



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIONEN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

Variables del hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en el municipio de Charcas, San Luis Potosí, México

José Domingo Cruz Labana

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis titulada: **Variables del hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en el municipio de Charcas, San Luis Potosí, México** realizada por el alumno: **José Domingo Cruz Labana** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

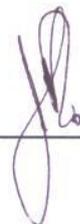
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula

ASESOR



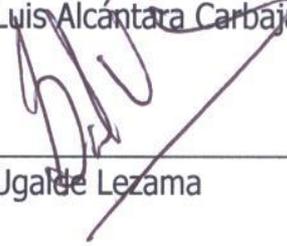
Dr. José Pimentel López

ASESOR



Dr. José Luis Alcántara Carbajal

ASESOR



Dr. Saúl Ugarte Lezama

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2013

Variables del hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en el municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

José Domingo Cruz Labana
Colegio de Postgraduados, 2013

Resumen

En las zonas rurales de México, la hormiga "escamolera" (*Liometopum apiculatum*) es socioeconómicamente importante porque sus larvas, conocidas como "escamoles" se extraen de los hormigueros y son vendidos para el consumo humano. Sin embargo, la hormiga escamolera está siendo explotada de manera no sostenible y no existen estudios sobre el uso del hábitat por esta especie en el centro de México. Para identificar el uso del hábitat por la hormiga escamolera, durante la primavera-verano de 2012, se evaluaron catorce variables del hábitat en parcelas circulares de 20 m de diámetro, de 54 nidos de hormigas y de 162 parcelas seleccionadas al azar; asimismo, se estimó la densidad de nidos en sitios con tres niveles de perturbación del ecosistema. Asimismo, para determinar la temperatura y humedad relativa en nidos de hormiga y en la intemperie, se utilizaron sensores automáticos durante febrero-2012-marzo-2013. Las variables que mejor describieron la presencia de la hormiga en el área de estudio fue el ancho de la piña del agave, el porcentaje de agaves infestados, densidad de agaves, cobertura del suelo y la pendiente del terreno. La probabilidad de encontrar nidos aumentó (*odds ratio* > 1) con el ancho de la piña del agave y el porcentaje de agaves infestados. En contraste, la probabilidad de encontrar nidos (*odds ratio* < 1) fue menor al aumentar la pendiente del terreno y el suelo desnudo. El tipo de vegetación, la pendiente y la elevación del terreno fueron usadas de acuerdo a su disponibilidad; sin embargo, la hormiga seleccionó ($p < 0.05$) terrenos planos (0-10% de pendiente) y laderas con orientación suroeste, y evitó el matorral xerófilo, terrenos moderadamente planos (pendiente 11-20%), las laderas con orientación sureste y terrenos con la elevación más baja (1940-2050 m). La cobertura del suelo en nidos se compuso por gramíneas (27.5%), suelo desnudo (24.5%), roca (20.2%), hierbas (20.2%) y arbustos (7.6%). La densidad de nidos fue mayor ($\alpha = 0.05$) en el nivel moderado de perturbación del ecosistema (11.9 nidos ha⁻¹). La temperatura ($p < 0.0001$) en los nidos fue mayor en primavera (22.0°C) y la humedad relativa en verano (96.8%). El promedio anual de

temperatura en los nidos fue de 21.0 °C y la humedad relativa de 90.0% y no hubo diferencias significativas de temperatura entre nidos considerando su ubicación (altitud e intemperie).

Palabras clave: agave, zonas áridas, insectos, gestión, utilización.

Habitat variables of the “escamolera” ant (*Liometopum apiculatum*) in the municipality of Charcas, San Luis Potosi, Mexico.

José Domingo Cruz Labana
Colegio de Postgraduados, 2013

Abstract

In the rural areas of Mexico, the native “escamolera” ant (*Liometopum apiculatum*) is socioeconomically important because its larvae, known as “escamoles” (immature stages of the reproductive caste) are extracted from ant nests and sold for human consumption. The escamolera ant is being exploited unsustainably, and studies of habitat of this species in central Mexico are nonexistent. During spring-summer 2012, we evaluated fourteen habitat variables in 20-m-diameter circular plots in 54 ant nests and at 162 randomly selected plots; identify habitat use by the ant, and estimated the density of nests at sites representing three levels of ecosystem disturbance. We also during February-2012 and March-2013 recorded temperature and relative humidity in ant nests and at the environment with automatic sensors. The variables that best described the presence of the ant were the width of the agave pineapple, percentage of agaves infested with scale insects, woody plant-cacti-agave density, soil cover and the slope of the terrain. The probability of finding nests increased (odds ratio > 1) when the width of the agave pineapple and the percentage of agaves with plague increased. In contrast, the probability decreased (odds ratio < 1) when the slope of the terrain and bare soil increased. Habitat use of the ant was not influenced by the variables vegetation type, slope and elevation of the terrain according to their availability. The ant selected ($p < 0.05$) flat terrain (0-10% slope) and southwest-facing slopes. On the other hand, the ant avoided xerophytic shrub habitats, moderately flat terrain (11-20% slope), southeast-facing slopes and terrain of the lowest available elevation (1940-2050 m). Soil cover at nests was composed of grasses (27.5%), bare soil (24.5%), rock (20.2%), herbs (20.2%) and shrubs (7.6%). The nest density was higher ($\alpha = 0.05$) in the moderate level of disturbance (11.9 nests ha⁻¹). Temperature ($p < 0.0001$) in ant nests was higher in the spring (22.0°C) and the relative humidity in summer (96.8%). The annual average temperature and relative humidity was 21.0 ° C and 90.0%, respectively.

Temperature was not statistically different considering the altitude and the temperature of the environment

Key words: agave, arid areas, insects, management, utilization.

Dedicatorias

Dedico el presente trabajo a Dios por brindarme fuerzas e iluminar mi camino durante mis estudios de maestría. A mi madre que con su apoyo y dedicación forjó gran parte del carácter, de este su hijo, que con un sinnúmero de tropiezos tiene el anhelo de seguir superándose en lo académico, en lo profesional y sobre todo como persona.

A mi hermano que me brinda su gran amistad y apoyo durante estos últimos años. A la memoria de mi abuela Catalina González Martell por darme su gran cariño y consejo cuando lo necesitaba.

A Saúl Ugalde Lezama por despertar y fomentar mi interés por la fauna silvestre, así como compartir sus conocimientos que fueron de gran utilidad en el desarrollo del presente trabajo.

Por su gran amistad a mi tío Braulio Labana González por alentarme a seguir adelante.

Por su gran amistad y apoyo incondicional a Laura Jacome Beltran y familia.

Agradecimientos

Deseo agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca para los estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de ingresar al Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería en la especialidad de Manejo y Conservación de Fauna Silvestre.

Al Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula por fungir como mi profesor y consejero académico durante mi programa académico.

Al Dr. José Pimentel López del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, por su asesoría y préstamo de equipo de vital importancia para la presente investigación.

A los Doctores Saúl Ugalde Lezama y al Dr. José Luis Alcántara Carbajal por fungir como asesores y guías en el presente trabajo.

Al Dr. Gustavo Ramírez Valverde por su tiempo y sus grandes aportes en la parte estadística.

Especial agradecimiento a la familia Bautista del ejido Pocitos, Charcas, San Luis Potosí por su gran hospitalidad durante la realización de esta investigación.

Al Centro de Recolección de Escamoles del ejido de Pocitos, particularmente a su presidente, Francisco Campos, y en especial a los guías, por su atención y apoyo en el trabajo de campo: Eliut Carranza Hernández, Benito Bautista Gel y Efraín Gel Bautista.

CONTENIDO

CUADROS	xi
FIGURAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos particulares.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Descripción y biología de la especie	4
3.2 Distribución	5
3.3 Importancia	6
3.3.1 Alimenticia.....	6
3.3.2 Ecológica.....	7
3.3.3 Económica.....	8
3.4 Problemática actual.....	9
4. MATERIALES Y MÉTODOS	9
4.1 Descripción del área de estudio	9
4.1.2 Fisiografía.....	10
4.1.3 Clima	11
4.1.4 Hidrografía.....	11
4.1.5 Edafología	11
4.1.6 Vegetación	12
5. Densidad de nidos de hormiga.....	14
6. Uso del hábitat por la hormiga.....	15
7. Temperatura y Humedad relativa	20
8. RESULTADOS	23

8.1 Densidad de nidos de hormiga.....	23
8.2 Presencia de nidos.....	24
8.3 Uso de componentes del hábitat.....	24
8.4 Temperatura y humedad relativa, procedimiento Auto Regresivo de Medias Móviles ARMA (p,q), diferencias de temperatura y humedad relativa en las estaciones del año	26
8.4.1 Temperatura.....	26
8.4.2 Humedad Relativa (HR%)	26
9. DISCUSIÓN	27
10. CONCLUSIONES.....	32
11. LITERATURA CITADA.....	33
ANEXOS	45

CUADROS

Cuadro 1. Clasificación científica de <i>L. apiculatum</i> (Mayr, 1870).....	4
Cuadro 2. Variables del hábitat evaluadas en 54 nidos de hormiga y en 162 parcelas al azar.	16
Cuadro 3. Variables del hábitat y sus categorías utilizadas en el análisis de uso / disponibilidad para la hormiga escamolera en el ejido Pocitos, municipio de Charcas San Luis Potosí, México.....	19
Cuadro 4. Resultados de la regresión logística con la información de los sitios de anidación y parcelas al azar en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.....	24
Cuadro 5. Variables de hábitat, uso esperado y observado e intervalos de confianza de Bonferroni para la hormiga escamolera en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.....	25
Cuadro 6. Medias de temperatura por estación del año en nidos de hormiga escamolera (<i>L. apiculatum</i>) en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.....	26
Cuadro 7. Medias de humedad relativa por estación del año en nidos de hormiga escamolera (<i>L. apiculatum</i>) en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.....	27

FIGURAS

Figura 1. Distribución de <i>Liometopum apiculatum</i> (Del Toro et al. 2009).....	6
Figura 2. Localización del área de estudio (ejido Pocitos) en el municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.....	10
Figura 3. Niveles de perturbación del ecosistema: Nivel A (ligeramente perturbado), Nivel B (moderadamente perturbado) y Nivel C (muy perturbado), donde se estimó la densidad de nidos de hormigas en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.....	15
Figura 4. Ubicación de los 54 nidos de hormiga para la evaluación de las variables del hábitat, en el ejido Pocitos, municipio de Charcas San Luis Potosí, México. .	17
Figura 5. Ubicación de las 162 parcelas aleatorias para la evaluación del hábitat, en el ejido Pocitos, municipio de Charcas San Luis Potosí, México.....	17
Figura 6. Ubicación altitudinal de los sensores para el registro de temperatura y humedad relativa en nidos de hormiga e intemperie en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.....	21
Figura 7. Colecta en campo de la información sobre temperatura y humedad relativa en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.	22

1. INTRODUCCIÓN

Las regiones áridas y semi-áridas contienen valiosos recursos naturales que bien manejados pueden derivar en beneficios económicos a largo plazo. Las hormigas son componentes importantes de estas regiones, pues constituyen una porción significativa de la biomasa animal, y actúan como ingenieros del ecosistema (Jones et al., 1994; Folgarait, 1998). Las hormigas son capaces de modificar las condiciones ambientales para crear micro-hábitats apropiados (Hithford et al., 2008); por ejemplo, al aumentar la fertilidad y calidad del suelo (Amador y Gorres, 2007); además, pueden ser utilizadas como indicadores de cambios en los ecosistemas y para la rehabilitación de las zonas de tala y pastoreo (Andersen y Majer, 2004).

En las zonas semiáridas del sur del Desierto Chihuahuense, una especie importante económica, ecológica y nutricionalmente es la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) (Velasco et al., 2007; Ambrozio-Arzate et al., 2010). Sus larvas, conocidas como escamoles (estadios inmaduros de la casta reproductora) (Ramos-Elorduy et al., 1986) se extraen de los nidos al principio de la primavera (marzo y abril) con el propósito de ser vendidas para el consumo humano. La palabra "escamol" es un nahuatlismo derivado de la palabra *azcatmulli*, compuesta, a su vez, de *azcatl* (hormiga) y *mulli* (estofado). Los escamoles son considerados un manjar; los precios regionales oscilan entre los 40 y 50 dólares americanos por kilogramo. Ramos-Elorduy et al. (2006) señalan que el precio puede llegar hasta \$ 200 dólares. Los escamoles tienen un contenido de proteína de 39.7 mg / 100 g (Ramos-Elorduy y Pino, 2001).

