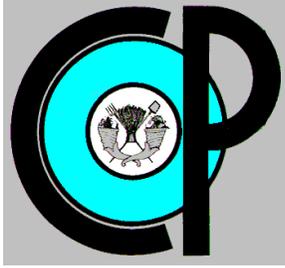


COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

CONTENIDO NUTRICIONAL DE LAS LARVAS, DENSIDAD DE NIDOS Y PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO DEL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (*Liometopum apiculatum* Mayr) EN EL CENTRO-NORTE DE MÉXICO

JOSÉ DOMINGO CRUZ LABANA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe José Domingo Cruz Labana, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Luis Antonio Tarango Arámbula, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

Contenido Nutricional de las Larvas, Densidad de Nidos y Propiedades Físico-Químicas del Suelo del Hábitat de la hormiga Escamolera (*Ecitonops apiculatum* Mayr) en el Centro-Norte México.

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 18 de febrero de 2019


Firma del
Alumno (a)


Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **CONTENIDO NUTRICIONAL DE LAS LARVAS, DENSIDAD DE NIDOS Y PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO DEL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (*Liometopum apiculatum* Mayr) EN EL CENTRO-NORTE DE 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:

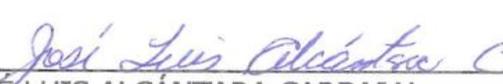
DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

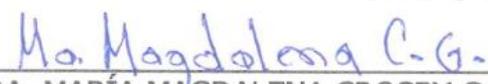
CONSEJERO
(Director de Tesis)


DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARÁMBULA

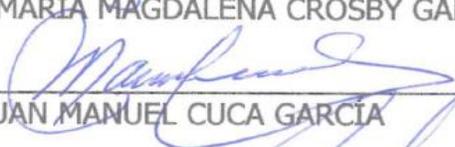
ASESOR


DR. JOSÉ LUIS ALCÁNTARA CARBAJAL

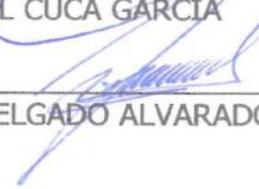
ASESORA


DRA. MARÍA MAGDALENA CROSBY GALVÁN

ASESOR


DR. JUAN MANUEL CUCA GARCÍA

ASESORA


DRA. ADRIANA DELGADO ALVARADO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2019

CONTENIDO NUTRICIONAL DE LAS LARVAS, DENSIDAD DE NIDOS Y PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO DEL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (*Liometopum apiculatum* Mayr) EN EL CENTRO-NORTE DE MÉXICO.

José Domingo Cruz Labana, DC

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

Un insecto de importancia nutricional, económica y ecológica en México es la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr). Sin embargo, el conocimiento actual sobre esta especie en el centro-norte de México es escaso. Los objetivos de esta investigación fueron a) evaluar el contenido nutricional de las larvas de *L. apiculatum* por tipo de vegetación, b) estimar su densidad por tipo de vegetación e identificar variables del hábitat con las que esta especie se asocia y c) evaluar las variables físicas y químicas del suelo de nidos y sitios aleatorios. La investigación se realizó en áreas con matorral crasicaule, matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo en cinco ejidos y dos predios privados en el centro-norte de México. La tesis consta de tres capítulos, el primero evalúa el contenido nutricional de las larvas de la hormiga escamolera durante la temporada de recolecta (marzo-abril, 2016) por tipo de vegetación. El segundo, trata de la densidad de nidos por tipo de vegetación y las variables del hábitat asociadas con la presencia de nidos. El tercero incluye características físicas y químicas de suelo de nidos y sitios aleatorios. Se llevó a cabo un ANOVA para determinar si existían diferencias significativas de los macronutrientes por tipo de vegetación. Los resultados indicaron diferencias estadísticas en proteína, lípidos y cenizas ($P < 0.0001$) y contenido de humedad ($P < 0.0036$). Los datos de aminoácidos y ácidos grasos (AG), se analizaron con la prueba de Kruskal Wallis. Se identificaron 17 aminoácidos, de los cuales leucina ($P < 0.0325$), treonina ($P < 0.0103$), ácido glutámico ($P < 0.0056$), glicina ($P < 0.0246$) y serina ($P < 0.0036$) fueron significativos por tipo de vegetación. Los AG no presentaron diferencias estadísticas. La densidad de nidos se estimó a lo largo de transectos lineales en cada tipo de vegetación y la información se analizó con el programa Distance 7.1 Release 1. variables del hábitat asociadas a la presencia de nidos de *L. apiculatum*, se

estudiaron mediante un Análisis Canónico de Correspondencias ($P < 0.05$). La densidad de nidos fue de 4.8 nidos ha^{-1} en matorral crasicaule, 2.2 nidos ha^{-1} en matorral desertico micrófilo y 2.2 nidos ha^{-1} en matorral desertico rosetófilo. Las variables del hábitat más importantes dentro las celdas (200 x 200 m) en donde se establecieron los transectos utilizados para determinar la densidad de nidos de la hormiga escamolera fueron; la dirección de la pendiente, roca, suelo desnudo y el suelo leptosol éutrico. La información de las variables físicas y químicas del suelo (nidos y sitios aleatorios) se analizaron con un diseño completamente al azar y un arreglo factorial 2x3. La información de la resistencia mecánica a la penetración (RMP) con la prueba de Kruskal Wallis. Las variables humedad ($P < 0.0483$), textura ($P < 0.01$), densidad aparente ($P < 0.01$), RMP ($P = 0.0289$); pH ($P < 0.002$), conductividad eléctrica ($P < 0.01$), materia orgánica ($P < 0.01$), nitrógeno ($P < 0.02$) y potasio ($P < 0.01$) tuvieron diferencias significativas entre el suelo de los nidos y sitios aleatorios. Esta investigación complementa el conocimiento ecológico de *L. apiculatum* en zonas aridas y semiáridas, futuras investigaciones deberán retomar estos hallazgos para generar estrategias de aprovechamiento sostenible de la especie en el centro-norte de México.

Palabras clave: estados inmaduros, nidos, relaciones bióticas, suelo

NUTRITIONAL CONTENT OF LARVAE, DENSITY OF NESTS AND PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF THE SOIL OF THE HABITAT OF THE ESCAMOLERA ANT (*Liometopum apiculatum* Mayr) IN NORTH-CENTRAL MEXICO.

José Domingo Cruz Labana, DC

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

An insect of nutritional, economic and ecological importance in Mexico is the “escamolera” ant (*Liometopum apiculatum* Mayr). However, current knowledge about this species in north-central Mexico is scarce. The objectives of this research were a) to evaluate the nutritional content of the larvae of *L. apiculatum* by vegetation type, b) to estimate their density by vegetation type and to identify habitat variables with which this species is associated and c) to evaluate the physical and chemical properties of soil collected at nests and random sites. This research was carried out in areas with crassicaule scrub, desert microphyll scrub and desert rosetophyll scrub in five ejidos and two private properties in north-central Mexico. The thesis consists of three chapters, the first one assesses the nutritional content of the larvae of the escamolera ant during the harvesting season (March-April, 2016) by vegetation type. The second deals with the density of nests by vegetation type and the habitat variables associated with the presence of nests. The third includes physical and chemical characteristics of soil collected at ant nests and random sites. An ANOVA was carried out to determine if there were significant differences of the macronutrients by vegetation type. The results indicated statistical differences in protein, lipids and ash ($P < 0.0001$) and moisture content ($P < 0.0036$). The amino acid and fatty acid (FA) data were analyzed with the Kruskal Wallis test. We identified 17 amino acids, of which leucine ($P < 0.0325$), threonine ($P < 0.0103$), glutamic acid ($P < 0.0056$), glycine ($P < 0.0246$) and serine ($P < 0.0036$) were significant by vegetation type. The FA did not present statistical differences. The density of nests was estimated along linear transects in each type of vegetation and the information was analyzed with the program Distance 7.1 Release 1. Habitat variables associated with the presence of nests of *L. apiculatum*, were analyzed through a Canonical Analysis of Correspondences ($P < 0.05$). The density of nests was 4.8 nests ha⁻¹ in crassicaule scrub, 2.2 nests ha⁻¹ in desert

scrub microphyll and 2.2 nests ha⁻¹ in rosetófilo desert scrub. The most important habitat variables within the cells (200 × 200 m) where the transects used to determine the density of nest of the escamolera ant were established were: the direction of the slope, rock, bare soil and the soil leptosol eutric. The information of the physical and chemical variables of the soil (nests and random sites) were analyzed with a completely random design and a 2 × 3 factorial arrangement. The information of the mechanical resistance to penetration (RMP) with the Kruskal Wallis test. The variables humidity (P < 0.0483), texture (P < 0.01), bulk density (P < 0.01), RMP (P = 0.0289); pH (P < 0.002), electrical conductivity (P < 0.01), organic matter (P < 0.01), nitrogen (P < 0.02) and potassium (P < 0.01) had significant differences between the soil of the nests and random sites. This research complements the ecological knowledge of *L. apiculatum* in arid and semi-arid zones, future research should use these findings to generate strategies for sustainable use of the species in north-central Mexico.

Keywords: immature stages, nests, biotic relationships, soil

“Hombres contra hormigas. Las hormigas construyen sus ciudades, viven en ellas y tienen sus guerras y sus revoluciones, hasta que los hombres quieren quitarlas de en medio, y entonces desaparecen. Eso es lo que somos... Hormigas”

David Safier, 2007

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de postgrado otorgada.

Al Dr. Victor Manuel Ruíz Vera y Lic. Miguel Ángel Espinoza Perez del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí por brindarme el apoyo con vehículos, darme acceso a su laboratorio, y facilitarme el uso de sus espacios y equipos.

Al Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula por su constante apoyo y atención al dirigirme durante la investigación de doctorado.

Al Dr. Saúl Ugalde Lezama por sus enseñanzas y atención.

A la Dra. Adriana Delgado Alvarado del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla por darme acceso al laboratorio y facilitarme el uso de sus equipos.

A la Dra. María Magdalena Crosby Galván e Ing. Margarita Crosby Galván por capacitarme en la técnica de bromatología y cromatografía de gases.

Al Dr. José Luis Alcántara Carbajal por sus valiosas sugerencias y enseñanzas.

Al Dr. Juan Manuel Cuca García por todos sus consejos y guía.

A los recolectores de escamoles de los ejidos de Ipiña, Villas de Ahualulco, Santa Teresa, Tolosa, Santiago y Colonia Pamanes que me apoyaron en los trabajos de campo.

Gracias a todas las personas que contribuyeron en la realización de esta investigación.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Literatura citada	4
CAPÍTULO I. CONTENIDO NUTRICIONAL DE LAS LARVAS DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (<i>Liometopum apiculatum</i> Mayr) POR TIPO DE VEGETACIÓN EN EL CENTRO-NORTE DE MÉXICO	7
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Materiales y métodos	10
Recolección y preparación de las muestras	12
Análisis químico proximal	13
Análisis de aminoácidos	13
Análisis de ácidos grasos	14
Análisis estadísticos	14
Resultados y discusión	15
Macronutrientes	15
Proteína	16
Lípidos	17
Cenizas	18
Humedad	18
Fibra cruda	19
Aminoácidos	19
Ácidos grasos	23
Conclusiones	25
Referencias	27

CAPÍTULO II. DENSIDAD DE NIDOS DE <i>Liometopum apiculatum</i> Mayr POR TIPO DE VEGETACIÓN Y SU ASOCIACIÓN CON VARIABLES DEL HÁBITAT EN EL CENTRO-NORTE DE MÉXICO.	32
Resumen	32
Introducción	36
Materiales y métodos	37
Resultados y discusión	42
Densidad de nidos	42
Variables del hábitat asociadas a la presencia de nidos	43
Dirección de la pendiente	45
Roca	46
Suelo desnudo	46
Tipo de suelo	47
Conclusiones	48
Referencias	50
CAPÍTULO III. VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO DE NIDOS DE LA HORMIGA <i>Liometopum apiculatum</i> Mayr POR TIPO DE VEGETACIÓN EN EL CENTRO-NORTE DE MÉXICO	55
Resumen	55
Introducción	59
Materiales y métodos	60
Muestreo de suelos	63
Resistencia mecánica a la penetración (RMP).	63
Análisis físicos y químicos de suelo	63
Análisis estadísticos	64
Resultados	65
Propiedades físicas	65
Humedad	65
Textura	66
Densidad aparente	67
Resistencia mecánica a la penetración (RMP).	68

Propiedades químicas	70
pH y conductividad eléctrica (CE)	70
Materia orgánica	71
Nitrógeno, fósforo y potasio	71
Conclusiones	73
Referencias	75

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis químico proximal (g/100 g base seca) de larvas de hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) en el centro-norte de México.	15
Cuadro 2. Prueba de Scheffé con base a los contenidos de macronutrientes por tipo de vegetación en el centro-norte de México.	16
Cuadro 3. Medias y desviaciones estándar de las concentraciones de aminoácidos (g/100 g de base seca) en larvas de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) por tipo de vegetación en el centro-norte de México.	20
Cuadro 4. Contenido de aminoácidos (g/100 g de base seca) de las larvas de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) en el centro-norte de México.	21
Cuadro 5. Medias y desviaciones estándar del contenido (%) de ácidos grasos (mg/100 g base seca) en larvas de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) en el centro-norte de México.	24
Cuadro 6. Variables del hábitat evaluadas en celdas aleatorias por tipo de vegetación (MC, MDM y MC), en el centro-norte de México.	41
Cuadro 7. Promedio de las propiedades físicas de suelos de nidos de <i>L. apiculatum</i> y sitios aleatorios en el centro-norte de México.	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio de la calidad y contenido nutricional de las larvas de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) en el centro-norte de México.	11
Figura 2. Ubicación de los nidos de <i>L. apiculatum</i> muestreados en el centro-norte de México, en 2016	12
Figura 3. Distribución de los nidos de <i>L. apiculatum</i> en diferentes tipos de vegetación y uso de suelo, en el centro-norte de México (elaboración propia con ArcMap 10.5.1). ..	38
Figura 4. Distribución de nidos de <i>L. apiculatum</i> en MC, MDM y MDR. Celdas de muestreo utilizadas para la medición de las variables del hábitat y la densidad de sus nidos en el centro-norte de México (elaboración propia).	39
Figura 5. Parcelas circulares distribuidas en líneas de 200 m para la medición de las variables del hábitat por tipo de vegetación en el centro-norte de México.	41
Figura 6. Análisis de Correspondencia canónica (ACC) para <i>L. apiculatum</i> y su asociación con las variables del hábitat en sitios de presencia de nidos	44

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las regiones áridas y semiáridas incluyen recursos naturales que bien gestionados puede derivar en diversos beneficios económicos a largo plazo. Sin embargo, estas zonas son extremadamente sensibles a la influencia de actividades antrópicas. La conversión extensiva de su vegetación nativa para actividades agropecuarias, la escasa e irregular precipitación, el sobrepastoreo, incendios inducidos, suelos pobres y deforestados son las principales causas que afectan de forma adversa a la cubierta vegetal y la fauna del suelo (Li. *et al.*, 2011). Otros factores que favorecen la degradación del hábitat son la erosión y compactación del suelo, provocadas por especies ovinas y caprinas (Radford *et al.*, 2001); mientras que las fuertes lluvias provocan la destrucción de la biota del suelo, al arrastrar la cubierta vegetal de los terrenos inclinados con poca cobertura vegetal (Kaiser, 2004).

En comparación con otros ecosistemas terrestres, la riqueza de especies del desierto es relativamente baja; sin embargo, la adaptación a largo plazo de los insectos en estas condiciones ambientales ha dado lugar a especies únicas con un marcado patrón de distribución (Hölldobler y Wilson, 2008; Li. *et al.*, 2011). Las hormigas son un componente importante de estos ecosistemas, las cuales constituyen una porción significativa de la biomasa animal (sus poblaciones rebasan los 10 billones de individuos) y actúan como ingenieros del ecosistema (Jones *et al.*, 1994; Folgarait, 1998; López-Riquelme. y Ramón, 2010). Los formícidos son capaces de modificar las condiciones ambientales para crear microhábitats (Whitford *et al.*, 2008), aumentar la fertilidad y calidad del suelo, y en el control poblacional de artrópodos (Amador y Görres, 2007; López-Riquelme y Ramón, 2010). Además, pueden ser utilizadas como indicadores de cambios en los ecosistemas y la rehabilitación de las zonas de tala y pastoreo (Andersen y Majer, 2004).

Una especie de importancia económica y nutricional en las zonas semiáridas del sur del Desierto Chihuahuense y el centro de México, es la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr.) (Velasco *et al.*, 2007; Ambrozio Arzate *et al.*, 2010). Sus larvas, conocidas como escamoles (estados inmaduros de la casta reproductora; Ramos-

Elorduy *et al.*, 2006), se extraen de los nidos al principio de la primavera y se venden para el consumo humano. El término "escamol" deriva de la lengua náhuatl, de la palabra "azcatmolli", que significa hormiga (= Azcatl) estofado (molli).

Los escamoles son considerados un manjar y tienen un contenido de proteína de 39,7 mg / 100 g por lo que son benéficos para consumo humano (Ramos-Elorduy *et al.*, 2007). Su precio oscila entre los 40 y 50 dólares por kilogramo, llegando a costar hasta 200 dólares (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006).

La hormiga escamolera se extiende desde el suroeste de Estados Unidos y el noroeste hasta el sureste de México. En México, está presente en 18 estados desde Chihuahua hasta Quintana Roo (Del Toro *et al.*, 2009). *L. apiculatum* es explotada como un insecto comestible en Michoacán, Colima, Chihuahua, Durango (Cuadriello, 1980), Estado de México, Ciudad de México (Ramos-Elorduy *et al.*, 1988), Hidalgo (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006) y Puebla (Ramos-Elorduy, 2007).

La hormiga escamolera ha sufrido sobreexplotación de sus larvas por representar un ingreso económico complementario a otras actividades productivas (agricultura, ganadería) durante la época de estiaje. Asimismo, *L. apiculatum* ha sido objeto de un aprovechamiento excesivo por las comunidades rurales de ecosistemas semiáridos, lo que ha repercutido en la destrucción de sus nidos (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006; Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010).

Este es el caso de San Luis Potosí, donde los recolectores sobreexplotan y destruyen los nidos de la hormiga, extrayendo sus larvas hasta tres veces al año. Su mala gestión se puede atribuir a la falta de investigación orientada a su manejo (Tarango-Arámbula, 2012), a su papel ecológico en ecosistema y a la ausencia de directrices legales ambientales (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006) necesarias para practicar un aprovechamiento sustentable de la especie.

Los efectos de la fragmentación del hábitat sobre la biota del suelo, como los macro-invertebrados, no ha sido bien documentada (Haskell, 2000; Chust *et al.*, 2003a, 2003b). En el centro de México, los estudios de *L. apiculatum* son escasos y sólo abordan tópicos biológicos y ecológicos generales, la asociación de la hormiga con otros insectos

y la calidad nutrimental de sus larvas (Ramos-Elorduy y Levieux, 1992; Velasco *et al.*, 2007; Esparza-Frausto *et al.*, 2008; Melo-Ruiz *et al.*, 2013). Un primer esfuerzo para complementar el conocimiento de esta especie aplicando herramientas de ciencia básica, es el trabajo de Cruz-Labana *et al.* (2014), donde identifican las variables del hábitat que mejor describen la presencia de nidos en el municipio de Charcas, San Luis Potosí.

La ingesta de las larvas de *L. apiculatum*, representa un alimento de alto valor nutricional con beneficios económicos para el sector rural mexicano. De ahí parte la necesidad de proteger y vigilar que sus poblaciones permanezcan estables; por lo que es muy importante realizar investigaciones multidisciplinarias, que permitan integrar y complementar el conocimiento de la biología de la especie, sus relaciones ecológicas con otros insectos y plantas, e identificar cómo interactúan las variables de hábitat en su comportamiento y sobrevivencia. Por lo tanto, los objetivos de esta investigación fueron: 1) evaluar el contenido y calidad nutricional de las larvas de *L. apiculatum* por tipo de vegetación, 2) estimar la densidad de nidos por tipo de vegetación y las variables del hábitat asociadas con la presencia de nidos y 3) evaluar las variables físicas y químicas del suelo (nidos y sitios aleatorios) por tipo de vegetación.

Esta investigación aporta conocimiento de *L. apiculatum* en zonas aridas y semiáridas del centro-norte de México, que puede ser utilizada para el diseño de estrategias de aprovechamiento sostenible de la especie en el centro-norte de México.

