



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ÚRSULO GALVÁN

DIVERSIDAD DE HORMIGAS FORRAJERAS  
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) COMO  
INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL EN  
CAÑA DE AZÚCAR Y SILVOPASTORIL.

TRABAJO DE TESIS

Que para obtener el título de:  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

Presenta:  
CORAZÓN DE JESUS LOZANO SALAMANCA

No. Control: 14882236

Úrsulo Galván, Ver., Abril de 2019.



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván

“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”

Úrsulo Galván, Ver., 19/MARZO/2019

No. DE OFICIO: DEP /209/2019

Asunto: Autorización de Impresión

C. CORAZÓN DE JESÚS LOZANO SALAMANCA  
PRESENTE

Por este conducto me dirijo a usted para comunicarle que su trabajo titulado: **DIVERSIDAD DE HORMIGAS FORRAJERAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) COMO INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL EN CAÑA DE AZÚCAR Y SILVOPASTORIL.** Como opción de titulación integral mediante: **Tesis Profesional** después de haber sido revisado por su Asesor y los integrantes de la Comisión de Revisión y usted haber cumplido con todas las correcciones y los requisitos indispensables, ha sido autorizada su impresión; por lo que deberá entregar a este Departamento 01 Ejemplar encuadernado con pasta dura de color Negro y 05 CD'S., debiendo presentarse en formato digital atendiendo a las instrucciones para tal efecto.

**ATENTAMENTE**  
Excelencia en Educación Tecnológica®  
“Nuestro Esfuerzo es Progreso”

M.A. CAROLINA SAC-NICTE MÉNDEZ GONZÁLEZ  
JEFA DEL DEPTO. DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
Instituto Tecnológico  
de Úrsulo Galván  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES

C.p. Archivo  
CSMG/fhb

Carretera Cardel – Chachalacas Km. 4.5, C.P.91667,  
Úrsulo Galván, Ver. Teléfono (296) 9625029 Ext. 108  
[www.itursulogalvan.edu.mx](http://www.itursulogalvan.edu.mx)





**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Úrsulo Galván, Ver, 14/Marzo/2019

ASUNTO: Liberación de Proyecto para Titulación integral.

M.A. CAROLINA SAC-NICTE MÉNDEZ GONZÁLEZ  
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
P R E S E N T E

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación integral

a) Nombre del Egresado	CORAZÓN DE JESÚS LOZANO SALAMANCA
b) Carrera:	LICENCIATURA EN BIOLOGÍA
c) No. de Control	14882236
d) Nombre del proyecto	DIVERSIDAD DE HORMIGAS FORRAJERAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) COMO INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL EN CAÑA DE AZÚCAR Y SILVOPASTORIL
e) Producto	TESIS

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

A T E N T A M E N T E  
"Nuestro esfuerzo es progreso"

Q.C. ADRIANA E. RIVERA MEZA  
JEFA DEL DEPTO. DE INGENIERIAS

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE ÚRSULO GALVÁN

 DRA. JACEL-ADAME GARCÍA	 DR. FÉLIX DAVID MURILLO CUEVAS	 MTRO. JOSÉ ANTONIO FERNÁNDEZ VIVEROS
Nombre y Firma del Directora	Nombre y Firma del Asesor	Nombre y Firma del Asesor

c.c.p. Expediente

Carretera Cardel - Chachalacas Km. 4.5, C.P. 91667,  
Úrsulo Galván, Ver. Teléfono (296) 9625029 Ext. 102  
www.itursulogalvan.edu.mx



# AGRADECIMIENTOS

## AL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO POR EL FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO DIVERSIDAD GENÉTICA Y TAXONÓMICA DE ESPECIES DE HORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EN FRAGMENTOS NATURALES DE ÁREAS PRODUCTIVAS

CLAVE 6609.18-P

Gracias a mi Directora de Tesis, la **Dra. Jacel Adame García**, por su entusiasmo, entrega, determinación y amor con la cual hace su trabajo, con el cual me contagio de esa actitud tan positiva y llena de energía, me hizo cambiar de pensamientos cuando me dio clases y así me acerque a ella para que me ilustrara más de sus conocimientos adquiridos, sinceramente no pensé llegar tan lejos con ella, pero así fue, llegue hasta Chihuahua en el Concurso del Eneit hasta la etapa Nacional, con nuestro producto/servicio "ConCiencia Kit" este concurso te hace ver las capacidades que ya tienes y las que puedes desarrollar junto con tus asesores. La Dra. Aparte de ser nuestra asesora de Eneit, hizo el papel de Docente, Amiga y Madre, para mí y mis demás compañeros del equipo jamás nos dejó solos con el concurso siempre apoyándonos por lo que hicimos bien y reflexionando lo que hicimos mal y claro también regaños por los materiales olvidados de nuestro producto jamás olvidare esa faceta en mi vida gracias a ella aprendí muchas cosas para ejercerlas en el ámbito laboral, que no por ser mujer nos vamos a detener hacer lo que queremos lograr y que con amor, esfuerzo y dedicación las cosas salen mucho mejor. Agradecida mil Dra. Por tan valiosos aprendizajes y haberme permitido mostrar más de mis capacidades y haber dejado que fuera una de sus tesis en tan grandioso proyecto la quiero mucho.

Gracias también al **Dr. Félix David Murillo Cuevas** por permitirme saber y adquirir más de sus conocimientos por trabajar junto con usted mi tesis y que día con día aprendí nuevas cosas y de eso se trata el hacer una tesis desempeñar los conocimientos adquiridos y aprender más, porque uno nunca acaba de aprender cosas nuevas.

Al igual gracias a la **Maestra Jazmín**, la **Bioquímica Sara** y el **Químico Antonio** que formaron parte de mi formación profesional pero que también me dejaron grandes enseñanzas dentro y fuera del aula.

## DEDICATORIA

Antes que todo le doy gracias a Dios por permitirme haber concluido esta etapa de mis estudios que es la Licenciatura.

A mí porque pese a circunstancias de la vida tome la decisión de seguir adelante con mis estudios.

Gracias a mis padres, **Joaquín Lozano Lozano y Marialuisa Salamanca Merino** por el apoyo y amor incondicional que me dan siempre y por el esfuerzo que hacen día con día para concluir esta etapa, a pesar de esa locura, atrevimiento y alegría que me caracteriza. Desde hace 18 años que empecé con mis estudios, agradecida infinitamente que me hereden lo único con lo que nos podemos defender en la vida, mis estudios y conocimientos adquiridos, los valores que me inculcaron desde pequeña las enseñanzas y que gracias a ellos hoy soy esa mujer que está dispuesta a desempeñar un buen papel ante la sociedad como Licenciada.

En estos 4 años me hice de grandiosos amigos, **Antonio García, Denys Alemán, Pamela Montiel y Fer Aburto**, que pese a discusiones y enfados, venían las risas, carcajadas, llanto de las carcajadas, esos chistes crueles que hacíamos, como olvidar esa primera vez que participe en Señorita ITUG 40 aniversario, ese apoyo incondicional que me dieron mis compañeros de salón, familia, amigos y que dudaba de mi capacidad para ganar por los estereotipos marcados para un concurso así, pero gracias a todos con ese entusiasmo y confianza me demostraron y dejaron una enseñanza grande no dudar de lo que yo puedo llegar hacer porque lo tengo todo para demostrar que soy capaz y más cuando me dicen que no puedo hacerlo y así gane el concurso con su confianza y con mis ganas de demostrarles a todos que yo sí puedo porque tome la decisión de dejar el miedo atrás. Ellos son parte de la realización de mi tesis estoy agradecida con cada uno de ellos porque sin ellos al realizar la tesis hubiera sido un poco aburrida y le pusieron sabor.

De cada persona que conocí desde que llegue al tecnológico a lo largo de estos 4 años que son mis compañeros y amigos de clases, Toño, Magaly, Julian, Brandon, Tomas, Denys, Pame, Jassive, Fer, Nidia, Yaneth, Imelda, Arturo, Brenda, Karla, Misa y Marleny, me llevo muy bonitos recuerdos aprendizajes y apoyo de su persona hacia mí cada uno tiene un espacio en mi corazón junto con cada integrante docente que trabaja en este instituto que me brindo su amistad como Jessi y Abraham.

Estas palabras son pocas a comparación de lo agradecida que estoy con todos los que me apoyaron al inicio y al final de la Licenciatura y también a los que no lo hicieron.

El camino del aprendizaje sé que aún no termina aquí, pero esta tesis es un poco de mis conocimientos adquiridos en estos 4 años y que están plasmados en estas hojas,

espero que les sirva a generaciones futuras lo importante que es la investigación y el hacer una tesis.

Les invito a formar parte de lo grandioso que es gozar lo que se tiene en el momento si la vida te lleva por otras circunstancias acéptalas porque de ti depende hacerlo de algo mejor a lo maravilloso, vive disfruta, aprende, goza, se una persona de bien, en la vida encontraras docentes buenos, regulares, malos, pero de ti depende, tus actitudes, tu vibra, todo lo que haces bien o mal atrae a las personas a tu alrededor, busca atraer personas con buena energía, positivismo y que no te quiera limitar de tus acciones y aptitudes, todo está en querer y poder.

*“No es por lo que eres sí no por lo que tú transmítes ahí es donde está la magia”.*

*-Anónimo-*

*“Llegue al mundo sin nada, me iré del mundo sin nada, solo se irán conmigo las obras buenas y malas que estarán escritas en el Libro de mi Vida. Todo lo demás fue Prestado.*

*-Anónimo.*

*“Puede que no sepamos lo que queremos, pero tenemos que Saber lo que NO queremos”*

*-Paulo Coelho.*

## RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la abundancia, riqueza y diversidad de hormigas forrajeras en tres usos de suelo, con la finalidad de utilizar estos parámetros como indicadores de impacto ambiental. Los sitios de muestreo se establecieron en el municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, México. Se establecieron tres usos de suelo: 1) caña de azúcar; 2) silvopastoril; y 3) acahual. Dentro de cada área de uso de suelo se establecieron dos parcelas de  $\approx 50 \text{ m}^2$ . En cada parcela se colocaron 10 trampas de caída para hormigas forrajeras. De las especies que se colectaron en las trampas se hizo un secado de ellas en diferentes porcentajes de alcohol, cada 15 minutos, de ahí se montaron las hormigas. Las especies montadas fueron identificadas con ayuda de una guía taxonómica. Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey  $\alpha=0.05$  para comparar los usos de suelos. Se colectaron un total de 2,640 individuos pertenecientes a 13 especies de hormigas, en suelo con silvopastoril se registró la mayor abundancia de hormigas; sin embargo, esto fue debido a la abundancia de una sola especie *Cheliomyrmex* sp., la cual predominó y se asoció al suelo con silvopastoril. El suelo con acahual fue el que registró la mayor riqueza, diversidad y equidad de especies de hormigas, seguido del suelo con caña de azúcar y por último el suelo con silvopastoril. La mayoría de las especies de hormigas fueron asociadas al suelo con acahual, excepto las especies *Ectatomma ruidum*, *Camponotus atriceps*, *Oligomyrmex* sp. y *Forelius keiferi* las cuales estuvieron asociadas al suelo con caña de azúcar. Los usos de suelo con caña de azúcar y silvopastoril afectaron significativamente la diversidad de hormigas forrajeras. El uso de suelo con acahual favoreció y mantuvo una buena diversidad de hormigas forrajeras. Aunque las actividades agrícolas y ganaderas son rentables en el municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, nuestros resultados llaman la atención sobre una pérdida significativa de la diversidad de hormigas forrajeras debido al cambio de uso de suelo de acahuales a caña de azúcar y/o silvopastoriles.

## INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES .....	3
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	8
IV.	OBJETIVOS.....	9
4.1.	General.....	9
4.2.	Particulares.....	9
V.	HIPOTESIS .....	9
VI.	MARCO TEORICO .....	10
6.1.	Macrofauna.....	10
6.1.1.	Tipos de Macrofauna.....	11
6.1.2.	Importancia.....	13
6.2.	Hormigas.....	13
6.2.1.	Generalidades .....	13
6.2.2.	Importancia Biológica .....	14
6.2.3.	Importancia Ecológica .....	16
6.2.4.	Taxonomía – Morfología.....	16
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
7.1.	Área de estudio .....	18
7.2.	Diseño experimental.....	19
7.3.	Colecta y procesamiento.....	20
7.4.	Análisis de datos .....	23
VIII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
IX.	CONCLUSIONES.....	39
IX.	RECOMENDACIONES .....	40
XI.	FUENTES DE CONSULTA .....	41

## Índice de Cuadros

Cuadro 1.	Diversidad local de hormigas en distintos ecosistemas de México.	5
Cuadro 2.	Abundancia, riqueza, diversidad y equidad de especies de hormigas forrajeras colectadas en los diferentes usos de suelo.	25
Cuadro 3.	Coeficiente de similitud de Jaccard entre los usos de suelos, el cual expresa el grado en el que dos usos de suelo son semejantes por las especies presentes en ellos.	27
Cuadro 4.	Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) para la variable de respuesta abundancia de hormigas en los usos de suelo. N=30, $R^2= 0.34$ , C.V.= 35.0.	27
Cuadro 5.	Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) para la variable de respuesta riqueza de especies de hormigas en los usos de suelo. N=30, $R^2= 0.51$ , C.V.= 22.7.	29
Cuadro 6.	Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) para la variable de respuesta diversidad de especies de hormigas en los usos de suelo. N=30, $R^2= 0.44$ , C.V.= 21.7	30
Cuadro 7.	Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) para la variable de respuesta equidad de especies de hormigas en los usos de suelo. N=30, $R^2= 0.24$ , C.V.= 19.1.	31

## Índice de Figuras

Figura 1.	Obrera de <i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius); donde se muestran los principales caracteres morfológicos de las hormigas. I, II, III y IV son los segmentos del abdomen	17
Figura 2.	Ubicación de los polígonos de las cuatro áreas de muestreo en el interior de los terrenos del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván	18
Figura 3.	Colocación de trampas de caída en el sitio con el cultivo caña de azúcar.	20
Figura 4.	Recolección del contenido de las trampas de caída.	21
Figura 5.	Almacenamiento de las hormigas en frascos de vidrio con alcohol al 70%.	22
Figura 6.	Conteo, clasificación e identificación de las hormigas colectadas.	22
Figura 7.	Análisis de correspondencia simple entre las especies de hormigas y los usos de suelos.	26
Figura 8.	Promedio de abundancia de hormigas en los diferentes usos de suelo. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes $\alpha=0.05$ .	28
Figura 9.	Promedio de riqueza de especies de hormigas en los diferentes usos de suelo. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes $\alpha=0.05$ .	29
Figura 10.	Promedio de diversidad de especies de hormigas en los diferentes usos de suelo. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes $\alpha=0.05$ .	30
Figura 11.	Promedio de equidad de especies de hormigas en los diferentes usos de suelo. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes $\alpha=0.05$ .	31
Figura 12.	Especie <i>Cheliomyrmex</i> sp. Tamaño aproximado 1.0 cm.	33
Figura 13.	Especie <i>Pachycondyla harpax</i> . Tamaño aproximado 1.3 cm.	34

## Índice de Figuras

Figura 14.	Especie <i>Oligomyrmex</i> sp. Tamaño aproximado 0.2 cm.	34
Figura 15.	Especie <i>Ectatomma ruidum</i> . Tamaño aproximado 0.5 cm.	34
Figura 16.	Especie <i>Camponotus atriceps</i> . Tamaño aproximado 1.0 cm.	35
Figura 17.	Especie <i>Odontomachus laticeps</i> . Tamaño aproximado 1.2 cm.	35
Figura 18.	Especie <i>Acropyga</i> sp. Tamaño aproximado de 2.8 mm.	35
Figura 19.	Especie <i>Atta mexicana</i> . Tamaño aproximado 1 cm.	36
Figura 20.	Especie <i>Nomamyrmex hartigii</i> . Tamaño aproximado de 4.5 mm.	36
Figura 21.	Especie <i>Ection borchelli paruispinum</i> . Tamaño aproximado de 7 mm.	37
Figura 22.	Especie <i>Mycocepurus smithii</i> . Tamaño aproximado de 3.5 mm.	37
Figura 23.	Especie <i>Pheidole megacephala</i> . Tamaño aproximado de 5.2 mm.	38

## I. INTRODUCCIÓN

Las hormigas son un grupo de himenópteros sociales de gran diversidad, tanto taxonómica como funcional. Todas sus especies pertenecen a la familia Formicidae, dentro de la Superfamilia Vespoidea, que se considera “constituye un grupo monofilético” (Brothers & Carpenter, 1993). Se ha hipotetizado que su éxito biológico se debe a que fueron los primeros insectos sociales con hábitos depredadores que ocuparon el suelo (Wilson, 1971).

El uso de suelo asociado a la producción agrícola y ganadera es uno de los factores claves que afecta a la biodiversidad edáfica, con impactos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, provocando una disminución general o pérdida total de este (Cabrera y Zuaznábar, 2010; Cabrera *et al.*, 2011; Cabrera, 2012; Desiree *et al.*, 2014; Franco *et al.*, 2016).

Los cambios en la composición de la vegetación (ejemplo de sistemas diversos a monocultivos), junto con la degradación física y química del suelo, pueden impactar en la abundancia y composición de especies (Wolters *et al.*, 2000; Brown *et al.*, 2004) y afectar los atributos básicos de los ecosistemas (Masera *et al.*, 1999) y los bienes y servicios que éstos proveen a la humanidad (Duffy, 2002, 2003, Hooper *et al.*, 2005). Las propiedades de los ecosistemas dependen fuertemente de la biota y de sus atributos funcionales y estructurales como comunidades biológicas (Brussard, 1998).

En este sentido las hormigas juegan un papel como ingenieros del ecosistema (Folgarait, 1998; Jones *et al.*, 1994) interviniendo en procesos biogeoquímicos que afectan la disponibilidad de recursos, los flujos de materia, la humedad y temperatura del suelo,

afectando de esta manera a otros organismos y procesos del sistema (Gutiérrez y Jones, 2006; Huhta, 2007).

Las hormigas son de distribución cosmopolita y no poseen especies nativas los territorios de la Antártida, Islandia, Groenlandia y las islas de: Pacífico central (Holldobler & Wilson, 1990). Rojas (2001) reporta que, en México, los estados que presentan mayor número de especies de hormigas registradas son Veracruz (137), Chiapas (68) y Nuevo León (60). Las hormigas son insectos que cumplen con las condiciones requeridas para reflejar lo que sucede a otros grupos de organismos en ambientes cambiantes o para detectar centros de concentración de especies raras y endemismos (Andersen 1990; Brown 1991).

Las hormigas además son bioindicadores de perturbación, debido a su alta diversidad y abundancia, a la variedad de nichos que ocupan y a su rápida respuesta a cambios ambientales, pudiendo ser útiles en la evaluación de respuestas biológicas frente a prácticas agrícolas como la fertilización, la fumigación y las quemas (Folgarait 1998; Peck *et al.*, 1998; Graham *et al.*, 2008,).

En la región centro de Veracruz, México desde hace más de cincuenta años se ha dado un cambio de uso de suelo, de áreas de vegetación nativa, como los acahuales, a agrícolas y/o pecuarias (Plan Veracruzano de Desarrollo, 2016). Municipios como Úrsulo Galván, tienen casi el 50% de su suelo usado para el cultivo de caña de azúcar, 23% para pastizales y sólo 6% para vegetación nativa (INAP, 2013).

Por lo que, en el presente estudio se evaluó la abundancia, riqueza y diversidad de hormigas forrajeras en tres usos de suelo, con la finalidad de utilizar estos parámetros ecológicos como indicadores de impacto ambiental.

## II. ANTECEDENTES

Las hormigas son buenas candidatas para el uso como bioindicadores en ambientes terrestres porque presentan una distribución geográfica amplia, son localmente abundantes, funcionalmente importantes en todos los niveles tróficos, fácilmente muestreados y separados en morfoespecies, por ser susceptibles a los cambios climáticos y también porque permiten una clasificación en grupos funcionales debido a su diversidad de tal manera que pueden correlacionarse con la de otros componentes bióticos del área estudiada (Majer, 1983; Andersen, 1991,1992; Vanderwoude *et al.*, 1997; Alonso, 2000).

En México las comunidades del suelo más ricas en especies son las de selvas altas y medianas (MacKay *et al.*, 1991, Cartas, 1993) aunque también algunos pastizales inducidos de los trópicos húmedos albergan una buena diversidad (Quiroz & Valenzuela, 1995). Los matorrales y los pastizales áridos, junto con los bosques templados son los más pobres en especies (García Pérez *et al.*,1992, Flores-Maldonado *et al.*, 1999; Rojas & Fragoso, 2000), mientras que el bosque mesófilo tiene una diversidad intermedia (Cuadro 1). En las selvas tropicales la mayoría de las especies del suelo vive dentro de las ramas y trozos pequeños de madera muerta y entre o debajo de la capa de hojarasca, mientras que muy pocas construyen su nido directamente en el suelo. En las zonas áridas, por el contrario, la gran mayoría de las especies anida dentro del suelo y entre las raíces vivas de las plantas.

En los bosques templados se presenta otro patrón diferente: las hormigas viven casi exclusivamente bajo las piedras, únicos sitios donde la temperatura del suelo alcanza valores suficientemente elevados para permitir el desarrollo de las larvas. La humedad en estos bosques puede también ser un factor limitante para las poblaciones de hormigas.

En manchones de bosque de pino-encino ubicados en cañadas del Cofre de Perote y la Sierra de Chiconquiaco (localidades en el estado de Veracruz), donde la humedad del ambiente es muy elevada, la comunidad está formada por cuatro o cinco especies solamente, además de que las colonias son extremadamente escasas (obs. pers.).

Las hormigas son insectos sociales de gran diversidad taxonómica y funcional, todas sus especies pertenecen al Orden Hymenoptera y Familia Formicidae, se encuentran en todos los hábitats desde el Polo Norte hasta La Patagonia, y junto con las termitas, son los animales más abundantes en ecosistemas terrestres de áreas tropicales (Hölldobler y Wilson 1990; Rojas, 2001). Rojas (2001) reporta que en México los estados que presentan mayor número de especies de hormigas registradas son Veracruz (137), Chiapas (68) y Nuevo León (60). Las hormigas tienen funciones muy importantes en los ecosistemas, interviniendo en el ciclo de nutrientes, en el enriquecimiento de los suelos y en una gran diversidad de interacciones tróficas, de tal manera que son mencionadas como controladores biológicos de plagas, dispersores de semillas, bioindicadores y como elementos importantes para definir la biodiversidad (Hölldobler y Wilson, 1990; Andersen y Sparling, 1997; Rojas, 2001; Wilson, 2003; Redolfi *et al.*, 2004; Escalante *et al.*, 2006; Lozano-Zambrano *et al.*, 2009). Las hormigas son bioindicadores de perturbación, debido a su alta diversidad y abundancia, a la variedad de nichos que ocupan y a su rápida respuesta a cambios ambientales, pudiendo ser útiles en la evaluación de respuestas biológicas frente a prácticas agrícolas como la fertilización, la fumigación y las quemas (Folgarait 1998; Peck *et al.*, 1998; Graham *et al.*, 2008; Murillo *et al.*, 2019).

