

Foraging amplitude of the escamolera ant (*Liometopum apiculatum* Mayr, Hymenoptera: Formicidae) in a semi-arid area of the Zacatecan highlands

Amplitud forrajera de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr, Hymenoptera: Formicidae) en una zona semiárida del altiplano zacatecano

Javier Rafael-Valdez¹; Luis A. Tarango-Arámbula^{1*}; Saúl Ugalde-Lezama²;
José D. Cruz-Labana³; Fernando Clemente-Sánchez¹; Jorge Cadena-Iñiguez¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Posgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales, Iturbide núm. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, C. P. 78620, México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, km. 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Edo. de México. C. P. 56230. México.

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad, Programa de Ganadería, carretera México-Texcoco km 38.5, Montecillos, Texcoco, Edo. de México. C. P. 56230.

*Corresponding author: ltarango@colpos.mx

Abstract

In Mexico, the “escamolera” ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) is an economically important natural resource. However, its colonies are overused and its habitat and foraging activity have been scarcely studied. The objective of this study was to determine the foraging amplitude of *L. apiculatum* and the habitat variables that define it in Villa González Ortega, Zacatecas, Mexico. During 2014, 31 colonies of *L. apiculatum* were located. The foraging amplitude of the ant was determined by identifying foraging paths, their distances from the nest to foraging sites and their azimuths. The habitat variables most associated with foraging amplitude were determined by means of Frequency of observation (Fo), cladistic analysis (CA) and canonical correspondence analysis (CCA). The escamolera ant foraged in an area averaging $1\ 565.65 \pm 535.63\ m^2$ and the variables that most explained it were the presence of *Agave salmiana*, *Yucca* spp., *Prosopis* spp., *Acacia farnesiana*, bare soil, woody material and shrub cover. This study, on the foraging amplitude of the escamolera ant, provides information for designing strategies to manage and conserve its populations and habitats.

Keywords: Insects, arid zones, orientation, foraging, Zacatecas.

Resumen

En México, la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) es un recurso natural económicamente importante. Sin embargo, sus colonias son sobre utilizadas. Tanto su hábitat como su actividad forrajera son aspectos poco estudiados. El objetivo de este estudio fue determinar la amplitud forrajera de *L. apiculatum* y las variables del hábitat que la definen en Villa González Ortega, Zacatecas, México. Durante 2014, se localizaron 31 colonias de *L. apiculatum*. La amplitud forrajera de la hormiga se determinó mediante la identificación de los caminos de forrajeo, sus distancias desde el nido a los sitios de forrajeo y sus azimuts. Las variables del hábitat que más se asociaron con la amplitud forrajera se determinaron con índices de Frecuencia de observación (Fo), análisis cladístico (AC) y análisis de correspondencia canónica (ACC). La hormiga escamolera forrajeó en un área de tamaño promedio de $1\ 565.65 \pm 535.63\ m^2$ y las variables que más explicaron esta superficie forrajera fueron la presencia de *Agave salmiana*, *Yucca* spp., *Prosopis* spp., *Acacia farnesiana*, suelo desnudo, material leñoso y cobertura de arbustos. Este estudio, sobre la amplitud forrajera de la hormiga escamolera, proporciona información para el diseño de estrategias de manejo y conservación de sus poblaciones y hábitats en México.

Palabras clave: Insectos, zonas áridas, orientación, forrajeo, Zacatecas.

Please cite this article as follows (APA 6): Rafael-Valdez, J., Tarango-Arámbula, L.A., Ugalde-Lezama, S., Cruz-Labana, J. D., Clemente-Sánchez, F. & Cadena-Iñiguez, J. (2019). Foraging amplitude of the escamolera ant (*Liometopum apiculatum* Mayr, Hymenoptera: Formicidae) in a semi-arid area of the Zacatecan highlands. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 18(1), 5-19. doi: 10.5154/r.rchsza.2018.03.009

Received: January 13, 2018 / Accepted: June 10, 2019.



Revista Chapingo
Serie Zonas Áridas

www.chapingo.mx/revistas/zonas_aridas

Introduction

Mexico, due to its biodiversity, is a privileged country as it is home to approximately 48,000 species of insects and it is estimated that this figure may be as high as 100 000 (Sarukhán et al., 2009). Edible insects are economically, socially and nutritionally important in rural areas of the arid and semi-arid zones of Mexico (Ramos-Elorduy et al., 2007; Tarango-Arámbula, 2012). Of the edible insect species that exist in Mexico, only 18.84 % (n=95 species) are commercialized (Ramos-Elorduy, Pino-Moreno & Conconi, 2006). Its collection represents an economic and employment alternative for the inhabitants of rural communities as a complement to other productive options (De Luna-Valadez et al., 2013).