Las larvas de *Liometopum apiculatum* son un recurso natural extractivo en las regiones áridas, ya que se recolecta de las poblaciones silvestres sin la necesidad de aportar ningún insumo, y tiene una amplia distribución. Esta especie se extiende desde el suroeste de Estados Unidos hasta el sureste de México; ocurre en quince estados de la república desde Chihuahua hasta Quintana Roo (Figura 1) (Del Toro et al., 2009). La hormiga escamolera es explotada como un insecto comestible en Michoacán, Colima, Chihuahua y Durango (Cuadriello,

1980), Estado de México, Distrito Federal (Ramos-Elorduy y Pino, 1998), Hidalgo (Ramos Elorduy y Pino, 2006) y Puebla (Ramos-Elorduy et al., 2007).

Sin embargo, los insectos nativos de importancia económica como la hormiga escamolera, el gusano rojo de maguey (*Hypochoeris agavis* B.) y el gusano de agave blanco (*Acentrocne meyeri* W.) están siendo explotados insosteniblemente (Ramos-Elorduy et al., 2006). El mal manejo del suelo y las sequías recurrentes han provocado la pérdida y fragmentación del hábitat para estas especies. Particularmente, en los ecosistemas semiáridos del centro de México, esta hormiga ha sido objeto de un aprovechamiento tradicional excesivo en las comunidades rurales, el cual en muchas ocasiones diezma a las poblaciones de hormigas por la destrucción de sus nidos (Ramos-Elorduy et al., 2006; Ambrosio-Arzate et al., 2010). Este es el caso para el estado de San Luis Potosí, donde los recolectores explotan y destruyen los nidos de hormiga dos o hasta tres veces al año. Este fenómeno es el resultado de la ausencia de directrices legales ambientales (Ramos-Elorduy et al., 2006) que se agrava por la falta de investigación orientada a su manejo y, por ende, a la carencia de conocimiento sobre el papel ecológico de la hormiga (Tarango-Arámula, 2012); todos estos son factores necesarios para la aplicación de prácticas sostenibles de la especie.

La fragmentación del hábitat de la biota del suelo y sus efectos sobre la densidad de los micro-invertebrados no ha sido bien documentada (Haskell, 2000; Chust et al. 2003a; 2003b). En el centro de México solo hay un estudio publicado y aborda únicamente la asociación de insectos comestibles (incluye a *L. apiculatum*) con el agave en el estado de Zacatecas (Esparza-Frausto et al., 2008), aspectos fundamentales sobre su biología y ecología aún se desconocen.

Dada la importancia de los insectos como componentes de los ecosistemas del desierto (Hithford et al., 2008), y en particular la explotación de las larvas de la hormiga escamolera y sus beneficios económicos para el sector rural mexicano, es necesario estudiar las variables del hábitat de las cuales *L. apiculatum* depende. Con este estudio se generará conocimiento básico que coadyuva a elaborar paquetes tecnológicos y líneas de investigación sobre esta especie de

hormiga en la región, en pro del desarrollo rural (basados en el aprovechamiento sustentable de escamoles) y la conservación de los recursos entomológicos, en general.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar las variables del hábitat de *L. apiculatum* en el ejido Pocitos, municipio de Charcas San Luis Potosí, México.

2.2 Objetivos particulares

1. Determinar las variables del hábitat que mejor explican la presencia de *L. apiculatum*.
2. Estimar la densidad de nidos de *L. apiculatum* en el ejido Pocitos, municipio de Charcas San Luis Potosí, México.
3. Registrar la temperatura y humedad relativa en nidos de hormiga y en la intemperie.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Descripción y biología de la especie

Liometopum apiculatum es una hormiga que se distribuye ampliamente en México (Figura 1) (Del Toro et al., 2009), su clasificación se describe a continuación:

Cuadro 1. Clasificación científica de *L. apiculatum* (Mayr, 1870)

Clasificación científica	
Reino	Animalia
Phylum	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hymenoptera
Familia	Formicidae
Subfamilia	Dolichoderinae
Genero	<i>Liometopum</i>
Especie	<i>L. apiculatum</i>

En EUA, esta especie anida en una amplia variedad de sustratos en los bosques de roble, entre los 1000 y 2500 m de altitud (Hoey-Chamberlain, 2012). Sin embargo, la hormiga prefiere formar colonias a aproximadamente 2000 msnm donde se les observa comúnmente (Del Toro et al., 2009). En los bosques de pino piñonero (*Pinus discolor* Bailey y Hawks) y pino ponderosa (*Pinus ponderosa* var. *Arizona* Shaw) se les encuentra en las áreas más elevadas. También anida en jarillas, matorrales, pastizales y troncos muertos, debajo de las piedras y de los tallos en descomposición de *Yucca* spp. *yagave salmiana* (Miller 2007; Esparza-Frausto et al., 2008), a mayores altitudes, esta especie es sustituida por *Liometopum luctuosum*.

El régimen alimenticio de *L. apiculatum* es omnívoro; sin embargo, prefiere una dieta líquida de néctares extraflorales producidos por plantas y por algunos insectos. Las secreciones de los insectos son obtenidas por la hormiga vía trofobiosis (relación nutritiva asociada a ciertas especies de hormigas, en la que

otros insectos suministran alimentos y sus secreciones son ordeñadas) (Miller 2007; Ramos-Elorduy et al., 1983b). El principal modo de defensa de esta hormiga es emitiendo un olor fuerte y un ataque agresivo en grandes números; este comportamiento beneficia a *Opuntia imbricata* con la cual guarda una relación mutualista ya que la hormiga la protege de los herbívoros y depredadores de semillas. Su actividad forrajera se concentra de las 8:00 a las 19:00 horas (con un pico de actividad a las 17:00 hrs) durante marzo-septiembre cubriendo un rango de hasta 580 m². (Mackay y Mackay, 2002; Ramos-Elorduy et al., 1988; Ramos-Elorduy y Levieux, 1992). El apareamiento o vuelo nupcial ocurre de mayo a junio, y el acoplamiento entre hembra y macho se realiza en el aire, llegando a volar hasta 250 m de alto (Ramos-Elorduy et al., 1988). Posteriormente al vuelo nupcial y enterramiento de la reina (dos días), ésta pone un promedio de 400 a 600 huevos (Ramos-Elorduy et al., 1984), los estados de desarrollo de *L. apiculatum* son huevo, larva, pupa y adulto.

3.2 Distribución

La distribución de esta especie se extiende desde el suroeste de Estados Unidos hasta el sureste de México; en este último se le encuentra en quince estados desde Chihuahua a Quintana Roo (Del Toro et al., 2009) (Figura 1). Se distribuye principalmente en selvas tropicales, de manera que sus poblaciones disminuyen en bosques templados y matorrales áridos y semiáridos (Holldobler y Wilson, 1990); sin embargo, una zona de distribución natural de *L. apiculatum* es el Altiplano Potosino-Zacatecano. Como unos de los primeros esfuerzos en el estudio de las hormigas, Ríos et al. (2004) realizaron un estudio sobre su riqueza (Hymenóptera: Formicidae), en el compararon al estado de Puebla con las zonas áridas de Durango, Sonora y Chihuahua.

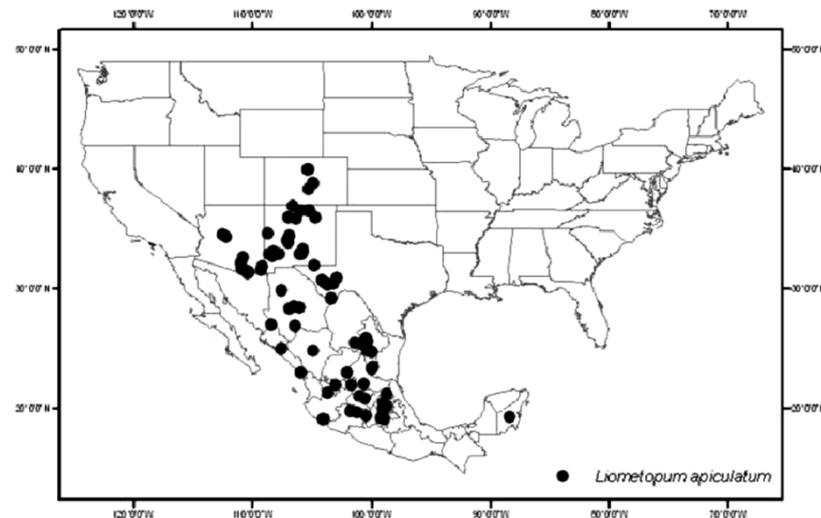


Figura 1. Distribución de *Liometopum apiculatum* (Del Toro et al. 2009).

Ruiz et al. (2010) realizaron un estudio de himenópteros, en la Reserva “El Cielo”, (Tamaulipas, México) y reportaron 28 géneros y 43 especies de la familia Formicidae, dentro de los cuales se incluye a *L. apiculatum*. Alatorre-Bracamontes y Vásquez-Bolaños (2010) realizaron una lista comentada para las hormigas del norte de México, reportando a *L. apiculatum* en Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

3.3 Importancia

3.3.1 Alimenticia

Los estados inmaduros de la casta reproductora de la hormiga, conocidos como escamoles, son un producto altamente digestivo; en términos cualitativos, están conformados por ácidos grasos poli-insaturados e inocuos. Así mismo, su contenido proteico es alto (39.7 mg/100 g), incluso mayor que el del pescado y pollo, además, contiene vitaminas A, C, Tiamina, Riboflavina y niacina (2.93 U.I./100 g, 36.14 mg/100 g, 0.15 mg/100 g, 0.34 mg/100 g y 0.67 mg/100 g, respectivamente); su contenido de grasas corresponde a un valor nutricional de 36.87 mg/100 g, con un aporte total de 26.61 KJ/100 g (Ramos-Elorduy et al., 2001b). La calidad proteica, contenido mineral y calórico de los escamoles varían de acuerdo a su lugar de procedencia. En un estudio comparativo, Ramos-Rostro et al. (2012) reportan un contenido proteico de 31.6 mg/100 g, cantidad que

contrasta con lo reportado por Ramos-Elorduy et al. (1988b) quienes reportan un contenido superior que alcanza un 67% mg/100 g. Desde épocas prehispánicas, diversas especies de insectos han sido apreciadas por sus propiedades curativas y como fuente alimenticia; particularmente los escamoles, mismos que han repercutido en la economía de varias culturas (Ambrosio-Arzate et al., 2010).

3.3.2 Ecológica

Las hormigas son un componente importante de los ecosistemas, ya que constituyen una gran parte de la biomasa animal y actúan como ingenieros del ecosistema (Jones et al., 1994; Folgarait, 1998). Son un grupo entomológico cosmopolita que anida, en su mayoría, en los suelos (Holldobler y Wilson, 1990). Entre los beneficios que brindan al suelo, es optimizar la mineralización y humificación de nutrientes a las plantas (Baxter y Hole, 1967); incrementan la porosidad e infiltración del agua y promueven la distribución de comunidades vegetales, debido a que algunas especies son dispersoras de semillas (Davidson y Morton, 1981; Nkem et al., 2000). Su importancia ecológica y su capacidad de mejorar las condiciones del micro hábitat han sido ampliamente estudiadas (Bestelmeyer y Schooley, 1999; Cerda y Jurgensen, 2008; Cerda et al., 2009; Li et al., 2011); sin embargo, son pocos los estudios relacionados con regiones desérticas (Nash et al., 2001; Dostál et al., 2005).

Van Pelt (1971) señala que a partir de los años 70 y 80 iniciaron los estudios sobre la ecología y biología de diversas especies de hormigas, en estas aportaciones se puntualizó que *L. apiculatum* se alimenta de las secreciones de *Cinara* sp., *Pinus cembroides*, *Vanducea segmentata*, *Nolina erumpens*, en los bosques templados de Texas, EUA. Por su parte, Cuadriello (1980) describió el régimen alimenticio y la asociación ecológica de *L. apiculatum* con 17 especies de hemípteros en los estados de Michoacán e Hidalgo y en el Distrito Federal. Ramos-Elorduy (1988a) estudió las características morfológicas, fisiológicas, ecológicas y etológicas de *L. apiculatum* y *L. occidentale* var. *Luctuosum* en diferentes hábitats.