En la región centro del estado de Veracruz, en el municipio de Úrsulo Galván se ha reportado el efecto del uso de suelo con caña de azúcar y pasto sobre la fauna de artrópodos edáficos, indicando que los suelos con pasto afectan más que el suelo con caña de azúcar, y que los suelos con vegetación silvestre tienen mayor diversidad de fauna edáfica (Murillo *et al.*, 2019).

Cuadro 1. Diversidad local de hormigas en distintos ecosistemas de México

<b>Tipo de Vegetación</b>	<b>Localidad</b>	<b>No. Spp.</b>	<b>Referencia</b>	<b>Comentarios</b>
Selva Alta Perennifolia	Volcan S.M Pajapan, Ver	106	Cartas 1993	EL muestreo incluyo la selva no perturbada y un acahual adyacente derivadp de esta. Suelo (hasta 30cm de profundidad) y vegetación baja. (=33 especies son arborícolas).
Selva Alta Perennifolia	Los Tuxtlas, Ver	85	Quiroz y Valenzuela 1995	Suelo (hasta 20cm de profundidad) y vegetación baja. (=25 especies son arborícolas).
Selva Alta Perennifolia	Palenque, Chis.	84	MackKay <i>et al.</i> 1991	Suelo (hasta 10cm de profundidad) y vegetación baja. (28 especies son arborícolas).
Selva mediana subperennifolia	La Mancha, Ver.	62	Rojas en prep	Suelo (hasta 30cm de profundidad) y vegetación baja. (=29 especies son arborícolas).
Pastizal inducido	Los Tuxtlas, Ver.	54	Quiroz y Valenzuela 1995	Suelo (hasta 20cm de profundidad) y vegetación baja. (=18 especies son arborícolas).
Selva mediana subcaducifolia	El Cielo, Tamps.	33	Jusino y Philips 1992	Suelo. El muestreo incluyo selva perturbada y no perturbada.
Bosque mesofilo	Teocelo, Ver.	30	Rojas y castillo (en prep)	Suelo (hasta 40cm de profundidad)
Matorrales xerófilos	Mapimi, Dgo	14-26	Rojas y Fragoso 2000	Suelo (hasta 30cm de profundidad) y vegetación (todas las especies viven en el suelo); 9 matorrales de distinta composición y estructura.
Bosque de encino-pino	Chipinque, N.L.	21	Garcia-Perez <i>et al.</i> 1992	Suelo (superficie) y vegetación baja.. (=7 especies son arborícolas).

Cuadro 1. Diversidad local de hormigas en distintos ecosistemas de México

<b>Tipo de Vegetación</b>	<b>Localidad</b>	<b>No. Spp.</b>	<b>Referencia</b>	<b>Comentarios</b>
Pinar	Cañon del Novillo. Tamps	17	Flores-Maldonado <i>et al.</i> 1999	Suelo. Muestreo con necrotrampas.
Encinar	Cañon del Novillo. Tamps	16	Flores-Maldonado <i>et al.</i> 1999	Suelo. Muestreo con necrotrampas.
Pastizales sobre dunas	La Mancha, Ver.	15	Rojas en prep	Suelo (hasta 30cm de profundidad).
Pastizales aridos	Mapimi, Dgo.	11-15	Rojas y Fragoso 2000	Todas las especies viven en el suelo; 3 pastizales de distinta composición y cobertura.
Selva baja caducifolia	Cañon del Novillo. Tamps.	14	Flores-Maldonado <i>et al.</i> 1999	Suelo. Muestreo con necrotrampas.
Bosque de pino	Ayahualulco, cofre de Perote, Ver.	9	Rojas <i>et al.</i> en prep.	Suelo (hasta 20cm de profundidad)
Matorral subinermes	Chipinque, N.L.	8	García-Pérez <i>et al</i> 1992	Suelo (superficie) y vegetación baja.

Fuente: (Rojas, 2001)

El análisis por regiones nos indica que la dominancia de Myrmicinae se mantiene en las comunidades de sitios cálidos, tanto húmedos como secos, de todo el país, mientras que en las zonas templadas es normal encontrar un predominio de Formicinae. En general, las zonas áridas no tienen representantes de Ponerinae ni de Cerapachyinae. Por último, la subfamilia Ecitoninae y muchos géneros americanos de Ponerinae están pobremente representados en el norte, ya que son de afinidad Neotropical típica, con su límite de distribución en el centro de México. Por su ubicación geográfica y diversidad topográfica y climática, en México coexisten especies de géneros neotropicales como *Atta*, *Dorymyrmex* y *Eciton*, con otros de afinidad Neártica como *Myrmecocystus* y *Messor*, así como con géneros Pantropicales (*Pachycondyla*, *Gnamptogenys*, *Strumygenys* y *Wasmannia*), Holárticos (*Myrmica* y *Formica*) y cosmopolitas (*Leptogenys*, *Pheidole* y *Camponotus*) (Rojas, 2001).

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin *et al.*, 2001). Entre las consecuencias más obvias destaca la pérdida del potencial de uso de los múltiples bienes y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas para el bienestar humano, la introducción de especies exóticas, el exterminio de las especies nativas y la pérdida de hábitat en general (Velázquez *et al.*, 2002).

Muchas especies se han adaptado secundariamente a vivir en los árboles y han perdido la glándula metapleural, sin embargo, aún mantienen estrechas relaciones con el suelo (Holldobler & Engel-Siegel, 1984, Zakharov, 1990). Dentro de la macro fauna edáfica, las hormigas son siempre uno de los grupos más abundantes y diversos, en ecosistemas naturales y agroecosistemas (Lavelle & Kohlman, 1984, Camacho 1995, Delable & Fowler, 1995). En estos sistemas desempeñan un papel muy importante como depredadoras, herbívoras o detritívoras, y participan en los procesos fisicoquímicos del suelo, incluyendo la descomposición y el reciclaje de nutrientes (Lobry de Bruyn & Cocacher, 1990, Brussard *et al.*, 1997). De tal forma que las hormigas son organismos estrechamente asociados a los ecosistemas, lo cual permite que estas sean buenos indicadores biológicos de cambios drásticos en los ecosistemas y puedan utilizarse para determinar perturbaciones en el ambiente.

De acuerdo a lo anterior, es necesario realizar estudios a través de la diversidad de organismos indicadores, como las hormigas, para evidenciar el impacto del uso de suelo en actividades agrícolas o pecuarias y buscar soluciones sustentables que permitan la conservación del suelo.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. General**

Evaluar la abundancia, riqueza, diversidad y equidad de hormigas forrajeras en dos usos de suelo caña de azúcar y silvopastoril en la zona de Úrsulo Galván.

### **4.2. Particulares**

- Identificar morfológicamente las hormigas asociadas a los usos de suelo con caña de azúcar, silvopastoril y acahual.
- Estimar la abundancia, riqueza, diversidad y equidad de hormigas forrajeras en los usos de suelo con caña de azúcar, silvopastoril y acahual.

## **V. HIPOTESIS**

La abundancia, riqueza, diversidad y equidad de hormigas forrajeras se verá afectada por el uso de suelo.

## **VI. MARCO TEORICO**

### **6.1. Macrofauna**

La macrofauna es la más sobresaliente fauna del suelo (Swift, Bignell, Moreira, & Huising, 2008). La macrofauna del suelo están descritos por animales que miden más de un centímetro de largo y más de dos milímetros de diámetro o ancho (Bignell, Constantino, Csuzdi, & Karyanto, 2008). Los grupos más significativos son las lombrices, las termitas, las hormigas y los escarabajos.

Los milpiés y las termitas son los mayores consumidores de residuos orgánicos en el bosque, y las larvas de los insectos como las moscas, son importantes consumidores de material radicular, por otro lado, los ciempiés, arañas, escorpiones y escarabajos frecuentemente son los depredadores dominantes en el suelo y lecho (Bardgett, 2005).

Las hormigas son otro grupo de macrofauna del suelo y son entre otros unos de los insectos más extendidos en el planeta. Estos animales tienen una gran variedad de hábitos alimenticios, siendo depredadores, consumidores de plantas y microorganismos, y omnívoros oportunistas. En los biomas donde las hormigas son muy abundantes, estas afectan muchos procesos del suelo a través de la construcción y organización de sus nidos, estos nidos pueden tener una altura mayor a dos metros, entre 200 a 1000 montículos por hectáreas, además ayudan a la creación de mosaicos de caminos y caracterizan el suelo y la vegetación del paisaje. Estos nidos influyen críticamente en los procesos de los ecosistemas tales como la redistribución del agua y el ciclo de los nutrientes (Bardgett, 2005).

### 6.1.1. Tipos de Macrofauna

Las comunidades de la macrofauna varían en su composición, abundancia y diversidad, en dependencia del estado de perturbación del suelo causado por el cambio de uso de la tierra, lo que permite valorar estas comunidades como bioindicadores de calidad o alteración ambiental (Pashanasi, 2001; Lavelle, Senapati y Barros, 2003; Ruiz, 2007; Velásquez *et al.*, 2009; Cabrera, Robaina, Ponce de León, 2011b).

Los invertebrados que integran la macrofauna del suelo manifiestan algunos de estos rasgos, lo cual justifica su utilización como indicadores biológicos. Entre ellos se pueden señalar: la ventaja de su diversificación taxonómica y ecológica, sus hábitos relativamente sedentarios, la presencia a lo largo del año, y la posibilidad de que sean manipulados e identificados (tratamiento taxonómico). También su corto período entre generaciones permite una rápida respuesta poblacional a los cambios ambientales, y su alta densidad y capacidad de reproducción posibilitan un muestreo intensivo, sin que ello provoque desequilibrio en la comunidad. Otras características son: su importancia funcional en los ecosistemas y una respuesta aparentemente previsible ante las perturbaciones (Brown, 1997; McGeoch, 1998; Jones y Eggleton, 2000; McGeoch, van Rensburg y Botes, 2002).

Además, el hecho de que sean relativamente fáciles de ver, identificar y manipular en condiciones de campo, para ser evaluados por los productores, es otro aspecto válido en su elección como bioindicadores (Zerbino, 2005).

Dentro de este tipo de organismo se encuentran las lombrices de tierra, que, por ser de cuerpo blando y limitada movilidad, son afectadas por factores como el clima, la alimentación, la humedad, la textura y las condiciones químicas del suelo; por lo que

manifiestan cambios de composición y abundancia en una corta escala de tiempo (Chocobar, 2010). Las lombrices de tierra tienden a prevalecer en ambientes edáficos húmedos, no compactados y con alto contenido de materia orgánica.