In Mexico, the escamolera ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) is distributed in 15 states, including Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Guanajuato and Zacatecas (Del Toro, Pacheco, & Mackay, 2009). The larvae of the reproductive caste of *L. apiculatum* (escamolera ant) have great nutritional value since they contain 39.7 mg·100 g⁻¹ of protein (Ramos-Elorduy & Pino, 2001). Larvae are harvested during March-May and are sold at regional prices ranging from \$ 230.00 (USA \$12.8) to \$ 550.00 (USA \$30.6), with an average price of \$ 250.00 (USA \$13.8) Mexican pesos per kilogram; the price can even be up to USA \$200 (De Luna-Valadez et al., 2013; Dinwiddie, Jones, Roitman-Genoud, Tarango-Arámbula, & Maldama-Barrera, 2013; Lara-Juárez, Aguirre-Rivera, Castillo-Lara, & Reyes-Agüero, 2015).

Ants are an important component of ecosystems (Folgarait, 1998). They contribute to mineralizing and humifying soil organic matter (Baxter & Hole, 1967); likewise, they increase soil porosity and water infiltration into the soil, participate in the composition of plant communities (Davidson & Morton, 1981; Nkem, Lobry de Bruyn, Grant, & Hulugalle, 2000), affect the relative abundance and spatial distribution of species, and even modify the structure of plant communities (Whitford, 1978).

For an organism to survive in its ecosystem, it needs to find, use and consume diverse energy sources (Gutiérrez, 1998). However, these sources are not evenly distributed in natural areas (Hölldobler & Wilson, 1990). According to Ryti and Case (1992), the spatial distribution of ant nests (colonies) depends on intra- and interspecific competition. In order to understand the spatial distribution of a species and its territorial behavior, it is necessary to know the system, its foraging distances, diet, abundance, prey distribution and interactions between individuals from different colonies (Gómez & Espadaler, 1996; Ryti & Case, 1992).

Introducción

México, por su biodiversidad, es un país privilegiado, pues alberga aproximadamente 48 mil especies de insectos y se estima que esta cifra pueda incrementarse a 100 000 (Sarukhán et al., 2009). Los insectos comestibles son económica, social y nutricionalmente importantes en las zonas rurales de las zonas áridas y semiáridas de México (Ramos-Elorduy et al., 2007; Tarango-Arámbula, 2012). De las especies de insectos comestibles que existen en México, únicamente el 18.84 % (n=95 especies) se comercializa (Ramos-Elorduy, Pino-Moreno & Conconi, 2006). Su recolección representa una alternativa económica y de empleo para los habitantes de las comunidades rurales como complemento a otras opciones productivas (De Luna-Valadez et al., 2013).

En México, la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) se distribuye en 15 estados, entre ellos, Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Guanajuato, Zacatecas (Del Toro, Pacheco, & Mackay, 2009). Las larvas de la casta reproductora de *L. apiculatum* (escamoles) poseen un gran valor nutritivo, ya que contienen 39.7 mg·100 g⁻¹ de proteína (Ramos-Elorduy & Pino, 2001). Las larvas se recolectan durante marzo-mayo y se venden a precios regionales que oscilan entre los \$ 230.00 (USA \$12.8) y \$ 550.00 (USA \$ 30.6), con un precio promedio de \$ 250.00 (USA \$13.8) pesos mexicanos por kilogramo; inclusive, el precio puede ser hasta de \$ 200 dólares americanos (De Luna-Valadez et al., 2013; Dinwiddie, Jones, Roitman-Genoud, Tarango-Arámbula, & Maldama-Barrera, 2013; Lara-Juárez, Aguirre-Rivera, Castillo-Lara, & Reyes-Agüero, 2015).

Las hormigas son un componente importante de los ecosistemas (Folgarait, 1998). Ellas contribuyen a mineralizar y humificar la materia orgánica del suelo (Baxter & Hole, 1967); asimismo, incrementan la porosidad y la infiltración del agua en el suelo, participan en la composición de comunidades vegetales (Davidson & Morton, 1981; Nkem, Lobry de Bruyn, Grant, & Hulugalle, 2000), afectan la abundancia relativa y la distribución espacial de las especies, e inclusive, modifican la estructura de las comunidades vegetales (Whitford, 1978).