Elementos abióticos como la temperatura y la humedad limitan la distribución y abundancia de especies del género *Liometopum* (Connell, 1961a, b;

Dunham, 1980; Dunson y Travis, 1991), actualmente existe poca información sobre cómo estas variables influyen en su ecología; sin embargo, Shapley (1920) señaló que *L. accidentale* y *L. apiculatum* son activas en un amplio rango de temperaturas que van desde los 8 °C – 38°C y de humedad del 5% – 100%, aunque Tremper (1976) menciona que a una temperatura menor de 15 °C, *L. occidentale* se ve más afectada en su capacidad de forrajeo y búsqueda efectiva de alimentos. Hölldobler y Wilson 1990 señalan que en colonias maduras de diversas especies de hormigas, los cazadores-recolectores juegan un papel importante en la regulación del micro-ambiente dentro de los nidos. Ramos-Elorduy et al. (1984) estudiaron el ciclo de vida de *L. apiculatum* en diferentes temperaturas, humedades y sustratos, observaron que cuando la temperatura desciende se alarga el ciclo de vida. Ramos Elorduy et al. (1986) registraron que la temperatura en un nido natural del estado de Michoacán tenía una temperatura de 24°C.

Velasco et al. (2007) reportaron la relación trofobiotica de *L. apiculatum* con *Hemiptera esternorrhyncha* en el Estado de Tlaxcala. A pesar de la importancia ecológica de esta especie, en el centro del país solo existe un estudio sobre la ecología de insectos, mismo que aborda única y exclusivamente la asociación de éstos (incluyendo a la hormiga escamolera) con las magueyeras en el ejido de Tolosa, Zacatecas (Esparza-Frausto et al., 2008).

3.3.3 Económica

Los escamoles son considerados por muchos un manjar; los precios regionales oscilan entre los 40 y 50 dólares americanos por kilogramo. Ramos-Elorduy et al. (2006) señalan que el precio puede llegar hasta \$ 200 dólares. El aprovechamiento de la hormiga escamolera dentro de este contexto rural conlleva a la generación de una actividad complementaria para la obtención de recursos económicos. La producción promedio de la hormiga escamolera es de 3.54 kg para nidos conservados (Ramos-Elorduy et al., 1984b); la casta reproductora es cosechada durante marzo y abril y vendida a precio regional de \$250.00 pesos por kilogramo.

3.4 Problemática actual

La zona centro de México (Altiplano Potosino-Zacatecano) está sometida a diversos grados de disturbio (incendios) y perturbación (ganadería, agricultura, entre otros). En esta región, las malas prácticas en la extracción irracional del escamol, con fines entomofágicos, aunadas al mal uso que se hace de otros recursos naturales, la ausencia de una reglamentación y normalización en la explotación y comercialización de insectos comestibles (Ramos-Elorduy et al., 2006), han sido factores clave en la pérdida y fragmentación del hábitat de la especie.

A pesar del beneficio económico que deriva de los estados inmaduros de *L. apiculatum*, actualmente existen factores que impactan de forma negativa en su aprovechamiento, entre ellos: 1) la comercialización se lleva a cabo por intermediarios, los cuales obtienen grandes ganancias (por ejemplo, \$500.00 pesos/1 kg) y 2) los recolectores que se dedican a esta actividad experimentan el fenómeno de migración laboral al extranjero o ciudades capitales, quedándose en el área personas no capacitadas en la recolección artesanal del producto; tal situación favorece la pérdida de nidos y afecta la reproducción y supervivencia de la especie. (Lara-Breton, 2011; Ramos-Elorduy et al., 2006).

Aspectos fundamentales sobre la biología y ecología de *L. apiculatum* son aún desconocidos; particularmente las relacionadas con su hábitat y con la temperatura y humedad relativa requeridas por la especie. Los sistemas de producción y aprovechamiento sustentable y sostenible de la hormiga escamolera y su casta reproductora basados en el conocimiento de la biología y ecología de dicha especie, podrían brindar ventajas estacionales sobre las actividades ganaderas y agrícolas, las cuales se restringen por el estiaje.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del área de estudio

Este trabajo se llevó a cabo durante febrero 2012 a marzo 2013 en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México. Este ejido se encuentra a

22 km al noreste de la ciudad de Charcas, a una altura de entre 1979 y 2505 msnm, y tiene una superficie de 6 422 ha (Figura 2), cuenta con una población de 341 habitantes (SAGARPA, 2012; INEGI, 2010). El área de estudio se localiza en la región sur del Desierto Chihuahuense (Giménez y González, 2011).

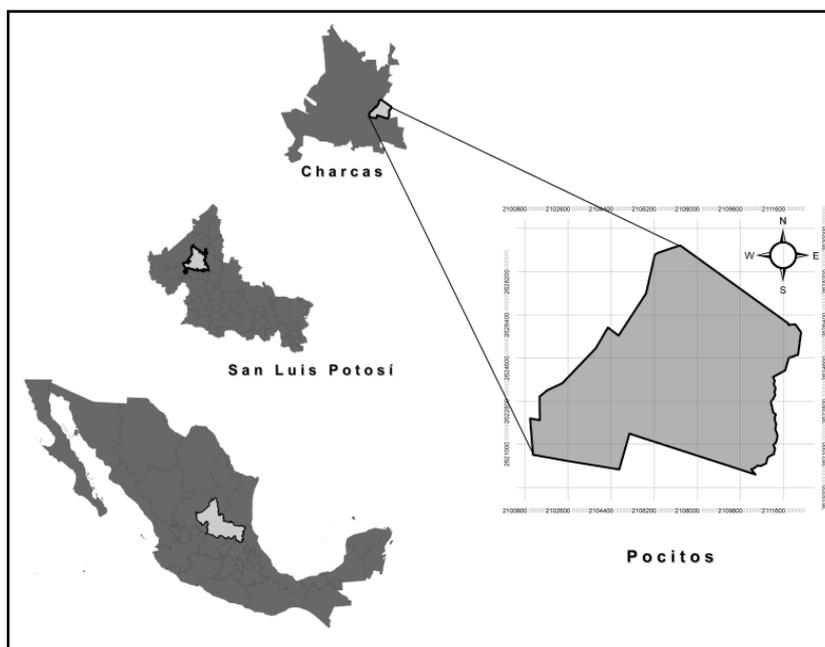


Figura 2. Localización del área de estudio (ejido Pocitos) en el municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Las principales actividades económicas en la zona son la agricultura de temporal, ganadería intensiva, recolección (escamol y gusano de maguey), tallado de lechuguilla y palma, cría de traspatio, contrato de jornales en las agroindustrias de zonas aledañas y empleo temporal derivado de programas gubernamentales (Lara-Bretón, 2011).

4.1.2 Fisiografía

El Altiplano Potosino-Zacatecano se extiende hacia el sur desde el río Nazas hasta colindar con el Eje Neovolcánico, en la provincia de la Mesa del Centro y Sierra Madre Oriental dentro de la subprovincia Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande, Sierras Potosino Zacatecanas y Sierras y Llanuras Occidentales. Esta zona se encuentra constituida por un complejo de mesetas, lomeríos y llanuras, y una parte de sus planicies incluyen a la sierra de Catorce

(Raisz, 1959; Rzedowski, 1978; Medellín, 1982). El sistema es un agregado de material litológico conglomerado con suelos aluviales en los valles al pie de las laderas, las rocas pertenecen al Mesozoico y son de origen sedimentario-calizas, lutitas-areniscas y esquistos (Anónimo, 2009).

4.1.3 Clima

El grupo de climas en el área de estudio son secos o áridos, con una clasificación -BS, BW- con lluvias escasas e irregulares principalmente en verano.

Los principales subtipos son seco templado $BS_0kw'(e)$ en una proporción del 85.5%, semiseco templado BS_1kw con 13%, templado subhúmedo $C(w_0(x'))$ con 0.4% y seco semicálido $BS_1(h')hw'(e)$ con menos del 1.1%. (García, 2004; Anónimo, 2009). La temperatura y precipitación promedio anual es de 12-18 °C y de 300-400 mm, respectivamente (INEGI, 2002).

4.1.4 Hidrografía

La zona de estudio se encuentra en la región hidrológica llamada El Salado, la cual se encuentra integrada por dos cuencas: San Pablo y Presa San José-Los Pilares. El sistema hidrológico está constituido por cuerpos y corrientes de agua intermitentes (Anónimo, 2009).

4.1.5 Edafología

Los suelos predominantes en la región son chernozems y leptosol (INEGI, 2005; IUSS, ISRIC, FAO, 2007), y con menor frecuencia las rendzinas, castañozems, solonchaks y fluvisoles (Giménez y González, 2011). Los chernozems son de capa superficial gruesa y negra, ricos en materia orgánica y utilizados para la agricultura y la ganadería (IUSS, ISRIC, FAO, 2007). Por su parte, los leptosoles son delgados (10 cm de profundidad) y con altos porcentajes de grava y/o pedregosos, con mayor susceptibilidad a erosionarse.

Las hormigas pueden anidar en diversos tipos de suelos, con composiciones de grano fino, arcillosos, limosos, alto contenido de arena y gravas. Dependiendo del tipo de suelo, diversas especies modifican sus métodos

de excavación lo que influye en los patrones geométricos de los nidos (Espinoza y Santamarina, 2010). La construcción y mantenimiento de los túneles y cámaras alteran la estructura del suelo, modifican el tamaño del poro, aumentan la acumulación de materia orgánica, la aireación, infiltración y la evaporación del agua (Carlson y Whitford, 1991; Lei, 2000; Snyder et al., 2002). Los cambios físicos y químicos aumentan la producción de nitrógeno, fósforo y potasio, lo cual afecta de forma positiva la riqueza y diversidad de especies vegetales alrededor de los nidos (Keller y Gordon, 2009; Withford y DiMarco, 1995; Withford, et al., 2008).

4.1.6 Vegetación

Con base en la clasificación de vegetación de Rzedowski (1961, 1965 y 1978) para el estado de San Luis Potosí, se describen a continuación los tipos de vegetación del territorio estatal.

Matorral xerófilo: Es característico de zonas con clima variable, entre BW (muy seco) y BS (seco o estepario), generalmente donde la precipitación media anual es inferior a 700 mm. Se observa a este tipo de vegetación en las laderas inferiores de los cerros asociado con suelos de tipo litosol; este matorral es característico de amplias áreas de la Altiplanicie Mexicana, que se extiende desde Chihuahua hasta el Estado de México y se distribuye a una altitud que va de los 1000 a 2400 msnm, en lomeríos y llanuras. Incluye comunidades, en las que predominan arbustos altos o árboles bajos de 3 a 5 m de altura, caducifolios (generalmente por un periodo breve durante la época de secas) y con hojas o folíolos de tamaño pequeño. Este tipo de vegetación presenta cuatro o cinco estratos definidos en los que la dominancia se comparte entre varias cactáceas del género *Opuntia*, y mezquitales (*Prosopis laevigata*). El género *Larrea* es el más abundante en esta comunidad vegetal.

Matorral rosetófilo: Matorral donde predominan especies arbustivas o subarbustivas de hojas alargadas y angostas agrupadas en forma de roseta; el estrato subarbustivo espinoso y perennifolio a menudo es muy denso.

Las principales especies sin tallo visible son la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), guapilla (*Hechtia glomerata*), y amole (*Agave glomerata*); de las especies con tallo visible, son el sotol (*Dasyllirion berlandieri*), palma pita (*Yucca filifera*), palma china (*Y. decipiens*) y palma samandoca (*Y. carnerosana*). Estas especies generalmente se encuentran asociadas con plantas suculentas del género *Equinocactus* y *Ferocactus*, nopal cegador (*Opuntia microdasys*), nopal rastrero (*Opuntia rastrera*), cholla (*Opuntia imbricata*) y abrojo (*Opuntia tunicata*). También se encuentran especies micrófilas, del género *Acacia*, entre otras. Su distribución está vinculada preferentemente a lomeríos, piedemontes y exposiciones edafoxerófilas de laderas con pendientes entre el 15 y 40%.

Matorral crasicaule: En este matorral dominan las plantas de tallos crasos (cactáceas grandes). Los suelos donde se desarrollan son de origen ígneo en su mayoría, con profundidad de 25 a 50 cm. Las altitudes varían de 890 a 2420 m, con pendientes del 4 al 20%. Las especies principales son el nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*), nopal tapón (*Opuntia robusta*), nopal cardón (*Opuntia streptacantha*), garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), pitaya (*Lemaireocereus* spp.); y otras arbustivas de los géneros *Acacia*, *Mimosa*, *Celtis*, *Condalia*, *Prosopis*, *Jatropha*, y *Yucca*.

Zacatal: Formación herbácea dominada fisionómicamente por gramíneas de bajo porte, como *Muhlenbergia repens*, *Lycurus phleoides*, y la presencia de *Stipa ichu*.