Por el contrario, otros grupos como las termitas adquieren importancia en zonas de cultivos, donde su invasión y agresividad han estado relacionadas con condiciones adversas de temperatura y humedad, así como con el contenido y la calidad del material orgánico en el suelo. En función de ello, Barros, Pashanasi, Constantino y Lavelle (2002) y Lavelle *et al.* (2003) sugirieron el empleo del índice de la densidad lombrices/termitas, en el cual la dominancia de las lombrices se corresponde con los hábitats conservados, y la prevalencia de termitas como organismos oportunistas y más resistentes a perturbaciones inducidas indica hábitats menos conservados o con algún nivel de degradación.

Artrópodos Predominan en la macrofauna en biodiversidad y número. Constituyen un poco menos del 10% de la biomasa del suelo. Su principal función es trocear la materia orgánica y dar un soporte adecuado a la vida microbiana. Arácnidos (ácaros) Los ácaros cumplen funciones muy importantes dentro del ecosistema, por ejemplo, en bosques, son degradadores de materia orgánica; otros, de vida libre, actúan como controladores biológicos. Colémbolos Se alimentan de micelios, esporas y bacterias. Consumen detritus para obtenerlos microorganismos que habitan en él, participan activamente en la fragmentación de la hojarasca (Lizarazo-Restrepo, 2014).

### **6.1.2. Importancia**

La mayoría de ellos tienen un ciclo biológico largo, estos grandes invertebrados se mueven libremente, pueden cavar el suelo y crear grandes poros. Las actividades físicas (mezcla del mantillo con el suelo, construcción de estructuras y galerías, agregación del suelo), así como sus actividades metabólicas (utilización de fuentes orgánicas disponibles, desarrollo de relaciones mutualistas y antagonistas), afectan muchos procesos del suelo. Entre éstos, mejoran la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes en la rizósfera, modifican sustancialmente la estructura del suelo a través de la formación de macroporos y agregados, lo que afecta la tasa de infiltración y de aereación.

Estos procesos mejoran las propiedades funcionales del suelo, promoviendo el crecimiento de las plantas, mejorando la distribución del agua en el perfil y disminuyendo la contaminación ambiental (Zerbino y Altier, s,f ).

## **6.2. Hormigas**

### **6.2.1. Generalidades**

Las hormigas son insectos pertenecientes a la familia Formicidae del orden Hymenoptera. Quizá uno de los aspectos más interesantes de estos organismos es que todas son sociales, es decir, viven en colonias dentro de las cuales es posible distinguir una casta obrera y una reproductora (Casanova, 2014).

Algunas especies, como la hormiga soldado, desafían a la norma y no tienen hogares permanentes, las comunidades de hormigas están dirigidas por una o varias reinas, cuya misión en la vida es poner miles de huevos para garantizar la supervivencia de la colonia.

Las hormigas trabajadoras (las que normalmente vemos) son hembras sin alas que no se reproducen. En su lugar, recolectan comida, cuidan la prole de la reina, construyen el hormiguero, protegen a la comunidad y realizan muchas otras labores (National Geographic, 2010).

Las hormigas son pequeñas, con un peso seco típica-mente muy inferior a un gramo. El tamaño permite a las hormigas entrar a hendiduras y microambientes (p.e. entre partículas del suelo o en la corteza de los árboles (Kaspari y Weiser, 1999). Esto permite a las colonias de hormigas existir sobre recursos limitados y explotar la mayoría de los otros organismos del planeta, que también son pequeños.

Las hormigas nidifican en variedad de tipos de suelo, desde arcilla dura hasta marga o pura arena. Sin embargo, mientras que un jardinero o botánico puede hablarnos mucho de cómo el pH, drenado y otras propiedades del suelo influyen una comunidad de hormigas, los ecólogos de hormigas pueden decir muy poco de ello. Por ejemplo, poco se sabe, dada la heterogeneidad del suelo y hojarasca de un sitio determinado, acerca del papel que estas diferencias puedan jugar sobre segregación de especies (Johnson, 1992).

### **6.2.2. Importancia Biológica**

México como el resto del mundo experimenta serios problemas ambientales, como la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la erosión y los cambios en el uso de suelo, que atentan contra la diversidad de especies, los servicios ecosistémicos y los sistemas de conocimiento tradicional relacionados con la naturaleza. Las predicciones sobre las tendencias del cambio en la cobertura forestal a nivel nacional, sugieren una disminución

constante de los bosques, con una velocidad que no es precisada con exactitud (Velázquez *et al.*, 2002; González-Espinosa *et al.*, 2007).

En primer lugar, se debe tener en cuenta que, en los ecosistemas terrestres, los insectos son el grupo con mayor éxito evolutivo (Purvis & Hector, 2000), principalmente por su abundancia, diversidad y el amplio espectro de hábitats y posiciones funcionales que ocupan (Llorente-Bousquets *et al.*, 1996; Mattoni *et al.*, 2000). Tienen un papel clave en los procesos de fragmentación de la cobertura vegetal, en los ciclos de nutrientes y en la dieta de otros organismos consumidores (Iannacone & Alvariño, 2006), que, junto al alto recambio, las tasas de crecimiento y su distribución microgeográfica, pueden reflejar condiciones de heterogeneidad a escalas muy finas del hábitat donde otros grupos como los vertebrados pueden ser insensibles (Mattoni *et al.*, 2000). Razones por las que se les consideran una herramienta útil para evaluar la efectividad de las estrategias de manejo de los ecosistemas (Malenque *et al.*, 2007) e indicadores de cambios ambientales rápidos.

Según Xavier Espadaler, de la Universidad Autónoma de Barcelona, el mero hecho de la desaparición de las hormigas de la faz de la Tierra provocaría una degradación rápida del ecosistema, ya que se dejarían de proporcionar los servicios que realizan estos pequeños animales. Lo primero que veríamos sería una gran acumulación de cadáveres de otros animales en el suelo, y se perdería gran parte de la diversidad biológica del planeta. “Lo más probable es que las plantas que ofrecen recompensas alimenticias o cobijo a las hormigas desaparecieran y el efecto se iría amplificando desde ahí” (Pascual, 2010).

### **6.2.3. Importancia Ecológica**

El nicho ecológico de una especie describe el papel que desempeña ésta en el ecosistema. Describir el nicho típico de una hormiga es como describir una colonia típica de hormigas. La variedad de dietas, sitios de nidificación, rangos de vida y asociaciones de hormigas en un hábitat dado hace de estos insectos un grupo atractivo para monitoreos. Sin embargo, se pueden hacer algunas observaciones generales. La mayoría de colonias de hormigas son relativamente sésiles, como mucho moviendo sus colonias cada dos semanas, o sin desplazamientos (Smallwood, 1982). Las hormigas toman su energía de otros organismos, bien sean plantas (néctar, hojas, semillas) o animales, vivos o muertos. Desde un punto central, las colonias envían exploradoras hacia sus alrededores, reclutando rápidamente nuevas obreras a nuevas fuentes de alimento, o abandonándolas si surge una nueva necesidad. De esta forma las hormigas coleccionan y concentran recursos en el medio, siendo también así mismos recursos predecibles para quienes dependen de ellas. En muchas formas, las hormigas, decididamente, son “como plantas” (Andersen, 1991)

### **6.2.4. Taxonomía – Morfología**

Las hormigas están agrupadas en la familia Formicidae y el orden Hymenoptera, que incluye a las abejas, avispas y avispas sierra. Las características morfológicas más notorias para distinguirlas de otros insectos, son que el primer segmento de la antena (escapo) está alargado, la disposición de la cabeza es prognata, tienen castas de obreras sin alas, presentan una glándula en el tórax que secreta sustancias con actividad antibacteriana y antimicótica (llamada glándula metapleurale) y tienen un pecíolo. Este último es un nodo prominente, como resultado de la constricción entre el segundo y tercer segmento abdominal (Figura 1); a veces también puede haber un postpecíolo que es una constricción adicional entre los siguientes dos segmentos (Figura 1). Dentro de la familia

Formicidae, hay una gran diversidad de formas y características propias de cada especie (Branstetter *et al.*, 2012).

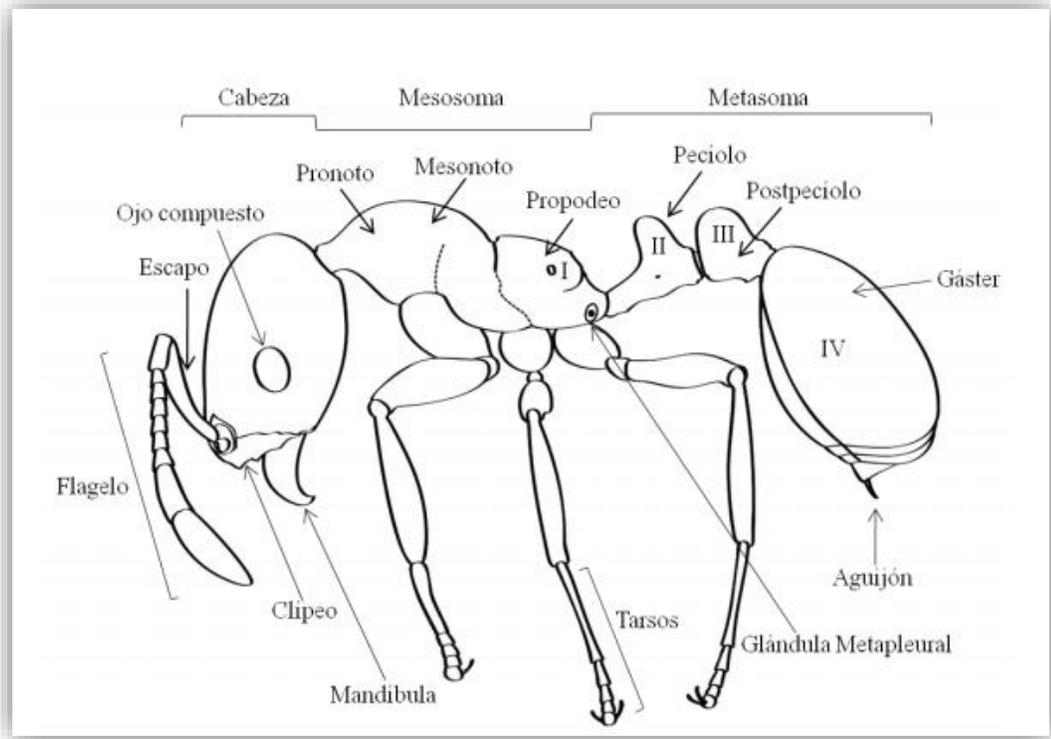


Figura 1. Obrera de *Solenopsis geminata* (Fabricius); donde se muestran los principales caracteres morfológicos de las hormigas. I, II, III y IV son los segmentos del abdomen (Branstetter *et al.* 2012).

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1. Área de estudio

Los sitios de muestreo se establecieron en los terrenos pertenecientes al Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván (ITUG) en el año 2018, con coordenadas de 19°24'43.13" Norte y 96°21'32.61" Oeste, en el municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, México (Figura 2). El clima de esta región se clasifica como Aw por el sistema Köppen-Geiger, definido como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un rango de temperatura que oscila entre 24 y 26 °C, y un rango de precipitación entre 1100 mm y 1300 mm (García, 1998).