Para que un organismo sobreviva en su ecosistema requiere encontrar, utilizar y consumir fuentes de energía diversas (Gutiérrez, 1998). Sin embargo, dichas fuentes no se distribuyen uniformemente en áreas naturales (Hölldobler & Wilson, 1990). De acuerdo a Ryti y Case (1992), la distribución espacial de los nidos (colonias) de hormigas depende de las competencias intra e interespecífica. Para entender la distribución espacial de una especie y su comportamiento territorial es necesario

Despite the ecological, economic and social importance of *L. apiculatum*, in order to manage its populations and habitats properly, it is necessary to know more about it and its interaction with the environment (Cruz-Labana et al., 2014; Tarango-Arámula, 2012). Therefore, the aim of this study was to determine the foraging amplitude of *L. apiculatum* and the habitat variables that define it in Villa González Ortega, Zacatecas, Mexico, including soil cover. This information may be important for designing strategies to manage and conserve its populations and habitats in Mexico's arid and semi-arid areas.

Materials and methods

This study was conducted from June to August 2014 in the municipality of Villa González Ortega, Zacatecas, located in the southern region of the Chihuahan Desert (Giménez-de Azcárate & González-Costilla, 2011). This municipality has semi-dry temperate (BS_0kw') and dry temperate (BS_1kw) climates with an average annual temperature of 14 to 18 °C (García, 2004), and the most abundant vegetation is microphilous scrub and grassland (INEGI, 2010). This research was based on a continuous daily sampling of escamolera ant colonies through field inspections and with the support of a guide (escamolera ant collector). The field inspections were carried out from 7:00 to 14:00 h in the habitat of the escamolera ant. During the inspections, there was an intensive search for nests and foraging paths (Miranda-Román, Quintero-Salazar, Ramos-Rostro, & Olguín-Arredondo, 2011). The geographic coordinates of the nests located were recorded using a Garmin 60CSx global positioning system device.

To calculate the size of the colony foraging areas, the straight distances (m) of the foraging paths were measured (from nest to forage substrate). For this, a Bushnell 'Pro 1600 Slope edition' rangefinder was used; also, the azimuths of the foraging paths were determined with a compass (Brunton®). The straight distances were digitized considering the coordinates of the nests and the azimuths of their paths; this digitization was done with ArcGis software (ESRI, 2016).

Soil cover included grasses, shrubs, woody material, bare soil, cow excreta and grasses. Cover was estimated by involving two 20-m-long Canfield lines (Canfield, 1941); one was established in a north-south direction and the other in an east-west direction, considering the nest as its center. The frequency of observation index, FO, for each variable of the habitat involved in this study was estimated by considering the expression: (total number of records of a particular variable/total number of records of the measured variables) x 100. This index was calculated using Microsoft Excel® software (2016).

conocer el sistema, sus distancias de forrajeo, régimen alimentario, abundancia, distribución de presas y las interacciones entre individuos de colonias diferentes (Gómez & Espadaler, 1996; Ryti & Case, 1992).

A pesar de la importancia, ecológica, económica y social de *L. apiculatum*, para manejar sus poblaciones y hábitats apropiadamente se requiere conocer más sobre ella y su interacción con el ambiente (Cruz-Labana et al., 2014; Tarango-Arámula, 2012). Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar la amplitud forrajera de *L. apiculatum* y las variables del hábitat que la definen en Villa González Ortega, Zacatecas, México, incluyendo la cobertura del suelo. Esta información puede ser importante para el diseño de estrategias de manejo y conservación de sus poblaciones y hábitats en las zonas áridas y semiáridas de México.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó de junio a agosto del 2014 en el municipio de Villa González Ortega, Zacatecas, localizado en la región sur del Desierto Chihuahuense (Giménez-de Azcárate & González-Costilla, 2011). En este municipio se presentan los climas semisecos templados (BS_0kw') y seco templado (BS_1kw) con una temperatura media anual de 14 a 18 °C (García, 2004); y la vegetación más abundante es matorral micrófilo y pastizal (INEGI, 2010). Esta investigación se basó en un muestreo continuo diario de colonias de hormiga escamolera a través de recorridos de campo y con el apoyo de un guía (recolector de escamoles). Los recorridos se realizaron de 7:00 a 14:00 h en el hábitat de la hormiga escamolera. Durante los recorridos, se realizó una búsqueda intensiva de nidos y caminos de forrajeo (Miranda-Román, Quintero-Salazar, Ramos-Rostro, & Olguín-Arredondo, 2011). Las coordenadas geográficas de los nidos localizados se registraron; para ello, se utilizó un geoposicionador (Garmin 60CSx).

Para calcular el tamaño de las áreas de forrajeo de las colonias, las distancias rectas (m) de los caminos de forrajeo fueron medidas (desde el nido hasta al sustrato de forrajeo). Para ello, se usó un distanciómetro marca Bushnell modelo 'Pro 1600 Slope edition'; asimismo, los rumbos (azimuts) de los caminos de forrajeo se determinaron con una brújula (Brunton®). Las distancias rectas se digitalizaron considerando las coordenadas de los nidos y los azimutes de sus caminos; dicha digitalización se realizó con el software ArcGis (ESRI, 2016).