En menos proporción, en las partes más elevadas del área de estudio, (2480 m) se encuentran comunidades de encinos (*Quercus hintoniorum*, *Quercus greggii*, *Quercus mexicana*, *Quercus laeta* y *Quercus pringlei*) (Giménez y González, 2011), además de enebrales abiertos (2210 m) de *Juniperus sp* (González et al., 2007).

5. Densidad de nidos de hormiga

La densidad de los nidos de las hormigas se estimó en tres niveles de perturbación del ecosistema dentro de la zona de estudio: Nivel A (ligeramente perturbado), nivel B (moderadamente perturbado) y el nivel C (muy perturbado).

El nivel A abarca un área de pastoreo de ganado vacuno y caprino; este sitio presenta porcentaje de suelo desnudo entre 15 y 20%. Las especies vegetales más comunes en este nivel son enebros (*Juniperus* spp.), agave (*Agave salmiana*), nopal (*Opuntia* spp.) biznaga (*Echinocactus platyacanthus*), palmas (*Yucca filifera* y *Y. carnerosana*), mezquite (*Prosopis* spp.), acacias (*Acacia* spp.), y zacatal, entre otros (Figura 3A).

El nivel de perturbación B se caracterizó por la presencia de lechuguilla (*Agave lechuguilla*), relictos de enebro y agaves; esta zona es intensamente pastoreada, erosionada y el porcentaje de suelo desnudo fue entre el 20 y el 30% (Figura 3B). El nivel C es un área con pastoreo moderado, presenta una cubierta vegetal pobre (suelo desnudo con un porcentaje superior al 30%) en comparación con los niveles A y B, y se caracterizó por la presencia de palmas (*Yucca carnerosana*, *Y. filifera*) y agaves nativos, escasos y dispersos (Figura 3C).

La densidad de nidos se estimó recorriendo transectos de 200 m de longitud y 100 m de ancho —50 m hacia la izquierda y 50 m hacia la derecha de la línea central, 20.000 m²— (Anexo 1). Se distribuyeron tres transectos al azar en cada nivel de perturbación. Las distancias perpendiculares de los nidos a la línea central de los transectos se midieron, registraron y se utilizaron en la corrida del programa “Distance 6.0”.

La probabilidad de detección en el “Distance 6.0” se basa en la siguiente ecuación:

$$D = \frac{n}{\pi \rho^2}$$

Dónde:

D = Densidad estimada

n = Número de nidos vistos sobre el transecto

ρ = Radio efectivo de detección de n nidos que son detectados

Se utilizó el Criterio de Información del mínimo Akaike (AIC), basado en el cálculo del estimador de máxima verosimilitud y en el número de parámetros del modelo. El modelo del “Distance 6.0” se basa en las series de Fourier y, en este estudio, se utilizó para determinar la densidad de nidos en cada uno de los niveles de perturbación del ecosistema. Para ello, calculó la función de probabilidad de detección con la información conjunta de los tres niveles de perturbación (Lancia et al., 1996; Buckland et al., 1993; Laake et al., 1993; Lebreton et al., 1992). El mejor modelo según el AIC resultó en la función uniforme de serie de cosenos; la función del modelo fue la siguiente (Young y Young, 1998).

$$\frac{1}{W} \left[1 + \sum_{j=1}^m a_j \cos\left(\frac{j\pi y}{W}\right) \right]$$

Dónde:

W = Ancho del transecto

m = Número de términos de ajuste

a_j = Es el parámetro para el ajuste término de orden j

y = Distancia



Figura 3. Niveles de perturbación del ecosistema: Nivel A (ligeramente perturbado), Nivel B (moderadamente perturbado) y Nivel C (muy perturbado), donde se estimó la densidad de nidos de hormigas en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

6. Uso del hábitat por la hormiga

Para determinar los componentes del hábitat que más explican la presencia de la hormiga escamolera, se compararon algunas variables relacionadas con la

vegetación y el terreno (Cuadro 2), de 54 nidos de hormigas y de 162 parcelas seleccionadas al azar dentro del área de estudio; estas correspondieron a parcelas circulares de 20 m de diámetro (Schreuder et al., 1993). Para establecer las parcelas en los sitios de anidación, se consideraron los nidos (Figura 4) como el centro de las parcelas, mientras que el centro de las parcelas seleccionadas al azar fueron las coordenadas del centro de la mismas (Figura 5). Para identificar y seleccionar las parcelas aleatorias se utilizó el Hawth's Analisis Tools para ArcMap 9.3 (Beyer, 2004; ESRI. Soft., 2006).

Cuadro 2. Variables del hábitat evaluadas en 54 nidos de hormiga y en 162 parcelas al azar.

Variable	Método de evaluación
Inclinación del terreno (%)	Clinómetro Sunto®
Exposición de la pendiente	Brújula Brunton®
Elevación (m)	Garmin 60CSx GPS
Altura del agave (m)	Medición directa con cinta métrica
Ancho de la piña (m)	
Número de agaves, agaves infestados (coccidos) y número de plantas mayores (nopales, mezquites, palmas y huizaches)	Conteo en parcelas circulares de 20 m de diámetro
Cobertura del suelo (%)	Línea de Canfield (Canfield, 1941; Anexo 2) en parcelas circulares de 20 m de diámetro
– Hierbas	
– Pastos	
– Arbustos	
– Roca	
– Suelo desnudo	

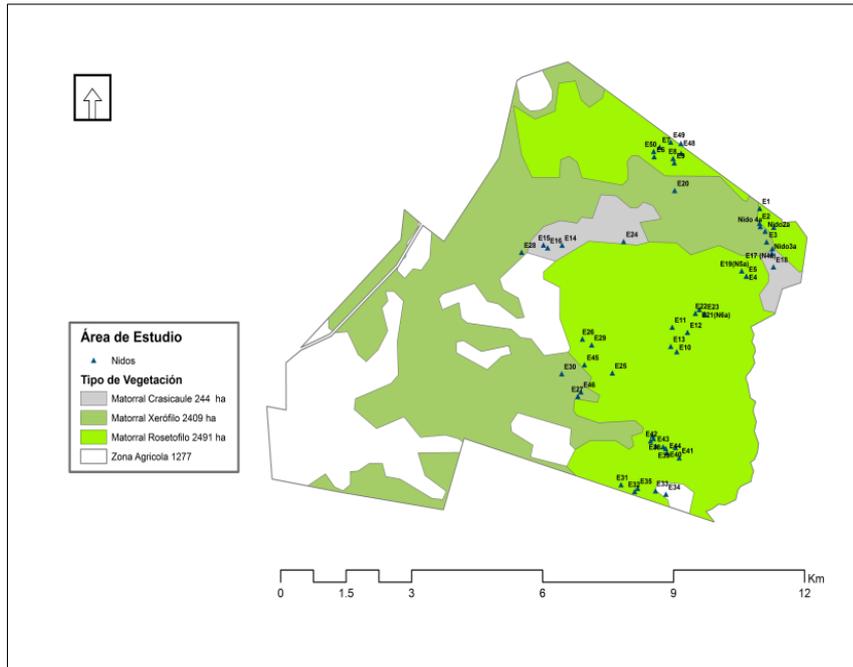


Figura 4. Ubicación de los 54 nidos de hormiga para la evaluación de las variables del hábitat, en el ejido Pocitos, municipio de Charcas San Luis Potosí, México.

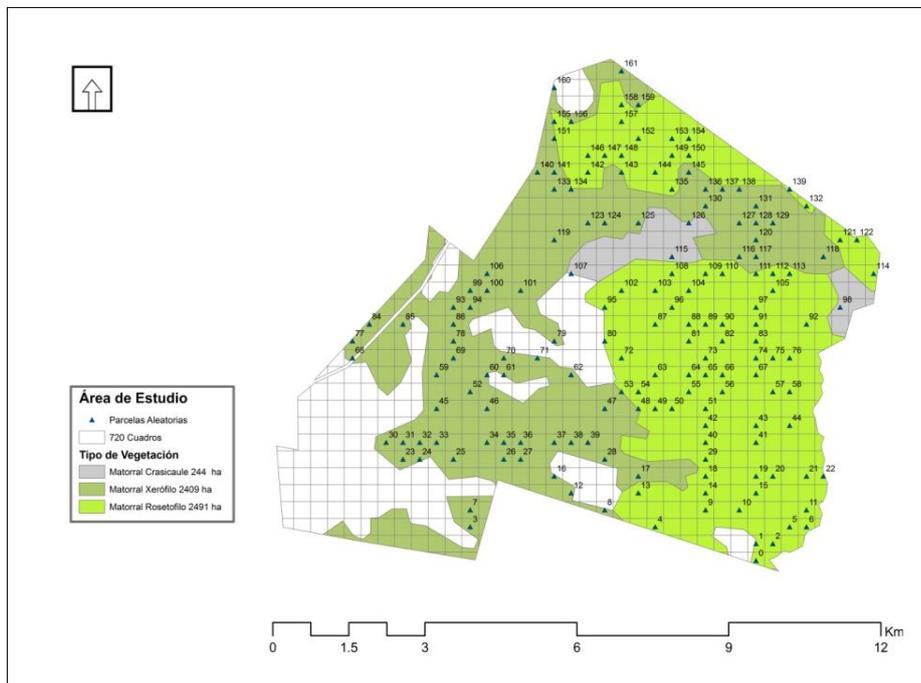


Figura 5. Ubicación de las 162 parcelas aleatorias para la evaluación del hábitat, en el ejido Pocitos, municipio de Charcas San Luis Potosí, México.

Para determinar los componentes del hábitat que más explican la presencia de la hormiga, se utilizó un modelo de regresión logística con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, y el uso del software estadístico JMP 7.0 (SAS. Soft., 2007).

En este modelo, la variable dependiente (Y_i) es binaria, donde 0 indica la ausencia y 1 la presencia. La variable de respuesta se expresa en función del conjunto de las variables independientes (X_1, X_2, \dots, X_p) (Herrera y García, 2011). Si Y representa el valor de una variable binaria que posee la característica de interés, sea $P (Y = 1 \mid x)$, es decir la probabilidad de que $Y = 1$, dado $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$, vector de variables explicativas (independientes), por lo tanto, se tiene:

$$P = \Pr (Y = 1 \mid x) = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p)}}$$

Transformando la ecuación anterior a su forma logarítmica, se estima la probabilidad de que ocurra un evento $Y = 1$ vs la probabilidad de que no ocurra $Y = 0$,

$$\therefore \quad \text{Ln} \left(\frac{P}{1-P} \right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots + \beta_n x_p$$

La selección de las variables se realizó por el procedimiento Stepwise (Guisan y Zimmerman, 2000; Dos Santos y Mora, 2007), en el cual se buscó el mejor modelo entre las variables de respuesta y el conjunto de variables independientes (Ugalde-Lezama et al., 2011), es decir cuáles de estas variables pronosticaron la mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno bajo estudio (presencia de *L. apiculatum*).

Se utilizaron análisis de Chi Cuadrada para determinar si el tipo de vegetación, las categorías de pendiente, orientación y elevación fueron seleccionados (es decir, qué se utiliza más en proporción a su disponibilidad) o evitados (es decir, qué se utiliza en menor proporción a su disponibilidad) por la hormiga. Para evaluar el uso del hábitat, se cuantificó para el área de estudio, la

disponibilidad (tamaño del área en ha) de cada una de las categorías de las variables de hábitat (Cuadro 3) con Arc Map 9.3 y mapas topográficos a una escala de 1:50000 (SAGARPA 2012). Cuando se detectaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre el uso (número de nidos en cada categoría) y su disponibilidad (tamaño del área) de estos componentes (Neu et al., 1974), se utilizaron intervalos de confianza de Bonferroni para determinar las preferencias del hábitat (Byers et al., 1984).

Cuadro 3. Variables del hábitat y sus categorías utilizadas en el análisis de uso / disponibilidad para la hormiga escamolera en el ejido Pocitos, municipio de Charcas San Luis Potosí, México.

Variable	Categoría
Tipo de vegetación	Matorral Rosetófilo Matorral Xerófilo Matorral Crassicaule
Inclinación del terreno (%)	Plana (0-10) Moderadamente plana (11-20) Media (21-30) Alta (≥ 30)
Exposición (grados) de la pendiente	Noreste (0-90) Sureste (91-180) Suroeste (181-270) Noroeste (271-360)
Elevación del terreno (msnm)	Muy baja (1940-2050) Baja (2051-2160) Media (2161-2270) Alta (> 2270)

Para la conducción de estos análisis se utilizaron los siguientes estadísticos:

Chi-cuadrada (X^2)

$$X_i^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \right]$$

Donde:

n = número de categorías

X_i^2 = Chi-Cuadrada calculada

O_i = Uso observado

E_i = Uso esperado (total de nidos encontrados en el área de estudio X el área relativa de cada categoría).