Figura 2. Ubicación de los polígonos de las cuatro áreas de muestreo en el interior de los terrenos del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Se establecieron dos áreas para el muestreo y un blanco (testigo), lo cual dio lugar a tres usos de suelo, las cuales fueron:

- 1) Cultivo de caña de azúcar ubicado en las coordenadas 19°24'50.27"N y 96°21'24.64"O, a una elevación de 11 m, con un polígono de muestreo de 2.03 hectáreas.
- 2) Cultivo silvopastoril ubicada en las coordenadas 19°25'7.94"N y 96°21'9.43"O, a una elevación de 11 m, con un polígono de muestreo de 1.081 hectáreas. Esta área cuenta con cultivos como Morera (*Morus alba*), Colorín (*Erythrina americana*), Bambú (*Bambusa vulgaris*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Mulato (*Bursera simaruba*) y Cocuite (*Gliricidia sepium*).
- 3) Área de acahual ubicado en las coordenadas 19°25'6.17"N y 96°20'53.87"O, a una elevación de 24 m, con un polígono de muestreo de 1.441 hectáreas, esta área presenta una vegetación de selva baja caducifolia, relacionada a las zonas costeras donde podemos encontrar Cocuite (*Gliricidia sepium*), Nacastle (*Enterolobium cyclocarpum*), Jilote (*Bursera simaruba*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Huizache (*Acacia cochliacantha*), Palma de coyol (*Acrocomia aculeata*), Capulín (*Karwinskia humboldtiana*), Guaje (*Lysiloma divaricatum*), entre otros, así como varias especies herbáceas, arbustivas, orquídeas y hongos Basidiomycota.

## 7.2. Diseño experimental

En cada una de las áreas de uso de suelo los muestreos se realizaron durante dos meses (agosto y septiembre) durante el periodo de lluvias, realizándose tres muestreos por mes. Dentro de cada área de uso de suelo se establecieron dos parcelas de  $\approx 50 \text{ m}^2$ . En cada parcela se estableció un transecto de  $\approx 50 \text{ m}$ , donde se colocaron 5 trampas de caída para hormigas con una separación de un metro y un arreglo de zigzag a cada lado del

transecto a una distancia de 5 m, dando un total de 10 trampas por uso de suelo (Figura 3).

Las trampas fueron elaboradas con envases de plástico de un 1 L, enterrados a ras de suelo y con agua en el interior para que las hormigas quedaran atrapadas. Las trampas se cebaron con atún embarrando las paredes de los envases, como atrayentes para las hormigas.



Figura 3. Colocación de trampas de caída en el sitio con el cultivo caña de azúcar.

### 7.3. Colecta y procesamiento

Para la colecta de las hormigas, las trampas de caída se desenterraron para vaciar su contenido en bolsas de plástico, previamente etiquetadas con los datos del área, número de trampa y fecha (Figura 4). Posteriormente las bolsas de plástico se llevaron al Laboratorio de Entomología del ITUG para la extracción del contenido a través de un

colador, las hormigas colectadas fueron depositadas en frascos de vidrio con alcohol al 70% y etiquetados con los datos de la trampa (Figura 5).

El procesamiento de las muestras consistió en colocar las hormigas en cajas de Petri y con la ayuda de un microscopio estereoscópico se separaron y contabilizaron por especies (Figura 6). Las hormigas fueron identificadas a nivel de género y/o especies con las claves de Mackay y Mackay (2014). Figura 4. Recolección del contenido de las trampas de caída.



Figura 4. Recolección del contenido de las trampas de caída.



Figura 5. Almacenamiento de las hormigas en frascos de vidrio con alcohol al 70%.



Figura 6. Conteo, clasificación e identificación de las hormigas colectadas.

#### **7.4. Análisis de datos**

Se calculó la abundancia con el número de organismos de cada especie, la riqueza con el número de especies, la diversidad con el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), la equidad con el índice de Pielou ( $J'$ ) y la similitud con el índice de Jaccard, utilizando el programa EstimateS versión 8.2.0.

Se realizó un análisis de correspondencia simple para asociar las especies de hormigas con los usos de suelo. Los datos fueron transformados a  $\sqrt{x+0.5}$  para normalizarlos y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) entre los usos de suelo en relación a la abundancia, riqueza y diversidad de las hormigas, además se realizó una prueba de medias de Tukey  $\alpha=0.05$  para comparar los usos de suelos. Los análisis estadísticos se realizaron en el programa InfoStat versión 2013.

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se colectaron un total de 2,646 individuos pertenecientes a 14 especies de hormigas (Figura 12-24), en suelo con silvopastoril se registró la mayor abundancia de hormigas (Cuadro 2); sin embargo, esto fue debido a la abundancia de una sola especie *Cheliomyrmex* sp., la cual predominó y se asoció al suelo con silvopastoril (Cuadro 2 y Figura 7). La dominancia de esta especie indica un efecto sobre la diversidad de hormiga. El suelo con acahual fue el que registró la mayor riqueza, diversidad y equidad de especies de hormigas, seguido del suelo con caña de azúcar y por último el suelo con silvopastoril (Cuadro 2). La mayoría de las especies de hormigas fueron asociadas al suelo con acahual, excepto las especies *Ectatomma ruidum*, *Camponotus atriceps*, *Oligomyrmex* sp. y *Forelius keiferi* las cuales estuvieron asociadas al suelo con caña de azúcar (Figura 7).

Cuadro 2. Abundancia, riqueza, diversidad y equidad de especies de hormigas forrajeras colectadas en los diferentes usos de suelo.

Espece de hormiga	Acahual	Caña de azúcar	Silvopastoril
<i>Acropyga</i> sp.	202	22	10
<i>Atta mexicana</i>	77	0	0
<i>Camponotus atriceps</i>	12	78	54
<i>Cheliomyrmex</i> sp.	0	9	1134
<i>Ectatomma ruidum</i>	69	190	0
<i>Ecton borchelli paruispinum</i>	70	0	0
<i>Forelius keiferi</i>	10	12	6
<i>Mycocepurus smithii</i>	53	0	0
<i>Nomamyrmex hartigii</i>	25	0	0
<i>Odontomachus laticeps</i>	23	0	0
<i>Oligomyrmex</i> sp.	72	86	0
<i>Pachycondyla harpax</i>	341	0	51
<i>Pheidole megacephala</i>	0	6	0
<i>Polyergus</i> sp.	34	0	0
<b>ABUNDANCIA</b>	<b>988</b>	<b>403</b>	<b>1255</b>
<b>RIQUEZA</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>5</b>
<b>DIVERSIDAD</b>	<b>2.01</b>	<b>1.41</b>	<b>0.42</b>
<b>EQUIDAD</b>	<b>0.76</b>	<b>0.53</b>	<b>0.16</b>

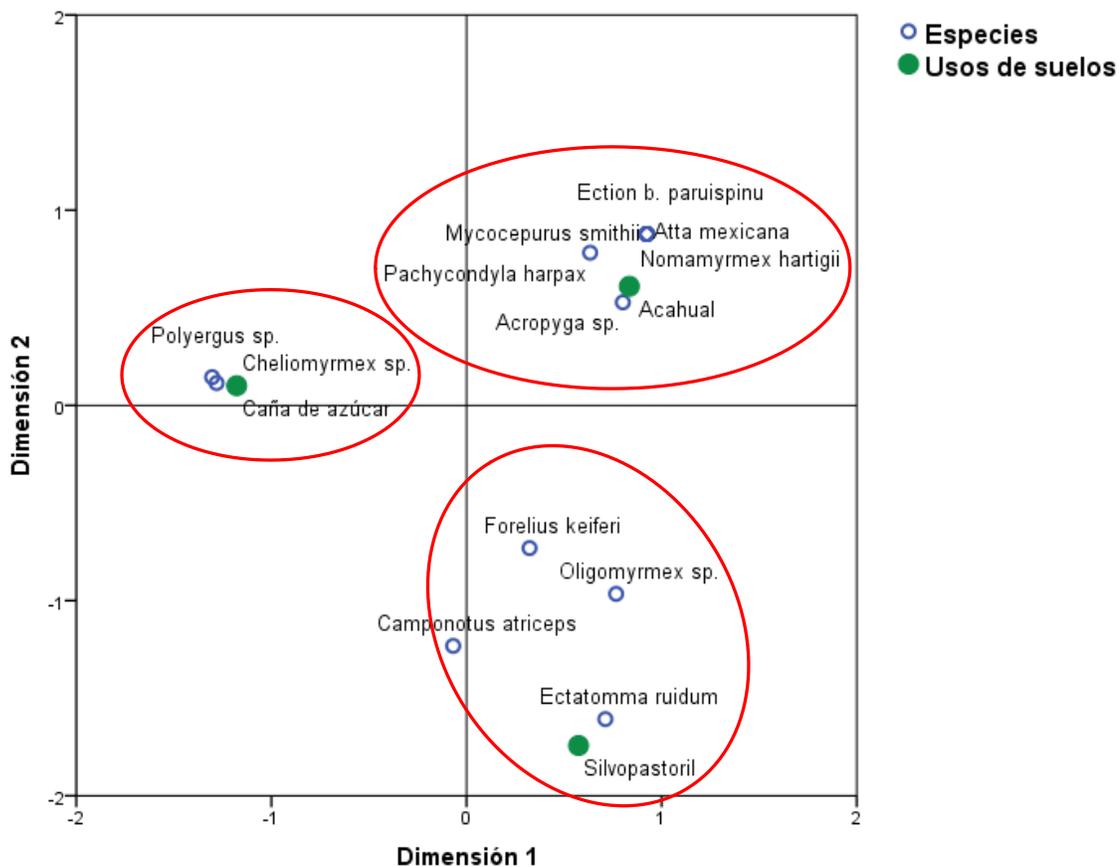


Figura 7. Análisis de correspondencia simple entre las especies de hormigas y los usos de suelos.

De acuerdo al análisis de similitud de Jaccard, el cual expresa el grado en el que dos usos de suelo son semejantes por las especies presentes en ellos, los usos de suelo con caña de azúcar y silvopastoril fueron los más similares entre sí (Cuadro 3); sin embargo, al comparar estos usos de suelo con el suelo de acahual, el suelo con caña de azúcar fue más similar al suelo con acahual que el suelo con silvopastoril (Cuadro 3), lo que señala un mayor impacto sobre las especies de hormigas por parte del suelo con silvopastoril.

Cuadro 3. Coeficiente de similitud de Jaccard entre los usos de suelos, el cual expresa el grado en el que dos usos de suelo son semejantes por las especies presentes en ellos.

	<b>Caña de azúcar</b>	<b>Silvopastoril</b>
<b>Acahual</b>	0.38	0.31
<b>Caña de azúcar</b>		0.57

La variable de respuesta abundancia de hormigas registró diferencias significativas en el análisis de varianza al comparar los usos de suelo con una  $p=0.0038$  (Cuadro 4). Al comparar la abundancia de hormigas entre los usos de suelo con la prueba de medias de Tukey  $\alpha=0.05$ , encontramos que el suelo con caña de azúcar fue significativamente menor en abundancia de hormigas (36.8 individuos en promedio) que los otros usos de suelo, y que los suelos con acahual y silvopastoril fueron estadísticamente iguales en abundancia de hormigas (Figura 8).

Cuadro 4. Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) para la variable de respuesta abundancia de hormigas en los usos de suelo.  $N=30$ ,  $R^2= 0.34$ , C.V.= 35.0.