Literatura citada

- Amador, J. A., Görres, J. H. (2007). Microbiological characterization of the structures built by earthworms and ants in an agricultural field. *Soil Biology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.03.010>
- Ambrosio Arzate, G. A., Nieto Hernández, C. R., Aguilar Medel, S., Espinoza Ortega, A. (2010). Los insectos comestibles: un recurso para el desarrollo local en el centro de México. *International EEAAE-SYAL Seminar-Spatial Dynamics in Agri-Food System*.
- Andersen, A. N., Majer, J. D. (2004). Ants show the way Down Under: invertebrates as bioindicators in land management. *Frontiers in Ecology and the Environment*. <https://doi.org/10.2307/3868404>
- Chust, G., Pretus, J. L., Ducrot, D., Bedòs, A., Deharveng, L. (2003). Response of Soil Fauna to Landscape Heterogeneity: Determining Optimal Scales for Biodiversity Modeling. *Conservation Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2003.00564.x>
- Chust, G., Pretus, J. L., Ducrot, D., Bedòs, A., Deharveng, L. (2003). Identification of landscape units from an insect perspective. *Ecography*. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2003.03325.x>
- Cruz-Labana, J. D., Tarango-Arámbula, L. A., Alcántara-Carbajal, J. L., Pimentel-López, J., Ugalde-Lezama, S., Ramírez-Valverde, G., Méndez-Gallegos, S. J. (2014). Habitat use by the “escamolera” ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) in central Mexico. *Agrociencia*. https://doi.org/http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000600001
- Cuadriello, A., J. I. (1980). Consideraciones biológicas y económicas acerca de los escamoles (Hymenoptera: Formicidae). Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF. 106 p.
- Del Toro, I., Pacheco, J. A., Mackay, W. P. (2009). Revision of the ant genus *Liometopum* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*. <https://doi.org/www.csuchico.edu/biol/Sociobiology/sociobiologyindex.html>
- Esparza-Frausto, G., Macías-Rodríguez, F. J., Martínez-Salvador, M., Jiménez-Guevara, M. A., Méndez-Gallegos, S. de J. (2008). Insectos comestibles asociados a las Magueyeras en el Ejido Tolosa, Pinos, Zacatecas, México. *Agrociencia*. 42(2), 243–252.
- Folgarait, P. J. (1998). Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: A review. *Biodiversity and Conservation*. <https://doi.org/10.1023/A:1008891901953>
- Haskell, D. G. (2000). Effects of forest roads on macroinvertebrate soil fauna of the southern Appalachian Mountains. *Conservation Biology*. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99232.x>
- Hölldobler, B., Wilson, E. O. (2008). The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies. W.W. Norton & Company. <https://doi.org/10.1038/456320a>

- Jones, C. G., Lawton, J. H., Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos*. <https://doi.org/10.2307/3545850>
- Kaiser, J. (2004). Wounding earth's fragile skin. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.304.5677.1616>
- Li, X. R., Jia, R. L., Chen, Y. W., Huang, L., Zhang, P. (2011). Association of ant nests with successional stages of biological soil crusts in the Tengger Desert, Northern China. *Applied Soil Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.10.010>
- López-Riquelme, G. O. F. R. (2010). EL mundo feliz de las hormigas. *Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*. 13(1), 35–48.
- Melo-Ruiz, V., Quirino-Barreda, T., Calvo-Carrillo, C., Sánchez-Herrera, K., Sandoval-Trujillo, H. (2013). Assessment of nutrients of escamoles ant eggs *Liometopum apiculatum* M. by spectroscopy methods. *Journal. of Chemistry and Chemical Engineering*. 7, 1181–1187.
- Radford, B. J., Wilson-Rummenie, A. C., Simpson, G. B., Bell, K. L., Ferguson, M. A. (2001). Compacted soil affects soil macrofauna populations in a semi-arid environment in central Queensland. *Soil Biology and Biochemistry*. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00104-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00104-3)
- Ramos Elorduy De Conconi, J., Delage-Darchen, B., Miranda, N. G., Moreno, J. M. P. (1988). Observaciones bioecológicas de *Liometopum apiculatum* M. y *Liometopum occidentale* var. *luctuosum* W. (Hymenoptera-Formicidae). *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México Serie Zoología*. 58(1), 341-354.
- Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M., Conconi, M. (2006). Ausencia de una reglamentación y normalización de la explotación y comercialización de insectos comestibles en México. *Folia Entomológica Mexicana*. 45(3), 291–318.
- Ramos-Elorduy, J., Costa Neto, E. M., Cuevas Correa, M. S., García-Figueroa, J., Zentina, D. H. (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, Julieta, Levieux, J. (1992). Determination 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.
- Tarango-Arámbula, L. A. (2012). Los escamoles y su producción en el Altiplano Potosino–Zacatecano. *Revista Salud Pública y Nutrición*. 4, 139–144.
- Velasco, C., Corona-Vargas, M., Peña-Martínez, R. (2007). *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) y su relación trófica con Hemiptera Sternorrhyncha en Tlaxco, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.S)*. 23(2), 31–42.
Retrieved from <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57523203>

Whitford, W. G., Barnes, G., Steinberger, Y. (2008). Effects of three species of Chihuahuan Desert ants on annual plants and soil properties. *Journal of Arid Environments*. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.07.012>

CAPÍTULO I. CONTENIDO NUTRICIONAL DE LAS LARVAS DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (*Liometopum apiculatum* Mayr) POR TIPO DE VEGETACIÓN EN EL CENTRO-NORTE DE MÉXICO

Resumen

En México, la hormiga escamolera *Liometopum apiculatum* es un insecto de importancia nutricional, económica y ecológica. Sus larvas contienen proteínas, lípidos, vitaminas y minerales, cuya concentración puede estar relacionada con el tipo de vegetación donde la hormiga forrajea. El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de macro y micronutrientes de larvas de *L. apiculatum* en tres tipos de vegetación del centro de México. Para determinar el tamaño de muestra y recolectar larvas de la hormiga escamolera, de marzo a abril de 2016 se realizaron recorridos de campo y se aplicó un muestreo estratificado por cada tipo de vegetación. Los análisis de macronutrientes se basaron en determinar el contenido químico proximal de la humedad, proteína cruda, lípidos totales, fibra cruda, cenizas y extracto libre de nitrógeno. Los aminoácidos se analizaron por cromatografía de intercambio catiónico con hidrólisis ácida, y los ácidos grasos por cromatografía de gases y extracción de solventes con metóxido de sodio. Se analizó el efecto del tipo de vegetación sobre el contenido nutricional mediante un ANOVA y una comparación de medias de Sheffé ($P < 0.05$). La concentración de aminoácidos y de ácidos grasos (AG) se analizó con una prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$). Se encontraron diferencias significativas en proteína, lípidos y cenizas ($P < .0001$) y contenido de humedad ($P < 0.0036$). Se identificaron 17 aminoácidos, de los cuales difirieron por tipo de vegetación leucina ($P < 0.0325$), treonina ($P < 0.0103$), ácido glutámico ($P < 0.0056$), glicina ($P < 0.0246$) y serina ($P < 0.0036$). Los AG no presentaron diferencias significativas. Es probable que las diferencias en las concentraciones de macronutrientes se deban a la diversidad y densidad diferencial de los componentes alimenticios disponibles en cada tipo de vegetación para *L. apiculatum*, y que el número y cantidad de aminoácidos y AG dependan de las propiedades químicas de las secreciones líquidas que obtienen las hormigas por trofobiosis. Esta investigación complementa la información sobre el contenido nutricional de *L. apiculatum*, específicamente por tipo de vegetación en el centro-norte de México.

Palabras clave: trofobiosis, ligamaza, estados inmaduros, niveles tróficos

Nutritional content of *Liometopum apiculatum* Mayr ant larvae (“escamoles”) by vegetation type in north-central Mexico

Abstract

In Mexico the ant *Liometopum apiculatum* is an important insect nutritionally, economically and ecologically. Their larvae (“escamoles”) contain proteins, lipids, vitamins and minerals, the concentrations of which may be related with the type of vegetation where the ant forages. The objective of this study was to evaluate the content of macro and micro nutrients of *L. apiculatum* larvae collected in three types of vegetation in north-central Mexico. To determine the sample size to collect ant larvae, in March and April 2016 in the field, stratified sampling was applied by vegetation type. Analysis of macronutrients determined proximal chemical content of moisture, crude protein, total lipids, crude fiber, ash, and nitrogen-free extract. The amino acids were analyzed by cationic Exchange chromatography with acid hydrolysis and fatty acids by gas chromatography and solvent extraction with sodium methoxide. The effect of vegetation type on nutrient content was determined with an ANOVA and Sheffé comparison of means ($P < 0.05$). The concentration of amino acids and fatty acids (FA) was analyzed with a Kruskal-Wallis test ($P < 0.05$). Significant differences were found in protein, lipids and ash ($P < .0001$) and moisture content ($P < 0.0036$). We identified 17 amino acids, which differed by type of vegetation in leucine ($P < 0.0325$), threonine ($P < 0.0103$), glutamic acid ($P < 0.0056$), glycine ($P < 0.0246$) and serine ($P < 0.0036$). There were no significant differences in fatty acids. It is likely that the differences in the concentrations of macronutrients are due to the diversity and differential density of the food components available in each type of vegetation for *L. apiculatum*, and that the number of types and quantity of amino acids and fatty acids depend on the chemical properties of the liquid secretions the ants obtain by trophobiosis. This study complements information of the nutrient content of *L. apiculatum*, specifically by vegetation type in north-central Mexico.

Key words: trophobiosis, honeydew, immature stages, trophic levels.

Introducción

El uso de insectos en la alimentación humana es conocida como entomofagia, la cual se practica desde épocas ancestrales (Neto y Ramos-Elorduy, 2006). En 113 países, se reconocen 2000 especies de insectos que se usan como alimento por 3000 grupos étnicos (Miranda *et al.*, 2011; Ghosh *et al.*, 2017). En México se reportan 535 especies de insectos comestibles distribuidos en diferentes grupos taxonómicos: coleóptera (483), himenóptera (351), ortóptera (267) y lepidóptera (253) (Del Pino y Ramos-Elorduy, 1997; Ramos-Elorduy *et al.*, 2006). Entre los himenópteros con valor nutricional se encuentran *Atta cephalotes* L., *A. mexicana* Bourmeir, *Liometopum apiculatum* Mayr, *Myrmecosistus melliger* Forel (Luc.) y *M. mexicanus* W. (Landerro Torres *et al.*, 2005; Ramos-Elorduy *et al.*, 2007; Rostro *et al.*, 2012). El nombre nativo de *L. apiculatum* es la hormiga escamolera (escamoles es la palabra náhuatl con que se denomina a sus larvas); se distribuye en las zonas neártica y neotropical de México, y tiene importancia nutricional, y económica para los habitantes de las zonas rurales del centro de México.

Los escamoles son apreciados por su sabor y gran versatilidad culinaria (Miranda *et al.*, 2011). El contenido de proteínas es superior a la de los alimentos convencionales como pescado, puerco, res, pollo y huevo (WHO/FAO/UNU, 2007). Por ejemplo, los escamoles contienen hasta 67% de proteína (g/100 g base seca) y son altamente digestibles (93.92% g/100 g base seca), por lo que se consideran agregados proteínicos de alta calidad; esto es, contienen aminoácidos indispensables en las proporciones necesarias para satisfacer los requerimientos de nitrógeno en la dieta, incluyendo isoleucina (4.6%), leucina (7.2%), lisina (5.7%), metionina (3.2%), fenilalanina (6.2%), triptófano (0.8%), valina (6.3%), treonina (4.1%) e histidina (2.9%), expresados en g/16 g de nitrógeno. Además, de seis ácidos grasos: linoleico (67.66%), palmítico (20.18%), linolénico (4.61%), esteárico (2.785%), araquidónico (1.16) y oleico (0.26%) (Ramos-Elorduy *et al.*, 1981; Morales de León *et al.*, 2005; Melo-Ruíz *et al.*, 2013b).

L. apiculatum es omnívora, tiene preferencia por alimentos líquidos que obtiene de las secreciones azucaradas de hemípteros (ligamaza o *honeydew*) y néctares extra florales (NEF) (Velasco *et al.*, 2007; Hoey *et al.*, 2013; Lara-Juárez *et al.*, 2015). La

ligamaza es rica en carbohidratos (glucosa, fructuosa, sucrosa, entre otros), aminoácidos, aminos, ácidos orgánicos, alcoholes, auxinas y minerales (Hackman y Trikojus, 1952; Auclair, 1963; Way, 1963; Douglas, 1993; Lanza *et al.*, 1993). Las variaciones en la calidad y proporción de los macro y micronutrientes de las larvas de *L. apiculatum* quizás dependan de factores bióticos y abióticos del ambiente (Melo *et al.*, 2013b); sin embargo, estos supuestos han sido poco estudiados y es posible que este patrón esté relacionado con el tipo de vegetación y las relaciones ecológicas de la hormiga escamolera con sus presas (hemípteros). Por ello, la investigación tuvo como objetivo evaluar el contenido y calidad nutricional de las larvas de *L. apiculatum* en tres tipos de vegetación: a) matorral crasicaule, b) matorral desértico micrófilo y c) matorral desértico rosetófilo, en el centro-norte de México.

Materiales y métodos

El área de estudio comprendió las inmediaciones de los estados de San Luis Potosí y Zacatecas. En áreas con matorral crasicaule, matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo; específicamente en los ejidos de Ipiña, Villas de Ahualulco y Santa Teresa ubicados en el municipio de Ahualulco. Y los ejidos de Tolosa y Santiago en el municipio de Pinos, y dos predios privados pertenecientes al municipio de Villa González Ortega. (Figura 1).

La región abarca un complejo de serranías, planicies y valles, con altitudes que varían entre 1 000 y 2 500 msnm (Hernández-Oria, 2010). Su clima es seco o árido, BS-BW, e incluye los subtipos BS₀ como el más seco y BS₁ el menos seco; con temperatura media anual de 14 a 20° C y precipitación promedio anual de 240 a 770 mm (Cuanalo *et al.*, 1989; INEGI, 2013).

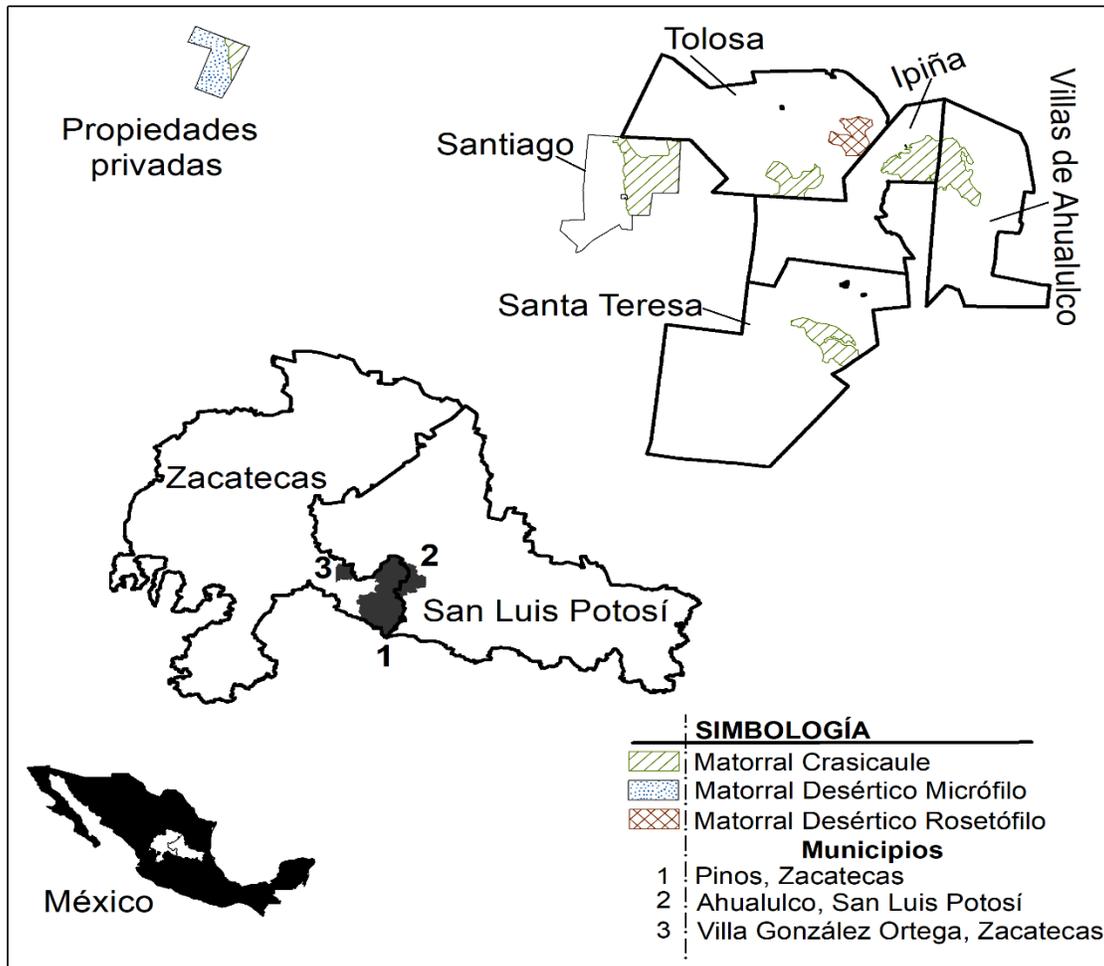


Figura 1. Localización del área de estudio de la calidad y contenido nutricional de las larvas de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en el centro-norte de México.

Las especies más representativas son el matorral crasicaule (MC) con *Opuntia microdasys*, *O. rastrera*, *O. imbricata*, *O. tunicata*, *Yucca carnerosana* y *Y. filifera*; matorral desértico micrófilo (MDM) caracterizado por la presencia de *Larrea tridentata* (Luna-Cavazos *et al.*, 2007) y matorral desértico rosetófilo (MDR) con *Agave salmiana*, *Y. carnerosana* y *Y. filifera* como las especies más comunes (Rzedowski, 2006).

Con la finalidad de obtener las muestras de escamoles (larvas) de los nidos, se calculó, a partir de la carta de vegetación y uso del suelo, la superficie ocupada por cada tipo de vegetación. Por consiguiente, durante enero y febrero de 2016 se recorrió el área de estudio para localizar nidos de *Liometopum apiculatum*, de acuerdo con el tipo de vegetación, y se registraron sus coordenadas geográficas. La selección de las muestras (nidos) se hizo de manera proporcional a la superficie de la vegetación y de manera

aleatoria; de esta forma, se muestrearon (recolección de larvas) 50 nidos en MC, 30 en MDM y 20 en MDR (Figura 2).

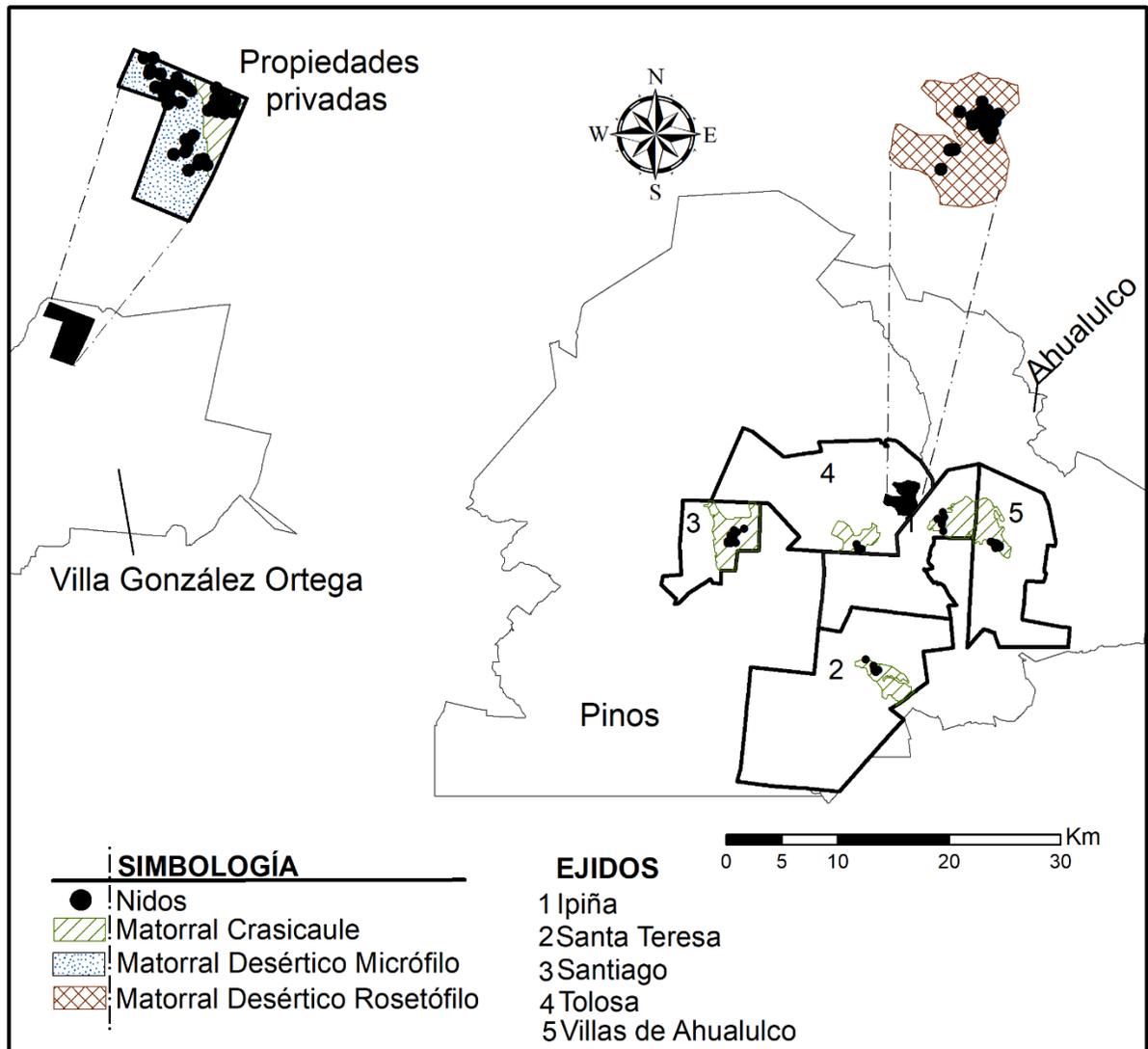


Figura 2. Ubicación de los nidos de *L. apiculatum* muestreados en el centro-norte de México, en 2016

Recolección y preparación de las muestras

La recolección de larvas se realizó en marzo y abril de 2016 con el apoyo de recolectores locales de escamoles. Las muestras, cada una de ellas de 120 g, se colocaron en bolsas de plástico, se etiquetaron, se mantuvieron en un contenedor a 4 °C y se transportaron al laboratorio de agua-suelo-planta del Colegio de Postgraduados

Campus San Luis Potosí. Una vez allí, se lavaron con agua corriente, se escurrieron, secaron y conservaron a -10 °C.

Para su análisis, las muestras individuales (120 g) provenientes de cada 10 nidos por tipo de vegetación, se mezclaron para formar muestras compuestas de 1200 g, obteniendo cinco para MC, tres para MDM y dos para MDR. Estas se transportaron (4 °C) a la unidad de laboratorios de investigación y docencia del Colegio de Postgraduados Campus Puebla, donde se almacenaron y conservaron a -20 °C, se deshidrataron en una estufa a 40 °C (24 horas) y se molieron para el análisis químico.

Análisis químico proximal

En el análisis del contenido de humedad, la materia seca, proteína cruda, lípidos totales, fibra cruda, cenizas y extracto libre de nitrógeno (ELN) se utilizaron las técnicas de Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1997) basadas en análisis químico proximal.

La humedad se determinó pesando 0.5 g de muestra en una termobalanza (OHAUS MB45) durante 25 minutos. La proteína cruda se determinó por el método de Kjeldahl, el cual cuantifica el nitrógeno total, multiplicándolo por el factor de conversión de 6.25. La proporción de lípidos totales se analizó por el método de Soxhlet usando hexano como solvente. El porcentaje de cenizas se obtuvo por incineración en una mufla a 550 °C durante 4 horas. La fibra cruda se obtuvo por el proceso de doble digestión, primero con H₂SO₄ y después con NaOH, ambos a una concentración de 0.25 normal (N). El ELN se calculó por diferencia [100 - (proteína cruda + lípidos + ceniza + fibra cruda total)]. Todas las muestras se analizaron por quintuplicado y los resultados fueron reportados en g/100 g de muestra seca.

Análisis de aminoácidos

El análisis de aminoácidos lo llevó a cabo AMINOLab® (Evonik Industries AG, Hanau, Germany), por cromatografía de intercambio catiónico. Las muestras se oxidaron con ácido perbórico a 0 °C durante 16 horas y se neutralizaron con metabisulfito de Na.

Para liberar los aminoácidos (histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina+cisteína, fenilalanina, treonina, valina, alanina, arginina, ácido aspártico, ácido glutámico, glicina, prolina, serina) de las proteínas se realizó una hidrólisis con HCl a 6 N por 24 horas a 110 °C (Llames and Fontaine, 1994) y se cuantificaron por derivatización postcolumna con ninhidrina a 570 nm. Cisteína y metionina fueron tratadas sin oxidación y se les adicionó un estándar interno, ajustándolos a un pH de 2.2 con NaOH para su cuantificación.

Análisis de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos (AG) se determinó por cromatografía de gases, extrayendo los solventes con metóxido de sodio, según la técnica de Palmquist y Jenkins (2003), modificada por Jenkins (2010). El análisis de los ésteres metílicos de cada muestra (0.5 g liofilizada) se realizó en un cromatógrafo de gases HP 6890 con inyector automático Agilent Technologies 7683, equipado con una columna capilar de sílice (Sp-2560, Sepulco, 100 x 0.25 mm x 0.2 µm de película). El equipo se operó a una presión de 82.7 kPa, con una temperatura en el inyector y detector de 250 °C y 260 °C, respectivamente. Como gas acarreador se utilizó helio con un Make up de 18 mm X minuto, y una rampa de temperatura del horno a 140 °C x 2.95 minutos con incrementos de 210 °C a 3 °C/min y 235 °C a 0.7 °C/min. Los AG se identificaron comparando los tiempos de retención de cada pico obtenido en el cromatograma y con un estándar FAME mix, C4-C24 (Sepulco 18919-1AMP). El contenido de AG se expresó en mg/100 g de muestra.

Análisis estadísticos

Para determinar el efecto de la vegetación sobre la proporción de los macronutrientes (proteína, lípidos, cenizas y humedad) se realizó un ANOVA con bloques incompletos balanceados, donde cada bloque representó un tipo de vegetación (MC, MDM y MDR) y cinco repeticiones (muestras compuestas analizadas por quintuplicado). Este ANOVA se realizó con el procedimiento PROC GML de SAS (SAS Institute, 2013).

La comparación múltiple de medias se realizó con la prueba de Sheffé, considerando como variable predictora el tipo de vegetación ($P < 0.05$). Para aplicar estadística paramétrica, se determinó si los datos de macronutrientes cumplían con los supuestos de normalidad, y en aquellos casos en que no lo hacían, se aplicaron las transformaciones de \sqrt{x} , Box-Cox ($\lambda = 3.82$) y $\text{Log}_{10}(x)$ para las variables lípidos, cenizas y fibra, respectivamente. Los datos referentes a aminoácidos y AG, se analizaron con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$) con INFostat (2008).