Intervalos de confianza simultáneos de Bonferroni

$$\bar{p}_i - z_{(1-\alpha/2k)} \sqrt{\bar{p}_i(1 - \bar{p}_i) / n}$$
$$\leq p_i \leq \bar{p}_i + z_{(1-\alpha/2k)} \sqrt{\bar{p}_i(1 - \bar{p}_i) / n}$$

Donde:

$Z_{\alpha/2}$ = Distribución normal estándar

\bar{p}_i = Proporción de nidos observados

n = Tamaño de muestra

7. Temperatura y Humedad relativa

De febrero de 2012 a marzo de 2013 se registró la temperatura y humedad relativa en seis nidos de hormiga y en la intemperie (ambiente) mediante el uso de sensores automáticos. Los criterios de selección de los sitios para la colocación de los sensores fueron dos: 1) sitios con diferente altitud (alta, media y baja) para detectar diferencias estacionales de estas dos variables y 2) sitios que garantizaran la permanencia y correcto funcionamiento de los equipos utilizados para este fin (Figura 6).

Los sensores se programaron para recopilar la información cada 30 minutos. Cinco sensores fueron de la marca HOBO Pro modelo U23-00x

(manufacturado por Onset Computer Corporation, Bourne, MA) con una resolución de 0.02°C y 0.03 % HR, y precisión de ± 0.2 °C y ± 2.5 % HR y uno de la marca EXTECH modelo 42270 (manufacturado EXTECH Instruments, Nashua, NH) con una resolución de 0.1°C y 0.1% HR y precisión de ± 0.6 °C y ± 3 % HR.

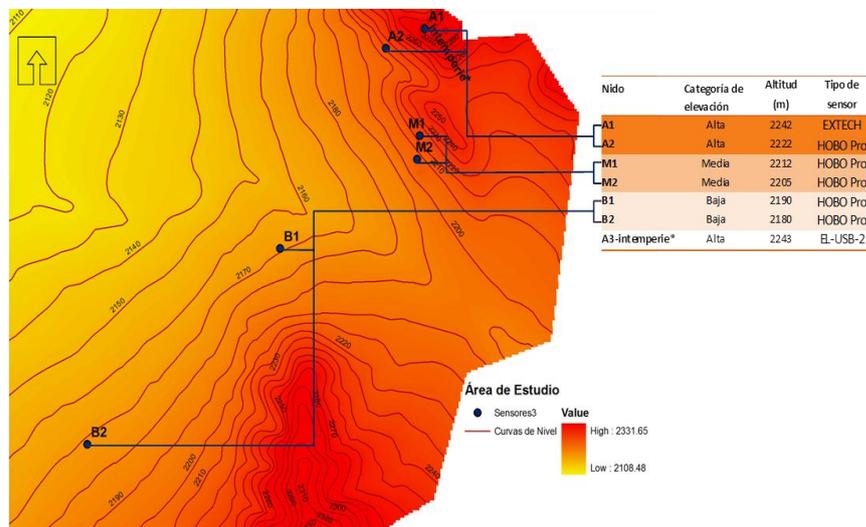


Figura 6. Ubicación altitudinal de los sensores para el registro de temperatura y humedad relativa en nidos de hormiga e intemperie en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Para registrar la temperatura y humedad relativa en la intemperie se utilizó un equipo de la marca Easy Log modelo EL-USB-2+ (Lascar Electronics Inc., Erie PA) con una resolución de 0.5 °C y 0.5 % HR, y precisión de ± 1.1 °C y ± 2.0 % HR., este se colocó en una altitud alta, en la base de un encino y al nivel de la superficie del suelo.

La información registrada fue colectada en campo con una laptop Acer y el software; HOBOWare Pro 3.00, TRLog 3.4 y EasyLog USB 4.6 cada tres meses (Figura 7).

La información de temperatura y humedad de cada sensor se clasificó de forma anual y por estación: primavera (21 de marzo-20 de junio de 2012), verano (21 de junio-20 de septiembre de 2012), otoño (21 septiembre-20 de octubre de 2012) e invierno (10 de febrero de 2012-20 de marzo de 2013). La base de datos de temperatura y humedad relativa de la estación invierno se complementó con la información del 2013.



Figura 7. Colecta en campo de la información sobre temperatura y humedad relativa en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Para determinar las diferencias de temperatura y humedad entre los nidos, la intemperie y la estación del año se realizó un análisis de Medias Repetidas con Modelos Lineales Generalizados y Mixtos (GLMM). Los GLMM son estadísticos paramétricos que permiten analizar diferentes tipos de variables de respuesta (humedad y temperatura) cuando los datos se encuentran de forma estructurada o jerárquica, como los diseños de mediciones repetidas y series temporales (Cayuela, 2010). Los modelos mixtos permiten tener coeficientes fijos (aquellos cuyos niveles son de interés para el experimentador) y aleatorios (aquellos cuyos niveles son solo una realización de todos los posibles niveles procedentes de una población); particularmente permiten modelar experimentos de observaciones correlacionadas con un enfoque en el dominio del tiempo (Zuur et al., 2007; Zuur et al., 2009).

Para identificar diferencias de temperatura y humedad relativa entre los nidos y la intemperie, se realizaron diferentes estructuras de correlaciones de mediciones repetidas (elección del modelo con el mejor ajuste), con el criterio del mínimo AIC (Akaike Information Criterion) y BIC (Bayesian Criterion). En este proceso, se seleccionó el procedimiento Auto Regresivo de Medias Móviles (ARMA) de orden (p,q) para ambas variables (AIC = 5889.10 y BIC = 11736.29 para temperatura y AIC = 6004.97 y BIC = 11852.16 para humedad relativa). En el modelo utilizado, se asumió que la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno) y la ubicación (altitud alta, media y baja) de los nidos afecta la temperatura y su humedad relativa.

La expresión para el modelo ARMA (p,q) es:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + a_t + \theta_1 a_{t-1} + \dots + \theta_q a_{t-q} \quad a_t \sim \text{RB}(0, \sigma^2)$$

En términos de operador de retardos:

$$(1 - \phi_1 L - \dots - \phi_p L^p) Y_t = (1 - \theta_1 L - \dots - \theta_q L^q) a_t$$

$$\phi_p(L) Y_t = \theta_q(L) a_t$$

Donde:

Y_t = Colección de variables aleatorias (con $\mu = 0$ y $\sigma^2 = 1$)

$\phi_p(L)$ = Polinomio auto regresivo

$\theta_q(L)$ = Polinomio de medias móviles

a_t = Proceso de ruido blanco con media 0 y varianza σ^2 a y $|\phi| < 1$

Los procesos auto regresivos de medias móviles determinan Y_t en función de su pasado hasta el retardo p , de la innovación (variable independiente, representada por a_t , a partir de los valores de la serie estacionaria) contemporánea y el pasado de la innovación hasta el retardo q .

8. RESULTADOS

8.1 Densidad de nidos de hormiga

La densidad de nidos en el nivel de perturbación A fue de 6.8 nidos ha^{-1} , 11.9 nidos ha^{-1} en el nivel B y 1.19 nidos ha^{-1} en el nivel C. La densidad de nidos promedio general para la zona de estudio fue de 6.06 nidos de hormigas ha^{-1} ($\alpha = 0.05$).

8.2 Presencia de nidos

Las variables que mejor explicaron (coeficientes estadísticamente significativos con $p < 0.05$) la presencia de nidos de hormigas fue el ancho del agave, porcentaje de agaves con plaga, densidad de plantas mayores (nopales, mezquites, palmas y huizaches) y de agaves, cobertura del suelo (suelo desnudo) e inclinación del terreno (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados de la regresión logística con la información de los sitios de anidación y parcelas al azar en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Variable	"Odds Ratio" **	Límite inferior del intervalo	Límite superior del intervalo	Valor p
Densidad de agaves	1.002	1.001	1.003	0.005
Inclinación del terreno	0.837	0.717	0.994	0.013
Cobertura del suelo (suelo desnudo)	0.915	0.862	0.962	0.001
Ancho del agave	166.67	2.653	11627.906	0.018
Porcentaje de agaves con plaga (cóccidos)	1.028	1.011	1.048	0.002
Densidad de plantas mayores*	1.005	1.001	1.009	0.026

*Nopales, mezquites, palmas y huizaches

**"Odds ratio" > 1 indica que al aumentar el valor de la variable, aumenta la probabilidad de encontrar un nido, y "odds ratio" < 1 indica el efecto contrario.

8.3 Uso de componentes del hábitat

La hormiga no usó los componentes del hábitat en función de su disponibilidad. Se encontraron diferencias significativas en las frecuencias observadas y las esperadas de las variables, para el tipo de vegetación ($\chi^2 < 29.0$, g.l. = 2, $p < 0.001$), la inclinación del terreno ($\chi^2 < 20.6$, g.l. = 3, $p < 0.0001$), exposición de la pendiente ($\chi^2 < 0.69$, g.l. = 3, $p < 0.8733$) y la elevación ($\chi^2 < 108.232$, g.l. = 3, $p < 0.001$) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variables de hábitat, uso esperado y observado e intervalos de confianza de Bonferroni para la hormiga escamolera en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Variable	Área Disponible (ha)	Uso Esperado ($E_i = np_{io}$)	Uso Observado (O_i)	Proporción Esperada (p_{io})	Proporción Observada ($p_i = O_i/n$)	Intervalos de Bonferroni ($p < 0.05$)	Uso
Tipo de Vegetación							
Matorral rosetófilo	2491.5	26.2	38	0.484	0.704	$0.555 \leq p_1 \leq 0.852$	ID
Matorral xerófilo	2409.5	25.3	10	0.468	0.185	$0.058 \leq p_2 \leq 0.311$	E
Matorral crasicaule	243.7	2.5	6	0.047	0.111	$0.008 \leq p_3 \leq 0.213$	ID
$\chi^2 = 29.0$, g.l. = 2, $p = < 4.922 \text{ E-}07$							
(%) Inclinación del terreno							
Plana	347.1	2.9	12	0.054	0.222	$0.080 \leq p_1 \leq 0.363$	S
Moderadamente plana	5489.5	46.2	33	0.854	0.611	$0.445 \leq p_2 \leq 0.776$	E
Inclinación media	229.9	1.9	8	0.035	0.148	$0.027 \leq p_3 \leq 0.268$	ID
Inclinación alta	355.2	2.98	1	0.055	0.019	$-0.027 \leq p_4 \leq 0.064$	ID
$\chi^2 = 20.6$, g.l. = 3, $p = < 0.0001$							
Exposición de la pendiente							
NE	729.6	6.1	5	0.113	0.093	$-0.005 \leq p_1 \leq 0.191$	ID
SE	403.1	3.4	0	0.063	0	$0 \leq p_2 \leq 0$	E
SO	1131.0	9.5	10	0.176	0.185	$0.053 \leq p_3 \leq 0.317$	S
NO	4158.0	34.9	39	0.647	0.722	$0.569 \leq p_4 \leq 0.874$	ID
$\chi^2 = 0.69$, g.l. = 3, $p = < 0.8733$							
Elevación (m)							
Tierras de elevación muy baja	3093.7	26.0	5	0.481	0.092	$-0.001 \leq p_1 \leq 0.187$	E
Tierras de elevación baja	1947.6	16.4	16	0.303	0.296	$0.147 \leq p_2 \leq 0.445$	ID
Tierras de elevación media	896.4	7.5	31	0.139	0.574	$0.412 \leq p_3 \leq 0.735$	ID
Tierras de elevación alta	483.9	4.06	2	0.075	0.037	$-0.024 \leq p_4 \leq 0.098$	ID
$\chi^2 = 108.232$, g.l. = 3, $p = < 7.8147 \text{ E-}23$							

S: seleccionado, ID: utilizado de acuerdo a su disponibilidad, E: evitado.

Los intervalos de confianza de Bonferroni (Byers et al. 1984) indicaron que la hormiga mostró una preferencia ($p < 0.05$) por terrenos planos (0-10% de pendiente) y las pendientes orientadas hacia el suroeste. Por el contrario, evitó ($p < 0.05$) el matorral xerófilo, terrenos con inclinación moderadamente plana (11-20%), laderas con exposición sureste y terrenos con elevación muy baja (1940-2050 m) (Cuadro 5).