F.V.	S.C.	gl	C.M.	F	$p$ -valor
Modelo	130.96	2	65.48	6.89	0.0038
Usos de suelo	130.96	2	65.48	6.89	0.0038
Error	256.65	27	9.51		
Total	387.61	29			

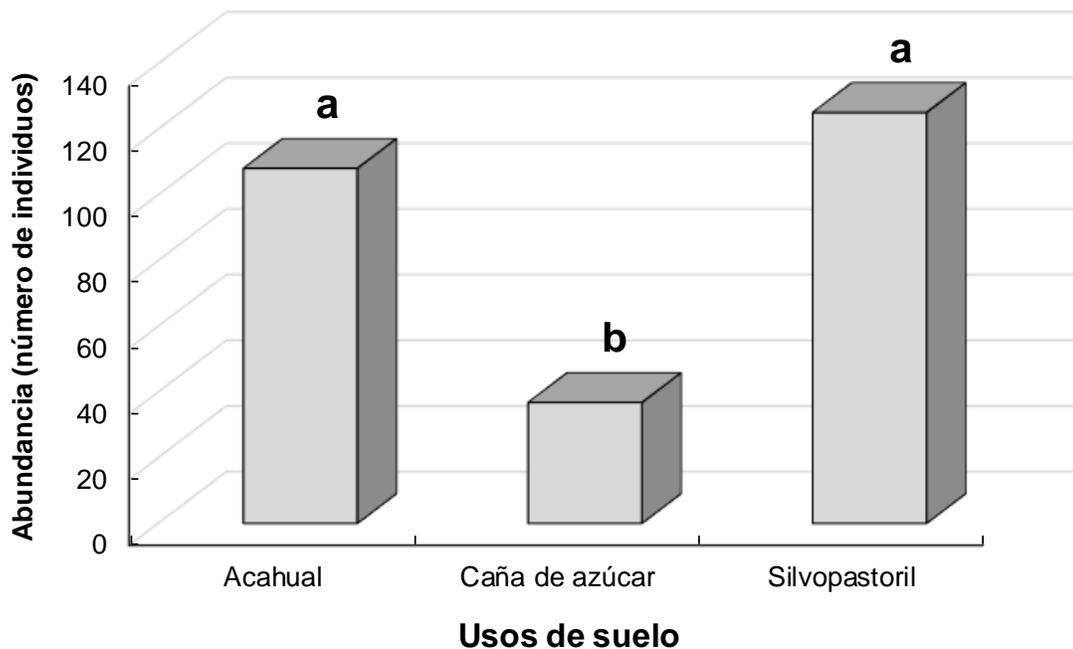


Figura 8. Promedio de abundancia de hormigas en los diferentes usos de suelo. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes  $\alpha=0.05$ .

Para la variable de respuesta riqueza de especies de hormigas, el análisis de varianza registró diferencias altamente significativas al comparar los usos de suelo (Cuadro 5). La prueba de medias de Tukey  $\alpha= 0.05$ , indicó que el suelo con acahual con la mayor riqueza de hormigas en promedio (6.1 especie) fue significativamente diferente a los otros usos de suelo, y que los usos de suelo con caña de azúcar y con silvopastoril fueron estadísticamente iguales con las menores riquezas de hormigas en promedio (Figura 9).

La variable diversidad de hormigas registró diferencias significativas en el análisis de varianza cuando se compararon los usos de suelo (Cuadro 6). La mayor diversidad de hormigas se registró en el suelo con acahual (1.3) y fue significativamente diferente a los otros usos de suelo (Figura 10). El suelo con caña de azúcar y acahual fueron estadísticamente iguales con las menores diversidades de hormigas.

Cuadro 5. Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) para la variable de respuesta riqueza de especies de hormigas en los usos de suelo. N=30, R<sup>2</sup>= 0.51, C.V.= 22.7.

F.V.	S.C.	gl	C.M.	F	p-valor
Modelo	5.36	2	2.68	14.14	0.0001
Usos de suelo	5.36	2	2.68	14.14	0.0001
Error	5.12	27	0.19		
Total	10.48	29			

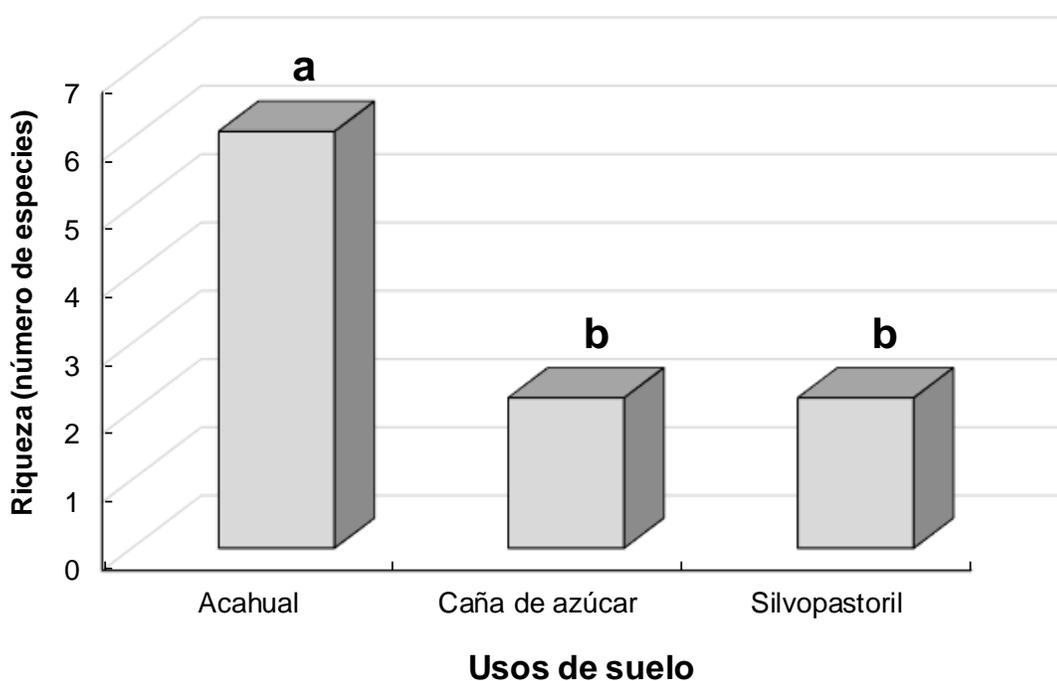


Figura 9. Promedio de riqueza de especies de hormigas en los diferentes usos de suelo. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes  $\alpha=0.05$ .

Cuadro 6. Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) para la variable de respuesta diversidad de especies de hormigas en los usos de suelo. N=30, R<sup>2</sup>= 0.44, C.V.= 21.7.

F.V.	S.C.	gl	C.M.	F	p-valor
Modelo	1.11	2	0.56	10.44	0.0004
Usos de suelo	1.11	2	0.56	10.44	0.0004
Error	1.44	27	0.05		
Total	2.56	29			

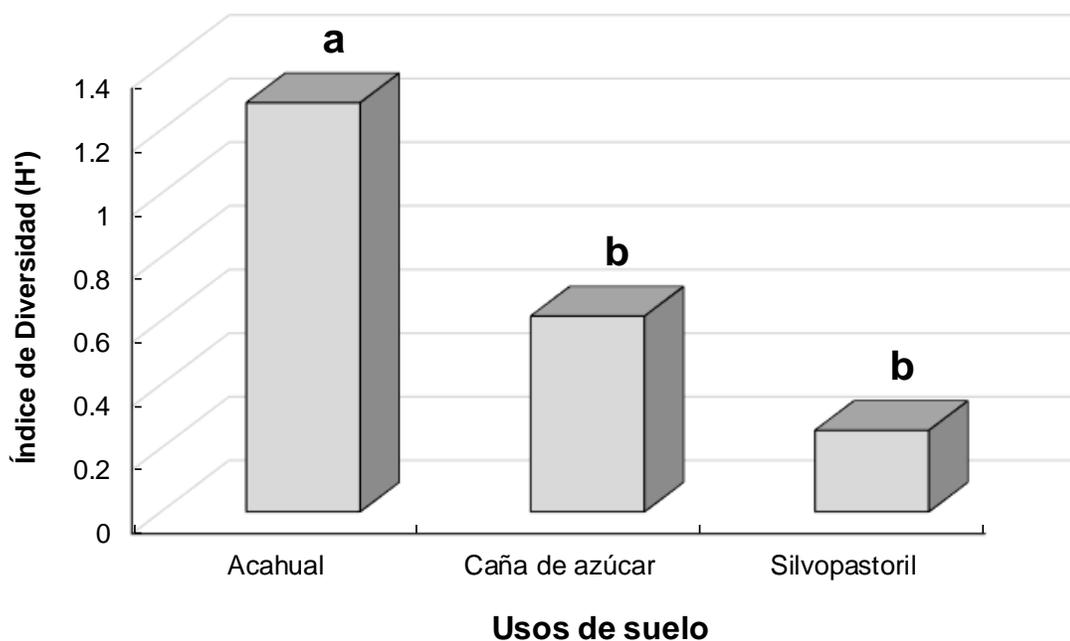


Figura 10. Promedio de diversidad de especies de hormigas en los diferentes usos de suelo. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes  $\alpha=0.05$ .

Para la variable equidad de especies de hormigas, el análisis de varianza registró diferencias significativas entre los usos de suelo (Cuadro 7). Siendo el suelo con acahual el de mayor equidad de especies (0.703) y diferente a los otros usos de suelo (Figura 11).

Cuadro 7. Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) para la variable de respuesta equidad de especies de hormigas en los usos de suelo. N=30, R<sup>2</sup>= 0.24, C.V.= 19.1.

F.V.	S.C.	gl	C.M.	F	p-valor
Modelo	0.30	2	0.15	4.27	0.0245
Usos de suelo	0.30	2	0.15	4.27	0.0245
Error	0.94	27	0.03		
Total	1.23	29			

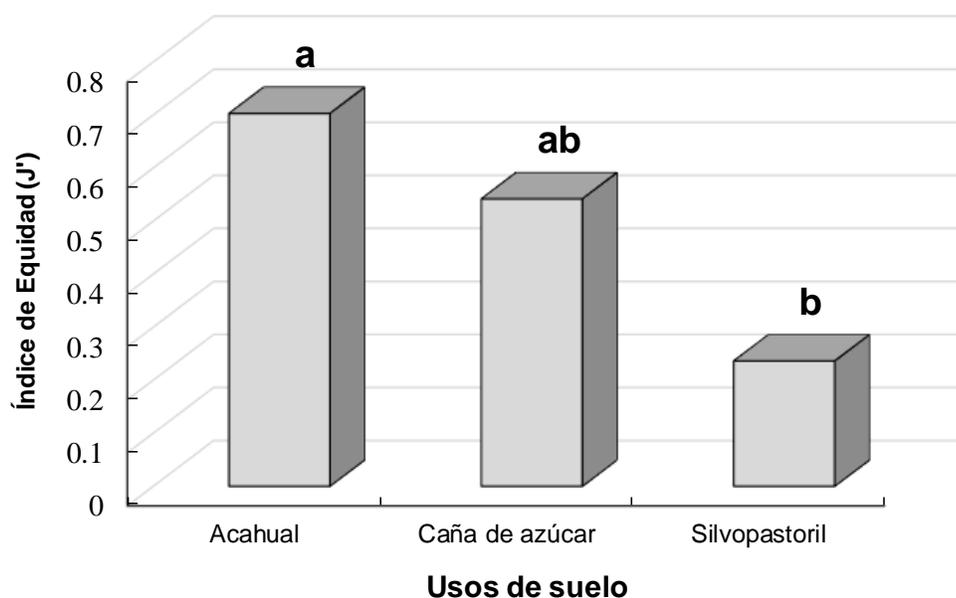


Figura 11. Promedio de equidad de especies de hormigas en los diferentes usos de suelo. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes  $\alpha=0.05$ .