Resultados y discusión

Macronutrientes

El contenido de proteína cruda, lípidos totales y cenizas mostraron diferencias significativas en MC, MDM y MDR ($P < .0001$), así como la humedad, $P = 0.0036$ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis químico proximal (g/100 g base seca) de larvas de hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en el centro-norte de México.

Variable (%)	Tipo de vegetación			ANOVA	
	MC	MDM	MDR	F	P
Proteína cruda	42.7 ± 2.0	41.8 ± 1.4	40.0 ± 0.7	7.95	< 0.0001
Lípidos	37.2 ± 1.1	38.6 ± 0.7	38.1 ± 1.1	7.19	< 0.0001
Cenizas	4 ± 0.3	3.3 ± 0.5	3.6 ± 0.3	8.27	< 0.0001
Humedad	59.5 ± 1.7	61.0 ± 2.7	62.7 ± 1.1	3.86	0.0036
Fibra cruda	1.4 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.83	0.1164

$P < 0.05$ con $df = 6, 43$ en todas las fuentes de variación; MC: Matorral Crasicaule, MDM: Matorral Desértico Micrófilo, MDR: Matorral Desértico Rosetófilo.

Con la prueba de Scheffé (Cuadro 2) se encontraron diferencias significativas en la composición química de los escamoles de acuerdo con las combinaciones de tipo de

vegetación de donde provenían las larvas; esto es, para las combinaciones MC-MDR; MDM-MDR de proteína cruda, MDM-MC; MDR-MC de lípidos, MC-MDR; MC-MDM de cenizas, (MDR-MC) y de humedad ($P < 0.05$).

Cuadro 2. Prueba de Scheffé con base a los contenidos de macronutrientes por tipo de vegetación en el centro-norte de México.

Variable Dependiente	Combinaciones por tipo de Vegetación	Diferencias entre medias	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Proteínas	MC-MDR	2.66**	1.32	4.00
	MDM-MDR	1.73**	0.27	3.19
Lípidos	MDM-MC	0.11**	0.05	0.17
	MDR-MC	0.07**	0.00	0.14
Cenizas	MC-MDR	18.01**	6.20	29.81
	MC-MDM	22.49**	12.18	32.79
Humedad	MDR-MC	3.18**	1.30	5.06
Fibra cruda	MC-MDM	0.02	-0.03	0.07
	MC-MDR	0.04	-0.02	0.10
	MDM-MDR	0.02	-0.04	0.09

(MC) Matorral Crasicaule, (MDM) Matorral Desértico Micrófilo, (MDR) Matorral Desértico Rosetófilo.

** $P < 0.05$

Proteína

El contenido de proteína cruda más elevado fue en MC (42.7%), en comparación con los otros dos tipos de vegetación (Cuadro 1). Este resultado es similar a lo obtenido por Melo *et al.* (2013a; 2013b) quienes reportaron un contenido de 42.25% de dicho nutriente en muestras de la Ciudad de México y 40.9% (g/100 g base seca) del estado de Hidalgo, y cuyas muestras provienen de un matorral xerófilo. Asimismo, Sandoval *et*

al. (2010) encontraron un contenido proteico de 42.35% en Actopan y 41.78% (g/100 g base seca) en Zempoala, Hidalgo, de muestras obtenidas en MC y MDR (INEGI, 2013).

El contenido de proteína en las larvas de *L. apiculatum* puede estar relacionado con los componentes de su dieta. Es decir, se alimenta preferentemente de la ligamaza secretada por hemípteros, y de la cual obtiene azúcares, carbohidratos, proteínas, lípidos, aminoácidos, amidas, minerales y esteroides (Blüthgen y Fiedler, 2004; Lanch *et al.*, 2010). Otra probable causa en las diferencias, es la diversidad y densidad de los hemípteros presentes en cada tipo de vegetación. Por ejemplo, Melo *et al.* (2016) analizaron un contenido proteico del 42.12%, de larvas obtenidas en un matorral xerofito en el estado Puebla; donde se han identificado cinco familias de hemípteros con relaciones trofobioticas con *L. apiculatum*, agrupadas en Aphididae, Coccidae, Pseudococcidae, Dactylopiidae y Ortheziidae (Velasco *et al.*, 2007).

En los nidos analizados en esta investigación, es posible que *L. apiculatum* seleccione a los hemípteros que secretan la ligamaza con el mayor contenido de azúcares, carbohidratos y aminoácidos para su desarrollo. Sin embargo, se desconoce si son los endosimbiontes intestinales de los hemípteros los que enriquecen el contenido de proteína en las larvas de la hormiga escamolera (Portha *et al.*, 2004; Woodring *et al.*, 2004).

Lípidos

En este estudio el contenido de lípidos fue ligeramente superior en MDM (38.6%), comparado con MDR (38.1%) y MC (37.2%), estos porcentajes son los más elevados reportados para la especie (Cuadro 1). Por ejemplo, Melo *et al.* (2011; 2013a) reportaron un contenido de 33.96% y Sandoval *et al.* (2010) de 34.26%. Es posible que estas diferencias se deban a la cadena trófica, a la relación planta-insecto-hormiga o a los cambios de la vegetación por estación del año. Se ha documentado que, en primavera y verano en pastizales templados, muchas especies de plantas se encuentran en crecimiento activo con contenidos de proteínas y carbohidratos altos, por el contrario, en invierno las plantas retrasan su crecimiento afectando el contenido de estos

macronutrientes (Behmer y Joern, 2012; Lenhart *et al.*, 2015). Es posible que el contenido de lípidos elevado en las larvas de *L. apiculatum* sea consecuencia del nivel de desarrollo de las plantas hospederas y de su uso por los hemípteros. Se ha reportado que diversas especies de hormigas requieren de proteínas y lípidos para el desarrollo del ovario, producción de huevos y crecimiento de sus larvas (Lanch *et al.*, 2010); con base en esto, es muy probable que *L. apiculatum* seleccione insectos que le proporcionen contenidos altos de lípidos para un buen desarrollo y de esta manera mantener su ciclo biológico.

Cenizas

El porcentaje de cenizas en MC (4.0%) fue más alto que en los otros dos tipos de vegetación (Cuadro 1) ($P < 0.05$). Estos resultados son similares a los de Melo (1994) quien identificó un contenido de cenizas de 3.2% y Sandoval *et al.* (2010) de 3.34%; en contraste, Ramos-Elorduy *et al.* (2002) reportaron un porcentaje del 5.06%. Los escamoles contienen Na, K, Ca, Zn, Fe y Mg (Ramos Elorduy *et al.*, 2002), quizás estos elementos los adquiere también de la ligamaza por vía trofobiosis, o por la absorción de minerales en sus sitios de anidación (Gutiérrez, 1997; Woodring *et al.*, 2004; Melo-Ruíz *et al.*, 2016). Sin embargo, Molleman (2010) reporta que diversas especies de artrópodos pueden presentar deficiencias de varios minerales en la dieta (especialmente de sodio) y que, para compensarlo, tienden a alimentarse de heces de vertebrados, animales muertos o del barro de los charcos generados por la lluvia o rocío.

Humedad

El promedio de contenido de humedad (Cuadro 1) en las larvas recolectadas en MDR fue mayor (62.7%) ($P < 0.05$) comparado con la humedad encontrada en las larvas de los otros tipos de vegetación MDM (61.0%) y MC (59.5%). Estos porcentajes fueron más altos a los documentados por Melo *et al.* (2013a, b), quienes reportaron valores de 48.88% en la Ciudad de México y 48.54% en el estado de Hidalgo. En contraste, Sandoval *et al.* (2010) describieron porcentajes de 72.22% en Actopan y 72.67% en

Zempoala, en el estado de Hidalgo. Estos últimos porcentajes son los más elevados registrados para la especie. Es muy probable que el contenido de humedad en las larvas de *L. apiculatum* esté relacionado con la temperatura y humedad relativa en el interior de los nidos, o de las condiciones ambientales en donde se distribuyen (Melo *et al.*, 2016). En este estudio, las muestras de escamoles se recolectaron principalmente de nidos ubicados en los sistemas radicales de los agaves, quizá esta planta ofrece condiciones de estabilidad, de temperatura y humedad relativa más propicias para el desarrollo y mantenimiento de la especie.

Fibra cruda

El contenido de fibra cruda (Cuadro 1) fue ligeramente superior en las larvas provenientes de MC (1.4%) que en MDR (1.3%) y MDM (1.3%). Estos resultados son similares a los reportados por Melo *et al.* (2011; 2013a) y Ramos-Elorduy *et al.* (2002) quienes encontraron una proporción de fibra cruda de 1.30%, 1.51% y 1.05%, respectivamente. Sin embargo, los contenidos más bajos fueron determinados en Actopan (0.74%) y Zempoala (0.41%) en el estado de Hidalgo (Sandoval *et al.*, 2010). Por su contenido de fibra, las larvas de *L. apiculatum* son muy digestibles y las diferencias en su contenido en MC, MDM y MDR quizás dependa de la proporción química de los distintos macronutrientes (Ramos-Elorduy *et al.*, 2002).

Aminoácidos

En este estudio se identificaron 17 aminoácidos (nueve aminoácidos esenciales y ocho no esenciales) en las larvas de *L. apiculatum* (Cuadro 3). La prueba de Kruskal Wallis encontró diferencias en los contenidos de leucina ($P = 0.0325$), treonina ($P = 0.0103$), ácido glutámico ($P = 0.0056$), glicina ($P = 0.0246$) y serina ($P = 0.0036$), por tipo de vegetación.

Cuadro 3. Medias y desviaciones estándar de las concentraciones de aminoácidos (g/100 g de base seca) en larvas de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) por tipo de vegetación en el centro-norte de México.

Aminoácido	MC (%)	MDM (%)	MDR (%)
Esenciales			
Histidina	1.10 ± 0.04	1.01 ± 0.07	1.06 ± 0.03
Isoleucina	1.65 ± 0.04	1.61 ± 0.02	1.62 ± 0.03
Leucina	2.62 ± 0.03 ^a	2.54 ± 0.04 ^{a,b}	2.55 ± 0.002 ^b
Lisina	2.18 ± 0.11	2.15 ± 0.10	2.22 ± 0.04
Metionina	0.70 ± 0.07	0.64 ± 0.01	0.65 ± 0.01
Metionina+cisteína	0.94 ± 0.03	0.92 ± 0.01	0.93 ± 0.02
Fenilalanina	1.34 ± 0.05	1.30 ± 0.01	1.31 ± 0.02
Treonina	1.35 ± 0.02 ^a	1.30 ± 0.02 ^{a,b}	1.32 ± 0.01 ^b
Valina	1.90 ± 0.05	1.86 ± 0.03	1.89 ± 0.04
No esenciales			
Alanina	1.69 ± 0.06	1.59 ± 0.03	1.61 ± 0.05
Arginina	1.77 ± 0.05	1.69 ± 0.03	1.73 ± 0.02
Ácido aspártico	3.13 ± 0.05	3.05 ± 0.05	3.07 ± 0.01
Cisteína	0.31 ± 0.09	0.28 ± 0.002	0.28 ± 0.004
Ácido glutámico	5.35 ± 0.04 ^a	5.15 ± 0.11 ^{a,b}	5.30 ± 0.02 ^b
Glicina	1.45 ± 0.05 ^a	1.36 ± 0.03 ^{a,b}	1.38 ± 0.01 ^b
Prolina	2.07 ± 0.09	2.03 ± 0.11	2.07 ± 0.10
Serina	1.57 ± 0.03 ^a	1.51 ± 0.03 ^{a,b}	1.54 ± 0.01 ^b

(MC) Matorral Crasicaule, (MDM) Matorral Desértico micrófilo, (MDR) Matorral Desértico rosetófilo; medias con una literal en común no son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

En esta investigación se encontraron 17 aminoácidos en larvas de la hormiga escamolera, número superior a los documentados por Morales de León *et al.* (2005) y Ladrón de Guevara *et al.* (1995) con 10 y ocho respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Contenido de aminoácidos (g/100 g de base seca) de las larvas de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en el centro-norte de México.

Tipo de aminoácido		Referencia		
Esenciales	No esenciales			
Histidina	2.9	Alanina	N.I.	Ladrón de Guevara <i>et al.</i> (1995) 
Isoleucina	4.4	Arginina	N.I.	
Leucina	8.9	Ácido. aspártico	N.I.	
Lisina	6.0	Cisteína	N.I.	
Metionina	1.8	Ácido. glutámico	N.I.	
Metionina+cisteína	N.I.	Glicina	N.I.	
Fenilalanina	3.5	Prolina	N.I.	
Treonina	3.5	Serina	N.I.	
Valina	4.8	Tirosina	N.I.	
Triptófano	N.I.			
Histidina	2.6	Alanina	N.I.	Morales de León <i>et al.</i> (2005)
Isoleucina	4.5	Arginina	N.I.	
Leucina	6.9	Ácido. aspártico	N.I.	
Lisina	5.3	Cisteína	N.I.	
Metionina	2.9	Ácido. glutámico	N.I.	
Metionina+cisteína	N.I.	Glicina	N.I.	
Fenilalanina	4.2	Prolina	N.I.	
Treonina	3.8	Serina	N.I.	
Valina	5.5	Tirosina	9.8	
Triptófano	0.7			
Histidina	1.1	Alanina	1.6	Este estudio (promedio general)
Isoleucina	1.6	Arginina	1.7	
Leucina	2.6	Ácido. aspártico	3.1	
Lisina	2.2	Cisteína	0.3	
Metionina	0.7	Ácido. glutámico	5.3	
Metionina+cisteína	0.9	Glicina	1.4	
Fenilalanina	1.3	Prolina	2.1	
Treonina	1.3	Serina	1.5	
Valina	1.9	Tirosina	N.I.	
Triptófano	N.I.			

N.I. = No identificado

Las variaciones en proporción y número de aminoácidos (Cuadro 4) de las larvas, quizá estén asociadas al flujo de nutrientes en relaciones hormiga-insecto-planta. Byrne y Miller (1990) identificaron y cuantificaron 19 aminoácidos en la ligamaza de *Bemisia tabaci* (Gennadius) que se alimentaba del floema de *Euphorbia pulcherrima*, entre los aminoácidos que analizaron fueron: treonina (2.4%), valina (0.9%), leucina (0.4%), isoleucina (0.2%), fenilalanina (0.2%), lisina (0.1%), glutamina (52.9%), serina (12.5%), ácido glutámico (9.3%), glicina (7.4%), asparagina (5.8%), prolina (3.3%), ácido aspártico (1.9%), alanina (1.4%), cisteína (0.3%), arginina (0.2%), beta alanina (0.7%) y citrulina (0.1%). Otras causas de tales diferencias, posiblemente se relacionen con el proceso de la recolecta-análisis de las muestras, y a las técnicas cuantitativas empleadas que involucran; especificidad linealidad, exactitud, precisión, robustez, límites de detección y cuantificación (García *et al.*, 2014).

En esta investigación, la concentración de ácido glutámico (5.35% en MC, 5.15% en MDM y 5.30% en MDR) fue la más alta. Las propiedades químicas de la ligamaza que aprovechan diversas especies de hormigas, dependen de las relaciones biológicas de los hemípteros con sus simbioses intestinales; se ha reportado, que la ausencia de estos organismos provoca el aumento de glutamina en la dieta de las hormigas (Prosser *et al.*, 1992; Sasaki y Ishikawa, 1993; Feldhaar *et al.*, 2007). Las diferencias en las propiedades químicas de la ligamaza provocan que las hormigas sean atraídas a fuentes de alimentación ricas en aminoácidos esenciales, lo que induce a una preferencia por fuentes de alimentación específicas (González-Teuber y Heil, 2009).

Para comprender más sobre las preferencias en la dieta de *L. apiculatum* y sobre las propiedades nutricionales de sus larvas, se debe identificar y estudiar a sus trofobiontes (Hackman y Trikojus, 1952; Auclair, 1963; Way, 1963). Una investigación en MDM, y pastizal mediano con *Yucca spp.* en Charcas, San Luis Potosí, identificó ocho hemípteros que forrajeaban *L. apiculatum* (*Acustapis* sp., *Pericerya purchasi*, *Dysmicoccus brevipes*, *Saissetia oleae*, *Eriococcus* sp., *Cinara* sp., *Aphis helianthi* y *Allokermes* sp.), destacándose *Acustapis* sp., por ser la especie preferida por la hormiga (Herrera, 2013). Velasco *et al.* (2007) describen 14 especies de hemíptero (entre los que sobresale dos del género *Cinara*) asociados con la hormiga escamolera, sin embargo,

aún no existe información que especifique cuál de estas especies aporta el mayor contenido de macro y micronutrientes en las larvas de *L. apiculatum*. Se supone que las diferencias de estos contenidos se deban a variables como el clima, cambios estacionales, disponibilidad de néctares extraflorales y presas, o quizá depende de al menos una colonia de hemípteros que le proporcionen secreciones líquidas para cubrir sus requerimientos alimenticios (Mckey y Meunier, 1996; Melo-Ruiz *et al.*, 2016).

Otras posibles explicaciones en las variaciones en los aminoácidos pueden correlacionarse con el desarrollo ontogénico (procesos metamórficos), la forma en que se alimenta cada casta y/o la diversidad de endosimbiontes en el organismo de *L. apiculatum*, ya que estos fijan y biosintetizan grandes cantidades de nitrógeno, lo que produce la acumulación de diferentes vitaminas y aminoácidos en los escamoles (Chen, 1996; González-Escobar *et al.*, 2018).

Ácidos grasos

En esta investigación se identificaron 13 ácidos grasos (Cuadro 5). Los ácidos con mayor concentración fueron el oleico (62.9-63.8%), palmítico (19.1-20.1%) y linoleico (4.9-5.0%). El mayor porcentaje de ácido oleico se determinó en larvas recolectadas en el matorral crasicaule y el de ácido palmítico en larvas procedentes del matorral desértico micrófilo. Sin embargo, la prueba de Kruskal Wallis ($p < 0.05$) no identificó diferencias significativas en su contenido por tipo de vegetación.

El contenido de ácido linoleico obtenido en este estudio (4.9-5.0%) contrasta con el 67.6% reportado por Melo-Ruíz *et al.* (2013 b). Asimismo, estos autores indicaron concentraciones de ácido palmítico de 20.1%, linolenico de 4.61% y araquidónico del 1.6%, valores muy similares los de esta investigación. Estas diferencias pueden estar asociadas a la diversidad de insectos en los que *L. apiculatum* forrajeaba. Cada tipo de vegetación les ofrece a los hemípteros diferentes plantas hospederas, es probable que esto afecte las propiedades químicas de la ligamaza con que se alimenta la hormiga (Van Huis *et al.*, 2013).

Cuadro 5. Medias y desviaciones estándar del contenido (%) de ácidos grasos (mg/100 g base seca) en larvas de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en el centro-norte de México.

Ácido graso	Tipo de vegetación		
	MC	MDM	MDR
Ácido láurico	0.43 ± 0.06	0.40 ± 0.05	0.42 ± 0.06
Ácido mirístico	2.00 ± 0.03	1.97 ± 0.10	1.99 ± 0.16
Ácido pentadecanoico	0.11 ± 0.02	0.12 ± 0.04	0.11 ± 0.01
Ácido palmítico	19.11 ± 2.03	20.13 ± 0.15	19.96 ± 0.42
Ácido palmitoleico	1.22 ± 0.17	1.20 ± 0.08	1.18 ± 0.01
Ácido heptadecanoico	0.34 ± 0.10	0.28 ± 0.02	0.30 ± 0.01
Ácido cis-10-heptadecanoico	0.26 ± 0.10	0.34 ± 0.01	0.32 ± 0.01
Ácido esteárico	2.96 ± 0.23	3.09 ± 0.26	3.40 ± 0.16
Ácido oleico	63.79 ± 1.51	62.91 ± 0.03	63.25 ± 0.59
Ácido linoleico	4.96 ± 0.32	5.02 ± 0.18	4.92 ± 0.25
Ácido araquidónico	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.08	0.10 ± 0.01
Ácido cis-11-eicosenoico	0.45 ± 0.08	0.46 ± 0.10	0.47 ± 0.07
Ácido linolenico	0.51 ± 0.06	0.46 ± 0.01	0.49 ± 0.01

(MC) Matorral Crasicaule, (MDM) Matorral Desértico Micrófilo, (MDR) Matorral Desértico Rosetófilo.

Las diferencias en la cuantificación de ácidos grasos encontrados en esta investigación comparados con los de Melo-Ruíz *et al.* (2013a, b) con seis ácidos grasos (palmítico, oleico, linolenico, esteárico, linoleico y araquidónico) de seis muestras obtenidas en el estado de Hidalgo, y cuatro de la Ciudad de México (ácido linoleico, linolénico, araquidónico y eicosapentaenoico) posiblemente se deban a que en este trabajo se analizaron un mayor número de muestras. No se encontraron evidencias estadísticas que confirmaran que el contenido de AG fuera diferente por tipo de vegetación (50 nidos en MC, 30 nidos en MDM y 20 nidos en MDR); sin embargo, se puede destacar que se realizó un muestreo estratificado y las parcelas se aleatorizaron a fin de que contuvieran nidos. Las diferencias de AG documentadas por otros autores y los de esta investigación, quizá estén relacionadas con la diversidad de los

endosimbiontes intestinales asociados a las larvas de *L. apiculatum*, ya que estos son los responsables de metabolizar AG que se acumulan en la casta reproductora de la hormiga escamolera (González-Escobar *et al.*, 2018).

El consumo de las larvas de *L. apiculatum*, para alimentación humana, aporta proteínas, lípidos y carbohidratos de gran valor energético, así mismo estos macronutrientes son vitales en la formación estructural de células y tejidos. Los minerales en conjunto con los aminoácidos son indispensables en muchos procesos metabólicos, y los ácidos grasos son importantes en el funcionamiento del corazón y cerebro. Por lo cual diversos autores consideran que incluir a los escamoles en la dieta supone grandes beneficios nutricionales (Brosnan y Brosnan, 2008; Melo-Ruíz *et al.*, 2016; Campbell, 2017).

Conclusiones

El contenido de macronutrientes (proteínas, lípidos, cenizas y humedad) en las larvas de la hormiga escamolera varió significativamente de acuerdo al tipo de vegetación, pero no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en micronutrientes (histidina, isoleucina, lisina, metionina, metionina+cisteína, fenilalanina, valina, alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína; ácido láurico, mirístico, pentadecanoico, palmítico, heptadecanoico, cis-10-heptadecanoico, esteárico, oleico, linoleico, araquidónico, cis-11-eicosenoico y linolenico). En este estudio se analizaron nueve aminoácidos esenciales, ocho no esenciales y 13 ácidos grasos.

Las variaciones químicas de las larvas de *L. apiculatum*, posiblemente se deban a la diversidad y disponibilidad de sus trofobiontes, diferentes fuentes de alimentación (néctares extraflorales) y características ambientales o tal vez, son los endosimbiontes en las hormigas y los hemípteros presa, los que ocasionan dichas variaciones.

Los escamoles son un alimento balanceado, que contiene aminoácidos y ácidos grasos que pueden complementar la dieta de poblaciones con vulnerabilidad alimenticia.

Esta es la primera investigación que reporta el contenido de macronutrientes, aminoácidos y ácidos grasos en larvas de la hormiga escamolera por tipo de vegetación en el centro-norte de México y demuestra la importancia nutricional de los escamoles.

Aunque los resultados de este estudio complementan la información relacionada con el tema nutricional de las larvas de *L. apiculatum*, recomendamos que las investigaciones futuras se dirijan a identificar y caracterizar las fuentes de alimentación de esta especie y aplicar metodologías de extracción de néctares extraflorales y ligamaza en cada nivel de la cadena trófica; además, de una caracterización de la microbiota de los hemípteros que aprovecha.