Los otros componentes del hábitat se utilizaron de acuerdo a su disponibilidad ($p < 0.05$). El porcentaje de la cobertura del suelo en los sitios de anidación fueron pastos (27.5%), suelo desnudo (24.5%), roca (20.2%), hierbas (20.2%) y arbustos (7.6%).

8.4 Temperatura y humedad relativa, procedimiento Auto Regresivo de Medias Móviles ARMA (p,q), diferencias de temperatura y humedad relativa en las estaciones del año

8.4.1 Temperatura

El modelo con mejor ajuste fue para estación del año (primavera, verano, otoño e invierno). Los resultados del ANOVA ($p < 0.0001$) señalan que la temperatura en los nidos varió con la estación (Cuadro 6) y no hubo diferencias significativas de temperatura entre nidos considerando su ubicación (altitud e intemperie).

Cuadro 6. Medias de temperatura por estación del año en nidos de hormiga escamolera (*L. apiculatum*) en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Estación	Medias (°C)	Error Estándar		
Primavera	22.0	1.07	A	
Verano	21.1	0.97	A	
Otoño	19.5	1.00	B	
Invierno	16.1	1.10		C

Medias con literal igual no difieren significativamente ($p = 0.05$)

La temperatura media más alta se registró durante la primavera (22.0°C), la menor en el invierno (16.1°C) y la temperatura promedio anual fue de $\bar{X} = 21.0$ °C.

8.4.2 Humedad Relativa (HR%)

El modelo con mejor ajuste para la variable de humedad relativa fue para estación (primavera, verano, otoño e invierno). Los resultados del ANOVA

($p < 0.0001$) indican que la humedad relativa en los nidos varió, al igual que la temperatura, con la estación del año (Cuadro 7).

Cuadro 7. Medias de humedad relativa por estación del año en nidos de hormiga escamolera (*L. apiculatum*) en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Estación	Ubicación	Medias (HR%)	Error estándar			
Verano	Media	96.8	2.43	A		
Otoño	Media	96.2	2.39	A		
Primavera	Media	94.5	3.12	A	B	
Primavera	Alta	93.6	2.65	A	B	
Invierno	Media	92.0	2.85	A		
Verano	Alta	91.7	2.54	A	B	
Primavera	Baja	91.2	3.51	A	B	
Invierno	Alta	90.9	3.06	A		
Otoño	Alta	88.4	3.29	A	B	
Verano	Baja	86.2	2.92		B	
Otoño	Exterior	69.5	3.34			C
Otoño	Baja	68.4	3.35			C
Invierno	Baja	62.6	3.40		B	
Invierno	Exterior	49.6	3.69			C
Primavera	Exterior	48.9	3.70			C
Verano	Exterior	43.5	3.35			C

Medias con literales iguales no difieren significativamente ($p > 0.05$)

La media de la humedad relativa en el interior de los nidos fue mayor en el verano en la ubicación media (96.8%) y la menor de 62.6% se registró en el invierno en la ubicación baja. Sin embargo, los valores de humedad relativa de las estaciones invierno, primavera y verano en la intemperie fueron menores (Cuadro 7). El promedio anual de la humedad relativa en nidos fue de 90 y en la intemperie de 53%.

9. DISCUSIÓN

La presencia de la hormiga escamolera en el ejido Pocitos del municipio de Charcas, San Luis Potosí, se relacionó significativamente con el ancho de la piña del maguey, con agaves con plaga, con la densidad de plantas mayores y de

agaves, con la cobertura del suelo (suelo desnudo) e inclinación del terreno (seis de las catorce variables estudiadas).

La relación positiva de las hormigas con las plantas mayores y los cactus (por ejemplo, los mezquites, acacias, palmas y nopales) se debe probablemente debido a que estas plantas son una fuente importante de alimento, especialmente sus secreciones florales (Miller, 2007).

Específicamente, se encontró una asociación significativa de la hormiga con el aumento de la densidad y el ancho del agave (1298 agaves vs. 433 agaves ha⁻¹ en los sitios de anidación y en parcelas aleatorias, respectivamente). Esta planta es comúnmente utilizada por la hormiga para anidar (49 de 54 nidos registrados en este estudio se asociaron con el agave). Los nidos se encontraron muy frecuentemente en la base del agave, a una profundidad que osciló entre 15 y 120 cm, muy probablemente porque la función de esta planta es actuar como cobertura termal y áreas de alimentación (por ejemplo, los caminos de forrajeo de la hormiga se distribuyen entre los magueyes). Aproximadamente, el 61% de los agaves alrededor de los nidos estaban infestados con coccidos (*Coccoidea Fallén*); la hormiga probablemente busca estos agaves infestados ya que se alimentan de sus secreciones (vía trofobiosis) durante todo el año (Velasco, 2007).

L. apiculatum es una especie omnívora (Cuadriello, 1980; Ramos-Elorduy et al., 1983b). Velasco et al. (2007) reportaron el consumo de pupas de insectos, crustáceos, anélidos, moluscos, vertebrados muertos, excretas de animales y néctar de las flores de *Opuntia* spp. En este sentido, Miller (2007) señala que la hormiga tiene una asociación mutualista con el cardenche (*Opuntia imbricata*), la cual defiende agresivamente a la planta de los herbívoros y los depredadores de semillas (Miller, 2007).

En el área de estudio, la hormiga prefiere laderas con orientación suroeste como sitios de anidación al igual que lo reportado por Ramos-Elorduy et al. (1986), para Michoacán, México. Sin embargo, los resultados en este estudio difieren con lo reportado por Eastlake y Chew (1980), quienes encontraron que en Arizona, las hormigas prefieren laderas con exposición norte y oeste para anidar.

La hormiga evitó hábitats de muy baja altura (1940-2050 msnm); es muy probable que tal comportamiento se deba a las actividades agrícolas que se

producen en esa altura. Además, las zonas aledañas están dominadas por gobernadora (*Larrea tridentata*), una especie vegetal con la que la hormiga se asocia muy poco. Asimismo, Castro et al. (2008), en un estudio de las hormigas en Perú, hizo hincapié en que estas especies disminuyen conforme se incrementa la altitud.

La notoria asociación de la hormiga escamolera con el maguey (*Agave salmiana* spp. *Crassispina*), en el centro de México, indica que los esfuerzos para conservar y manejar este insecto deberían centrarse en un mejor manejo de su hábitat. Sin embargo, dicho manejo se complica por los usos tan diversos que los agricultores locales hacen de las plantas de maguey; por ejemplo, la fabricación de mezcal (García-Herrera et al., 2010; Martínez et al. 2012), la producción de forraje y la recolección y extracción de gusanos blancos y rojos (Esparza-Frausto et al., 2008; García-Herrera et al., 2010). Este problema se agrava aún más debido al mal manejo de los pastizales en donde los huizaches y mezquites se colectan como leña, mientras que las sequías recurrentes en los últimos años en el centro de México acentúan estos problemas (Galindo y García, 1986; Ruiz y Febles, 2004; Limas et al., 2009).

La probabilidad de encontrar nidos de hormiga escamolera disminuyó a medida que el suelo desnudo se incrementaba. Sin embargo, en el área de estudio, la hormiga ocurre aún bajo condiciones pobres de cobertura vegetal (el porcentaje de cobertura de suelo desnudo y roca fue de 44.7%), las cuales son resultado del sobrepastoreo (Herrera et al., 2011). En consecuencia, estas condiciones de degradación del hábitat han tenido un efecto negativo en la producción de escamoles. De hecho, en el área de estudio, la producción promedio fue de 0.185 ± 0.137 kg por nido ($n = 54$ nidos) durante la primer cosecha de 2012; por lo tanto, fue menor a la reportada para San Juan Teotihuacán, Estado de México (Ambrozio-Arzate et al., 2010), la cual varió de 0.4 a 0.8 kg por nido, en función de las condiciones del hábitat. Asimismo, Ramos Elorduy y Levieux (1992) informaron que, en general, la hormiga puede producir entre 3-3.6 kg de escamoles, y en Michoacán produce 3.0 kg por nido en la primera cosecha y entre 1.5-2 kg en la segunda (Ramos-Elorduy et al., 1986).

La cobertura del suelo es un componente importante del hábitat de la hormiga escamolera, especialmente donde se requiere protección durante los periodos de temperaturas altas. Por lo tanto, la cobertura ofrecida por hierbas, arbustos, plantas mayores y nopales parece ser importante para la especie, y aunque la proporción de suelo desnudo y roca en el área de estudio fue alta (44.7%), es probable que las hormigas en el área sobreviven en condiciones pobres de cobertura del suelo debido a su capacidad para construir galerías (Ramos-Elorduy et al., 1986) y túneles (Espinoza y Santamarina, 2010). Durante su alimentación, la hormiga es capaz de desplazarse por debajo del material leñoso presente en la superficie del suelo; además, es una especie diurna y nocturna. Shapley (1920) y Espinoza y Santamarina (2010) informaron que las hormigas muestran estrategias especiales para excavar y transportar partículas de suelo, ya que utilizan sus antenas para evaluar la movilidad de las partículas del suelo, las cuales remueven con mandíbulas, las transportan fuera del túnel y repiten el proceso.

En este estudio, la hormiga no utilizó los componentes del hábitat de acuerdo a su disponibilidad, mostrando mayor presencia en ciertas combinaciones de componentes del hábitat. Por ejemplo, la densidad de nidos fue mayor en las áreas menos perturbadas, aunque el pico de ésta se registró en el nivel de perturbación B (ecosistema moderadamente perturbado). En el área de estudio, el promedio general fue de 6.06 nidos ha^{-1} , menor al reportado en San Juan Teotihuacán, en donde, en función de las condiciones del hábitat, la densidad de nidos varió de 8 a 10 nidos ha^{-1} (Ambrosio-Arzate et al., 2010).

Existe poca información sobre la temperatura en el interior del nido de *L. apiculatum* bajo condiciones naturales; por ejemplo, Ramos Elorduy et al. (1986) reportaron la temperatura de 24° C en un nido del estado de Michoacán, temperatura superior al promedio anual de temperatura en los seis nidos estudiados que fue de 21.0 °C. Asimismo, Ramos-Elorduy et al. (1984) estudiaron el ciclo de vida (huevo, pupa, larva y adulto) de esta especie con diferentes rangos de temperatura y humedad relativa en dos sustratos (tubos de cristal a 32°C/ 70-80% RH y terrarios a 26°C/ 40-50% RH). Otros trabajos sobre temperatura abordan la actividad de forrajeo y la velocidad de desplazamiento de

L. apiculatum en la superficie del suelo (entre un rango de 8° C - 38 °C), y como ésta afecta su distribución a diferentes escalas locales (Shepley, 1920; Hoey-Chamberlain, 2012). Con respecto a la actividad de forrajeo en el área de estudio, se observó que el incremento de la temperatura disminuía bruscamente la cantidad de hormigas en sus caminos y senderos, y que bajo estas condiciones de temperatura, las hormigas buscan refugio en rocas y en cualquier especie vegetal o material leñoso encontrado sobre la superficie del suelo, esto coincide con lo reportado por Mackay y Mackay (2002), Ramos-Elorduy y Levieux (1992), quienes realizaron estudios en Nuevo Mexico, y el centro de México respectivamente.

La media más alta de la humedad relativa en los nidos de hormiga se registró en verano (96.8%) a una altitud media, seguida de la media de otoño y primavera con 96.2 y 94.5%, respectivamente. Esto contrasta con lo reportado con Castro et al. (2008) y Wang et al. (2001) quienes mencionan que a mayor altitud la humedad relativa se incrementa. Este fenómeno posiblemente ocurrió por las diferencias en la composición del suelo (arcillas, arenas y contenido de materia orgánica) y la porosidad de cada nido; asimismo, se sabe que diversas especies de hormigas alteran la macro-porosidad del suelo por la excavación de túneles, lo que incrementa el drene de agua a capas más profundas del suelo garantizando mayor humedad en los nidos (Green et al., 1999).

En general, los estudios sobre humedad relativa realizados solo mencionan como esta variable afecta el comportamiento forrajero de esta especie entre los rangos del 5 al 100% (Shapley, 1920; Hoey-Chamberlain, 2012). En este estudio, la humedad relativa de la intemperie fue importante en su comportamiento forrajero ya que durante las primeras horas de la mañana (7:00-10:00 a.m) *L. apiculatum* se desplaza con mayor lentitud por la presencia de humedad en sus caminos.