La cobertura del suelo incluyó pastos, arbustos, material leñoso, suelo desnudo, excretas de vaca y hierbas. La cobertura se estimó al involucrar dos líneas de Canfield de 20 m de largo (Canfield, 1941); una de ellas se estableció con dirección norte-sur y la otra este-

The relationship between the 31 colonies studied with their habitat components such as soil cover (grasses, shrubs, woody material, bare soil, cow excreta and herbs), 15 habitat variables evaluated by Rafael-Valdez et al. (2017) in the same study area and foraging area size (Table 1) was determined with a cladistic analysis (CA). This analysis was performed in WinClada v. 1.00.08 software (Nixon & Wheeler, 2002) using a heuristic approach, supported by Bootstrap/Jackknife tests to estimate consistency and retention indices (Felsenstein, 1985; Lanyon, 1985).

The association of foraging amplitude (small foraging area, $A_p = 607.25 - 1\ 227.2\ \text{m}^2$; medium-size foraging area, $A_m = 1\ 227.3 - 1\ 847.2\ \text{m}^2$; large foraging area, $A_g = 1\ 847.3 - 2\ 467.2\ \text{m}^2$) of *L. apiculatum* with soil cover (grass, shrub, woody material, bare soil, cow excreta and herbs) and with 15 of the variables evaluated at the sites by Rafael-Valdez et al. (2017) (Table 1) was determined with a Canonical Correspondence Analysis (CCA; Ter Braak, 1986) in XLSTAT v. 19.5 (XLSTAT, 2017).

Results and discussion

The size of the foraging area (foraging amplitude) of the 31 colonies (116 paths) sampled in Villa González Ortega, Zacatecas ranged from 607.2 to 2 467.2 m^2 (Mean area = $1\ 565.65 \pm 535.63\ \text{m}^2$). The average straight distance from ant colonies to forage substrates was $24.3 \pm 11.36\ \text{m}$ and the curvilinear distance was $38.6 \pm 17.18\ \text{m}$. A very particular characteristic of the foraging activity of the escamolera ant found in the study area was that none of the foraging territories and paths of the colonies overlapped (Figure 1). In this respect, Hölldobler and Wilson (1990) indicate that the spatial distribution of ant nests depends on intra- and interspecific competition.

Regarding soil cover, bare soil predominated in most of the nesting sites, accounting for 41.3 % of the total, followed by shrubs with 39.2 %. On the other hand, the lowest percentages were for cow excreta (0.8 %), grasses (7.4 %) and woody material (11.3 %).

The results of the occurrence of a large percentage of bare soil in the escamolera ant colonies coincide with that reported by Cruz-Labana et al. (2014) and Lara-Juárez et al. (2015) in the state of San Luis Potosí.

This may be due to overgrazing by cattle and sheep-goats, which affects the nesting and forage substrates of the ant and the general condition of the ecosystem. Poor land-use planning is evident in central-north Mexico, resulting in water and wind erosion (Cruz-Labana et al., 2014; Lara-Juárez et al., 2015); thus, ant colonies and their foraging amplitude may be affected and, therefore, potential nesting sites may decrease.

oeste, considerando al nido como su centro. El índice de frecuencia de observación, FO, para cada variable del hábitat involucrada en este estudio fue estimado al considerar la expresión: (número total de registros de una variable en particular/número total de registros de las variables medidas) x 100. Este índice se calculó mediante el uso del software Microsoft Excel® (2016).

La relación entre las 31 colonias estudiadas con los componentes de su hábitat como la cobertura del suelo (pastos, arbustos, material leñoso, suelo desnudo, excretas de vaca y hierbas), 15 variables del hábitat evaluadas por Rafael-Valdez et al. (2017) en la misma zona de estudio y el tamaño del área de forrajeo (Cuadro 1) se determinó con un análisis cladístico (AC). Dicho análisis se realizó en el software WinClada v. 1.00.08 (Nixon & Wheeler, 2002) mediante un enfoque heurístico, con el apoyo de las pruebas de Bootstrap/Jackknife para estimar los índices de consistencia y retención (Felsenstein, 1985; Lanyon, 1985).

La asociación de la amplitud forrajera (área de forrajeo pequeña, $A_p = 607.25 - 1\ 227.2\ \text{m}^2$; área de forrajeo mediana, $A_m = 1\ 227.3 - 1\ 847.2\ \text{m}^2$; área de forrajeo grande, $A_g = 1\ 847.3 - 2\ 467.2\ \text{m}^2$) de *L. apiculatum* con la cobertura del suelo (pasto, arbusto, material leñoso, suelo desnudo, excretas de vaca y hierbas) y con 15 de las variables evaluadas en los sitios por Rafael-Valdez et al. (2017) (Cuadro 1) se determinó con un Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC; Ter Braak, 1986) en XLSTAT v. 19.5 (XLSTAT, 2017).