Referencias

- AOAC, 1997. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, Arlington, VA, USA.
- Auclair, J.L., 1963. Aphid Feeding and Nutrition. *Annual Review of Entomology*. 8, 439–490. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.08.010163.002255>
- Behmer, S.T., Joern, A., 2012. Insect Herbivore Outbreaks Viewed through a Physiological Framework: Insights from Orthoptera, in: *Insect Outbreaks Revisited*. pp. 1–29. <https://doi.org/10.1002/9781118295205.ch1>
- Blüthgen, N., Fiedler, K., 2004. Preferences for sugars and amino acids and their conditionality in a diverse nectar-feeding ant community. *Journal of Animal Ecology*. 73, 155–166. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2004.00789.x>
- Brosnan, J.T., Brosnan, M.E., 2008. Glutathione and the Sulfur-Containing Amino Acids: An Overview, in: *Glutathione and Sulfur Amino Acids in Human Health and Disease*. pp. 1–18. <https://doi.org/10.1002/9780470475973.ch1>
- Byrne, D.N., Miller, W.B., 1990. Carbohydrate and Amino-Acid-Composition of Phloem Sap and Honeydew Produced by *Bemisia-Tabaci*. *Journal of Insect Physiology*. 36, 433–439. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(90\)90061-J](https://doi.org/10.1016/0022-1910(90)90061-J)
- Campbell, I., 2017. Macronutrients, minerals, vitamins and energy. *Anaesthesia and Intensive Care Med*. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2016.11.014>
- Chen, P.S., 1966. Amino Acid and Protein Metabolism in Insect Development. *Advances in Insect Physiology*. 3, 53–132. [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60186-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60186-1)
- Cuanalo de la C, H., Ojeda, T.E., Santos, O. A., Ortiz, S. C., 1989. Provincias, regiones y subregiones terrestres de México, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Texcoco, Estado de México.
- Del Pino, J., Ramos-Elorduy, J., 1997. El consumo de insectos entre los aztecas, in: *Conquista y Comida: Consecuencias del encuentro de dos mundos*. pp. 89–101.
- Douglas, A. E., 1993. The nutritional quality of phloem sap utilized by natural aphid populations. *Ecological Entomology*. 18, 31–38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1993.tb01076.x>
- Feldhaar, H., Straka, J., Krischke, M., Berthold, K., Stoll, S., Mueller, M.J., Gross, R., 2007. Nutritional upgrading for omnivorous carpenter ants by the endosymbiont *Blochmannia*. *BMC Biology*. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-5-48>
- García Caridad, M., Fernández Cervera, M., Castiñeira, M., Martínez, V., López Orestes, D., Nogueira, A., 2014. Validación de un método cromatográfico aplicable al control de calidad y estudio de estabilidad del pool de aceite hígado de tiburón microencapsulado. *Ars Pharmaceutica*. 55(2), 18–24.
- Ghosh, S., Lee, S.M., Jung, C., Meyer-Rochow, V.B., 2017. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 20, 686–694. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.04.003>

- González-Escobar, J.L., Grajales-Lagunes, A., Smoliński, A., Chagolla-López, A., De León-Rodríguez, A., Barba de la Rosa, A.P., 2018. Microbiota of edible *Liometopum apiculatum* ant larvae reveals potential functions related to their nutritional value. *Food Research International*. 109, 497–505. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.049>
- González-Teuber, M., Heil, M., 2009. The role of extrafloral nectar amino acids for the preferences of facultative and obligate ant mutualists. *Journal of Chemical Ecology*. 35, 459–468. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9618-4>
- Gutiérrez, M., 1997. Nutrición mineral de las plantas: Avances y aplicaciones. *Agronomía Costarricense*. 21(1), 127–137.
- Hackman, R.H., Trikojus, V.M., 1952. The composition of the honeydew excreted by Australian coccids of the genus *Ceroplastes*. *Biochemical Journal*. 51, 653–656. <https://doi.org/10.1042/bj0510653>
- Hernández-Oria, J.G., 2010. Patrones de diversidad regional en las Cactaceae amenazadas del Desierto Chihuahuense, México. *Zonas Áridas*. 14, 35–49.
- Herrera Torres, E., 2013. Relación trofobiótica de la hormiga del escamol, *Liometopum apiculatum* Mayr., con otros insectos, en la microcuenca Pocitos, Charcas, San Luis Potosí, México. pp16–25.
- Hoey-Chamberlain, R., Rust, M.K., Klotz, J.H., 2013. A review of the biology, ecology and behavior of velvety tree ants of North America. *Sociobiology*. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v60i1.1-10>
- INEGI, 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala de 1: 250 000, serie V (capa unión), 2da edición. [WWW Document]. *Recur. Nat.* URL <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reccnat/usosuelo/Default.aspx>
- InfoStat. (n.d.). InfoStat versión 2008. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, Grupo InfoStat.
- Jenkins, T.C., 2010. Technical note: Common analytical errors yielding inaccurate results during analysis of fatty acids in feed and digesta samples. *Journal of Dairy Science*. 93, 1170–1174. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2509>
- Ladrón de Guevara, O., Padilla, P., García, L., Pino, J.M., Ramos-Elorduy, J., 1995. Amino acid determination in some edible Mexican insects. *Amino Acids*. 9(2), 161–173. <https://doi.org/10.1007/BF00805837>
- Lanch, L., Parr, C.L., Abbott, K.L., 2010. *Ant Ecology*, *Ant Ecology*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199544639.001.0001>
- Landero-Torres, I., Murguía-González, J., Ramos-Elorduy, J., 2005. Estudio etnográfico sobre el consumo de las “chicatanas” (Hymenoptera: Formicidae) en Huatusco, Veracruz, México. *Folia Entomológica Mexicana*. 44(2), 109–113.

- Lanza, J., Vargo, E.L., Pulim, S., Yu Zong Chang, 1993. Preferences of the fire ants *Solenopsis invicta* and *S. geminata* (Hymenoptera: Formicidae) for amino acid and sugar components of extrafloral nectars. *Environmental Entomology*. 22, 411–417. <https://doi.org/10.1093/ee/22.2.411>
- Lara-Juárez, P., Aguirre, J.R., Castillo, P., Reyes, J.A., 2015. Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana*. 31(2), 251–264.
- Lenhart, P.A., Eubanks, M.D., Behmer, S.T., 2015. Water stress in grasslands: Dynamic responses of plants and insect herbivores. *Oikos* 124, 381–390. <https://doi.org/10.1111/oik.01370>
- LLames, C.R., Fontaine, J., 1994. Determination of amino acids in feeds. *Journal of AOAC*. 77, 1362–1402.
- Luna-Cavazos, E., Romero-Manzanares, A., Moya, G., 2007. Distribución geográfica y ecológica de papas silvestres (*Solanum* L.) del altiplano Potosino-Zacatecano, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(1), 35–41. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2006.03.016>
- McKey, D. and Meunier, L., 1996. Évolution des mutualismes plantes-fourmis: quelques éléments de réflexion. *Actes des Colloques sur les Insectes Sociaux*. 10, 1–9.
- Melo, V., Garcia, M., Sandoval, H., Jiménez, H.D., Calvo, C., 2011. Quality proteins from edible indigenous insect food of Latin America and Asia. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 23, 283–289.
- Melo-Ruíz, V., 1994. Reproducción de escamoles en Milpa Alta. Departamento de Sistemas Biológicos, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Xochimilco).
- Melo-Ruiz, V., Quirino-Barreda, T., Calvo-Carrillo, C., Sánchez-Herrera, K., Sandoval-Trujillo, H., 2013b. Assessment of nutrients of escamoles ant eggs *Liometopum apiculatum* M. by spectroscopy methods. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 7, 1181–1187.
- Melo-Ruíz, V., Sánchez-Herrera, K., Sandoval-Trujillo, H., Díaz-García, R., Quirino-Barreda, T., 2016. Influence of environmental conditions on insect reproduction and chemical composition of escamoles (*Liometopum apiculatum* M). *Journal of Insects as Food and Feed* 2, 61–65. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0093>
- Melo-Ruíz, V. Sánchez-Herrera, K., Sandoval-Trujillo H., Quirino-Barreda T., Calvo-Carrillo C., 2013a. Lipids Data Composition of Edible Ant Eggs *Liometopum apiculatum* M. Escamoles. *Journal of Life Sciences* 7(5), 547-552.
- Miranda Román, G., Quintero Salazar, B., Ramos Rostro, B., Olgún-Arredondo, H.A., 2011. La recolección de insectos con fines alimenticios en la zona turística de Otumba y Teotihuacán, Estado de México. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural* 9(1), 81–100. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2011.09.008>

- Molleman, F., 2010. Puddling: From natural history to understanding how it affects fitness. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2009.00938.x>
- Morales de León, J., Camacho, M.E., Bourges, H., 2005. Amino acid composition of some Mexican foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 55, 172–186.
- Neto, E.M.C., Ramos-Elorduy, J., 2006. Los insectos comestibles de Brasil: Etnicidad, diversidad e importancia en la alimentación. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*. 38, 423–442.
- Palmquist, D.L., Jenkins, T.C., 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*. <https://doi.org/10.1021/jf00084a019>
- Portha, S., Deneubourg, J.L., Detrain, C., 2004. How food type and brood influence foraging decisions of *Lasius niger* scouts. *Animal Behaviour*. 68, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2003.10.016>
- Prosser, W.A., Simpson, S.J., Douglas, A.E., 1992. How an aphid (*Acyrtosiphon pisum*) symbiosis responds to variation in dietary nitrogen. *Journal of Insect Physiology*. 38, 301–307. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(92\)90130-6](https://doi.org/10.1016/0022-1910(92)90130-6)
- Ramos Elorduy de Conconi, J., Gonzalez Mesa, O., 1981. Digestibilidad in vitro de algunos insectos comestibles en México. *Folia Entomológica Mexicana*. 49, 141–154.
- Ramos-Elorduy, J., Costa Neto, E.M., Cuevas Correa, M.S., García-Figueroa, J., Zentina, D.H., 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., Neto, E.M.C., Dos Santos, J.F., Moreno, J.M.P., Landero-Torres, I., Campos, S.C.A., Pérez, Á.G., 2006. Estudio comparativo del valor nutritivo de varios coleoptera comestibles de México y *Pachymerus nucleorum* (Fabricius, 1792) (Bruchidae) de Brasil. *Interciencia*. 31(7), 512–516.
- Ramos-Elorduy, J., Pino Moreno, J.M., Morales de León, J., 2002. Análisis químico proximal, vitaminas y nutrimentos inorgánicos de insectos consumidos en el Estado de Hidalgo, México. *Folia Entomológica Mexicana*. 41(1), 15–29.
- Rostro, B.R., Salazar, B.Q., Ramos-Elorduy, J., Moreno, J.M.P., Campos, S.C.A., Pérez, A.G., García, V.D.B., 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.
- Rzedowski, J., 2006. Matorral xerófilo, in: *La Vegetación de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 504. http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Sandoval, J., Melo-Ruiz, V., Pérez- Santiago, D., Calvo-Carrillo, C., 2010. Contenido de Proteínas y Aminoácidos en escamoles (*Liometopum Apiculatum*) capturados en el estado de Hidalgo. *Revista salud pública y nutrición*. 10.

SAS Institute SAS/. (n.d.). user's guide, statistics, version 9.4. SAS Institute Cary, NC.

Sasaki, T., Ishikawa, H., 1993. Nitrogen Recycling in the Endosymbiotic System of the Pea Aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *Zoological science*. 10, 779–785.

Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. and Vantomme, P., 2013. Edible insects. Future prospects for food and feed security, FAO, Rome, Italy, pp. 201. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Velasco, C., Corona-Vargas, M., Peña-Martinez, R., 2007. *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) y su relacion trofobiotica con Hemiptera Sternorrhyncha en Tlaxco, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 23(2), 31–42.

Way, M.J., 1963. Mutualism Between Ants and Honeydew-Producing Homoptera. *Annu. Annual Review of Entomology*. 8, 307–344. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.08.010163.001515>

WHO/FAO/UNU Expert Consultation, 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition. World Health Organ. Tech. Rep. Ser. 1–265. [https://doi.org/ISBN 92 4 120935 6](https://doi.org/ISBN%209241209356)

Woodring, J., Widemann, R., Fischer, M.K., Hoffmann, K.H., Völkl, W., 2004. Honeydew amino acids in relation to sugars and their role in the establishment of ant-attendance hierarchy in eight species of aphids feeding on tansy (*Tanacetum vulgare*). *Physiological Entomology*. 29, 311–319. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6962.2004.00386.x>

CAPÍTULO II. DENSIDAD DE NIDOS DE *Liometopum apiculatum* Mayr POR TIPO DE VEGETACIÓN Y SU ASOCIACIÓN CON VARIABLES DEL HÁBITAT EN EL CENTRO-NORTE DE MÉXICO.

Resumen

Un insecto de interés económico y ecológico en el centro-norte de México es *Liometopum apiculatum* Mayr. Esta hormiga ha estado sujeta a la sobreexplotación de sus larvas con fines alimenticios para el hombre. A esta problemática se le suma la falta de conocimiento útil sobre la biología y ecología de la especie, que permita gestionar un aprovechamiento racional de sus larvas. El objetivo de esta investigación fue estimar la densidad de nidos por tipo de vegetación e identificar las variables del hábitat con las que esta especie se asocia en el centro-norte de México. Con las coordenadas de 201 nidos y una capa de vegetación y uso del suelo, se obtuvo un mapa de distribución de la hormiga, clasificado en tres tipos de vegetación, matorral crasicaule (MC), matorral desértico micrófilo (MDM) y matorral desértico rosetófilo (MDR). Al mapa de distribución se le construyó una malla cuadrículada (celda de un tamaño de 200 x 200 m) y aplicando un diseño aleatorio estratificado, se obtuvieron 27 celdas de muestreo (MC = 16, MDM = 7 y MDR = 4). A las celdas, se le trazaron líneas centrales (transectos) y se cargaron a un GPS. En enero y febrero de 2016, se localizaron y establecieron los transectos (líneas de 200 m de longitud) para determinar la densidad de nidos de la *L. apiculatum*. Asimismo, a lo largo de estos transectos, se identificaron cinco sitios de evaluación (parcelas circulares de 20 m de diámetro) de 18 variables del hábitat a 0, 50, 100, 150 y 200 m. La densidad de nidos se evaluó contando los nidos a lo largo de los 27 transectos, considerando los nidos presentes a 100 m del lado izquierdo y a 100 m del lado derecho de la línea central del transecto. La información del número de nidos por tipo de vegetación se utilizó para determinar su densidad por tipo de vegetación con el Criterio de Información del Mínimo Akaike (AIC) a través del Distance 7.1 Release 1. La identificación de las variables del hábitat que más se asocian con la presencia de nidos de *L. apiculatum* se realizó mediante un Análisis Canónico de Correspondencias (ACC). La densidad de nidos fue de 4.8 nidos ha⁻¹ en matorral crasicaule, 2.2 nidos ha⁻¹ en matorral desértico micrófilo y

2.2 nidos ha⁻¹ en matorral desertico rosetofilo. El ACC identificó una asociación importante de las siguientes variables del hábitat con la presencia de *L. apiculatum*: dirección de la pendiente, roca, suelo desnudo y el tipo de suelo Leptosol éutrico + Leptosol lítico de textura media. La presencia de nidos de *L. apiculatum* se puede asociar con la disponibilidad de recursos en cada tipo de vegetación. Esta investigación complementa la información sobre la ecología de *L. apiculatum* por tipo de vegetación en el centro-Norte de México.

Palabras clave: matorral, actividad de forrajeo, asociación ecológica, ambiente

Density of nests of *Liometopum apiculatum* Mayr by vegetation type and its association with habitat variables in north-central Mexico.

Abstract

An insect of economic and ecological interest in north-central Mexico is *Liometopum apiculatum* Mayr. This ant has been subject to overexploitation of its larvae for food purposes. This overexploitation is due to the lack of useful knowledge about the biology and ecology of the species for the rational use of its larvae. The objective of this research was to estimate the density of nests by vegetation type and to identify the habitat variables with which this species is associated in north-central Mexico. With the coordinates of 201 nests and a layer of vegetation and land use, a distribution map of the ant was obtained, classified into three types of vegetation, crassicaule scrub (CS), desert microphyll scrub (DMS) and desert rosetophyll scrub (DRS). A grid (cell of a size of 200 x 200 m) was built into the distribution map and, applying a stratified random design, 27 sampling cells were obtained for each vegetation type (CS = 16, DMS= 7 and DRS = 4). The central lines (transects) were drawn to the cells and loaded onto a GPS. In January and February 2016, the transects (200 m long lines) were located and established to determine the density of nests of *L. apiculatum*. Also, along these transects, five evaluation sites (20 m diameter circular plots) of 18 habitat variables at 0, 50, 100, 150 and 200 m were identified. The density of nests was evaluated by counting the nests along the 27 transects, considering the nests present at 100 m from the left side and 100 m from the right side of the center line of the transect. The information on the number of nests by vegetation type was used to determine its density by vegetation type with the Minimum Akaike Information Criterion (AIC) through Distance 7.1 Release 1. The identification of habitat variables that are most associated with the presence of nests of *L. apiculatum* was performed through a Canonical Correspondence Analysis (ACC). The density of nests was 4.8 nests ha⁻¹ in CS, 2.2 nests ha⁻¹ in DMS and 2.2 nests ha⁻¹ in DRS. The ACC identified an important association of the following habitat variables with the presence of *L. apiculatum*: direction of the slope, rock, bare soil and soil type Leptosol eutric + lytic Leptosol of medium texture. The presence of nests of *L. apiculatum* can be associated with the availability of resources

in each type of vegetation. This research complements the information on the ecology of *L. apiculatum* by vegetation type in north-central Mexico.

Key words: scrub, foraging activity, ecological association, environment

Introducción

Las hormigas son insectos sociales que se distribuyen en diversos ecosistemas (Szewczyk y McCain, 2018). Uno de estos insectos es *Liometopum apiculatum* Mayr, la cual ha tenido éxito en colonizar entornos en vegetación riparia, bosque de pino y matorrales xerófilos en América del Norte (Lara-Juárez, *et al.*, 2015). En México *L. apiculatum* se distribuye en 19 estados y esta presente en desiertos y selvas (Del Toro *et al.*, 2009; Alatorre-Bracamontes y Vásquez-Bolaños, 2010; Lara-Juárez, *et al.*, 2015). En las zonas semiáridas *L. apiculatum* se le ubica desde los 1800 a 3000 m, en nidos subterráneos (Melo-Ruiz *et al.*, 2016) distribuida en matorral crasicaule, matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Figueroa-Saldoval *et al.*, 2018). Como a otras especies de hormigas, anidar en el suelo le ofrece a *L. apiculatum* un microhabitat apto para la cría de sus larvas y dar refugio a una población de hasta 250 000 individuos por nido (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013; De Carvalho Guimarães *et al.*, 2018). En los estados de San Luis Potosí y Zacatecas *L. apiculatum* anida en la base de *Agaves* spp. *Opuntia* spp. y *Yucca* spp. (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Hernández-Roldan *et al.*, 2017; Figueroa-Sandoval *et al.*, 2018), donde se encuentran hemípteros de los cuales se alimenta vía trofobiosis (Velasco *et al.*, 2007; Cruz-Labana *et al.*, 2018). Las características del hábitat donde la hormiga anida tiene coberturas de suelo rocoso del 12.1-13.8%, suelo desnudo del 26-56.4%, área basal (vegetación) de 14.6-16.3%, mantillo 46.9-11.7% y condiciones favorables y desfavorables en áreas de matorral desértico (Lara-Juárez *et al.*, 2016). La interacción de las coberturas del suelo, las plantas donde anida y la disponibilidad de alimento (hemípteros) y otras variables del hábitat son importantes para sus poblaciones (Cruz-Labana *et al.*, 2014; 2018; Lara-Juárez *et al.*, 2016; Hernández-Roldan *et al.*, 2017). Por ejemplo, en matorral xerófilo se han documentado 3.8 nidos ha⁻¹, de 2.25-4.14 nidos ha⁻¹ (conservados y perturbados), e incluso alcanzan densidades de 14 nidos ha⁻¹ (Lara-Juárez *et al.*, 2016; Hernández-Roldan *et al.*, 2017; Figueroa-Sandoval *et al.*, 2018).

Los ecosistemas semiáridos del centro-norte de México donde *L. apiculatum* se distribuye, son agostaderos de uso agrícola y ganadero, con actividades diversificadas como la explotación de *Agave* spp. con fines comerciales (Lara-Juárez *et al.*, 2016; Hernández-Roldan *et al.*, 2017). En este escenario, la casta reproductora (escamoles) es

extraída en exceso con fines alimenticios (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006; Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010). La recolecta de las larvas de *L. apiculatum* en zonas rurales de alta marginación, representa ingresos económicos complementarios (Melo-Ruiz *et al.*, 2016), lo que ha ocasionado una sobreexplotación de este recurso natural. Esta tendencia se agrava por otros factores, como la ausencia de directrices legales para la extracción de escamoles (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006), prácticas de recolecta no estandarizadas y a la falta de información sobre la ecología y biología de esta hormiga. Por ello, el objetivo de esta investigación fue estimar la densidad de nidos por tipo de vegetación e identificar las variables del hábitat asociadas con la presencia de nidos para complementar la información existente sobre *L. apiculatum* en el centro-norte de México y contribuir con su aprovechamiento racional. Se esperaba una variación significativa en la densidad de nidos de *L. apiculatum* por tipo de vegetación.

Materiales y métodos

El área de estudio se ubicó en los límites de San Luis Potosí y Zacatecas, al noroeste de la región del altiplano mexicano. Específicamente en las comunidades de Villas de Ahualulco (22° 26' 56.53" N y 101° 13' 29.84" O), Ipiña, (22° 27' 1.40" N y 101° 18' 35.15" O) y Santa Teresa (22° 20' 9.71" N y 101° 21' 48.70" O) en el municipio de Ahualulco, así como en las comunidades de Tolosa (22° 30' 18.05" N y 101° 22' 4.94" O) y Santiago (22° 27' 49.99" N y 101° 27' 50.06") en el municipio de Pinos Zacatecas, y dos predios privados (22° 37' 59.664" N y 101° 58' 57.042" O y 22° 38' 16.37" N y 101° 58' 7.735") pertenecientes al municipio de Villa González Ortega Zacatecas (Figura 3).

La región está constituida por serranías, planicies y valles, con altitudes entre los 1 000 y 2 500 msnm (Hernández-Oria, 2010). El clima es semiárido con clasificaciones BS-BW, pasando por los subtipos BS-1kw como templado, BS1 el menos seco y BS0 como el más seco; con una precipitación promedio anual de 240 a 770 mm con lluvias en verano (Cuanalo *et al.*, 1989; García, 1998, INEGI, 2013). La vegetación corresponde, en su mayoría, a matorral crasicaule (MC) con especies como *Opuntia. rastrera*, *O. imbricata*, *O. tunicata*, *Yucca Carnerosana* y *Y. filifera*; matorral desértico micrófilo (MDM) con colonias de *Larrea tridentata* (Luna-Cavazos *et al.*, 2007) y matorral desértico

rosetófilo (MDR) con *Agave salmiana*, *Y. carnerosana* y *Y. filifera* como las especies más comunes (Rzedowski, 2006).

Para estimar la densidad de nidos de *L. apiculatum* por tipo de vegetación, durante enero y febrero de 2016, se realizaron recorridos de campo en el área de estudio y con el apoyo de guías locales se registraron 201 nidos a los cuales se les determinaron sus coordenadas. Con esta información y un Sistema de Información Geográfica, ArcMap 10.5.1, (ESRI, 2017) se crearon los puntos espaciales de los nidos, y se proyectaron en un mapa de vegetación y uso de suelo a una escala de 1: 250 000 (Figura 3).

