. Aceptado en *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
- Gaston, K. J. 1996. Species richness: measure and measurement. En: *Biodiversity: a biology of numbers and difference*. Gaston, K. J. editor. Blackwell Science, 77-113p.
- Halfpiter, G. y Favila, M. E. 1993. The Scarabaeinae an animal group for analysing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscapes. *Biology International*, 27: 15-21.
- Halfpiter, G. y Matthews, E. G. 1966. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). *Folia Entomológica Mexicana*, 12/14: 1-312.
- Hartley, D. J., Koivula, M. J., Spence, J. R., Pelletier, R. y Ball, G. E. 2007. Effects of urbanization on ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) of grassland habitats in western Canada. *Ecography*, 30: 673-684.
- Harper, J. L. y Hawksworth, D. L. 1994. Biodiversity: Measurement and Estimation. *Philosophical transaction of the Royal Society of London. Biological Sciences*, 345: 5-12.

- INEGI. 2005. Delimitación de las zonas metropolitanas de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI. 2014. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2013, 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Jiménez-Sánchez, E., Labrador Chávez, G., López Contreras, E., Navarrete-Heredia, J. L. y Padilla Ramírez, J. 2009. Escarabajos (Coleoptera: Staphylinidae, Silphidae, Scarabaeidae y Trogidae). En: La diversidad biológica del Estado de México. Ceballos, G., List, R., Garduño, G., López-Cano, R., Muñozcano-Quintanar, M, J., Collado, E. y San Román, J, E. compiladores, Gobierno del Estado de México, 97-102p.
- Jiménez-Valderve, A. y Hortal, J. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8: 151-161.
- Kotze, J. y O'Hara, R. 2003. Species decline – but why? Explanations of carabid beetle (Coleoptera, Carabidae) declines in Europe. *Oecologia*, 135: 138-148.
- Korasaki, V., Lopes, J., Brown, G. G. y Louzada, J. 2013. Using dung beetles to evaluate the effects of urbanization on Atlantic Forest biodiversity. *Insect Science*, 20: 393-406.
- Lawrence, J. F. 1982. Coleoptera. En: *Synopsis and classification of living organisms*. Parker, S. P. editor. McGraw-Hill, 482-553p.
- Llorente-Bousquets, J. y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota. En: *Capital Natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*.

- Soberón, J., Halfpiter, G. y Llorente-Bousquets, J. compiladores. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 283-322p.
- Lobo, J. M., Martín-Piera, F. y Veiga, C. M. 1988. Las trampas pitfall con cebo, sus posibilidades en el estudio de las comunidades coprófagas de Scarabaeidae (Col.). I Características determinantes de su capacidad de captura. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 25: 77-100.
- Lövei G. L. y Sunderland K. D. 1996. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annual Review of Entomology*, 41: 231-256.
- Luck, G. W. y Smallbone, L. T. 2011. The impact of urbanization on taxonomic and functional similarity among bird communities. *Journal of Biogeography*, 38: 894-906.
- MacGregor-Fors I. 2010. How to measure the urban-wildland ecotone: redefining “peri-urban” areas. *Ecological Research*, 25: 883-887.
- MacGregor-Fors, I., Avendaño-Reyes, S., Bandala, V. M., Chacón-Zapata, S., Díaz-Toribio, M. H., González-García, F., Lorea-Hernández, F., Martínez-Gómez, J., Montes de Oca, E., Montoya, L., Pineda, E., Ramírez-Restrepo, L., Rivera-García, E., Utrera-Barrillas, E. y Escobar, F. 2014. Multi-taxonomic diversity patterns in a neotropical green city: a rapid biological assessment. *Urban Ecosystems*, 18: 633-647.
- Magura, T., Lövei, G. L. y Tóthmérész, B. 2010. Does urbanization decrease diversity in ground beetle (Carabidae) assemblages? *Global Ecology and Biogeography*, 19: 16-26.

- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. *African Journal of Aquatic Science*, 29: 285-286.
- Martinson, H. M. y Raupp, M. J. 2013. A meta-analysis of the effects of urbanization on ground beetle communities. *Ecosphere*, 4:60. <http://dx.doi.org/10.1890/ES12-00262.1>
- May, R. M., Lawton, J. H. y Stork, N. E. 1995. Assessing extinction rates. En: *Extinction Rates*. Lawton, J. H. y May, R. M. editores. Oxford University Press, 1-24p.
- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127: 247-260.
- Moreno, C. E., Castillo-Campos, G. y Verdú, J. R. 2009. Taxonomic diversity as complementary information to assess plant species diversity in secondary vegetation and primary tropical deciduous forest. *Journal of Vegetation Science*, 20: 935-943.
- Morón, M. A. y R. Terrón. 1988. *Entomología práctica*. Instituto de Ecología A.C.
- Morón, M. A. y Valenzuela-González, J. E. 1993. Estimación de la biodiversidad de insectos en México; análisis de un caso. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 44 (volumen especial): 303-312.
- Morón, M. A. 2003. *Atlas de los escarabajos de México. Coleoptera: Lamellicornia Vol II Familia Scarabaeidae, Trogidae, Passalidae y Lucanidae*. Argania Editio.
- Niemelä, J. 2000. Is there a need for a theory of urban ecology? *Urban Ecosystems*, 3: 57-65.

- Niemelä, J., Kotze, J. D., Venn, S., Penev, L., Stoyanov, I., Spence, J., Hartley, D. y Montes de Oca, E. 2001. Carabid beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) across urban-rural gradients: an international comparison. *Landscape Ecology*, 17: 387-401.
- Ortega-Álvarez, R., MacGregor-Fors, I., Pineda-López, R., Pineda-López, R., Ramírez-Bastida, P. y Zuria, I. 2011. México. En: *Ecología Urbana: Experiencias en América Latina*. Macgregor-Fors, I. y Ortega-Álvarez, R. editores, Instituto de Ecología, 82-99p.
- Pimentel, D., Stachow, U., Takacs, D., Brubaker, H., Dumars, A., Meany, J., Oniel, J., Onsi, D. y Corsilius, D. 1992. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience*, 42: 354-363.
- Pineda-López, R. y Verdú-Faraco, J. R. 2013. *Medición de la biodiversidad: diversidades alfa, beta y gamma*. Universidad Autónoma de Querétaro, Universidad de Alicante. Editorial Universitaria.
- Purvis, A. y Hector, A. 2000. Getting the measure of biodiversity. *Nature*, 405: 212-219.
- Reichardt, H. 1977. A Synopsis of the Genera of Neotropical Carabidae (Insecta: Coleoptera). *Quaestiones Entomologicae*, 13: 346-493.
- Roznik, E. A. y Alford, R. A. 2012. Does waterproofing Thermochron iButton dataloggers influence temperature readings? *Journal of Thermal Biology*, 37: 260-264.
- Varet, M., Pétilon, J. y Burel, F. 2011. Comparative responses of spider and carabid beetle assemblages along an urban rural boundary gradient. *Journal of Arachnology*, 39: 236-243.

- Venn, S. J., Kotze, D. J. y Niemelä, J. 2003. Urbanization effects on carabid diversity in boreal forest. *European Journal of Entomology*, 100: 73-80.
- Venugopal, K. S., Thomas, S. K. y Flemming, A. T. 2012. Diversity and community structure of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) associated with semi-urban fragmented agricultural land in the Malabar coast in southern India. *Journal of Threatened Taxa*, 4: 2685-2692.
- Vejrup, P. A. 2004. Caracterización del Sur de la ciudad de Buenos Aires. Tesis de grado. Universidad de Flores, Argentina.
- Verdú, J. R., Arellano, L., y Numa, C. 2006. Thermoregulation in endothermic dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae): effect of body size and ecophysiological constraints in flight. *Journal of Insect Physiology*, 52: 854-860.
- Vergnes, A., Pellissier, V., Lemperiere, G., Rollard, C. y Clergeau, P. 2014. Urban densification causes the decline of ground-dwelling arthropods. *Biodiversity and Conservation*, 23: 1859-1877.
- Wade, T. G., Riitters, K. H., Wickham, J. D. y Jones, K. B. 2003. Distribution and causes of global forest fragmentation. *Conservation Ecology*, 7: 7.
- Wang, Y. y Moskovits, D. K. 2001. Tracking fragmentation of natural communities and changes in land cover: applications of Landsat data for conservation in an urban landscape (Chicago Wilderness). *Conservation Biology*, 15: 835-843.
- Wallace, M. G. y Richardson, R. H. 2005. Observations of urban dung beetles utilizing dog feces (Coleoptera: Scarabaeidae). *The Coleopterists Bulletin*, 59: 400-401.

Wilson, E. O. 1988. The current state of biological diversity. En: Biodiversity. Wilson, E.O. editor. National Academy Press, 3-18.