Las larvas de la hormiga escamolera son un recurso económicamente viable, pero se extraen de forma no sostenible. Los principales desafíos a resolver en México para lograr un aprovechamiento adecuado de esta especie incluyen la pérdida, fragmentación y degradación del hábitat. Los ejidos constituyen un

componente rural importante (Valdez et al., 2006), pero carecen de conocimientos sobre los usos del suelo y prácticas económicamente viables a largo plazo. Por ello, los programas educativos de extensión rural deben de ser instituidos para desarrollar planes de manejo que garanticen el uso sustentable de esta especie. Los resultados obtenidos en esta investigación son un punto de partida para futuras investigaciones y manejo de la especie en la región central de México y su uso sustentable por las comunidades rurales.

10. CONCLUSIONES

- La densidad de nidos fue mayor en los niveles de perturbación del ecosistema B y A.
- Se encontró una asociación muy notoria entre la presencia de la hormiga y la planta de maguey (*Agave salmiana*).
- La hormiga escamolera en el ejido Pocitos, Municipio de Charcas, San Luis Potosí, no utilizó los componentes del hábitat de acuerdo a su disponibilidad.
- La hormiga escamolera tendió a evitar el suelo desnudo.
- La hormiga seleccionó las laderas con exposición suroeste para anidar.
- Esta especie evitó los terrenos con elevación muy baja.
- La temperatura promedio anual en nidos de *Liometopum apiculatum* fue de 21.0°C.
- La humedad relativa promedio anual en nidos de la hormiga escamolera fue de 90.0%.
- Existieron diferencias significativas en las temperaturas por estación del año. La humedad relativa en el interior de los nidos fue mayor que la de la intemperie.

11. LITERATURA CITADA

Alatorre-Bracamontes, C. E. y M. Vásquez-Bolaños. 2010. Lista comentada de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del norte de México. *Dugesiana*. 17(1):9-36.

Amador, J. A., and J. H. Görres. 2007. Microbiological characterization of the structures built by earthworms and ants in an agricultural field. *Soil Biology and Biochemistry*. 39:2070-2077.

Ambrosio-Arzate, G. A., Nieto-Hernández, C.R., Aguilar-Medel, S. y Espinoza Ortega, A. 2010. Los insectos comestibles: Un recurso para el desarrollo local en el Centro de México. In: *Memorias of European Association of Agricultural Economists 116th Seminar*, Parma, Italy.

Andersen, A. N. and J. D. Majer. 2004. Ants show the way down under: Invertebrates as bio indicators in land management. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2 (6):291-298.

Anónimo. 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Charcas, San Luis Potosí.

Baxter, F. P., and F. D. Hole. 1967. Ant (*Formica cinerea*) pedoturbation in a prairie soil. *Soil Science Society of America Journal*. 31:425-428.

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

Beyer, H. L. 2004. Hawth's Analysis Tools for ArcGIS. [En línea]. Disponible en <http://www.spatial ecology.com/htools/tool desc.php>. (Revisado el 23/05/2012).

Buckland, S., D. Anderson, K. Burnham and J. Laake. 1993. *Distance Sampling: estimating abundance of biological populations*. Chapman and Hall, London, U.K.

Byers, C. R., R. K. Steinhorst, and P. R. Krausman. 1984. Clarification of a technique for analysis of utilization–availability data. *Journal of Wildlife Management*. 48: 1050-1052.

Canfield, R. H. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*. 34:388-394.

Carlson, S .R. and W. G. Whitford. 1991. Ant mound influence on vegetation and soils in a semiarid mountain ecosystem. *American Midland Naturalist*. 126:159-139.

Castro D., S., C. Vergara C., y U. Arellano C. 2008. Distribución de la riqueza, composición taxonómica y grupos funcionales de hormigas del suelo a lo largo de un gradiente altitudinal en el refugio de vida silvestre Laquipampa, Lambayeque–Perú. *Ecología Aplicada*. 7:1-2

Cayuela, L., 2010. Modelos lineales mixtos en R. [En línea]
<http://158.49.96.73:8080/documenta/bitstream/00000001/26/1/5-Modelos%20lineales%20mixtos%20en%20R.pdf> (Revisado el 12/09/2012).

Chust, G., J. L. Pretus, D. Ducrot, A. Bedòs and L. Deharveng. 2003a. Response of soil fauna to landscape heterogeneity: Determining optimal scales for biodiversity modeling. *Conservation Biology*. 17:1712-1723.

Chust, G., J. L. Pretus, D. Ducrot, A. Bedòs and L. Deharveng. 2003b. Identification of landscape units from an insect perspective. *Ecography*. 26:257-268.

Cerdà, A., M. F. Jurgensen and M. B. Bodi. 2009. Effects of ants on water and soil losses from organically-managed citrus orchards in eastern Spain. *Biologia*. 3:527–531. DOI: 10.2478/s11756-009-0114-7

Cerdà, A. and M. F. Jurgensen. 2008. The influence of ants on soil and water losses from an orange orchard in eastern Spain. *Journal of Applied Entomology*. 132: 306-314. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2008.01267.x.

Connell J. H. 1961a. Effects of competition, predation by *Thais lapillus*, and other factors on natural populations of the barnacle *Balanus balanoides*. *Ecological Monographs*. 31:61-104.

Connell, J. H. 1961b. The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chthamalus stellatus*. *Ecology*. 42:710-723.

Cuadriello A. J. I. 1980. Consideraciones biológicas y económicas acerca de los escamoles. Tesis Facultad de Ciencias, UNAM. 110 pp.

Davidson, D. W., and S. R. Morton. 1981. Competition for dispersal in ant-dispersed plants. *Science*. 213:1259-1261.

Del Toro, I., J. A. Pacheco and W. P. Mackay. 2009. Revision of the ant genus *Liometopum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*. 52:295-369.

Dos Santos A. L. and F. Mora. 2007. Análisis experimental de tratamientos floculantes de residuos orgánicos derivados de la producción porcina. *Ciencia de Investigación Agraria*. 34(1):49-56.

Dostál, P., M. Březnová, V. Kozlíčková, T. Herben and P. Kovař. 2005. Ant-induced soil modification and its effect on plant below-ground biomass. *Pedobiologia*. 49:127-137.

Dunham, A. E. 1980. An experimental study of interspecific competition between the iguanid lizards *Sceloporus merriami* and *Urosaurus ornatus*. *Ecological Monographs*. 50:309-330.

Dunson, W. A. and J. Travis. 1991. The role of abiotic factors in community organization. *The American Naturalist*. 138:1067-1091.

Eastlake, C. A. and M. R. Chew. 1980. Body size as a determinant of small-scale distributions of ants in Evergreen Woodland southeastern Arizona. *Insectes Sociaux*. 3:189-202.

Esparza-Frautro G., Marcías-Rodríguez F., Martínez-Salvador M. Jiménez-Guevara M., y Méndez-Gallegos S. 2008. Insectos comestibles asociados a las magueyerías en el Ejido Tolosa, Pinos, Zacatecas, México. *Agrociencia*. 42:243-252.

Espinoza, D. N. and J. C. Santamarina. 2010. Ant tunneling—a granular media perspective. *Granular Matter*. 12:607-616.

ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2006. ArcGis Professional Gis for desktop, version 9.3.

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

Galindo, A. S. and M. E. García. 1986. The Uses of Mesquite (*Prosopis spp.*) in the Highlands of San Luis Potosí, México. *Forest Ecology and Management*. 16:49-56.

García-Herrera, Méndez-Gallegos J., y Talavera-Magaña S. 2010. El género *Agave spp.* en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*. 5:109-129.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Libros n° 6. México, D.F. 90 pp.

Giménez, A. J. y C. González, O. 2011. Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios. *Acta Botánica Mexicana*. 94:91-123.

González, C. O., A. Giménez J., P. García J. y R. Aguirre J. 2007. Flórua vascular de la Sierra de Catorce y territorios adyacentes. San Luis Potosí, México. *Acta Botánica Mexicana*. 78:1-38.

Green, W. P., D. E. Pettry and R. E. Switzer. 1999. Structure and hydrology of mounds of the imported fire ants in the southeastern United States. *Geoderma*. 93:1-17.

Guisan A. and N. E. Zimmermann. 2000. Predictive Habitat Distribution Mode in Ecology. *Ecological Modelling*. 135:147-186.

Haskell, D. G. 2000. Effect of forest roads on macro invertebrate soil fauna of the Southern Appalachian mountains. *Conservation Biology*. 14:57-63.

Herrera, C.J., A. Herrera Y., C. Carrete F., A. Almaraz N., J. Naranjo N., y G. González F., 2011. Cambio en la población de gramíneas en un pastizal abierto bajo sistema de pastoreo continuo en el norte de México. *Interciencia*. 36 (4):300-305.

Herrera-Haro, J. G. y García-Artiga, C., 2011. Bioestadística en ciencias veterinarias. Universidad Complutense de Madrid. España, Madrid. pp. 251

Hithford, W. G., G. Barnes and Y. Steinberger. 2008. Effects of three species of Chihuahuan Desert ants on annual plants and soil properties. *Journal of Arid Environments*. 72:392-400.

Hoey-Chamberlain, R. V., 2012. Food Preference, Survivorship, and Intraspecific Interactions of Velvety Tree Ants. Thesis University of California. pp. 136

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

- INEGI. 2010. Censos y Conteos de Población y Vivienda [En línea].
http://www3.inegi.org.mx/sistemas/iter/consultar_info.aspx (Revisado el 17/01/2013)
- INEGI. 2005 (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1:250 000 Serie II (Continuo Nacional).
- INEGI. 2002. Síntesis de información geográfica del estado de San Luis Potosí. Aguascalientes, Ags. México. pp. 112.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. (Disponible en línea con actualizaciones en <http://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0510s/a0510s00.pdf>) (Revisado el 03/08/2012).
- Jones, C. G., J. H. Lawton and M. Shachak. 1994. Organisms and ecosystem engineers. *Oikos*. 69:373-386.
- Keller, L. and E. Gordon. 2009. *The Lives of Ants*. Oxford University Press, N.Y. pp. 272.
- Laake, J. F., S. T. Buckland, D. R. Anderson and K. P. Burnham. 1993. *DISTANCE User's guide*. Colorado Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Colorado State University. pp.446.
- Lancia, R. A., J. D. Nichols and K. H. Pollock. 1996. Estimating the number of animals in wildlife populations. En *Bookhout*. T.A. (Ed.). *Research and management techniques for wildlife and habitats*. Fifth ed. Rev. The Wildlife Society, Bethesda. 215-253.
- Lara-Breton, L. E. 2011. Efectos y defectos de los programas gubernamentales: trabajo e identidad en pocitos, localidad del altiplano potosino. *LAP Lambert Academic*. pp. 220.

Lebreton, J. D., K. P. Burnham, J. Clobert and D. R. Anderson. 1992. Modelling survival and testing biological hypotheses using marked animals: Case studies and recent advances. *Ecological Monographs*. 62:67-118.

Lei, S.A., 2000. Ecological impacts of seed harvester ants on soil attributes in a *Larrea*-dominated shrubland. *Western North American Naturalist*. 60:439-444.

Li, X. R., R. L. Jia, Y. W. Chen, L. Huang and P. Zhang. 2011. Association of ant nests with successional stages of biological soil crusts in the Tengger Desert, Northern China. *Applied Soil Ecology*. 47:59-66.

Limas, A. E., E. Ramírez M. y R. Díaz A. 2009. Acciones de lucha contra la desertificación en ambientes semiáridos en el noroeste de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*. 49-50, 15-26.

Mackay, W. P. and E. E. Mackay. 2002. The ants of New Mexico (Hymenoptera: Formicidae). The Edwin Mellen Press, Lewiston, NY. pp. 408.

Martínez, S. M., Mata-González, R., Morales, N. C. and Valdez-Cepeda, R. 2012. *Agave salmiana* plant communities in central Mexico as affected by commercial use. *Environmental Management*. 49:55-63.

Mayr, G. 1870. Neue Formiciden. *Verhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien*. 20:939-996.

Medellín, F. 1982. The Chihuahuan Desert. In: Bender, G. L. (ed.). Reference handbook on the deserts of North America. Greenwood Press. Westport, Connecticut. 321-381 pp.

Miller, T. E. X. 2007. Does having multiple partners weaken the benefits of facultative mutualism? A test with cacti and cactus-tending ants. *Oikos*. 116:500-512.

Nash, M. S., W. G. Whitford, D. F. Bradford, S. E. Franson, A. C. Neale, and D. T. Heggem. 2001. Ant Communities and Livestock Grazing in the Great Basin, USA. *Journal of Arid Environments*. 49:695-710.