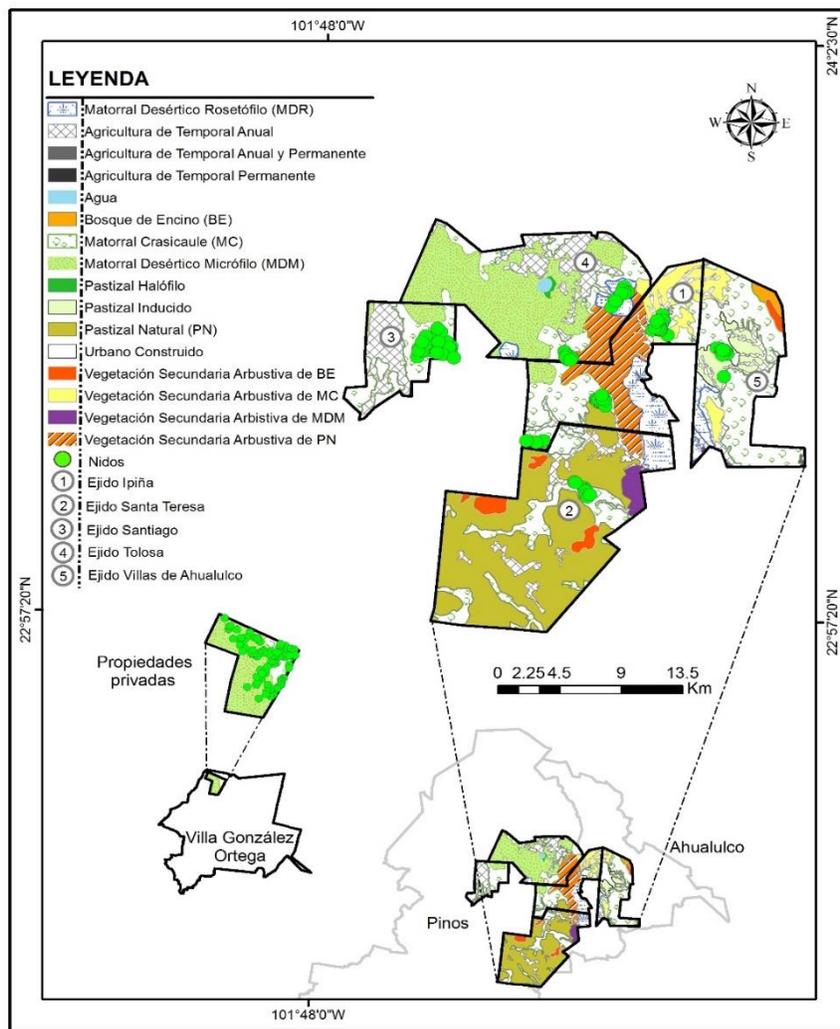


Figura 3. Distribución de nidos de *L. apiculatum* por tipo de vegetación y uso del suelo en el centro-norte de México (elaboración propia con ArcMap 10.5.1).

Con el mapa de distribución de nidos de la hormiga (Figura 3), se eligieron los tipos de vegetación que contuvieran el mayor número de éstos. De acuerdo a este criterio, se superpusieron los puntos espaciales de los nidos y se construyeron mallas cuadriculadas, formadas por celdas de 200 x 200 m, estratificando el área de estudio en MC (87 celdas), MDM (35 celdas) y MDR (18 celdas) (Figura 4).

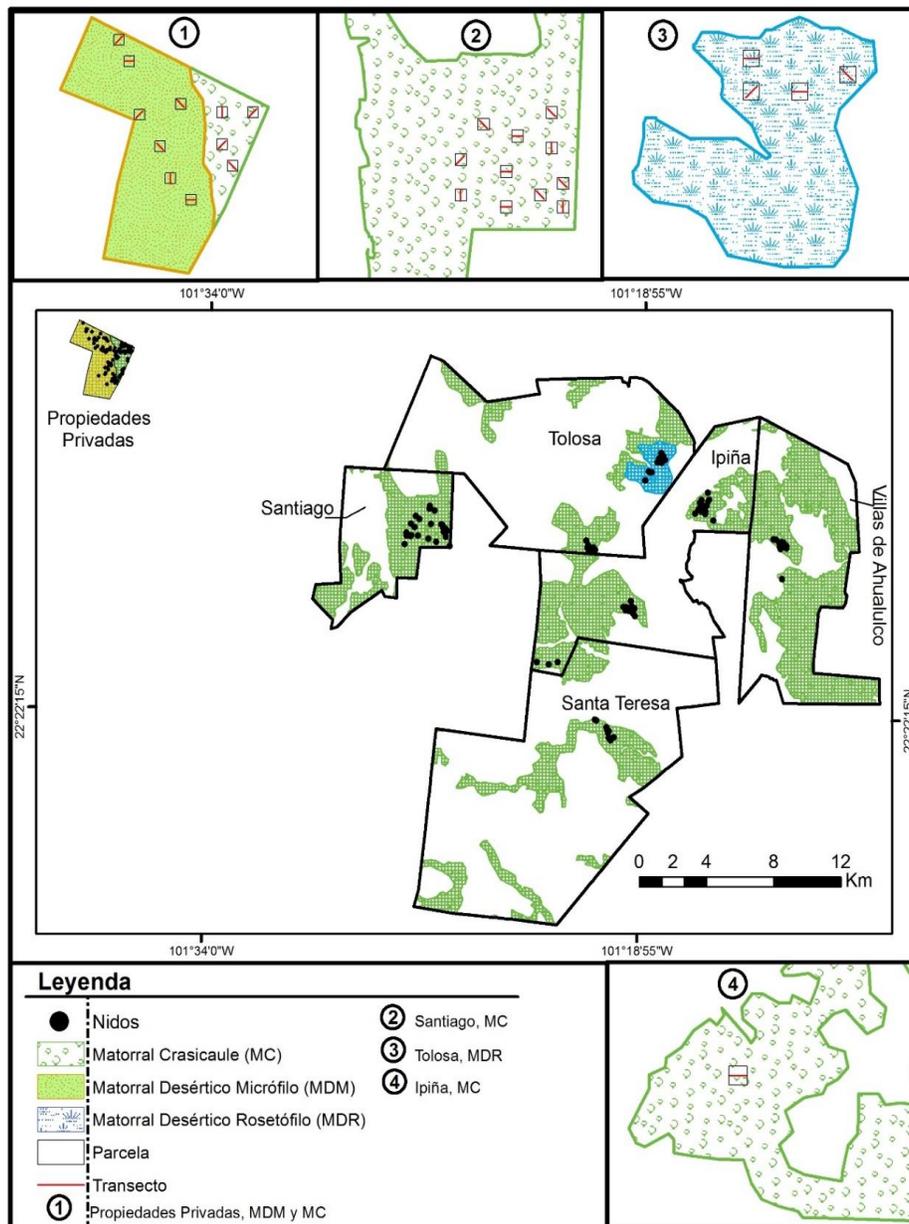


Figura 4. Distribución de nidos de *L. apiculatum* en MC, MDM y MDR, celdas y transectos de muestreo utilizados para determinar la densidad de sus nidos y medir las variables del hábitat en el centro-norte de México (elaboración propia con ArcMap 10.5).

Para determinar la densidad de nidos y medir las variables del hábitat, se utilizó la información geoespacial de la Figura 4 y se transformó en un archivo Excel 2016 (Microsoft, 2016). Con esta información se obtuvo una base de datos, a la cual se le contabilizó el número de nidos por celda y se estimó su varianza poblacional por tipo de vegetación; asimismo, se aplicó un muestreo aleatorio estratificado con asignación proporcional al número de nidos por tipo de vegetación (MC, MDM y MDR) y se obtuvo un tamaño de muestra de 27 celdas de muestreo (MC=16, MDM=7 y MDR=4). Los cálculos se realizaron en Excel, con una probabilidad del 95% y un error estándar del 0.2% (Rendón, 1994; Scheaffer, *et al.*, 2007).

Previo a la ejecución del muestreo, a las 27 celdas seleccionadas (diseño estratificado) se les dibujó una línea de 200 m (transecto) en una dirección aleatoria (cardinales; N, S, E, O; ordinales; NO, NE, SO y SE; Figura. 4) la cual sirvió para determinar la densidad de nidos y evaluar las 18 variables del hábitat (Cuadro 6) asociadas a la presencia de *L. apiculatum* por tipo de vegetación, estas evaluaciones se realizaron durante diciembre 2016 y enero 2017.

La densidad de nidos se estimó a lo largo 16 transectos en MC, 7 en MDM y 4 en MDR, el conteo de nidos se realizó considerando 100 m a la izquierda y 100 m a la derecha de la línea central de transecto y registrando sus distancias perpendiculares a dicha línea. La densidad de nidos se calculó con el programa Distance 7.2 Release 1 (Thomas *et al.*, 2010) seleccionando el mejor modelo, mediante el criterio de clasificación del mínimo Akaike (Burnham y Anderson, 2004).

La evaluación de las variables del hábitat asociadas a la presencia de *L. apiculatum* se realizó en parcelas circulares de 20 m de diámetro a 0, 50, 100, 150 y 200 m, complementando el muestreo con la estimación de la cobertura del suelo a través de líneas de Canfield de 10 m de largo establecidas en cuatro direcciones, Norte, Sur, Este y Oeste (Figura 5) (Canfield, 1941; Hernández-Roldan *et al.*, 2017).

Cuadro 6. Variables del hábitat evaluadas en celdas aleatorias por tipo de vegetación (MC, MDM y MC), en el centro-norte de México.

Variable	Método de evaluación
Tipo de vegetación (INEGI, 2013)	El área de estudio se estratificó tomando como criterio la mayor concentración de nidos por tipo de vegetación
Elevación	GPS (GPSmap® 60CSx)
Pendiente (%)	Clinómetro (Sunto clinometer®)
Dirección de la pendiente	Brújula (Brunton compass®)
Tipo de suelo	Sobreposición de la capa de serie edafológica (INEGI, 2007) con las celdas de muestreo
Cobertura del suelo: herbáceas, pasto, suelo desnudo, roca, material leñoso, arbustivas, cactáceas y rosetófilas	Líneas de Canfield de 10 m (Canfield (1941), distribuidas a lo largo de los transectos a 0, 50, 100, 150 y 200 m en cuatro direcciones (N, S, E y O) (Figura 5).
Número de plantas <i>Agave</i> spp., <i>Opuntia</i> spp., <i>Yuca</i> spp., <i>Acacia farnesiana</i> y <i>Proposis Glandulosa</i>	Conteo de plantas a lo largo de las líneas de Canfield establecidas en las parcelas circulares ($\varnothing = 20$ m)

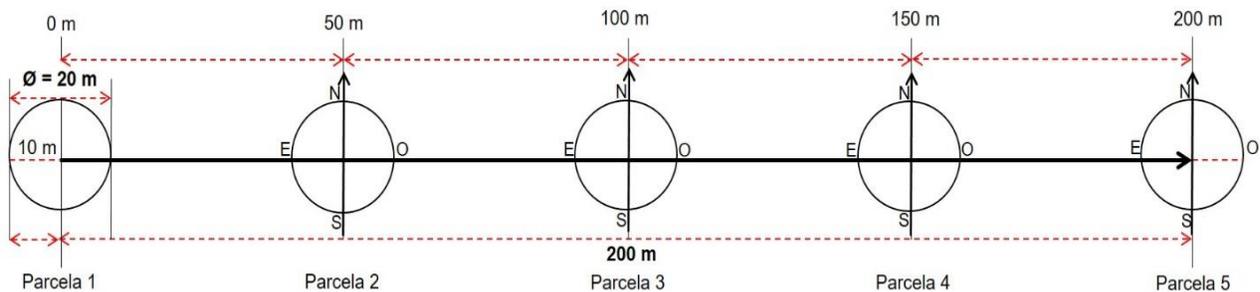


Figura 5. Parcelas circulares distribuidas a lo largo del transecto 200 m para la medición de las variables del hábitat por tipo de vegetación en el centro-norte de México.

Para identificar las variables que están más relacionadas con la presencia de nidos de *L. apiculatum*, se usó un Análisis Canónico de Correspondencias (ACC) con el software XLSTAT 2018.5 (2018).

Resultados y discusión

Densidad de nidos

La densidad de nidos de *L. apiculatum* en MC fue 4.8, en MDM de 2.2 y en MDR fue de 2.2 nidos ha⁻¹ ($\alpha = 0.05$, AIC = 2.72). Al respecto, Lara-Juárez *et al.* (2016) reportó densidades de 1.9, 2.4 y 7.4 nidos⁻¹ clasificando éstas como densidades registradas en sitios con condiciones desfavorables, regulares y favorables, respectivamente. Las diferencias en la densidad de hormigueros de *L. apiculatum* en diferentes tipos de vegetación, puede deberse, a que las plantas regulan la cantidad y composición de los recursos disponibles en la biota del suelo (Wardle *et al.*, 2004). Uno de estos recursos es el alimento, por ejemplo, se ha reportado que *Cylindropuntia imbricata* (Haw.) le ofrece néctares extraflorales a *L. apiculatum* (Miller, 2007). También se puede suponer que la densidad de nidos se ve afectada por las interacciones tróficas con las plantas (planta-hormiga). A manera de ejemplo, *L. apiculatum* controla la población de hemípteros de los que se alimenta (vía trofobiosis), a cambio las plantas obtienen como beneficio un control de plagas. Este comportamiento ya ha sido descrito por Rosumek *et al.* (2009) y Wurst *et al.* (2018), estos autores mencionan que los formícidos reducen la población de nematodos que se alimentan de las plantas, por lo que plantas libres de hormigas tienen un 50% más herbivoría, comparado con plantas que crecen con hormigas. La depredación que ejercen los artrópodos considerados plaga, afecta el rendimiento de las plantas (reducción en la producción de biomasa hasta un 24%) con efectos de cascada en diferentes niveles tróficos (Rosumek *et al.*, 2009; Wurst *et al.*, 2018). Eventos antrópicos pueden causar altos niveles de infestación por hemípteros, lo que puede perjudicar la producción de biomasa en las plantas y cambios en la estructura de la vegetación, lo cual puede afectar de forma adversa la densidad de nidos de hormigas.

Las actividades antrópicas que se realizan en las zonas semiáridas del centro de México son la agricultura, la ganadería, la extracción de leña y la producción de mezcal, lo que ha provocado una disminución en la estructura de la vegetación (Lara-Juárez *et al.*, 2016; Hernandez-Roldan *et al.*, 2017; Ríos-Casanova *et al.*, 2012), en detrimento de las poblaciones de *L. apiculatum*. Dos estudios de densidad de nidos de hormiga en

zonas semidesérticas con diferentes tipos de vegetación (MC, MDM y MDR) y dos usos de la tierra (propiedad privada y ejidal) reportan en promedio una densidad de 3.8 con un mínimo de 2.7 (Hernández-Roldan *et al.*, 2017) y 6.8 nidos ha⁻¹ (Cruz-Labana *et al.*, 2014) Esta diferencia en las densidades, puede deberse a efectos de sitio y la condición del hábitat, así como la historia del uso de las tierras (Lara-Juárez *et al.*, 2016). La agricultura y la ganadería han provocado cambios en el componente edáfico, como el aumento de suelo desnudo, mayor susceptibilidad a la erosión y mayor radiación solar (Ríos-Casanova *et al.*, 2012) lo que puede afectar de forma negativa la actividad de forrajeo de las hormigas y como consecuencia la densidad de los hormigueros.

VARIABLES DEL HÁBITAT ASOCIADAS A LA PRESENCIA DE NIDOS

Los primeros dos ejes del ACC alcanzó valores propios de 0.188 y 0.094, lo que explica el 93.60% de la varianza acumulada de la presencia de los nidos y su asociación con el tipo de vegetación (Figura 6). Las inercias entre los ejes, indican que el análisis dimensional es un buen predictor entre las relaciones de las variables del hábitat, número de plantas y los sitios de muestreo.

El ACC muestra que las variables asociadas a la presencia de nidos por tipo de vegetación (MC, MDM y MDR) son dirección de la pendiente, roca, suelo desnudo y la unidad de suelo Leptosol éútrico + Leptosol lítico de textura media.

Dirección de la pendiente

En los sitios de muestreo, la dirección de la pendiente noroeste fue la más frecuente, esto concuerda con lo observado por Rafael-Valdez *et al.* (2019) quienes ubican la dirección noroeste como un rumbo habitual en los caminos de forrajeo de *L. apiculatum* en un matorral desértico micrófilo. Es posible que esta dirección se asocie a los procesos de regulación térmica en el interior de los nidos. Los factores microclimáticos, causados por la actividad de las hormigas, deben proporcionar rangos de temperatura y humedad que faciliten el cuidado de las larvas y aseguren su crecimiento (Römer *et al.*, 2018). En este sentido, se ha documentado que la temperatura y humedad relativa (anual) en el interior de los nidos (trabéculas) de *L. apiculatum* en matorral xerófilo son mayores (21 °C y 90%, respectivamente) a las registradas en el ambiente (18 °C y 53%) (Cruz, 2013); es muy probable que la hormiga cree un microclima favorable para el desarrollo de sus larvas.

En otros formicidos se ha reportado, que la dirección en la inclinación del terreno, ofrece mayores oportunidades para aprovechar la luz solar. Las hormigas, como organismos termófilos usan esta energía en la búsqueda de alimentos (Wynhoff *et al.*, 2011; Sondej *et al.*, 2018). Cedeño *et al.* (1999) estudiaron la distribución espacial de nueve especies de hormigas en un bosque lluvioso en Venezuela, donde obtuvieron mediciones de 227.1 W/m² (vatios por metro cuadrado) a una temperatura promedio anual de 26 °C en sitios ubicados en laderas con dirección noroeste. Los formicidos encontrados en estos sitios, tienen relaciones abióticas (anidación, obtención de alimento, dispersoras de semillas y afectaciones en el flujo de nutrientes, entre otras) con cuatro familias de plantas, Araceae, Bromeliaceae, Cactaceae y Gesneriaceae.

Los resultados de Cedeño *et al.* (1999) tienen cierta similitud a lo señalado por Hernández, (2018) quien reportó que *L. apiculatum*, en un matorral crasicale, recorre sus caminos de forrajeo con una radiación solar promedio de 282 W/m² y una temperatura de 17 °C, es posible que la dirección noroeste, le ofrezca a la hormiga condiciones adecuadas para desplazarse a sus zonas de alimentación sin enfrentar algún riesgo de deshidratación. Estudios recientes identifican la presencia de *L. apiculatum* en una orquídea (*Ponthieva schaffneri*), es posible que esta especie le ofrezca un recurso de

forrajeo y un refugio a la hormiga, mientras que la epífita tal vez se vea beneficiada al ser polinizada (Hernández-López *et al.*, 2017).

Roca

El suelo rocoso ofrece cobertura térmica a *L. apiculatum* en las horas del día con temperaturas más altas (Mackay y Mackay, 2002). Al respecto, Hoey-Chamberlain *et al.* (2013) describe que la actividad de forrajeo de *L. apiculatum* se inhibe a temperaturas de ≤ 8 °C a ≥ 38 °C. En este sentido se puede inferir que las hormigas encuentran en las rocas un refugio temporal de las temperaturas altas durante la actividad forrajera.

En insectos sociales se ha identificado que las feromonas son el atrayente para reconocer sus caminos de forrajeo (Gunstone *et al.*, 1979; Bell y Cardé, 1984). En el caso de *L. apiculatum* el rastro de acetaldehído (Hernández, 2018) es el compuesto orgánico volátil que determina los patrones de forrajeo, mismo que se refuerza con el tránsito continuo de las hormigas. Sin embargo, el acetaldehído es susceptible a volatizarse en el ambiente a 20.5 °C y la temperatura de suelo en los caminos de forrajeo de *L. apiculatum* alcanzan temperaturas mayores de 38 °C. Es posible que durante las horas del día con temperatura más elevadas *L. apiculatum* simule el comportamiento de *Temnothorax albipennis* y use las rocas del terreno como puntos de referencia panorámica durante sus traslados del nido hacia los sitios de alimentación y viceversa (Hunt *et al.*, 2018).

Suelo desnudo

Se identificó al suelo desnudo como una variable frecuente que interactúa con la distribución de *L. apiculatum* por tipo de vegetación. Este resultado es similar a lo descrito por Cruz-Labana *et al.* (2014) y Hernández-Roldán *et al.* (2017) quienes señalan que, al aumentar las áreas de suelo desnudo, disminuye la posibilidad de encontrar nidos de hormiga. Un terreno con estas características puede provocar un efecto negativo en los patrones de forrajeo, la falta de protección a altas temperaturas, disminuye el rendimiento de las obreras en la obtención de alimento, en detrimento del desarrollo y producción de

larvas (Ramos-Elorduy *et al.*, 1986). Voung *et al.* (2018) mostraron, con un algoritmo de optimización de colonias de hormigas, que los formícidos buscan la ruta más corta (optima) del nido a la fuente de alimentación siguiendo un rastro de feromonas. *L. apiculatum* tiene varios caminos de forrajeo, los cuales se dirigen en diferentes direcciones (Rafael-Valdez *et al.*, 2019), es probable que las hormigas fijen un rumbo en el terreno desnudo, por representar la ruta optima a las fuentes de alimentación en un horario donde la temperatura no afecte su organismo y el rastro de feromona sea perceptible.

Tipo de suelo

El ACC asoció el tipo de suelo leptosol éútrico como una variable importante para la presencia de nidos. Muchas especies de formícidos construyen sus nidos en el suelo, ya que les provee un hábitat necesario para el desarrollo de las larvas, además de ofrecerles cobertura de protección a sus castas (Halboth y Roces, 2017).

La información de *L. apiculatum* y su relación con el componente edáfico es escasa. No obstante, se tiene conocimiento que, al inicio de la excavación y posterior fundación del nido por la reina, es en un suelo humedecido (Ramos-Elorduy *et al.*, 1984a, 1984b). La arquitectura de los nidos depende del tipo de suelo, gradientes de humedad, propiedades texturales, disponibilidad del alimento y el aumento de tamaño del hormiguero (Espinoza y Santamarina, 2010; Kwapich *et al.*, 2018). Por ejemplo, *Atta sexdens rubropilosa* y *A. vollenweideri* prefieren los suelos húmedos por ser más fáciles de excavar (Roces y Kleineidam, 2000; Pielström y Roces 2014). La reina de *L. apiculatum* comienza la construcción de un nuevo nido con una cámara cónica de 4.0 a 5.5 de diámetro mayor, 3.5 a 4.5 cm de diámetro menor y 1.5 cm de altura (Ramos-Elorduy *et al.*, 1984b); es probable que las condiciones húmedas del suelo le faciliten excavar y transportar el material (agregados del tamaño de las mandíbulas) al exterior del nido.

Posterior a la fundación del nido, la primera y segunda generación de *L. apiculatum* (casta obrera) inician la construcción de la cámara de cría (trabécula) y la expansión del

nido. Espinoza y Santamarina (2010) mencionan que la textura es uno de los factores que impactan la arquitectura de los nidos de hormigas y los hábitos de excavación. En este sentido, se ha documentado que *L. apiculatum* selecciona suelos (además de ciertos materiales vegetales) con propiedades texturales de 50-70 % de arena, 10-35 % de limo, 15-20 % de arcilla y contenido de materia orgánica entre el 26 y 31% para construir sus trabéculas (Ramos-Elorduy *et al.*, 1984b).

Los principales tipos de suelos en el área de estudio fueron leptosol éútrico, leptosol cambisol, regosol calcárico y luvisol crómico. Este resultado es similar a lo reportado por Lara (2013), quien identificó a leptosol, feozem y regosol como las unidades de suelo que ocupan la mayor área en MC, MDM, MDM, chaparral, bosque de encino, bosque de pino y bosque de pino-encino, en nidos de *L. apiculatum* distribuidos en el altiplano potosino. Los leptosoles éútricos (alto porcentaje de saturación en la mayor parte del perfil) y cambisol (suelo poco desarrollado, suelo intermedio entre otras unidades de suelo) son suelos pocos profundos (< 25 cm), y presentan alta pedregosidad (Palma-López *et al.*, 2017). Los tipos leptosol, regosol y luvisol se identificaron con textura media, y se caracterizan por ser moderadamente compactos con presencia importante de terrones. Es posible que estas propiedades faciliten la construcción de cámaras, galerías y túneles, disminuyan el esfuerzo de remoción de tierra y escombros, además de brindar estabilidad en toda la arquitectura del nido de *L. apiculatum* (Lara, 2013).

Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue estimar la densidad de nidos por tipo de vegetación e identificar las variables del hábitat asociadas con la presencia de nidos. Se esperaba una variación significativa en la densidad de nidos de *L. apiculatum* por tipo de vegetación.