Las especies de hormigas identificadas en los usos de suelo que se estudiaron se han reportado en otros usos de suelo de índole agrícola, forestal y áreas naturales (Rojas, 2001; Chanutásig-Vaca *et al.*, 2011; Morales-Vásquez *et al.*, 2014; Lara-Villalón *et al.*, 2015). La riqueza, diversidad y equidad de hormigas registradas exclusivamente en cada uno de los usos de suelo, permitió inferir que el uso de suelo con caña de azúcar y silvopastoril afectan de forma significativa la mirmecofauna edáfica.

Las hormigas son ejemplos de organismos con características de tolerancia a condiciones de perturbación, lo que ha permitido que estos organismos sean abundantes y diversos en diferentes gradientes de intensidad de manejo de uso de suelo (Chanutásig-Vaca *et al.*, 2011, Morales-Vásquez *et al.* 2014). La secuencia típica del cambio de uso de suelo en la región de estudio comienza con la conversión de acahuales a caña de azúcar y luego de caña de azúcar a pasto o áreas silvopastoriles para la ganadería. Como era de esperarse, el suelo con acahual tuvo mayor diversidad y equidad de especies de hormigas, lo que sugiere una mayor estabilidad en el suelo y un mayor complemento de grupos y funciones ecológicas en comparación con los suelos con limón persa, vegetación silvopastoril y caña de azúcar.

La caña de azúcar cultivada a partir de acahuales o vegetación nativa y de manera persistente (30 años) en ecosistemas tropicales, proporciona hábitats de suelo adecuados para una gran abundancia de grupos específicos de meso y macrofauna del suelo (Lang-Ovalle *et al.*, 2011; Cabrera *et al.*, 2011), lo cual fue confirmado con nuestros resultados, donde el uso suelo con caña de azúcar presento valores ecológicos más favorables que el de los suelos con silvopastoril. Estos resultados coinciden con Lang-Ovalle *et al.* (2011) quienes reportaron similitudes en cuanto a diversidad y riqueza de macrofauna en mango y caña de azúcar persistente, así como con Murillo *et al.* (2019), quienes reportan una mayor similitud en la diversidad de fauna edáfica entre un acahual y caña de azúcar a diferencia de suelo con pasto. También, Barajas-Guzmán y Álvarez-

Sánchez (2003) reportaron una nula variación de riqueza taxonómica de fauna entre diferentes ambientes.

Contrariamente a lo que se ha reportado en algunos trabajos (Benito *et al.*, 2004; Decaens *et al.*, 2004; Franco *et al.*, 2016), la conversión de uso de suelo con acahuales a pasto o sistemas silvopastoriles, tendría un impacto negativo en la abundancia, riqueza y diversidad de hormigas, como lo confirman nuestros resultados y los reportados por Murillo *et al.* (2019). Los valores bajos de diversidad de hormigas en suelo con vegetación silvopastoril indicaron el nivel de degradación del suelo, debido al manejo intensivo del uso del suelo, como lo indican en otros trabajos (Barros *et al.*, 2002; Cabrera *et al.*, 2011; Cabrera, 2012). Estos resultados están influenciados por la menor diversidad de plantas, pisoteo del ganado, compactación y erosión del suelo, que son características de un suelo con sobrepastoreo o uso agrícola con manejo intensivo.

De la Figura 12 a la 24 se muestran imágenes de las especies de hormigas identificadas en este trabajo.



Figura 12. Especie *Cheliomyrmex* sp. Tamaño aproximado 1.0 cm.



Figura 13. Especie *Pachycondyla harpax*. Tamaño aproximado 1.3 cm.



Figura 14. Especie *Oligomyrmex* sp. Tamaño aproximado 0.2 cm.



Figura 15. Especie *Ectatomma ruidum*. Tamaño aproximado 0.5 cm.



Figura 16. Especie *Camponotus atriceps*. Tamaño aproximado 1.0 cm.



Figura 17. Especie *Odontomachus laticeps*. Tamaño aproximado 1.2 cm.



Figura 18. Especie *Acropyga sp.* Tamaño aproximado de 2.8 mm.



Figura 19. Especie *Atta mexicana*. Tamaño aproximado 1 cm.



Figura 20. Especie *Nomamyrmex hartigii*. Tamaño aproximado de 4.5 mm.



Figura 21. Especie *Ection borchelli paruispinum*. Tamaño aproximado de 7 mm.



Figura 22. Especie *Mycocepurus smithii*. Tamaño aproximado de 3.5 mm.



Figura 23. Especie *Pheidole megacephala*. Tamaño aproximado de 5.2 mm.

## **IX. CONCLUSIONES**

Los usos de suelo con caña de azúcar con una diversidad de 1.41 y silvopastoril con 0.42 afectaron significativamente la diversidad de hormigas forrajeras. El uso de suelo con acahual con una diversidad de 2.01 favoreció y mantuvo una buena diversidad de hormigas forrajeras. Aunque las actividades agrícolas y ganaderas son rentables en el municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, nuestros resultados llaman la atención sobre una pérdida significativa de la diversidad de hormigas forrajeras debido al cambio de uso de suelo de acahuales a caña de azúcar y/o silvopastoriles.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Se recomienda garantizar la conservación de áreas naturales o acahuales en regiones ampliamente productoras, que garanticen la conservación de organismos benéficos para la conservación de los suelos y servicios ambientales en general.

También se recomienda seguir realizando estudios sobre el impacto del uso de suelo sobre la diversidad biológica para evidenciar el grado de perturbación del suelo y buscar alternativas sustentables para el uso de insecticidas, fertilizantes químicos, fungicidas, basura agua contaminada, desechos, etc.

## XI. FUENTES DE CONSULTA

- Alonso, L. E. 2000. Ants as indicators of diversity, pp. 80-88 en: D. Agosti, J. Majer, L. E. Alonso y T. Schultz, eds., *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity Biological Diversity Handbook Series*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.
- Andersen A. N. y Sparling G. P. 1997. Ants as Indicators of Restoration Success: Relationship with Soil Microbial Biomass in the Australian Seasonal Tropics. *Restoration Ecology*, 5(2):109-114.
- Andersen, A. N. 1991. Parallels between ants and plants: Implications for community ecology pp.539-558 in: C.R. Huxley y D. F. Cutler, eds., *Ant-Plant Interactions*. Oxford University Press, Oxford.
- Andersen, A. N. 1991. Responses of ground-foraging ant communities to three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. *Biotropica* 23(4b):575-585
- Andersen, A. N. 1992. Regulation of momentary diversity by dominant species in exceptionally rich ant communities os Australia seasonal tropics. *American Naturalist* 140(3):401-420.
- Barajas-Guzmán, G. y J. Álvarez-Sánchez. 2003. La comunidad desintegradora en una selva húmeda tropical. In *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*,

Álvarez Sánchez, J. y E. Naranjo García (eds.). Instituto de Ecología A. C., Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. p. 162-184.

Bardgett, r. d. (2005). the biology of soil: a community and ecosystem approach. new york: oxford university.

Barros, E.; Pashanasi, B.; Constantino, R. & Lavelle, P. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*. 35:338. 2002

Benito, N. P., M. Brossard, A. Pasini, M. D. Guimaraes y B. Bobillier. 2004. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *European Journal of Soil Biology* 40:147-154. Doi: 10.1016/j.ejsobi.2005.02.002

Bignell, d., constantino, r., csuzdi, c., & karyanto, a. (2008). macrofauna. en d. e. bignell, f. m. moreira, & e. j. huising, a handbook of tropical soil biology (págs. 43 - 75)

Branstetter, M.G. Saenz, L. Cano, E.B. Schuster, J.C. Publicado por Universidad del Valle de Guatemala Guatemala, Guatemala, Centroamérica Mayo, 2012

Brown Jr., K.S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*. 1:25. 1997

- Brown, G., Moreno, A.G., Barois, I., Fragoso, C., Rojas, P., Hernández, B. y. Patrón, J.C. 2004. Soil macrofauna in SE Mexican Pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 103: 313-327. Doi: 10.1016/j.agee.2003.12.006
- Brusaard, L., V. Behan-Pelletier, D. Signell, V. Brown, W. Oidden, P. Folgaraj, C. Fragoso, D. Freckman, V.S.R. Gupta, S.T. Hattori, O.L. Hawksworth, e, Klopatek, P. LaveUe, D. Malloch, J. Rusek, B. Soderstrom, J. Tiedje & R. Virginia. 1991, Biodiversity and Ecosystem functioning in Soil *Ambio*, 26: 563-570.
- Brusaard, L. 1998. Soil fauna, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 9: 123-135. Doi: 10.1016/S0929-1393(98)00066-3
- Cabrera, G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación / perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, Vol. 35(4): 349-364.
- Cabrera, G., Robaina, N. y Ponce de León, D. 2011. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*, Vol. 34(3): 313-330.
- Cabrera, G.; Robaina, N. & Ponce de León, D. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34:313. 2011b

- Cabrera, J.A. y Zuaznábar, R. 2010. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono. *Cultivos Tropicales*, Vol. 3(1): 5-13.
- Chanatásig-Vaca, C. I., H. E. Lwanga, F. P. Rojas, A. Ponce-Mendoza, V. J. Mendoza, R. A. Morón, H. Van der Wal y B. B. Dzib-Castillo. 2011. Effect of soil use in ants (Formicidae: Hymenoptera) in Tikinmul, Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana* 27(2): 441-461.
- Camacho, G. 1995 Estudio de la macrofauna edáfica de 3 agroecosistemas en La Mancha, Ver Tesis Profesional Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. 63 pp.
- Cartas, C.A, 1993. Aspectos ecológicos de la formicofauna {Hymenoptera: Formicidae} del volcán san Martín Pajapan, Veracruz. Tesis Profesional. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. 78 pp.
- Casanova, R.L. 2014. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S392-S398, 2014.
- Chocobar, E.A. Edafofauna como indicador de la calidad en un suelo Cumulic Phaozem sometido a diferentes sistemas de manejo en un experimento de larga duración. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Edo. de México. 63 p. 2010

Delable. J.H.C. & H.G. Fowler. ,1995. SOil and litter cryptic ant assemblages of Bahian cocoa plantations. *Pedobiologia*. 39: 423•433

Decaens, T., J. J. Jimenez, E. Barros, A. Chauvel, E. Blanchart, C. Fragoso y P. Lavelle. 2004. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 103, 301-312. Doi: 10.1016/j.agee.2003.12.005

Desiree, J.I., Pita, A.V., Floor, V.D.H. y Andre, P.C.F. 2014. Biodiversity impacts of bioenergy crop production: a state-of-the-art review. *Glob Change Biol Bioenergy*, 6: 183-209. Doi: 10.1111/gcbb.12067

Duffy, J.E. 2002. Biodiversity and ecosystem function: the consumer connection. *Oikos*, 99: 201-219. Doi: 10.1034/j.1600-0706.2002.990201.x

Duffy, J.E. 2003. Biodiversity loss, trophic skew and ecosystem functioning. *Ecology Letters*, 6: 680-687. Doi: 10.1046/j.1461-0248.2003.00494.x

Escalante, J. A. L., S. J. Ponce y B. M. Vásquez. 2006. Géneros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del Estado de Michoacán. *Biológicas* 8: 80-101.