Resultados y discusión

El tamaño del área de forrajeo (amplitud forrajera) de las 31 colonias (116 caminos) muestreadas en Villa González Ortega, Zacatecas varió de 607.2 a 2 467.2 m^2 (Área media = $1\ 565.65 \pm 535.63\ \text{m}^2$). La distancia recta promedio de las colonias de la hormiga a los sustratos forrajeros fue de $24.3 \pm 11.36\ \text{m}$ y la curvilínea de $38.6 \pm 17.18\ \text{m}$. Una característica muy particular de la actividad forrajera de la hormiga escamolera encontrada en el área de estudio, fue que ninguno de los territorios y caminos de forrajeo de las colonias se traslaparon (Figura 1). Al respecto, Hölldobler y Wilson (1990) indican que la distribución espacial de los nidos de hormigas depende de las competencias intra e interespecifica.

Respecto a la cobertura del suelo, en la mayoría de los sitios de anidación predominaron suelo desnudo (41.3 %) y arbustos (39.2 %). Por el contrario, los porcentajes menores fueron los de excretas de vaca (0.8 %), pastos (7.4 %) y material leñoso (11.3 %).

Los resultados de ocurrencia de un gran porcentaje de suelo desnudo en las colonias de la hormiga escamolera

Table 1. Classification of habitat variables of *L. apiculatum* Mayr, in Villa González Ortega, Zacatecas, Mexico.Cuadro 1. Clasificación de las variables del hábitat de *L. apiculatum* Mayr, en Villa González Ortega, Zacatecas, México.

Number of variable/ Número de variable	Variable	Category	Identifier
1	*Number of paths/ * Número de caminos	<i>Fb</i> = 2 paths/caminos	1
		<i>Fm</i> = 3 and 4 paths/caminos	2
		<i>Fa</i> = 5 and 6 paths/caminos	3
2	*Nesting substrate/ *Sustrato de anidación	Nopal	1
		Polque agave /Maguey	2
		Silver prairie-clover /Ramón blanco	3
		Yucca /Palma	4
3	*Straight distance (m)/ *Distancia recta (m)	<i>Dc</i> = 30 – 73	1
		<i>Dm</i> = 74 – 116	2
		<i>Dg</i> = 117 – 159	3
4	*Foraging distance (m)/ *Distancia de forrajeo (m)	<i>Dc</i> = 53 - 121.8	1
		<i>Dm</i> = 121.8 - 190.5	2
		<i>DI</i> = 190.5 - 259.1	3
5	*Density of yuccas (<i>Yucca</i> spp.) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Densidad de palmas (<i>Yucca</i> spp.) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Db</i> = 0 – 7	1
		<i>Dm</i> = 8 – 15	2
		<i>Da</i> = 16 – 22	3
6	*Density of nopal (<i>Opuntia rastrera</i>) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Densidad de nopales (<i>Opuntia rastrera</i>) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Db</i> = 14 – 93	1
		<i>Dm</i> = 94 – 171	2
		<i>Da</i> = 172 – 250	3
7	*Density of agaves (<i>Agave salmiana</i>) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Densidad de magueyes (<i>Agave salmiana</i>) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Db</i> = 3 – 65	1
		<i>Dm</i> = 66 – 127	2
		<i>Da</i> = 128 – 189	3
8	*Density of chaparros (<i>Mimosa biuncifera</i>) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Densidad de chaparros (<i>Mimosa biuncifera</i>) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Db</i> = 16 – 69	1
		<i>Dm</i> = 70 – 122	2
		<i>Da</i> = 123 – 175	3
9	*Density of silver prairie-clovers (<i>Dalea bicolor</i>) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Densidad de ramón blanco (<i>Dalea bicolor</i>) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Db</i> = 11 – 73	1
		<i>Dm</i> = 74 – 136	2
		<i>Da</i> = 137 – 198	3
10	*Density of creosote bushes (<i>Larrea tridentata</i>) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Densidad de gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Db</i> = 0 – 49	1
		<i>Dm</i> = 50 – 95	2
		<i>Da</i> = 96 – 143	3
11	*Density of mesquites (<i>Prosopis</i> spp.) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Densidad de mezquites (<i>Prosopis</i> spp.) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Db</i> = 0 – 2	1
		<i>Dm</i> = 3 – 4	2
		<i>Da</i> = 5 – 6	3
12	*Density of huizaches (<i>Acacia farnesiana</i>) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Densidad de huizaches (<i>Acacia farnesiana</i>) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Db</i> = 0 – 4	1
		<i>Dm</i> = 5 – 8	2
		<i>Da</i> = 9 – 12	3
13	*Frequency of Foraged yucca (<i>Yucca</i> spp.) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Frecuencia de Palmas forrajeadas (<i>Yucca</i> spp.) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Fb</i> = 1 y 2	1
		<i>Fm</i> = 3 y 4	2
		<i>Fa</i> = 5	3
14-15	*Frequency of Foraged nopal (<i>O. rastrera</i>) and foraged agave (<i>A. salmiana</i>) (number of individuals·ha ⁻¹)/ *Frecuencia de Nopal forrajeados (<i>O. rastrera</i>) y maguey forrajero (<i>A. salmiana</i>) (número de individuos·ha ⁻¹)	<i>Fb</i> = 1	1
		<i>Fm</i> = 2	2
		<i>Fa</i> = 3	3
16	Foraging area (Foraging amplitude) (m ²)/ Área de forrajeo (Amplitud forrajera) (m ²)	<i>Ap</i> = 607.25 - 1227.2	1
		<i>Am</i> = 1227.3 - 1847.2	2
		<i>Ag</i> = 1847.3 - 2467.2	3
17 - 22	Soil cover (%): grass cover, shrubs, woody material, bare soil, cow excrement and herb cover)/ Cobertura de suelo (%): cobertura de pastos, arbustos, material leñoso, suelo desnudo, excretas de vaca y cobertura de hierbas)	<i>Csb</i> = 0 - 22.1	1
		<i>Csm</i> = 22.2 - 44.2	2
		<i>Csa</i> = 44.3 - 66.3	3