La densidad de nidos en matorral crasicaule fue de 4.8 nidos ha⁻¹, en matorral desertico micrófilo 2.2 nidos ha⁻¹ y en matorral desertico rosetófilo 2.2 nidos ha⁻¹. Las variables asociadas con la presencia de nidos de *L. apiculatum* por tipo de vegetación fueron la dirección de la pendiente, cobertura del suelo roca, suelo desnudo y el tipo de

suelo Leptosol éutrico + Leptosol lítico de textura media. La presencia de nidos de *L. apiculatum* puede estar relacionada con la disponibilidad de recursos en cada tipo de vegetación; asimismo, la capacidad de la hormiga para sobrevivir en las zonas aridas y semiáridas tiene que ver con su capacidad para crear condiciones micro ambientales necesarias para mantener sus poblaciones estables.

La densidad de los nidos de *L. apiculatum* sin duda esta disminuyendo por la explotación y extracción irracional de sus larvas. Esta situación se agudiza por la falta de legislación y normas técnicas que fijen tasas de aprovechamiento y estandarización de los procesos de extracción de las larvas.

La presente investigación complementa la información existente sobre la ecología de la especie, y puede ser utilizada para gestionar estrategias de aprovechamiento racional de las larvas de *L. apiculatum* y mantener en buen estado sus poblaciones.

Se recomienda que futuras investigaciones relacionen la densidad de nidos, las características del hábitat, la precipitación anual y el tamaño de los nidos de *L. apiculatum* con su producción de larvas, con la idea de generar paquetes tecnológicos y asesorar a los recolectores de escamoles en las zonas aridas y semiáridas del centro-norte de México.

Referencias

- Alatorre-Bracamontes, C. E., Vásquez-Bolaños, M. (2010). Lista comentada de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del norte de México. *Dugesiana*. 14(1), 9–36.
- Ambrosio Arzate, G. A., Nieto Hernández, C. R., Aguilar Medel, S., Espinoza Ortega, A. (2010). Los insectos comestibles: un recurso para el desarrollo local en el centro de México. *International EEAAE-SYAL Seminar-Spatial Dynamics in Agri-Food System*.
- Bell, W. J., C. R. T. (1984). *Chemical Ecology of Insects*. (S. S. Media, Ed.). Springer, Boston, MA. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3368-3>
- Burnham, K. P., Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods and Research*. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>
- Canfield, R. H. (1941). Application of the Line Interception Method in Sampling Range Vegetation. *Journal of Forestry*. <https://doi.org/10.1093/jof/39.4.388>
- Cedeño, A., Merida, T., Zegarra, J. (1999). Ant gardens of Surumoni, Venezuela. *Selbyana*. 20 (1), 125–132.
- Cruz, L. J. D. (2013). Variables del hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en el municipio de Charcas, San Luis Potosí, México. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 46 pp.
- Cruz-Labana, J. D., Crosby-Galván, M. M., Delgado-Alvarado, A., Alcántara-Carbajal, J. L., Cuca-García, J. M., Tarango-Arámbula, L. A. (2018). Nutritional content of *Liometopum apiculatum* Mayr larvae (“escamoles”) by vegetation type in north-central Mexico. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 21, 1239–1245. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2018.09.008>
- Cruz-Labana, J. D., Tarango-Arámbula, L. A., Alcántara-Carbajal, J. L., Pimentel-López, J., Ugalde-Lezama, S., Ramírez-Valverde, G., Méndez-Gallegos, S. J. (2014). Habitat use by the “escamolera” ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) in central Mexico. *Agrociencia*. https://doi.org/http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000600001
- Cuanalo de la C, H., Ojeda, T.E., Santos, O. A., Ortiz, S. C. (1989). Provincias, regiones y subregiones terrestres de México. Texcoco, Estado de México: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo.
- De Carvalho Guimarães, I., Pereira, M. C., Batista, N. R., Rodrigues, C. A. P., Antonialli, W. F. (2018). The complex nest architecture of the ponerinae ant *odontomachus chelifer*. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189896>

- Del Toro, I., Pacheco, J. A., Mackay, W. P. (2009). Revision of the ant genus *Liometopum* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*. <https://doi.org/www.csuchico.edu/biol/Sociobiology/sociobiologyindex.html>
- Espinoza, D. N., Santamarina, J. C. (2010). Ant tunneling—a granular media perspective. *Granular Matter*. <https://doi.org/10.1007/s10035-010-0202-y>
- ESRI. (2017). ArcGIS desktop: Release 10.5.1. Environmental System Research Institute, Redlands, CA.
- ESRI. (2017). ArcGIS desktop: Release 10.5.1. Environmental System Research Institute, Redlands, CA.
- Figueroa-Sandoval, B., Ugalde-Lezama, S., Pineda-Pérez, F. E., Ramírez-Valverde, G., Figueroa Rodríguez, K., Tarango-Arámbula, L. A. (2018). Producción de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr 1870) y su hábitat en el altiplano potosino-zacatecano, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 15(2), 235–245.
- García, E. (1998). Climas, escala 1:1 000 000. CONABIO.
- Gunstone, F. D. Baker, R., Evans, D. A. (1979). Insect pheromones and related behavior modifying chemicals. *Royal Society Of Chemistry*. 1, 102–127.
- Halboth, F., Roces, F. (2017). Underground anemotactic orientation in leaf-cutting ants: perception of airflow and experience-dependent choice of airflow direction during digging. *Die Naturwissenschaften*. <https://doi.org/10.1007/s00114-017-1504-2>
- Hernández, R. T. (2018). Compuestos orgánicos volátiles y factores ambientales en el hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr). Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, San Luis Potosí, México. 74 pp.
- Hernández-López, T., Coronado-Blanco, J. M., Dubovikoff, D. A., Ruiz-Cancino, E., Treviño-Carreón, J. (2017). Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) encontrada en tres orquídeas (Orchidaceae) de Miquihuana, Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.S)*. 33(2), 1–3.
- Hernández-Oria, J. G. (2010). Patrones de diversidad regional en las Cactaceae amenazadas del Desierto Chihuahuense, México. *Zonas Áridas*. 14(1), 35–49.
- Hernández-Roldan, E., Tarango-Arámbula, L.A., Ugalde-Lezama, S., Hernández-Juárez, A. C.-R. (2017). Hábitat y densidad de nidos de la Hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) en una UMA de Zacatecas, México. *Agroproductividad*. 10(5), 10–17.
- Hoey-Chamberlain, R., Rust, M. K., Klotz, J. H. (2013). A review of the biology, ecology and behavior of velvety tree ants of North America. *Sociobiology*. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v60i1.1-10>
- Hunt, E. R., Kendall, C., Stanbury, E., Sendova-Franks, A. B., Franks, N. R. (2018). Complementary landmarks facilitate ant navigation. *Behavioural Processes*. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2018.03.004>

- INEGI. (2007). Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 00, serie II. Continuo Nacional (San Luis Potosí). *Recursos Naturales*. Revisado en <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia/>
- INEGI. (2013). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala de 1: 250 000, serie V (capa unión), 2da edición. Revisado en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/Default.aspx>
- Kwapich, C. L., Valentini, G., Hölldobler, B. (2018). The non-additive effects of body size on nest architecture in a polymorphic ant. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0235>
- Lara, J. P. (2013). Etnobiología de escamoles (*Liometopum apiculatum*) en el altiplano potosino. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 103 pp.
- Lara-Juárez P., Aguirre, J. R., Castillo, P., Reyes, J. A. (2015). Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zool. Mexicana*. 31(2), 251–264. Revisado en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372015000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Lara-Juárez, P., Castillo-Lara, P., Tristán-Patiño, F. de M., Rendón-Huerta, J. A. Aguirre-Rivera, J. R. (2016). Range site and condition effects on “escamoles” ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) nest density. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 27(3). <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.04.016>
- Luna-Cavazos, E., Romero-Manzanares, A., Moya, G. (2007). Distribución geográfica y ecológica de papas silvestres (*Solanum L.*), del altiplano Potosino-Zacatecano, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(1), 35–41. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2006.03.016>
- Mackay, W. P., Mackay, E. E. (2002). The ants of New Mexico (Hymenoptera: Formicidae). The Edwin Mellen Press, Lewiston, Ny. 408 p.
- Melo-Ruíz, V., Sánchez-Herrera, K., Sandoval-Trujillo, H., Díaz-García, R., Quirino-Barreda, T. (2016). Influence of environmental conditions on insect reproduction and chemical composition of escamoles (*Liometopum apiculatum* M). *Journal of Insects as Food and Feed*. 2(1), 61–65. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0093>
- Miller, T. E. X. (2007). Does having multiple partners weaken the benefits of facultative mutualism? A test with cacti and cactus-tending ants. *Oikos*. <https://doi.org/10.1109/ICMIT.2006.262375>
- Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Morales-Garduza, M. A., López-Castañeda, A., Shirma-Torres, E. D. Sánchez-Hernández, R., Peña-Peña, A. J., Tinal-Ortiz, S. (2017). Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *Agroproductividad*. 10(12), 71–78.

- Pielström, S., Roces, F. (2014). Soil moisture and excavation behaviour in the chaco leaf-cutting ant (*Atta vollenweideri*): Digging performance and prevention of water inflow into the nest. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095658>
- Rafael-Valdez, J., Tarango-Arámbula, L. A., Ugalde-Lezama, S., Cadena-Iñiguez, J., Cruz-Labana, J. D. (2019). Áreas de forrajeo de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr, Hymenoptera: Formicidae) en Villa González Ortega, Zacatecas, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. En prensa.
- Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M., Conconi, M. (2006). Ausencia de una reglamentación y normalización de la explotación y comercialización de insectos comestibles en México. *Folia Entomológica Mexicana*. 45(3), 291–318.
- Ramos-Elorduy, J., Darchen, B., Flores, R. A., Sandoval, C. E., Cuevas, C. S. (1986). Estructura del nido de *Liometopum occidentale* var. *luctuosum* manejo y cuidado de estos en los núcleos rurales de México de las especies productoras de escamol (*L. apiculatum* M y *L. occidentale* var. *luctuosum* W.) (Hymenoptera-Formicidae). *Anales del Instituto de Biología. UNAM. Serie Zoología*. 57(2), 333–342.
- Ramos-Elorduy, J., Delage Darchen, B., Cuadriello Aguilar, J. I., Galindo Miranda, N., Pino Moreno, J. M. (1984a). Ciclo de vida y fundación de las sociedades de *Liometopum apiculatum* M (Hymenoptera, Formicidae). *Anales del Instituto de Biología. UNAM. Serie Zoología*. 54(1), 161–176.
- Ramos-Elorduy, J., Pino, M. J. M., Márquez, M. C., Rincón, V. F., Alvarado, P. M., Ecamilla, P. E., Bourges, R. H. (1984b). Protein content of some edible insects in Mexico. *Journal of Ethnobiology*. 4(1), 61–72.
- Rendón, S. G. (1994). *Muestreo*. “Aplicación en la estimación simultánea de varios parámetros” Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 246 p.
- Ríos-Casanova, L., Godínez-Álvarez, H. Martínez, M. G. (2012). Remoción de Semillas en Hábitats Transformados: *Pogonomyrmex barbatus* (Hymenoptera: Formicidae) Cinco Especies de Cactáceas del Centro de México. *Sociobiology*. 59(1), 49–65.
- Roces, F., Kleineidam, C. (2000). Humidity preference for fungus culturing by workers of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa*. *Insectes Sociaux*. <https://doi.org/10.1007/PL00001728>
- Römer, D., Halboth, F., Bollazzi, M., Roces, F. (2018). Underground nest building: the effect of CO₂ on digging rates, soil transport and choice of a digging site in leaf-cutting ants. *Insectes Sociaux*. <https://doi.org/10.1007/s00040-018-0615-x>
- Rosumek, F. B., Silveira, F. A. O., De S. Neves, F., Newton, N. P., Diniz, L., Oki, Y., Cornelissen, T. (2009). Ants on plants: a meta-analysis of the role of ants as plant biotic defenses. *Oecologia*. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1309-x>
- Rzedowski, J. (2006). Matorral xerófilo. In *La vegetación de México* (1ra. Edici, pp. 247–273). México, D. F., Revisado en

http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf

- Scheaffer, R., Mendenhall, W., Ott, L. (2007). Elementos de muestreo. *Editorial Paraninfo*. <https://doi.org/10.1080/13674670512331322612>
- Sondej, I., Domisch, T., Finér, L., Czechowski, W. (2018). Wood Ants in the Białowieża Forest and Factors Affecting their Distribution. 55, 103–114. [https://doi.org/10.5735/55,103–114](https://doi.org/10.5735/55,103-114). <https://doi.org/10.5735/086.055.0110>
- Szewczyk, T. M., McCain, C. M. (2018). Disentangling elevational richness: a multi-scale hierarchical Bayesian occupancy model of Colorado ant communities. *Ecography*. 42, 1–12. <https://doi.org/10.1111/e c og.0 4115>
- Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Burnham, K. P. (2010). Distance software: Design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x>
- Velasco, C., Corona-Vargas, M., Peña-Martínez, R. (2007). *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) y su relación trófica con Hemiptera Sternorrhyncha en Tlaxco, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.S)*. 23(2), 31–42. Retrieved from <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57523203>
- Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J. N., Setälä, H., Van Der Putten, W. H., Wall, D. H. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1094875>
- Wurst S., Sonnemann I., Z. J. G. (2018). Soil Macro-Invertebrates: Their Impact on Plants and Associated Aboveground Communities in Temperate Regions. In J. S. Ohgushi T., Wurst S. (Ed.), *Aboveground–Belowground Community Ecology* (pp. 175–200).
- Wynhoff, I., Gestel, R., Swaay, C., Langevelde, F. (2011). Not only the butterflies: managing ants on road verges to benefit *Phengaris* (Maculinea) butterflies. *Journal of Insect Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10841-010-9337-8>
- XLSTAT. Software estadístico para Excel. Paris: Addinsoft. Available in: <https://www.xlstat.com/es/>

CAPÍTULO III. VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO DE NIDOS DE LA HORMIGA *Liometopum apiculatum* Mayr POR TIPO DE VEGETACIÓN EN EL CENTRO-NORTE DE MÉXICO

Resumen

Algunos de los organismos que modifican las propiedades del suelo son las hormigas, las cuales son consideradas como ingenieros del hábitat. Estos insectos provocan alteraciones, físicas y químicas del suelo con la construcción de sus nidos y su actividad de forrajeo. El objetivo de esta investigación fue analizar las propiedades físicas y químicas del suelo de nidos de *L. apiculatum* y del suelo colectado en sitios aleatorios por tipo de vegetación en el centro-norte de México. Para determinar el tamaño de muestra y recolectar suelo de nidos y sitios aleatorios, se utilizaron las coordenadas de 201 nidos distribuidos en matorral crasicaule (MC), matorral desértico micrófilo (MDM) y matorral desértico rosetófilo (MDR). Con ayuda de un Sistema de Información Geográfica, capas de vegetación y tipos de suelos, se sobrepuso la información espacial de los nidos (coordendadas) y aplicando un diseño de muestro estratificado se obtuvo el tamaño de muestra de 45 nidos (MC=21, MDM=18 y MDR=6). Los sitios aleatorios fueron puntos ubicados a una distancia de 20 metros del nido a una dirección al azar. Se colectaron muestras de suelo (2.5 kg por muestra) a una profundidad de 20 cm, durante las excavaciones se incluyeron agregados de 3 a 4 cm de longitud para determinar densidad aparente. Las variables físicas evaluadas fueron, humedad, textura (arena, arcilla y limo), densidad aparente y resistencia mecánica a la penetración (RMP); mientras que las químicas fueron pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. Para la conducción de los análisis de laboratorio, la humedad se analizó por el método AS-05, la textura por el AS-09 y la densidad aparente por el método AS-03 de la NOM-021-RECNAT-2000. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se midieron en suspensión suelo-agua 1:2.5 y 1:5, respectivamente. El contenido de materia orgánica se analizó por el método de calcinación a 430 °C durante dos horas. El contenido de nitrógeno se midió por combustión de la muestra, a una temperatura de 950 °C con un analizador TruSpec N de la marca LECO. El fósforo se evaluó por el método AS-10 de la NOM-021-RECNAT-2000 y potasio por intercambio catiónico con espectrofotometría de absorción atómica.

Las variables físicas y químicas del suelo (nidos y sitios aleatorios) se analizaron con un diseño completamente al azar y un arreglo factorial 2x3, y la resistencia mecánica a la penetración (RMP) con la prueba de Kruskall Wallis. Las variables humedad ($P < 0.0483$), textura ($P < 0.01$), densidad aparente ($P < 0.01$), RMP ($P = 0.0289$); pH ($P < 0.002$), conductividad eléctrica ($P < 0.01$), materia orgánica ($P < 0.01$), nitrógeno ($P < 0.02$) y potasio ($P < 0.01$) tuvieron diferencias estadísticas entre el suelo de los nidos y de los sitios aleatorios. Esta investigación es uno de los primeros trabajos en documentar de forma cuantitativa algunas de las propiedades físicas y químicas del suelo de los nidos de *L. apiculatum* en una zona semiárida del centro-norte de México.

Palabras clave: componente edáfico, estructuras biogénicas, actividad de forrajeo, materia orgánica

Physical and chemical variables of the soil of nests of the ant *Liometopum apiculatum* Mayr by vegetation type in north-central Mexico

Abstract

Some of the organisms that modify soil properties are ants, which are considered as habitat engineers. These insects cause alterations physical and chemical of soil with the construction of their nests and their foraging activity. The objective of this investigation was to analyze the physical and chemical properties of the soil of nests of *L. apiculatum* and soil collected at random sites by vegetation type in north-central Mexico. To determine the sample size and collect nest soil and soil from random sites, we used the coordinates of 201 nests distributed in crassicaule scrub (CS), desert microphyll scrub (DMS) and desert rosetophyll scrub (DRS). With the help of a Geographical Information System, vegetation layers and soil types, the spatial information of the nests (coordinates) was superimposed and, applying a stratified sample design, the sample size of 45 nests was obtained (CS= 21, DMS=18 and DRs=6). The random sites were points located at a distance of 20 meters from the nest to a random direction. Soil samples (2.5 kg per sample) were collected at a depth of 20 cm, aggregations of 3 to 4 cm in length were included to determine bulk density. The physical variables evaluated were: humidity, texture (sand, clay and silt), bulk density and mechanical resistance to penetration (MRP); while the chemical ones were pH, electrical conductivity, organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium. For the conduction of the laboratory analyzes, the moisture was analyzed by the AS-05 method, the texture by the AS-09 and the apparent density by the AS-03 method of the NOM-021-RECNAT-2000. The pH and electrical conductivity (CE) were measured in soil-water suspension 1:2.5 and 1:5, respectively. The content of organic matter was analyzed by the calcination method at 430 °C for two hours. The nitrogen content was measured by combustion of the sample, at a temperature of 950 °C with a TruSpec N analyzer of the LECO brand. Phosphorus was evaluated by the AS-10 method of NOM-021-RECNAT-2000 and potassium by cationic exchange with atomic absorption spectrophotometry.

The physical and chemical variables of the soil (nests and random sites) were analyzed with a completely randomized design and a 2 × 3 factorial arrangement, and the mechanical resistance to penetration (MRP) with the Kruskal Wallis test. The variables humidity ($P < 0.0483$), texture ($P < 0.01$), bulk density ($P < 0.01$), RMP ($P = 0.0289$); pH ($P < 0.002$), electrical conductivity ($P < 0.01$), organic matter ($P < 0.01$), nitrogen ($P < 0.02$) and potassium ($P < 0.01$) had statistical differences between soil of nests and that from random sites. This research is one of the first works to quantitatively document some of the physical and chemical soil properties of the nests of *L. apiculatum* in a semiarid zone of north-central Mexico.

Keywords: edaphic component, biogenic structures, foraging activity, organic matter

Introducción

La macrofauna del suelo es considerada como los ingenieros de los ecosistemas y tiene un impacto físico, químico y biológico en el componente edáfico (Jones *et al.*, 2006; Barton *et al.*, 2013). Uno de los organismos de mayor importancia en la macrofauna, por su abundancia y biomasa son las hormigas, las cuales tienden a establecerse en el suelo (Hölldobler and Wilson, 1990; Fernández, 2003; Sankovitz *et al.*, 2019; Wurst *et al.*, 2018). La alteración del suelo por las hormigas se debe a la construcción de nidos (estructuras biogénicas), transporte de alimentos y deposición de desechos (excretas y cadáveres), aumentando la concentración de la materia orgánica, lo que repercute en un incremento en la producción de nitrógeno y carbono (Soper *et al.*, 2019). El nitrógeno excretado por los formícidos enriquece el suelo del nido, modifica el pH del suelo a neutros (Frouz y Jilková, 2008). La construcción de las estructuras biogénicas, como galerías, túneles, cámaras y corredores regulan las propiedades físicas del suelo, afectando la densidad aparente, la temperatura y la humedad (Mikheyev y Tschinkel, 2004; Frouz y Jilkova, 2008). Los procesos de termorregulación y el aislamiento térmico del nido, incrementan la temperatura del suelo; asimismo, las bioturbaciones causadas por las excavaciones de las hormigas aumentan la porosidad, lo que favorece la infiltración del agua y eleva la humedad en el suelo (Jones y Oldroyd, 2006; Leite *et al.*, 2018). Las hormigas también ejercen cambios químicos en el suelo, los cuales están intrínsecamente relacionados por flujo de materia orgánica en las estructuras biogénicas (Wang *et al.*, 2019). La descomposición de la materia orgánica estimula la actividad microbiana, lo que conduce al proceso de reciclaje de nutrientes y en consecuencia cambia la composición de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo (James *et al.*, 2008; Wurst *et al.*, 2018; Ehrle *et al.*, 2019).

Las hormigas son insectos sociales y excavadores experimentados, capaces de modificar el suelo para crear microhábitats (De Carvalho *et al.*, 2018). Pueden anidar en diversos tipos de suelos, con composiciones de grano fino, arcillosos, limosos, alto contenido de arena y gravas (Nkem *et al.*, 2000). Por ejemplo, en horizontes cálcicos cementados, son capaces de mantener la humedad del suelo y bajar temperatura dentro del nido, creando condiciones necesarias para el buen desarrollo de las larvas (Whitford *et al.*, 1976; Johnson, 1992, 2000; Dugas, 2001; De Carvalho *et al.*, 2018). Dependiendo

del tipo de suelo, diversas especies modifican sus métodos de excavación lo que influye en la arquitectura de los nidos (Espinoza y Santamarina, 2010).

Hoy en día, son limitadas las investigaciones que documentan como se asocia el componente edáfico con los nidos de *L. apiculatum*. El primer referente es el trabajo de Gregg (1963), en Colorado E.U., el cual mencionó que la estructura del nido (trabécula) está conformada por arena y arcilla sólidamente cementada con materiales minerales (cristales de micas). Según Lara (2013) la estructura de la vegetación y el estado de la superficie del suelo tiene un impacto en las poblaciones de la hormiga, menciona que los nidos de *L. apiculatum* se distribuyen en unidades de suelo del tipo leptosol, faozem y regosol. Lo expuesto por estas investigaciones coinciden en que el suelo con cierto contenido de minerales, es un material ideal para la construcción de las trabéculas, sin embargo, no existe mayor información al respecto. No existe literatura disponible que documente cómo la hormiga afecta las propiedades del suelo donde se distribuyen sus poblaciones. Por ello, el objetivo de esta investigación fue analizar las variables físicas y químicas del suelo de nidos de *L. apiculatum* y sitios aleatorios por tipo de vegetación en el centro-norte de México. Con base al comportamiento de las hormigas y a su sistema de organización y sobrevivencia, en esta investigación se esperaban diferencias notables en los contenidos físicos y químicos en el suelo de los nidos y sitios aleatorios, más que por tipo de vegetación.

Materiales y métodos

El área de estudio se localizó entre los límites de San Luis Potosí y Zacatecas en los municipios de Ahualulco, Pinos y Villa González Ortega. Específicamente en cinco ejidos; Villas de Ahualulco (22° 26' 56.53" N y 101° 13' 29.84" O), Ipiña (22° 27' 1.40" N y 101° 18' 35.15" O), Santa Teresa (22° 20' 9.71" N y 101° 21' 48.70" O), Tolosa (22° 30' 18.05" N y 101° 22' 4.94" O) y Santiago (22° 27' 49.99" N y 101° 27' 50.06") y dos predios privados (22° 37' 59.664" N y 101° 58' 57.042" O y 22° 38' 16.37" N y 101° 58' 7.735"; Figura 7).