- Flores-Maldonado, K.Y., S.A. Phillips & G. Sánchez-Ramos. 1999. The myrmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) along an altitudinal gradient in the Sierra Madre Oriental of Northeastern Mexico. *Southwest Nat.*, 44: 457-461.
- Folgarait, P.J. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1221-1244.
- Franco, A.L.C., Bartz, M.L.C., Cherubin, M.R., Baretta, D., Cerri, C.E.P., Feigl, B.J., Wall, D.H., Davies, C.A. y Cerri, C.C. 2016. Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. *Science of the Total Environment*, 563-564: 160-168. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.116
- García-Perez. J.A., W.P Mackay, D. Gonzalez-villareal & R. Camacho Trujillo. 1992. Estudio preliminar de la mimercofauna del parque Nacional chipinque, Nuevo Leon, Mexico y su distribución altitudinal. *Fol. Entomol. Mex.* 86: 185-190.
- González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Camacho-Cruz, A., Holtz, S. C., Rey-Benayas, J. M., & Parra-Vázquez, M. R. (2007). Restauración de bosques en territorios indígenas de Chiapas: modelos ecológicos y estrategias de acción. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80, 11-23.
- Graham, J.H., Krzysik, A.J., Kovacic, D.A., Duda, J.J., Freeman, D.C., Emlen, J.M., Zak, J. C., Russell, L.W., Wallace, M.P., Graham, C.C., Nutter, J.N. y Balbach, H.E. 2008. Ant community composition across a gradient of disturbed military landscapes at Fort Benning, Georgia. *Southeastern Naturalist*, 7: 429-448.

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

Holldobler, B. & E. O. Wilson. 1990. *The Ants*. The Belknap Press of Harvard University Press. 732 pp.

Holldobler, B. & H. Engel-Siegal. 1984. On the metapleural gland of ants. *Psyche*, 91:201-224.

Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel J.J., Héctor A., Inchausti P., Lavorel S., Lawton J.H., Lodge D.M., Loreau M., Naeem S., Schmid B., Setälä H., Symstad A.J., Vandermeer J., Wardle D.A. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1): 3-35. Doi: 10.1890/04-0922

Huhta, V. 2007. The role of soil fauna in ecosystems: a historical review. *Pedobiología (Jena)*, 50: 489-495. Doi: 10.1016/j.pedobi.2006.08.006

Iannacone, J., & Alvaríño, L. (2006). Diversidad de la artropofauna terrestre en la Reserva Nacional de Junin Peru. *Ecología Aplicada*, 5, 171-174

INAP. 2013. Instituto Nacional de Administración Pública, A.C. (INAP) Diagnósticos Municipales PACMA, Entidad: Veracruz de Ignacio de la Llave, Municipio: Úrsulo Galván (191). 49 P.

Johnson, R. A. 1992. Soil texture as an influence on the distribution of the desert seed-harvest ants *Pogonomyrmex rugosus* and *Messor pergandei*. *Oecologia* 89:118-124.

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

Jones, D.T. & Eggleton, P. Sampling termite assemblages in tropical forests: testing a rapid biodiversity assessment protocol. *Journal of Applied Ecology*. 37:191. 2000

Kaspari, M. y M. Weiser. 1999. The size-grain hypothesis and interspecific scaling in ants. *Functional Ecology* 13:530-538

Lambin, Eric F., B.L. Turner, Helmut J. Geist, Samuel B. Agbola, Arild Angelsen, John W. Bruce, Oliver T. Coomes, Rodolfo Dirzo, Gunther Fischer, Carl Folke, P.S. George, Katherine Homewood, Jacques Imbernon, Rik Leemans, Xiubin Li, Emilio F. Moran, Michael Mortimore, P.S. Ramakrishnan, John F. Richards, Helle Skanes, Will Steffen, Glenn D. Stone, Uno Svedin, Tom A. Veldkamp, Coleen Vogel y, Jianchu Xu 2001. «The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths». *Global Environmental Change* 11: 261–269.

- Lang-Ovalle, P. F., A. Pérez-Vázquez, J. P. Martínez-Dávila, D. E. Platas-Rosado, L. A. Ojeda-Enciso y I. J. González-Acuña. 2011. Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. *Terra Latinoamerica* 29: 169-177.
- Lara-Villalón, M., M. Rosas-Mejía, P. Rojas-Fernández y P. Reyes-Castillo. 2015. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) asociadas a palma Camedor (*Chamedorea radicalis* Mart.) en el bosque tropical, Gómez Farías, Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 31(2): 270-274.
- Lavelle, P. & B. Kohlmann. 1984. Etude quantitative de la macrofaune du sol dans une forêt tropicale humide du Mexique (Bonampak, Chiapas) *Pedobiologia*, 27: 377-393.
- Lavelle, P.; Senapati, B. & Barros, E. Soil macrofauna. In: *Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods.* (Eds. G. Schroth & F.L. Sinclair). CABF Publishing. UK. p. 303. 2003
- Lizarazo, C. Restrepo, Y. 2014. *Biología de suelos.* Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia.
- Llorente-Bousquets, J., González S., E., García-Aldrete, A. N., & Cordero, C. (1996). Breve panorama de la taxonomía de artrópodos en México, pp. 3-14. In: J. Llorente B., A.N. García A., E. González S. (Eds.). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía*

de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. CONABIO-UNAM, México

Lobry de Bruyn, L. A. & A. J Conacher. 1990. The role of termites and ants in soil modification: a review. *Austr. Jour. Soi/ Res.*, 28: 55-93.

Lozano-Zambrano, F. B., P. Ulloa-Chacón y I. Armbrrecht. 2009. Hormigas: Relaciones Especies-Área en Fragmentos de Bosque Seco Tropical. *Neotropical Entomology* 38(1):044-054.

MacGeoch, M.A. The selection testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biol. Rev.* 73:181. 1998

MacKay, W.P. & R.S. Anderson 1991. New distributional records for the ant genus *Ponera* (Hymenoptera. Formicidae) in North America. *J.N.Y. Entomol. Soc.* 99:696-699

Majer, J. D. 1983. Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land use, and land conservation. *Environmental Management* 7(4):375-383

Malenque, M. A., Ishii, H. T., Maeto, K., & Taniguchi, S. (2007). Line thinning fosters the abundance and diversity of understory hymenoptera (Insecta) in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D.Don) plantations. *Journal of Forest Research*, 12: 14-23

Mattoni, R., Longcore, T., & Novotny, V. (2000). Arthropod monitoring for fine scale habitat analysis: a case study of the El Segundo Sand Dunes. *Environmental Management*, 25, 445-4521

McGeoch, M.A.; Rensburg, B.J. van & Botes, A. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *Journal of Applied Ecology*. 39:661. 2002.

Morales-Vásquez, E., R. S. Miguel-Méndez, A. Vázquez-Xochipa, M. Janelly-Barrientos-Roldan, D. E. Gutiérrez-Carmona y C. Altamirano-Leal. 2014. Análisis de la diversidad de la macrofauna edáfica por estratos en dos usos de suelo en San Lorenzo Ometepec, Puebla. *Entomología Mexicana* 1: 514-518.

Murillo-Cuevas, F. D., J. Adame-García, H. Cabrera-Mireles y J. A. Fernández-Viveros. 2019. Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6 (16): 23-33.

National Geographic, 2010.

Pascual, E. 2010. La importancia de las hormigas. [EIBlogVerde.com](http://EIBlogVerde.com)

Pashanasi, B. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*. 12:75. 2001

Peck, S.I., Mcquaid, B. y Campbell, C.L. 1998. Using ant species as a biological indicator of Agroecosystem condition. *Environmental Entomology*, 27: 1102-1110. Doi: 10.1093/ee/27.5.1102

Purvis, A., & Hector, A. (2000). Getting the measure of biodiversity. *Nature*, 105, 212-219

Quiroz, L. & J. Valenzuela. 1995. A comparison of ground ant communities in a tropical rainforest and adjacent grassland in los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Southwest. Entomol.*, 20:203-213

Redolfi, I., A. Tinaut, F. Pascual y M. Campos. 2004. Densidad de nidos de la comunidad de hormigas (Formicidae) en tres olivares con diferente manejo agronómico en Granada, España. *Ecología Aplicada* (3)1-2: 73-81.

Rojas, F.P. 2001. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana*. (n.s.) 1:189-238.

Rojas, P. & C. Fragoso. 2000. Composition, diversity, and distribution of a Chihuahua Desert ant community (Mapimí, México). *Jour. Arid Environ.*, 44:213-227

Rojas, P. 2001 Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (hymenoptera: formicidae). Instituto de Ecología, A.C., Departamento Biología de Suelos. , Xalapa, Veracruz. México.

Ruiz, D.H. Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso de la tierra en la parte media de la cuenca del Río Otún (Risaralda, Colombia). Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Zoología y Ecología Animal, Mención Invertebrados. Universidad de La Habana. 95 p. 2007

Smallwood, J. 1982. Nest relocation in ants. *Insectes Sociaux* 29:138-147.

Swift, m. j., bignell, d. e., moreira, f. m., & huising, e. j. (2008). the inventory of soil biological diversity: concepts and general guidelines. en d. e. bignell, f. m. moreira, & e. j. huising, a handbook of tropical soil biology(págs. 1- 16).

Vanderwoude, C., A. N. Andersen y A. P. N. House, 1997. Ant communities as bio-indicators in relation to fire management of spotted gum (*Eucalyptus maculata* Hook.) forests in south-east Queensland. *Memoirs of the Museum of Victoria* 56(2):671-675

Velásquez, E.; Lavelle, P.; Rendeiro, C.; Martins, M.; Barot, S. & Grimaldi, M. Cambios en las comunidades de plantas influenciados por la macroagregación del suelo a través de las actividades de la macrofauna del suelo en la Amazonía brasileira. [http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadedesolo/pdf/Resumos/Painel3\\_Velasquez E.pdf](http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadedesolo/pdf/Resumos/Painel3_Velasquez E.pdf).2009

Velázquez, A., J.F. Mas, J.L. Palacio, J.R. Díaz, R. Mayorga, C. Alcántara, R. Castro y T. Fernández 2002. Análisis de cambio de uso del suelo. Informe técnico. Convenio INE-Instituto de Geografía, UNAM.

- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62, 21-37.
- Wilson, E. O. 2003. La hiperdiversidad como fenómeno real: el caso de Pheidole. In *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*, F. Fernández (ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. p. 363-370.
- Wilson, E. O., 1971. *The Insects Societies*. The Belknap Press of Harvard University Press. 548 pp.
- Wolters, V., Silver, W. L., Bignell, D.C., Coleman, D.C., Lavelle, P., Van der Putten, W., De Ruiter, P., Rusek, J., Wall, D.H., Wardle, D.A., Brussaard, L., Dangerfield, J. M., Brown, V.K., Giller, K.E., Hooper, D.U., Sala, O., Tiedje, J., y Van Veen, J.A. 2000. Effects of global changes on above and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems implications for ecosystem functioning. *BioScience*, 50: 1089-1098.
- Zakharov, A.A, 1990. Vertical structure of the ant communities and their role in the Peruvian selva. *Memorabilia Zool.*, 44: 1—11
- Zerbino, M.S. Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias. Universidad de Montevideo, Uruguay. 92 p. 2005

Zerbino, S. and Altier, N. (s.f.). La biodiversidad del suelo. Recuperado de:  
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807164750.pdf>.