Fb = Low frequency; *Fm* = Medium frequency; *Fa* = High frequency; *Dc* = Short distance; *Dm* = Medium distance; *Dg* = Long distance; *Db* = Low density; *Dm* = Medium density; *Da* = High density; *Ap* = Small area; *Am* = Medium-sized area; *Ag* = Large area; *Csb* = Low cover; *Csm* = Medium cover; *Csa* = High cover. *Variables evaluated by Rafael-Valdez-Valdez et al. (2017) in the same study area. /

Fb = Frecuencia baja; *Fm* = Frecuencia media; *Fa* = Frecuencia alta; *Dc* = Distancia corta; *Dm* = Distancia media; *Dg* = Distancia larga; *Db* = Densidad baja; *Dm* = Densidad media; *Da* = Densidad alta; *Ap* = Área pequeña; *Am* = Área mediana; *Ag* = Área grande; *Csb* = Cobertura baja; *Csm* = Cobertura media; *Csa* = Cobertura alta. *Variables evaluadas por Rafael-Valdez-Valdez et al. (2017) en la misma zona de estudio.

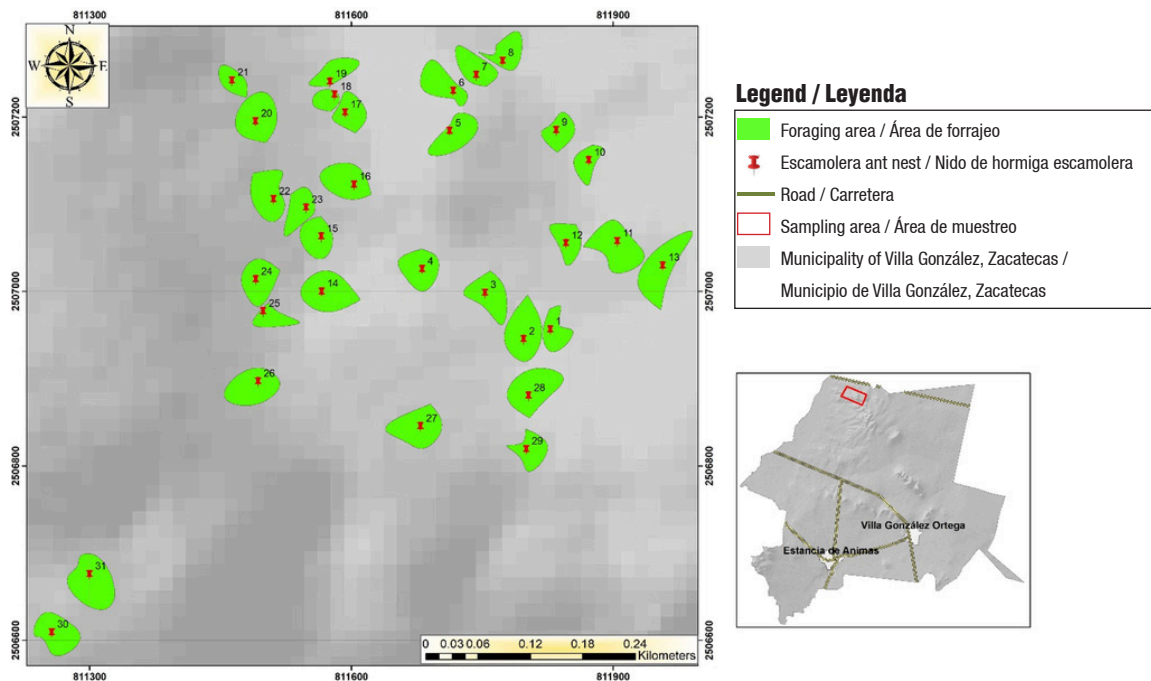


Figure 1. Location of escamolera ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) colonies and foraging areas in Villa González Ortega, Zacatecas, México.