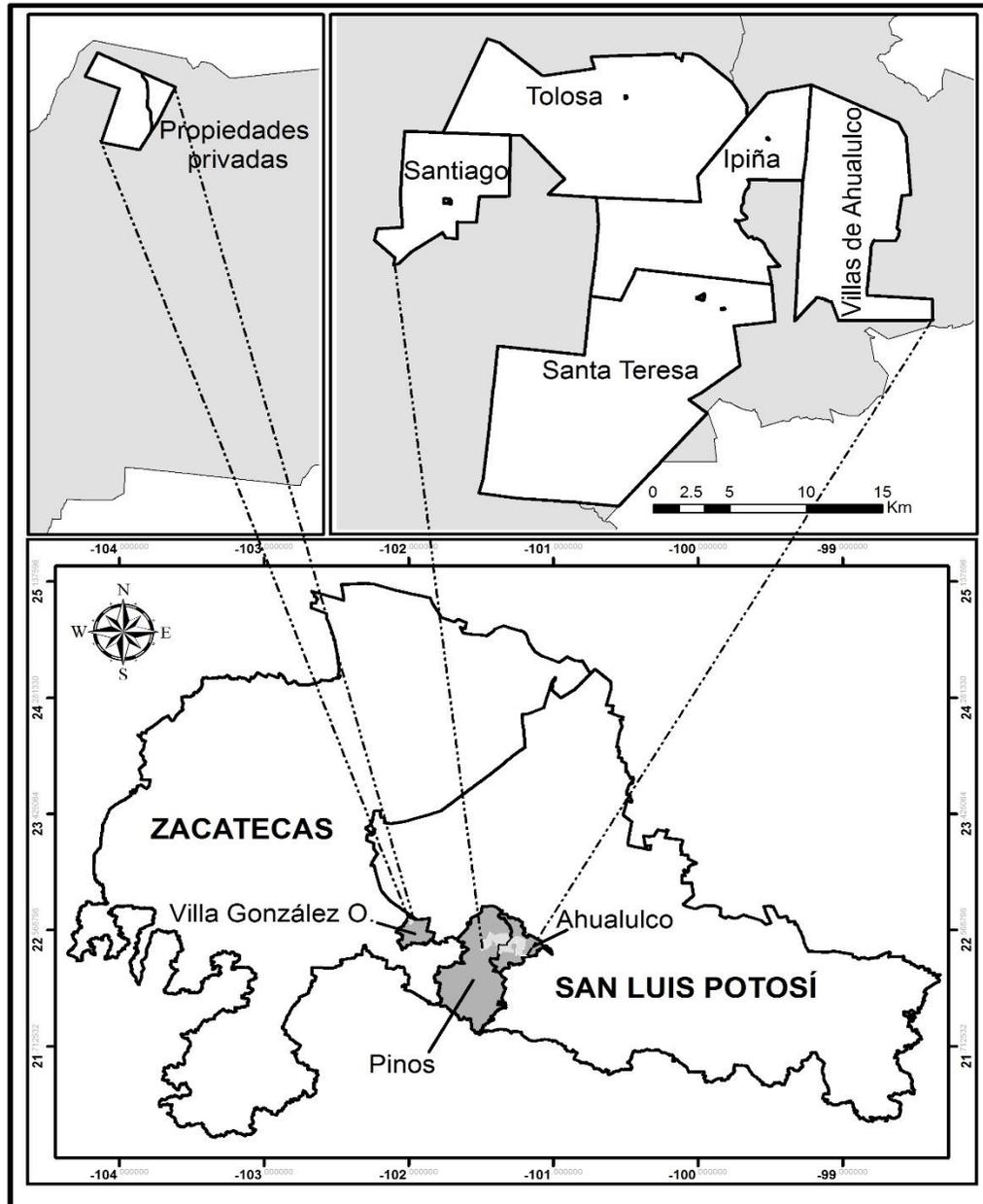


Figura 7. Localización del área de estudio

El clima es semi-árido, con clasificaciones BS-BW, pasando por los subtipos BS-1kw como templado, BS1 el menos seco y BS0 como el más seco; con una precipitación promedio anual de 240 a 770 mm con lluvias en verano (Cuanalo *et al.*, 1989; García, 1998, INEGI, 2013). El tipo de vegetación dominante es el matorral crasicaule (MC), matorral desértico micrófilo (MDM) y matorral desértico rosetófilo (MDR; INEGI, 2013). La región está constituida por complejos de serranías, planicies y valles, con altitudes

entre los 1 000 y 2 500 msnm (Hernández-Oria, 2010). El sustrato geológico en el área de estudio es heterogéneo, de origen sedimentario e ígneo, con tres unidades de suelo dominantes, leptosol, luvisol y durisol (INEGI, 2005 a,b; 2009).

Con el objetivo de obtener muestras de suelo de nidos y sitios aleatorios se diseñó un muestreo aleatorio estratificado con asignación proporcional (MAE) al tipo de vegetación. Este muestreo consistió de cuatro etapas: 1) Obtención de 201 coordenadas de nidos de *L. apiculatum* de la temporada de recolecta de larvas de marzo-abril del 2016 distribuidos por tipo de vegetación (MC=122, MDM=37 y MDR=42). 2) Con el uso de ArcMap 10.5 se creó un mapa temático de vegetación y tipo de suelo, al cual se le agregaron las coordenadas de los nidos (Figura 8).

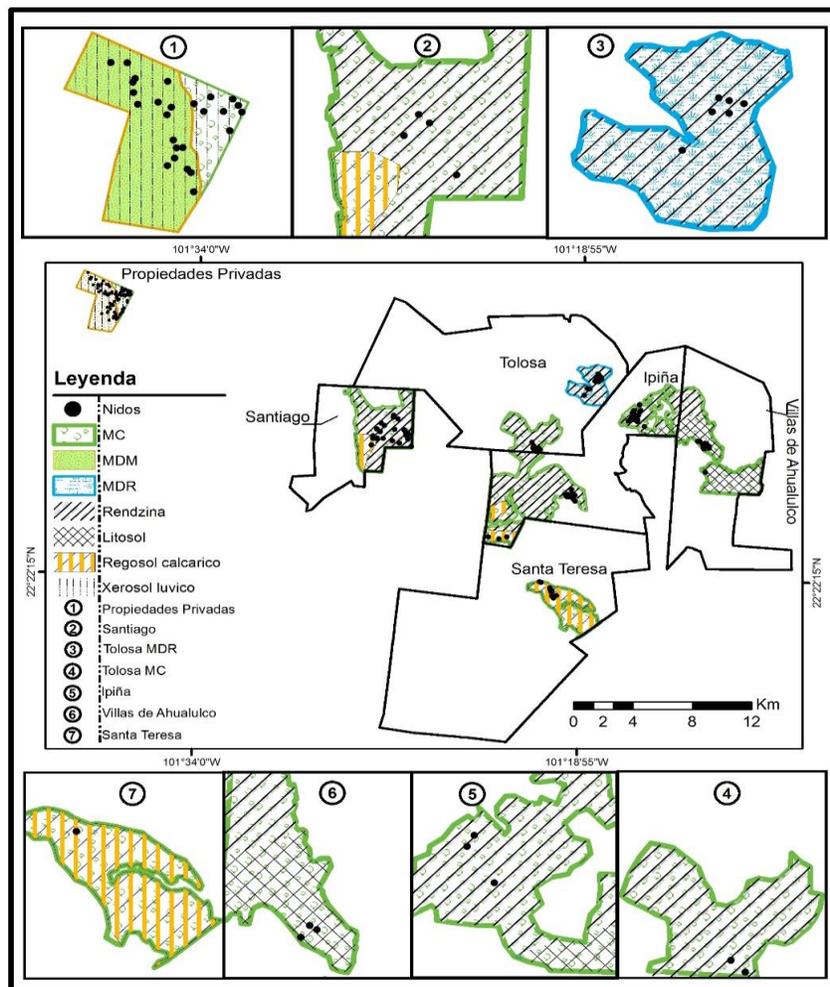


Figura 8. Distribución de nidos de *L. apiculatum* muestreados en MC, MDM y MDR y tipos de suelos en el centro-norte de México (elaboración propia con ArcMap 10.5.1).

3) Se realizó una unión espacial entre las tablas de la capa de los nidos x tipo de vegetación con la herramienta "Join" de ArcMap tool y 4) La base de datos obtenida con el Join se transformó a un archivo Excel 2016 y se procedió al cálculo de la media aritmética, desviación estándar y varianza, posteriormente con MAE con asignación proporcional (Rendón, 1994, Scheaffer, *et al.*, 2007) se obtuvo un tamaño de muestra de 45 nidos, distribuidos 21 en MC, 18 en MDM y 6 nidos en MDR ($P = 0.05$ y un error estándar de 0.15%). Después de obtener los tamaños de muestra, se seleccionaron los registros de los nidos (coordenadas) y se cargaron a un GPS (GPSmap® 60CSx) para la conducción de los muestreos. Los sitios aleatorios fueron puntos ubicados a una distancia de 20 metros del nido a una dirección al azar.

Muestreo de suelos

En octubre de 2016 se colectaron muestras de suelos de nidos y de suelos de sitios aleatorios por tipo de vegetación. Esta actividad consistió en localizar los nidos seleccionados en el MAE con el GPS y ubicar los sitios aleatorios a 20 m de distancia y a una dirección al azar (N, S, E, O, NO, NE, SO y SE). Se colectaron muestras de suelo (2.5 kg/muestra), a una profundidad de 20 cm. Durante las excavaciones se obtuvieron cinco agregados de suelo (3-4 cm de longitud) para determinar la variable de densidad aparente. Las muestras se tamizaron *in situ*, con una malla de 2 mm y se transportaron al laboratorio de Agua-suelo-plantas del Colegio de Postgraduados del Campus San Luis Potosí para secarlas al aire y prepararlas para los análisis físicos y químicos.

Resistencia mecánica a la penetración (RMP).

Se evaluó la RMP *in situ* en dos posiciones (nidos y sitios aleatorios) con un penetrómetro FieldScout SC 900, que permitió realizar mediciones a 15 cm de profundidad, con una resolución de 2.5 cm, expresados en valores de presión de kPa (celda de carga máxima de 7 000 kPa).

Análisis físicos y químicos de suelo

Para los análisis de laboratorio la humedad se analizó por el método AS-05 de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). La textura del suelo se analizó por el procedimiento de Bouyoucos por el método AS-09 de la NOM-021-RECNAT-2000

(SEMARNAT, 2002). La densidad aparente (DA) se determinó por el procedimiento del terrón parafinado a través del método AS-03 de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

El pH y la conductividad eléctrica (CE) se obtuvieron por medición rápida en una suspensión suelo-agua 1:2.5 y 1:5, respectivamente (Woermer, 1989); para la medición de estas variables se utilizó un medidor de pH de la marca Sper Scientific, modelo 850051 y un conductivímetro de la marca TRACEABLE® modelo 4365. La materia orgánica (MO) se evaluó por el método propuesto por Davies (1974) y Schulte y Hopkins (1996), este consistió en pesar 5 g de muestra en crisoles de porcelana (peso conocido) y después se colocaron en una estufa a 105 °C durante 24 horas; las muestras se dejaron enfriar en desecador y se registró su peso. Después se calcino la materia orgánica en una mufla a 430 °C durante dos horas (Martínez *et al.*, 2017).

El contenido nitrógeno se midió por combustión de muestra (0.10 g) a alta temperatura (950 °C) y posterior detección de termoconductividad (LECO, 2008) con un analizador TruSpec N, el cual fue calibrado con estándar LECO (EDTA, Part. no. 502-092) y cinco blancos (LECO, 2008). El fósforo se evaluó por el procedimiento de Olsen por el método AS-10 de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). El potasio se determinó por intercambio catiónico con espectrofotometría de absorción atómica (suelos con pH mayor a 5.5) usando como solución extractora acetato de amonio (Mackean, 1993).

Análisis estadísticos

Las variables físicas y químicas de suelo fueron analizadas con un diseño completamente al azar y un arreglo factorial 2x3. Donde el factor A representó a las muestras de suelo (nido y sitio aleatorio) y el factor B fue el tipo de vegetación (MC, MDM y MDR), todas las variables de suelo se analizaron por triplicado obteniendo el promedio de esas lecturas. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Los análisis se realizaron con el procedimiento PROC GLM de SAS (SAS Institute, 2013). Con la finalidad de aplicar estadística paramétrica, se verificó los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, en el software XLSTAT 2018.5 (2018). La

RMP se evaluó con la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis ($P < 0.05$) con INFOSTAT (2008).

Resultados

Propiedades físicas

En el Cuadro 7 se presentan las propiedades físicas de suelos de nidos de *L. apiculatum* y sitios aleatorios por tipo de vegetación en el centro-norte de México.

Cuadro 7. Promedio de las propiedades físicas de suelos de nidos de *L. apiculatum* y sitios aleatorios en el centro-norte de México.

Factores	Humedad (%)	Textura			DA g/cm ³	Porosidad g/cm ³
		Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)		
Factor A						
Nidos	10.7a	54.7 a	15.5 a	29.8 a	1.2 b	54.2 a
Sitios aleatorios	8.8 b	55.0 a	16.6 a	28.5 a	1.3 a	51.9 b
Factor B						
MC	11.3 a	50.4 b	19.8 a	29.8 a	1.3 a	52.8 a
MDM	8.3 a	59.8 a	12.7 b	27.5 a	1.2 a	53.5 a
MDR	8.5 a	55.5 ab	12.7 b	31.8 a	1.3 a	52.8 a

Medias con letras distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en los factores.

Humedad

Se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 7) en el porcentaje de humedad ($P < 0.0483$) en el suelo, la humedad fue superior en el suelo de los nidos con 10.7% y menor en los sitios aleatorios (8.8%), mientras que esta variable no difirió por tipo de vegetación. Los cambios de humedad en el suelo con presencia de nidos y sitios circundantes, pueden estar asociados con las actividades de las hormigas (Sankovitz *et al.*, 2019). Dos de las principales afectaciones al componente edáfico son 1) bioturbación, que se refiere a la construcción de los nidos y excavación de los túneles, ocasionando que los sedimentos de las capas inferiores entren en contacto con la superficie, mezclando el suelo, lo que puede llevar a un cambio de horizonte (Lobry de Bruyn and

Conacher, 1994; Nkem *et al.*, 2000), 2) la modificación de la estructura del suelo, es producto de la creación de macroporos, lo cual reduce la densidad aparente; asimismo, esto puede mejorar la infiltración del agua (Nkem *et al.*, 2000; Colloff, *et al.*, 2010). Al mejorar el drenaje, se aumenta la movilidad del agua a las capas más profundas del suelo, asegurando mayor humedad en el nido en comparación al entorno (Frouz y Jilcová, 2008). Por ejemplo, Leite *et al.* (2018) han reportado que *Dinoponera cuádriceps* mejora las propiedades hidráulicas del suelo, casi duplicando la infiltración del agua en suelos a 30 cm de distancia de los nidos (1002.8 ± 566.9 mm/h), en comparación a las áreas circundantes de 5-10 m (530.3 ± 282.1 mm/h). En un estudio con hormigas del genero *Solenopsis*, encontraron que el contenido de humedad en el suelo puede variar de 10.14% en nidos y 19.61% en sitios adyacentes en condiciones de lluvia (0.7 cm de lluvia con duración de dos días) (Green *et al.*, 1999).

La humedad del suelo en nidos de *L. apiculatum* puede estar correlacionada a factores ambientales, como la temperatura. Cruz (2013) encontró que la humedad relativa en el interior de nidos de *L. apiculatum* fue de 90% y una temperatura promedio de 21 °C; mientras que en el ambiente la humedad relativa fue de 53% y la temperatura de 18°C. Otras posibles explicaciones es lo descrito para *Formica politecta*, donde la temperatura y humedad del suelo en sus nidos están correlacionadas con la producción de calor metabólico de las hormigas y/o la combinación metabólica de *F. politecta* y los microorganismos con los que cohabita; sin embargo, las propiedades de aislamiento en los nidos pueden estar provocando este efecto (Frouz, 2000).

Textura

El modelo general en el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas ($P < 0.01$) en la composición de la textura por tipo de vegetación, no se encontraron diferencias de esta variable entre el suelo de los nidos y sitios aleatorios (Cuadro 7). La prueba de Tukey indicó que el contenido de arena fue superior en MDM con 59.8 %; y menor en MDR con 55.5% y MC con 50.4%. La arcilla tuvo diferencias significativas en su contenido en MC con 19.8%, mientras, que en MDM y MDR fueron similares (12.7 %). La evidencia estadística indicó que el contenido de limo no fue significativo entre suelos de nidos y sitios aleatorios ($P = 0.29$) ni por tipo de vegetación ($P = 0.07$) (Cuadro 7).

Las texturas de suelo por tipo de vegetación más frecuentes fueron; a) MC = franco y franco arenoso, b) MDM = franco y franco arcilloso arenoso y c) MDR = franco arenoso y franco. Estas texturas mostraron contenidos significativos de arena ($P < 0.01$) (MDM = 59.08%, MDR = 55.5% y MC = 50.4%). La textura del suelo es una variable que está correlacionada con el punto de marchitez de las plantas, por lo que varias especies arbustivas de ecosistemas semiáridos están adaptadas a altos contenidos de arena (Gelviz-Gelvez y Pavón-Hernández, 2013). Es posible que esta tolerancia permita el establecimiento y propagación de plantas útiles para *L. apiculatum*, y la hormiga se beneficie al obtener sustratos de anidación, fuentes de alimento y cobertura termal.

En el área de estudio se identificaron cuatro unidades de suelo; Rendzina, Litisol, Regosol calcarico y Xerosol luvico. Un estudio realizado Alanís-Rodríguez *et al.* (2015) en matorral desértico rosetófilo en el noreste de México, mencionan que la composición florística puede depender del tipo de suelo. Los autores documentan que Regosoles Calcaricos + Litisol, permiten el desarrollo de plantas suculentas de porte bajo, resistentes a sequías; mientras que las cactáceas prefieren este tipo de suelo por ofrecerles mejor drenaje. Esta investigación no contempló aspectos de la vegetación como densidad, riqueza o abundancia de especies; sin embargo, se observó que el 70 % de las muestras obtenidas en suelo de nidos se encontraron en *Agave sp.*, distribuidos en su mayoría en el tipo suelo Rendzina (Figura 8). Es posible que los agaves, a través del proceso de edafogénesis del suelo, provoquen cambios en la textura del suelo.

Densidad aparente

Se observaron diferencias estadísticas en la densidad aparente en el suelo ($P < 0.01$), el valor fue superior en los sitios aleatorios con 1.3 y en los nidos con 1.2 g/cm³; no se encontraron diferencias por tipo de vegetación (Cuadro 7). Los resultados de densidad son consistentes a lo reportado por otros autores, los cuales observaron que la densidad aparente en los nidos es inferior a sitios circundantes (Lei, 2000; Wu *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2019). Por ejemplo, la densidad aparente en nidos de *Phogonomirmex occidentales* fue de 1.47 comparado con 1.54 g/cm³ en sitios circundantes (Rogers, 1972). Otro estudio con *P. occidentales* en un área semiárida en Nuevo México, reportó densidades aparentes similares a lo observado en esta investigación, con 1.20 g/cm³ en

los nidos, y en sitios de referencia con 1.19 g/cm^3 (Carlson y Whitford, 1991). Es posible que *L. apiculatum* a través de la excavación de la cámara de cría (trabécula), túneles y galerías, modifica la macroporosidad del suelo, alterando las fases solido-aire en el interior del nido, por consiguiente, la densidad aparente disminuye en comparación de los suelos de los sitios aleatorios.

Resistencia mecánica a la penetración (RMP).

La prueba de Kruskal Wallis identificó diferencias en RMP en los nidos y los sitios aleatorios ($H = 2.24$, $P = 0.0289$; Figura 9), pero no se encontraron diferencias por tipo de vegetación ($H = 40.99$, $P = 0.4706$).

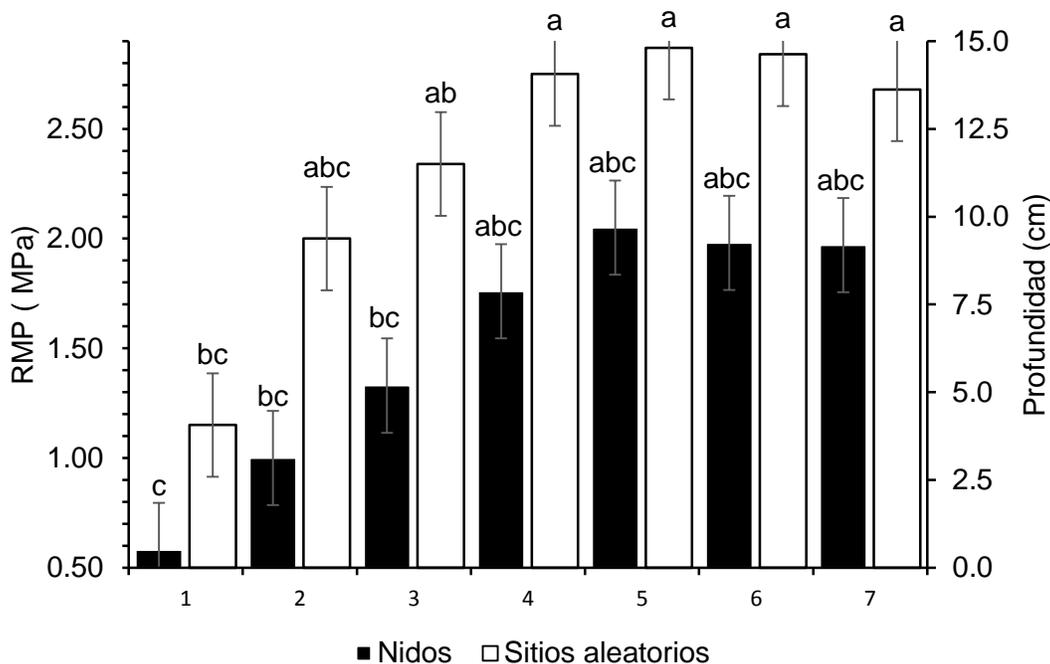


Figura 9. Valores de resistencia mecánica a la penetración (RMP) en suelo de nidos de *L. apiculatum* y sitios aleatorios en el centro-norte de México. Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

Se observó que la RMP es heterogénea entre los nidos ($1.52 \pm 0.57 \text{ MPa}$) y sitios aleatorios ($2.38 \pm 0.62 \text{ MPa}$) a una profundidad de 0-15 cm y fue significativamente mayor en los sitios aleatorios. Estos resultados son similares a lo documentado para *Atta*

vollenweideri donde la RMP fue menor a una distancia de cinco metros del centro del nido (1.08 ± 0.31 MPa) comparados con las lecturas a una distancia de 15 metros (1.39 ± 0.3 MPa) y en un rango de profundidad de 0.0-9.0 cm (Díaz *et al.*, 2016). La RMP aumentó a los 10 cm de profundidad en los nidos de *L. apiculatum* y sitios aleatorios (2.05 ± 0.98 y 2.87 ± 0.75 MPa, respectivamente). Es posible que esta variación se deba al tipo del suelo del área de estudio, donde se registraron Leptosoles (éutrico, lítico o esquelético), los cuales se caracterizan por contener roca dura y continua, o material calcáreo en profundidades efectivas de 10 hasta 25 cm (Palma-López *et al.*, 2017).