Neu, C. W., C. R. Byers and J. M. Peek. 1974. A technique for analysis of utilization–availability data. *Journal of Wildlife Management*. 38:541-545.

Nkem, J. N., L. A. Lobry de Bruyn, C. D. Grant and N. R. Hulugalle. 2000. The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties. *Pedobiologia*. 44:609-621.

Raisz, E. 1959. Landforms of México. Escala 1: 3000.000. Map prepared for the Geography. Branch of the Office of Naval Research. Cambridge, Massachusetts.

Ramos-Elorduy, J., Délgade-Darchen B., A. Flores, R., E. Sandoval C y S. Cuevas C. 1986. Estructura del nido *Liometopum Occidentale* Var. *Luctuosum* manejo y cuidados de estos en los núcleos rurales de México de las especies productoras de escamoles (*L. apiculatum* M. y *L. occidentale* Var. *Luctuosum* W.) (Himenoptera, Formicidae). *Anales del Instituto de Biología UNAM serie Zoología* (2):333-342.

Ramos-Elorduy, J., Délgade-Darchen B. y N. E. Galindo, M. 1988a. Observaciones biotecnológicas de *Liometopum Apiculatum* M. y *Liometopum Occidentale* Var. *Luctuosum* W. (Himenoptera-Formicidae). *Anales del Instituto de Biología UNAM serie Zoología*.1:341- 354.

Ramos-Elorduy, J., Délgade-Darchen B., J. I. Cuadriello A., N. Galindo M. y J. M. Pino M. 1984 a. Ciclo de vida y fundación de las sociedades de *Liometopum Apiculatum* M. (Himenoptera, Formicidae). *Anales del Instituto de Biología UNAM serie Zoología*. 1:161-176.

Ramos-Elorduy, J., E. M. Costa N., J. M. Pino M., M. S. Cuevas C., García-Figueroa, J. y D. H. Zetina. 2007. Conocimiento de la entomofauna útil en el

poblado La Purísima Palmar de Bravo, Estado de Puebla, México. Biotemas. 20(2):121-134.

Ramos-Elorduy, J., J. Levieux. 1992. Détermination des Caractéristiques Spatiales des Aires de Prospection de Plusieurs Sociétés de Fourmis Mexicaines *Liometopum apiculatum* Mayr et *L. occidentale* Wheeler (Hym. Formicidae, Dolichoderinae) à l'aide de Radio-isotopes. Bulletin de la Société zoologique de France. 117:21-30.

Ramos-Elorduy, J. y J. M. Pino M. 2001b. Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de México. Journal of the Mexican Chemical Society, 45(2):66-76.

Ramos-Elorduy, J., J. M. Pino M. y M. Conconi. 2006. Ausencia de una regulación y normalización de la explotación y comercialización de insectos comestibles en México. Folia Entomologica Mexicana. 45(3):291-318.

Ramos-Elorduy, J., J. M. Pino M. y L. A. Romero S. 1988b. Determinación del valor nutritivo de algunas especies de insectos comestibles del Estado de Puebla. Anales del Instituto de Biología. UNAM Serie Zoológica. 58:355-372.

Ramos-Elorduy, J., J. M. Pino M., y S. Cuevas C. 1998. Insectos comestibles del Estado de México y determinación de su valor nutritivo. Anales del Instituto de Biología UNAM, serie Zoológica. 69 (1): 65-104.

Ramos-Elorduy, J., R. Mac Gregor, J. I. Cuadriello A., G. San Pedro. 1983b. Quelques données sur la Biologie des Fourmis *Liometopum* (Dolichoderinae) au Mexique et en particulier sur leurs rapports avec les Homoptères. Social Insects in the Tropics. 2, 125-130.

Ramos-Rostro, B., Quintero-Salazar, B., Ramos-Elorduy J., J. M. Pino M., S. C. Ángeles C., A. García P. y V. D. Barrera G. 2012. Análisis químico y nutricional de tres insectos comestibles de interés comercial en la zona arqueológica del

municipio de San Juan Teotihuacán y en Otumba, en el Estado de México. *Interciencia*. 37(12):914-920.

Ríos-Casanova, L., Valiente-Banuet A., y Rico-Gray V. 2004. Las hormigas del Valle de Tehuacán (Hymenoptera: Formicidae): Una comparación con otras zonas áridas de México. *Acta Zoológica Mexicana*. 20(1):37-54.

Ruíz, C. E., D. R. Kasparyan, J. M. Coronado B., S. N. Myartseva., V. A. Trjapitzin, S. G. Hernández A. y J. García J. 2010. Himenópteros de la Reserva "El Cielo", Tamaulipas, México. *Dugesiana* 17(1).53-71.

Ruíz, T. y G. Febles. 2004. La desertificación y sequia en el mundo. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 8 (2):3-16.

Rzedowski, J. 1961. Vegetación del estado de San Luis Potosí. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. p. 228.

Rzedowski, J. 1965. Vegetación del estado de San Luis Potosí. *Acta Científica Potosina*. 6(1-2):1-291.

Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Ed. Limusa. México, D.F. pp.432.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2012. Capas en formatos shape de los Ejidos beneficiados por PROCAMPO. Programa de Apoyos Directos al Campo, México. http://www.aserca.gob.mx/artman/publish/article_934.asp (Revisado el 18/05/2012).

SAS Institute. 2007. The JMP system, for Windows. Release 7.0.SAS Inst., Cary, NC.

Schreuder, H., T. Gregoire and G. Wood. 1993. Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory. John Wiley and Sons. New York. pp. 446.

Shapley, H. 1920. Thermokinetics of *Liometopum apiculatum* Mayr. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 6:204-211.

Snyder, S. R., T. O. Crist and C. F. Friese. 2002. Variability in soil chemistry and arbuscular mycorrhizal fungi in harvester ant nests: the influence of topography, grazing and region. *Biology and Fertility of Soils*. 35:406-413.

Tarango-Arámbula, L. A. 2012. Los escamoles y su producción en el Altiplano Potosino–Zacatecano. *Revista Salud Pública y Nutrición*. 4:139-144.

Tremper, B. S. 1976. Distribution of the Argentine ant, *Iridomyrmex humilis* Mayr, in relation to certain native ants of California: ecological, physiological, and behavioral aspects. Dissertation. University of California, Berkeley, California, USA.

Ugalde-Lezama, S., Tarango-Arámbula, L. A., Ramírez-Valverde, G., Equihua-Martínez, A. y Valdez-Hernández, J. I. 2011. Coexistencia trófica de aves carpinteras (picidae) en un bosque de *pinus cembroides* (Zucc.) del área natural protegida Peña Alta, San Diego de la Unión, Guanajuato. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17(3):361-377.

Valdez, R., Guzman-Aranda J., F. Abarca, Tarango-Arambula L. A and Sanchez, F.C. 2006. Wildlife conservation and management in Mexico. *Wildlife Society Bulletin*. 34:270-282.

Van Pelt, A. 1971. Trophobiosis and feeding habits of *Liometopum apiculatum* (Hymenoptera: Formicidae) in the Chisos Mountains, Texas. *Annals of the Entomological Society of America*. 64:1186.

Velasco, C. C., M. C. Corona, V. y R. Peña M. 2007. *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) y su relación trofobiotica con Heminoptera esternorrhyncha en Tlaxco, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. 23(2):31-42.

Wang, C., J. S. Strazanac and L. Butler. 2001. Association between ants (Hymenoptera: Formicidae) and habitat characteristics in oak-dominated mixed forests. *Environmental entomology*. 30-5:842-848.

Whitford, W. G. and R. DiMarco. 1995. Variability in soils and vegetation associated with harvester ants (*Pogonomyrmex rugosus*) nests on a Chihuahuan Desert watershed. *Biology and Fertility of Soils*. 20:169-173.

Whitford, W. G., G. Barnes and Y. Steinberger. 2008. Effects of three species of Chihuahuan Desert ants on annual plants and soil properties. *Journal of Arid Environments*. 72:392-400.

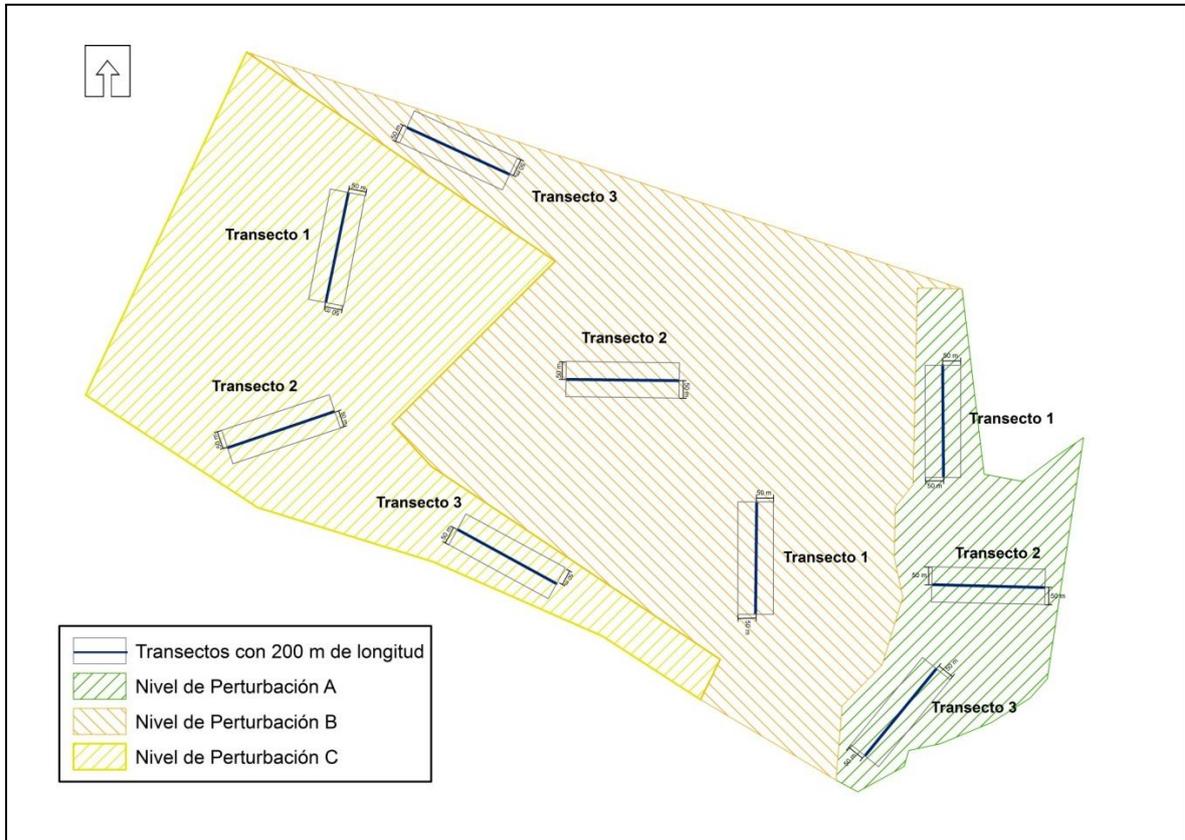
Young, J. L. and H. J. Young. 1998. *Statistical Ecology A Population Perspective*. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts USA. 407 p.

Zuur, A.F., E. N. Ieno and G. M. Smith. 2007. *Analysing Ecological Data*. Springer, New York. 680 p.

Zuur, A.F., E. N. Ieno and E. M. Meesters. 2009. *A Beginner's Guide to R*. Springer, New York. 211 pp.

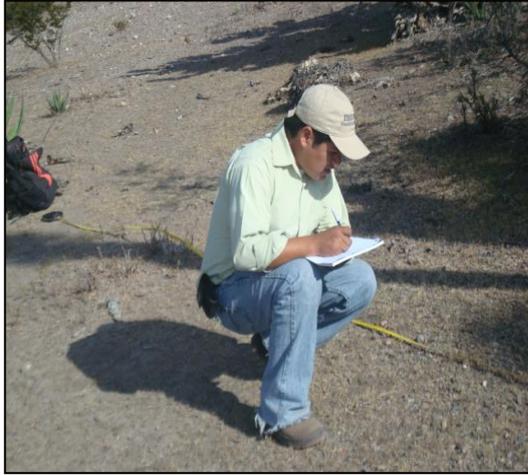
ANEXOS

Anexo 1.



Distribución de los transectos por nivel de perturbación del ecosistema para estimar la densidad de nidos de la hormiga escamolera en el ejido Pocitos, municipio de Charcas, San Luis Potosí, México.

Anexo 2.



Línea de Canfield de 20 m de longitud, dentro de las parcelas circulares de evaluación.