Figura 1. Localización de colonias y áreas de forrajeo de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) en Villa González Ortega, Zacatecas, México.

Likewise, Cruz-Labana et al. (2014) identified that the escamolera ant's foraging and nesting activities are affected by temperature and relative humidity, vegetation type, soil type, cover and, in general, by anthropic disturbances. For example, they note that, in the state of San Luis Potosí, the density of nests in a very disturbed environment, in another moderately disturbed and in a little disturbed one was 1.19, 11.9 and 6.8 nests·ha⁻¹, respectively. In the state of Zacatecas, Hernández-Roldan et al. (2017) recorded an average density of 3.8 nests·ha⁻¹ with a minimum of 2.7 and a maximum of 5.5 nests·ha⁻¹; undoubtedly, nest density depends on the condition of the habitat where the escamolera ant establishes its populations.

In addition, the structure of escamolera ant colonies is determined by the type of food and its availability, spatio-temporal diversity, density and the intrinsic capacity of the colony to renew itself. For this reason, keeping food available, especially in Mexico's arid and semiarid environments, is fundamental for the colony to adapt its structure adequately (Cruz-Labana et al., 2014; Lara-Juárez et al., 2015; Sanders & Gordon, 2003).

Environmental and soil temperatures in these areas also determine ant foraging activity, affect foraging distances, and hence foraging amplitude. Only 10 % of the colony participates in the foraging activity

coinciden con lo reportado por Cruz-Labana et al. (2014) y Lara-Juárez et al. (2015) en el estado de San Luis Potosí. Ello puede deberse al sobrepastoreo por ganado vacuno y ovino-caprino, lo que afecta a los sustratos de anidación y de forrajeo de la hormiga y la condición general del ecosistema. En el centro-norte de México es evidente una planeación mala sobre el uso del suelo, lo que ocasiona su erosión hídrica y eólica (Cruz-Labana et al., 2014; Lara-Juárez et al., 2015); así, las colonias de la hormiga y su amplitud forrajera pueden ser afectadas y, por lo tanto, los sitios de anidación potenciales pueden disminuir.

Asimismo, Cruz-Labana et al. (2014) identificaron que las actividades forrajeras y de anidación de la hormiga escamolera son afectadas por la temperatura y humedad relativa, por el tipo de vegetación, tipo de suelo, cobertura y, en general, por perturbaciones antrópicas. Por ejemplo, ellos mencionan que, en el estado de San Luis Potosí, la densidad de nidos en un ambiente muy perturbado, en otro medianamente perturbado y en uno poco perturbado, la densidad de nidos fue de 1.19, 11.9 y 6.8 nidos·ha⁻¹, respectivamente. En el estado de Zacatecas, Hernández-Roldan et al. (2017) registraron una densidad promedio de 3.8 nidos·ha⁻¹ con un mínimo de 2.7 y un máximo de 5.5 nidos·ha⁻¹; sin duda, la densidad de nidos depende de la condición del hábitat en donde la hormiga escamolera establece sus poblaciones.

(Dornhaus & Powell, 2010), which from March to September occurs mostly from 7:00 to 19:00 h (Ramos-Elorduy, Delage-Darchen, Flores-Robles, Sandobal-Castro, & Cuevas-Correa, 1988; Ramos-Elorduy & Levieux, 1992). Bernstein and Gobbel (1979) reported that when food is scarce, the foraging intensity, the search speed, and the size of the foraging area of the colonies increase.

During foraging, ants impregnate their paths with pheromones; this allows them to orient themselves, avoid confronting individuals from other colonies, and make more efficient use of resources in the areas they inhabit (Hölldobler & Wilson, 1990; MacMahon et al., 2000). Ants include the storage of seeds in their feeding habits, making them into successful organisms in arid and semi-arid environments (Hölldobler & Wilson, 1990).

Although the foraging strategy seeks the survival, reproduction and growth of the colony, it depends on the quality of the habitat in which it develops (Mackay & Mackay, 2002) and on its foraging behavior. During the procuring of food, ants promote the division of their niche, forage in rows and coexist with other species when food is abundant, but when food is scarce, they do so in a scattered manner (Hölldobler & Wilson 1990).