La mayor variabilidad en RMP fue en los nidos a los 7.5 cm de profundidad (1.76 ± 0.89 MPa), a los 10.0 cm (2.05 ± 0.98 MPa), 12.5 cm (1.98 ± 0.92 MPa) y 15.0 cm (1.97 ± 0.54 MPa). En cambio, en los sitios aleatorios fue a los 2.5 cm (2.00 ± 0.69 MPa); no se mostraron diferencias significativas en ninguna de las profundidades en la RMP en los sitios aleatorios a los 7.5 cm de profundidad (2.75 ± 0.41 MPa), a los 10.0 cm (2.87 ± 0.75 MPa), 12.5 cm (2.84 ± 0.53 MPa) y a los 15.0 cm (2.68 ± 0.26 MPa). Este es el primer registro de RMP para *L. apiculatum*, la cual se ha registrado que sus nidos tienen profundidades entre los 15 y 120 cm (Cruz-Labana *et al.*, 2014), suponemos que la variación de la RMP entre los nidos y los sitios aleatorios se deba a que la hormiga aumenta el contenido de materia orgánica en el interior de los nidos; por ejemplo, en la construcción y mantenimiento de la trabécula. La materia orgánica puede incrementar la agregación del componente edáfico, aumentando así la macroporosidad del suelo, y de este modo disminuir la RMP (Moutinho *et al.*, 2003). La presente investigación se desarrolló en áreas de pastoreo libre de ganado bovino y caprino, es posible que la RMP tienda incrementarse por la presión mecánica ejercida por pisoteo de ganado en los sitios aleatorios.

Propiedades químicas

En el Cuadro 8 se presentan las propiedades químicas de suelos de nidos de *L. apiculatum* y sitios aleatorios por tipo de vegetación en el centro-norte de México.

Cuadro 8. Promedios de las propiedades químicas de suelos de nidos de *L. apiculatum* y sitios aleatorios en el centro-norte de México.

Factores	pH	CE† μS/cm	MO † %	Nitrógeno mg/kg	Fosforo mg/kg	Potasio μg/kg
Factor A						
Nidos	7.2 a	321.9 a	6.9 a	22.9 a	7.5 a	10439 a
Sitios aleatorios	7.0 b	203.5 b	3.8 b	13.0 b	7.2 a	5894 b
Factor B						
MC	7.1 a	278.0 a	5.6 a	20.9 a	6.6 b	8133 a
MDM	7.1 a	244.8 a	5.4 a	16.6 ab	7.8 a	8466 a
MDR	7.3 a	263.1 a	4.2 a	11.8 b	8.5 a	7385 a

† CE (conductividad eléctrica), MO † (materia orgánica). Medias con letras distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en los factores.

pH y conductividad eléctrica (CE)

Se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0.002$) en el pH del suelo de los nidos y sitios aleatorios. El pH fue superior en los nidos (7.2), e inferior en los sitios aleatorios (7.0) y no se se encontraron diferencias estadísticas por tipo de vegetación. El pH del suelo de los nidos de *L. apiculatum* mostraron ser neutros a ligeramente alcalinos, mientras que en los sitios aleatorios varió de neutros a ligeramente ácidos. Aunque la diferencia de pH fue pequeña, estos resultados son similares a lo documentado para *Formica polyteca* en un experimento, en el cual colocaron hormigueros en bolsas plásticas con sustrato de anidación de agujas de pino, a las cuales se les midió el pH inicial y a los siete meses; el pH se incremento de 4.89 a 5.2 ± 0.15 en estos hormigueros artificiales (Jílková, *et al.*, 2012). Los valores de pH observados en esta investigación, pueden deberse a la estructura de los nidos de *L. apiculatum*, ya que las hormigas obreras construyen la trabécula con ramas, fibras vegetales y tierra (agente cementante) (Ramos-Elorduy *et al.*, 1988; Gulmahamad, 1995). Los materiales orgánicos de la trabécula pueden aumentar el contenido de nitrógeno en el suelo del nido. En este sentido

Frouz *et al.* (2003) deducen que el nitrógeno aportado por excretas en los nidos de *Lasius niger*, es un factor que modifica el pH del suelo, que los transforma a neutros.

La conductividad eléctrica fue mayor en el suelo de los nidos que la del suelo de los sitios aleatorios 321.9 vs 203.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($P < 0.01$) (Cuadro 8) y no se encontraron diferencias estadísticas significativas de esta variable por tipo de vegetación. Un estudio con la hormiga *Lasius flavus* infiere que los valores de la CE pueden estar influenciados por los minerales en el suelo, los cuales al mezclarse con la materia orgánica de las capas superficiales provoca que la cantidad de cationes en el nido aumente (Ehrle, *et al.*, 2019). La actividad forrajera y los procesos de bioturbación de *L. apiculatum* y el aumento del contenido de materia orgánica, aportado por la trabécula, sugieren el incremento de la conductividad eléctrica en el suelo, lo cual no ocurrió en el suelo de los sitios aleatorios.

Materia orgánica

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de materia orgánica ($P < 0.01$) en el suelo de los nidos y sitios aleatorios (6.9% vs 3.8%) pero no por tipo de vegetación. En un estudio con *Formica polyteca* se encontró que el contenido de materia orgánica también fue mayor en el interior de sus nidos con $0.48 \text{ g}/\text{g}^{-1}$ y menor en los sitios de control con $0.14 \text{ g}/\text{g}^{-1}$ (Jílková *et al.*, 2019). Es posible que *L. apiculatum* aumente el contenido de materia orgánica en los suelos de los nidos por fragmentos de la trabécula degradada y la acumulación de secreciones por la hormiga (excrementos y ligamaza).

Nitrógeno, fósforo y potasio

Se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio de los suelos analizados (Cuadro 8). El contenido de nitrógeno ($P < 0.02$) fue superior en el suelo de los nidos con $22.9 \text{ mg}/\text{kg}$ y menor en los sitios aleatorios con $13.0 \text{ mg}/\text{kg}$; asimismo, se encontraron diferencias estadísticas por tipo de vegetación ($P < 0.05$) con $20.9, 16.6$ y $11.8 \text{ mg}/\text{kg}$ para MC, MDM y MDR, respectivamente. El fósforo solo mostró diferencias significativas por tipo de vegetación obteniéndose el valor más alto con $8.5 \text{ mg}/\text{kg}$ en MDR y el más bajo con $6.6 \text{ mg}/\text{kg}$ se registró en MC. El potasio presentó diferencias estadísticas solo en los suelos de los nidos y sitios ($P < 0.01$), la concentración

mayor fue en el suelo de los nidos con 10439 $\mu\text{g/g}$, y esta concentración fue el doble de lo registrado en los sitios aleatorios.

Los estudios han demostrado que las hormigas modifican las comunidades vegetales donde anidan (Leite *et al.*, 2018; Sankovitz *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019), en la presente investigación se encontró que los suelos de los nidos presentan mejores condiciones fisicoquímicas que los suelos de los sitios aleatorios. Estas modificaciones resultan de las relaciones mutualistas (hormiga-planta) y las actividades de forrajeo (Hernández *et al.*, 2017), las cuales alteran los contenidos nutricionales en el hábitat de *L. apiculatum*.

Los cambios en las propiedades de los suelos son el resultado de las interacciones entre los componentes físicos y químicos del suelo. Las diferencias de nitrógeno, fósforo y potasio en los nidos de *L. apiculatum* también pueden atribuirse a la acumulación de alimentos (ligamaza) excrementos, cadáveres, fragmentos de trabécula degradados, y la bioturbación del suelo (movimiento del suelo de las capas inferiores-superiores).

Por ejemplo, Wagner *et al.* (2004) determinaron que el contenido de nitrógeno total en los nidos de *Pogonomyrmex barbatus* fue mayor que en los sitios testigo (693.3 ± 52.2 vs 355.7 ± 24.6 mg/kg). En contraste, el contenido de nitrógeno en el suelo de nidos de *Lasius flavus* fue inferior con $0.30 \pm 0.09\%$, al registrado en los sitios de control $0.58 \pm 0.19\%$ (Dostál *et al.*, 2005). Es probable que los cambios en el contenido de nitrógeno en los nidos de *L. apiculatum*, se deban a la materia orgánica acumulada por el transporte de material vivo para la construcción de la cámara de cría

En esta investigación los contenidos de fósforo fueron muy similares en el suelo de los nidos y de los sitios aleatorios. Al respecto, Leal *et al.* (2007) en un estudio con 18 especies de hormigas en áreas semiáridas de Brasil, no identificaron tampoco diferencias estadísticas en el contenido de fósforo ($P = 0.61$) entre las muestras de suelo de los nidos (85.6 ± 59.0 mg/kg) y los sitios de testigo (77.5 ± 80.8 mg/kg). En este estudio se esperaba que hubiera una diferencia marcada entre el contenido de fósforo de los suelos analizados como ocurrió con el nitrógeno y la materia orgánica; sin embargo, el fósforo en el suelo de México ocurre en concentraciones bajas y es posible que los materiales

de alimentación y de construcción de la cámara de cría presenten también concentraciones de fósforo baja.

El contenido de potasio en los nidos de *L. apiculatum* tuvo el mismo comportamiento que el nitrógeno, ya que las concentraciones más elevadas fueron en los suelos con presencia de nidos vs. sitios aleatorios, esta tendencia puede ser provocada por los cambios estructurales (físicos y químicos) que sufre el componente edáfico por las actividades de las hormigas. Por ejemplo, Lafleur *et al.* (2005) observó que el contenido de potasio fue mayor en los nidos de *Solenopsis invita*, con 844 ± 34 mg/kg que en los sitios circundantes con 794 ± 61 mg/kg (suelo arenoso limoso y arcilloso limoso). Otro estudio es el de Jílcová *et al.* (2019) con *Formica polyteca*, donde reportaron una concentración de potasio de 800 mg/kg en nidos y de 400 mg/kg en los suelos de referencia. En el presente estudio el contenido de potasio encontrado fue aproximadamente dos veces más potasio en el suelo de los nidos. Es posible que la descomposición de la materia orgánica y la producción de residuos metabólicos en el interior de los nidos de *L. apiculatum* aumenten este contenido.

Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue analizar las variables físicas y químicas del suelo de nidos de *L. apiculatum* y sitios aleatorios por tipo de vegetación en el centro-norte de México. Con base al comportamiento de las hormigas y a su sistema de organización y sobrevivencia, en esta investigación se esperaban diferencias notables en los contenidos físicos y químicos en el suelo de los nidos y sitios aleatorios, más que por tipo de vegetación.

Se observó que los suelos con presencia de *L. apiculatum* tiene propiedades físicas y químicas más enriquecidas que las del suelo de sitios aleatorios. Esto se debe a que, durante la fundación y expansión del nido, las hormigas excavan el suelo para la construcción de la cámara de cría, túneles y corredores, favoreciendo la macroporosidad, humedad, textura y densidad aparente. Las características químicas del suelo de los nidos de *L. apiculatum* se favorecen con la interacción de las propiedades físicas y de la

actividad de forrajeo, acumulación de materia orgánica, desechos metabólicos y del proceso de descomposición de materia orgánica, modificando el pH y el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio a través del tiempo.

Esta investigación, constituyó un esfuerzo para documentar de forma cuantitativa algunas de las propiedades físicas y químicas del suelo de los nidos de *L. apiculatum*. Aún se desconoce cómo la hormiga afecta las propiedades biológicas del componente edáfico, por lo que se recomienda que futuras investigaciones traten tópicos sobre el papel que juega *L. apiculatum* como descomponedor, y como esta especie interactúa con otros microorganismos (procariotas y hongos) para modificar los ciclos de los nutrientes en el suelo.

Referencias

- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, M., Yerena-Yamallel, J. I., Martínez-Ávalos, J. G., González-Rodríguez, L. E. (2015). Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Botánica Mexicana*. 110, 105–117.
- Barton, P. S., Cunningham, S. A., Lindenmayer, D. B., Manning, A. D. (2013). The role of carrion in maintaining biodiversity and ecological processes in terrestrial ecosystems. *Oecologia*. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2460-3>
- Carlson, S. R., Whitford, W. G. (1991). Ant mound influence on vegetation and soils in a semiarid mountain ecosystem. *American Midland Naturalist*. 123(1), 125–139. <https://doi.org/doi:10.2307/2426157>
- Colloff, M. J., Pullen, K. R., Cunningham, S. A. (2010). Restoration of an Ecosystem Function to Revegetation Communities: The Role of Invertebrate Macropores in Enhancing Soil Water Infiltration. *Restoration Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00667.x>
- Cruz-Labana, J. D., Tarango-Arámbula, L. A., Alcántara-Carbajal, J. L., Pimentel-López, J., Ugalde-Lezama, S., Ramírez-Valverde, G., Méndez-Gallegos, S. J. (2014). Habitat use by the “escamolera” ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) in central Mexico. *Agrociencia*. https://doi.org/http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000600001
- Cuanalo de la C, H., Ojeda, T.E., Santos, O. A., Ortiz, S. C. (1989). Provincias, regiones y subregiones terrestres de México. Texcoco, Estado de México: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo.
- Davies, B. E. (1974). Loss-on-Ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal*. <https://doi.org/10.2136/sssaj1974.03615995003800010046x>
- De Carvalho Guimarães, I., Pereira, M. C., Batista, N. R., Rodrigues, C. A. P., Antonialli, W. F. (2018). The complex nest architecture of the ponerinae ant *Odontomachus chelifer*. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189896>
- Díaz, E. L., Sabattini, J. A., Hernandez, J. P., Sabattini, I. A., Cian, J. C., Sabattini, R. A. (2016). Efecto de los nidos de la hormiga cortadora de hojas *Atta vollenweideri* sobre las propiedades físicas del suelo en un bosque nativo. *Ecología Austral*. 26, 229-235.
- Dostál, P., Březnová, M., Kozlíčková, V., Herben, T., Kovář, P. (2005). Ant-induced soil modification and its effect on plant below-ground biomass. *Pedobiologia*. 49, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2004.09.004>

- Dugas, D. P. (2001). The influence of arroyo edges on *Pogonomyrmex rugosus* nest distribution in the Chihuahuan Desert, New Mexico. *Journal of Arid Environments*. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0722>
- Ehrle, A., Potthast, K., Tischer, A., Trumbore, S. E., Michalzik, B. (2019). Soil properties determine how *Lasius flavus* impact on topsoil organic matter and nutrient distribution in central Germany. *Applied Soil Ecology*. 133, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.021>
- Espinoza, D. N., Santamarina, J. C. (2010). Ant tunneling—a granular media perspective. *Granular Matter*. <https://doi.org/10.1007/s10035-010-0202-y>
- ESRI. (2017). ArcGIS desktop: Release 10.5.1. Environmental System Research Institute, Redlands, CA.
- Fernández, F. (2003). Introducción a las hormigas de la región Neotropical. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000005647>
- Frouz, J. (2000). The effect of nest moisture on daily temperature regime in the nests of *Formica polyctena* wood ants. *Insectes Sociaux*. <https://doi.org/10.1007/PL00001708>
- Frouz, J., Holec, M., Kalčík, J. (2003). The effect of *Lasius niger* (Hymenoptera, Formicidae) ant nest on selected soil chemical properties. *Pedobiologia*. 47, 205–212. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00184>
- Frouz, J., Jilková, V. (2008). The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*. 1, 191-199.
- García, E. (1998). Climas, escala, Sistema de Köppen. Escala 1:1 000 000. CONABIO.
- Gelviz-Gelvez, S. M., P.-H. N. P. (2013). Diversidad de especies arbustivas en una zona semiárida del centro de México. *Rev. Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 19(3), 323–335. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.049>
- Green, W. P., Pettry, D. E., Switzer, R. E. (1999). Structure and hydrology of mounds of the imported fire ants in the southeastern United States. *Geoderma*. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(99\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(99)00039-7)
- Gregg, R. E. (1963). The nest of *Liometopum apiculatum* Mayr Hymenoptera: Formicidae. *Ecology & Evolutionary Biology*. 25, 1–6.
- Gulmahamad, H. (1995). The genus *Liometopum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae) in California, with notes on nest architecture and structural importance. *The Pan-Pacific Entomologist*. 71, 82–86.

- Hernandez, L. M. A., Sanders, J. G., Miller, G. A., Ravenscraft, A., Frederickson, M. E. (2017). Ant-plant mutualism: a dietary by-product of a tropical ant's macronutrient requirements. *Ecology*. 98, 3141–3151. <https://doi.org/10.1002/ecy.2036>
- Hernández-Oria, J. G. (2010). Patrones de diversidad regional en las Cactaceae amenazadas del Desierto Chihuahuense, México. *Zonas Áridas*. 14(1), 35–49.
- Hölldobler, B., Wilson, E. O. (1990). *The ants*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- INEGI. (2005). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Pinos, Zacatecas. Retrieved from http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/32/32038.pdf
- INEGI. (2005). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Villa González Ortega, Zacatecas. Retrieved en http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/32/32053.pdf
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ahualulco, San Luis Potosí. Retrieved en http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/24/24001.pdf
- INEGI. (2013). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala de 1: 250 000, serie V (capa unión), 2da edición. Retrieved en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/ usosuelo/Default.aspx>
- InfoStat. (n.d.). InfoStat versión 2008. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, Grupo InfoStat.
- James, A. I., Eldridge, D. J., Koen, T. B., Whitford, W. G. (2008). Landscape position moderates how ant nests affect hydrology and soil chemistry across a Chihuahuan Desert watershed. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9251-6>
- Jílková, V., Vohník, M., Mudrák, O., Šimáčková, H., F. J. (2019). No difference in ectomycorrhizal morphotype composition between abandoned and inhabited nests of wood ants (*Formica polyctena*) in a central European spruce forest. *Geoderma*. 334, 55–62.
- Jílková, V., Šebek, O., Frouz, J. (2012). Mechanisms of pH change in wood ant (*Formica polyctena*) nests. *Pedobiologia*. 55(5). <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2012.04.002>

- Johnson, R. A. (1992). Soil texture as an influence on the distribution of the desert seed-harvester ants *Pogonomyrmex rugosus* and *Messor pergandei*. *Oecologia*. <https://doi.org/10.1007/BF00319023>
- Jones, J. C., Oldroyd, B. P. (2006). Nest Thermoregulation in Social Insects. *Advances in Insect Physiology*. [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(06\)33003-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(06)33003-2)
- Lafleur, B., Hooper-Bùi, L. M., M., Paul, M. A. Geaghan, J. P. (2005). Soil fertility and plant growth in soils from pine forests and plantations: Effect of invasive red imported fire ants *Solenopsis invicta* (Buren). *Pedobiologia*. 5(415–423). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.05.002>
- Lara, J. P. (2013). *Etnobiología de escamoles (Liometopum apiculatum) en el altiplano potosino*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 103 pp.
- Leal, I. R., Wirth, R., & Tabarelli, M. (2007). Seed dispersal by ants in the semi-arid caatinga of north-east Brazil. *Annals of Botany*. <https://doi.org/10.1007/s10368-012-0222-7>
- LECO. (2008). Organic application notes. Retrieved en <https://www.leco.com/>
- Lei, S. A. (2000). Ecological impacts of seed harvester ants on soil attributes in a Larrea-dominated shrubland. *Western North American Naturalist*. 60(4), 439–444.
- Leite, P. A. M., Carvalho, M. C., Wilcox, B. P. (2018). Good ant, bad ant? Soil engineering by ants in the Brazilian Caatinga differs by species. *Geoderma*. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.040>
- Lobry de Bruyn, A. L., Conacher, A. J. (1994). The effect of biopores on water infiltration in soils in undisturbed bushland and in farmland in a semi-arid environment. *Pedobiologia*. 38, 193–207. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.08.058>
- Mackean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Una guía teórica y práctica de metodologías. Laboratorio de Servicios Analíticos. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT.
- Martínez, J. M., Duval, M. E., López, F. M., Iglesias, J. O., Galantini, J. A. (2017). Ajustes en la estimación de carbono orgánico por el método de calcinación en molisoles del sudoeste bonaerense. *Ciencia Del Suelo*. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.12.008>
- Mikheyev, A. S., Tschinkel, W. R. (2004). Nest architecture of the ant *Formica pallidefulva*: Structure, costs and rules of excavation. *Insectes Sociaux*. <https://doi.org/10.1007/s00040-003-0703-3>

- Moutinho, P., Nepstad, D. C., Davidson, E. A. (2003). Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. *Ecology*. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[1265:IOLANO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[1265:IOLANO]2.0.CO;2)
- Nkem, J. N., Lobry De Bruyn, L. A., Grant, C. D., Hulugalle, N. R. (2000). The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties. *Pedobiologia*. [https://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70075-X](https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70075-X)
- Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Morales-Garduza, M. A., López-Castañeda, A., Shirma-Torres, E. D. Sánchez-Hernández, R., Peña-Peña, A. J., Tinal-Ortiz, S. (2017). Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *Agroproductividad*. 10(12), 71-78
- Ramos-Elorduy, J., Delage-Darchen, B., Galindo M., N. E., P., M., J. M. (1988). Observaciones bioecológicas de *L. apiculatum* M. y *L. occidentale* var. *luctuosum* W. (Hymenoptera-Formicidae). *Anales Del Instituto de Biología. UNAM. Serie Zoología*. 58, 341–354.
- Rendón, S. G. (1994). *Muestreo. “Aplicación en la estimación simultánea de varios parámetros” Departamento de Parasitología Agrícola*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 246 p.
- Rogers, L. E. (1972). The ecological effect of the western harvester ant (*Pogonomyrmex occidentalis*) in the shortgrass plains ecosystem. USA/IBP Grassland Biome, Technical report, 206 pp.
- Sankovitz, M. A., Breed, M. D., McCreery, H. F. (2019). Effects of *Formica podzolica* ant colonies on soil moisture, nitrogen, and plant communities near nests. *Ecological Entomology*. <https://doi.org/10.1111/een.12677>
- SAS Institute SAS/. (2013). user’s guide, statistics, version 9.4. SAS Institute Cary, NC.
- Scheaffer, R., Mendenhall, W., Ott, L. (2007). Elementos de muestreo. *Editorial Paraninfo*. <https://doi.org/10.1080/13674670512331322612>
- Schulte, E. E., Hopkins, B. G. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on ignition. In: *FR Magdoff et al. (eds). Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation. SSSAJ, Madison WI. Pp. 21-31.*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación. 31 de diciembre de 2002. Segunda edición. México, D F., México. 85 p.

- Soper, F. M., Sullivan, B. W., Osborne, B. B., Shaw, A. N., Philippot, L., Cleveland, C. C. (2019). Leaf-cutter ants engineer large nitrous oxide hot spots in tropical forests. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 286(1894), 20182504. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2504>
- Szewczyk, T. M., McCain, C. M. (2018). Disentangling elevational richness: a multi-scale hierarchical Bayesian occupancy model of Colorado ant communities. *Ecography*, 42, 1–12. <https://doi.org/10.1111/e c og.0 4115>
- Wagner, D., Jones, J. B., Gordon, D. M. (2004). Development of harvester ant colonies alters soil chemistry. *Soil Biology and Biochemistry*. 36, 797–804. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.01.009>
- Wang, S., Li, J., Zhang, Z., Chen, M., Li, S., Cao, R. (2019). Feeding-strategy effect of Pheidole ants on microbial carbon and physicochemical properties in tropical forest soils. *Applied Soil Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.10.006>
- Whitford, W. G., Johnson, P., Ramirez, J. (1976). Comparative ecology of the harvester ants *Pogonomyrmex Barbatus* (F. Smith) and *Pogonomyrmex Rugosus* (Emery). *Insectes Sociaux*. <https://doi.org/10.1007/BF02223846>
- Woerner, M. (1989). Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. *Departamento Agroforestal, Facultad Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL, México. 105 p.*
- Wu, H., Lu, X., Wu, D., Yin, X. (2010). Biogenic structures of two ant species *Formica sanguinea* and *Lasius flavus* altered soil C, N and P distribution in a meadow wetland of the Sanjiang Plain, China. *Applied Soil Ecology*. 46, 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.10.011>
- Wurst S., Sonnemann I., Z. J. G. (2018). Soil Macro-Invertebrates: Their Impact on Plants and Associated Aboveground Communities in Temperate Regions. In J. S. Ohgushi T., Wurst S. (Ed.), *Aboveground–Belowground Community Ecology* (pp. 175–200).
- XLSTAT. Software estadístico para Excel. Paris: Addinsoft. Available in: <https://www.xlstat.com/es/>