Cladistic analysis (CA) grouped the habitat variables of the escamolera ant and generated reliable consistency and retention indices ($Ci=30$ and $Ri=59$) with Bootstrap/Jackknife values from 3/2 to 100/100. Four groups of colonies were formed by involving soil cover variables (percentage of grasses, shrubs, woody material, bare soil, cow excreta and herbs), 15 of the habitat variables evaluated by Rafael-Valdez et al. (2017) and foraging area size (Figure 2). The first group included colonies 1, 4, 19, 7, 18, 23, 16, 17, 12 and 25; this group was characterized by using *Yucca* spp. as a nesting substrate, and by having a medium straight distance from the nest to the forage substrate (74 - 116 m). The second group consisted of colonies 29, 15, 14, 2, 28, 20 and 27; this group of nests is characterized by high shrub cover (44.2 - 66.3 %) and medium foraging amplitude (1 227.3 - 1 847.2 m²). Colonies 3, 26, 22, 21, 30, 24 and 31 formed the third group, which was characterized by having a medium straight distance (74 - 116 m) from the nest to the forage substrate, a medium foraging distance (121.8 - 190.5 m), a medium frequency of foraged *Yucca* spp. (3 - 4 individuals·ha⁻¹) and a medium density of *Yucca* spp. (8 - 15 individuals·ha⁻¹). The fourth group included colonies 5, 8, 10, 6, 9, 11 and 13 and had low to medium creosote bush (*Larrea tridentata*) densities (0 - 95 individuals·ha⁻¹), medium shrub soil cover (22.1 - 44.2 %) and a high foraging path frequency (5 - 6) (Figure 2).

Además, la estructura de las colonias de hormigas está determinada por el tipo de alimento y su disponibilidad, diversidad espacio-temporal, densidad y la capacidad intrínseca de la colonia para renovarla. Por ello, mantener alimento disponible, especialmente en ambientes áridos y semiáridos de México es fundamental para que la colonia conforme su estructura adecuadamente (Cruz-Labana et al., 2014; Lara-Juárez et al., 2015; Sanders & Gordon, 2003).

Asimismo, las temperaturas ambientales y del suelo en estas zonas también determinan la actividad forrajera de las hormigas, afectan las distancias de forrajeo y, por ende, su amplitud forrajera. Solo el 10 % de la colonia participa en la actividad forrajera (Dornhaus & Powell, 2010), la cual desde marzo a septiembre ocurre de las 7:00 y las 19:00 h (Ramos-Elorduy, Delage-Darchen, Flores-Robles, Sandobal-Castro, & Cuevas-Correa, 1988; Ramos-Elorduy & Levieux, 1992). Bernstein y Gobbel (1979) reportaron que cuando el alimento es escaso, la intensidad de forrajeo, la velocidad de búsqueda y el tamaño de las áreas de forrajeo de las colonias se incrementan.

Durante el forrajeo, las hormigas impregnan sus caminos con feromonas; ello les permite orientarse, evitar confrontarse con individuos de otras colonias y hacer un uso más eficiente de los recursos en las áreas que habitan (Hölldobler & Wilson, 1990; MacMahon et al., 2000). Las hormigas incluyen el almacenamiento de semillas en sus hábitos alimenticios, lo que las convierten en organismos exitosos en ambientes áridos y semiáridos (Hölldobler & Wilson, 1990).

Aunque la estrategia de forrajeo busca la sobrevivencia, la reproducción y el crecimiento de la colonia, esta depende de la calidad del hábitat en el que se desarrolla (Mackay & Mackay, 2002) y de su comportamiento forrajero. Durante la procuración de alimento, las hormigas promueven la división de su nicho, forrajean en hileras y coexisten con otras especies cuando el alimento es abundante, cuando éste es escaso, lo hacen de forma dispersa (Hölldobler & Wilson 1990).

El análisis cladístico (AC) agrupó las variables del hábitat de la hormiga escamolera y generó índices de consistencia y retención confiables ($Ci=30$ y $Ri=59$) con valores de Bootstrap/Jackknife desde 3/2 hasta 100/100. Cuatro grupos de colonias se conformaron al involucrar las variables de cobertura del suelo (porcentaje de pastos, arbustos, material leñoso, suelo desnudo, excretas de vaca y hierbas), 15 de las variables del hábitat evaluadas por Rafael-Valdez et al. (2017) y el tamaño del área de forrajeo (Figura 2). El primer grupo incluyó a las colonias 1, 4, 19, 7, 18, 23, 16, 17, 12 y 25; este grupo de colonias se caracterizó por utilizar la *Yucca* spp. como sustrato de anidación, por tener una distancia recta del nido al

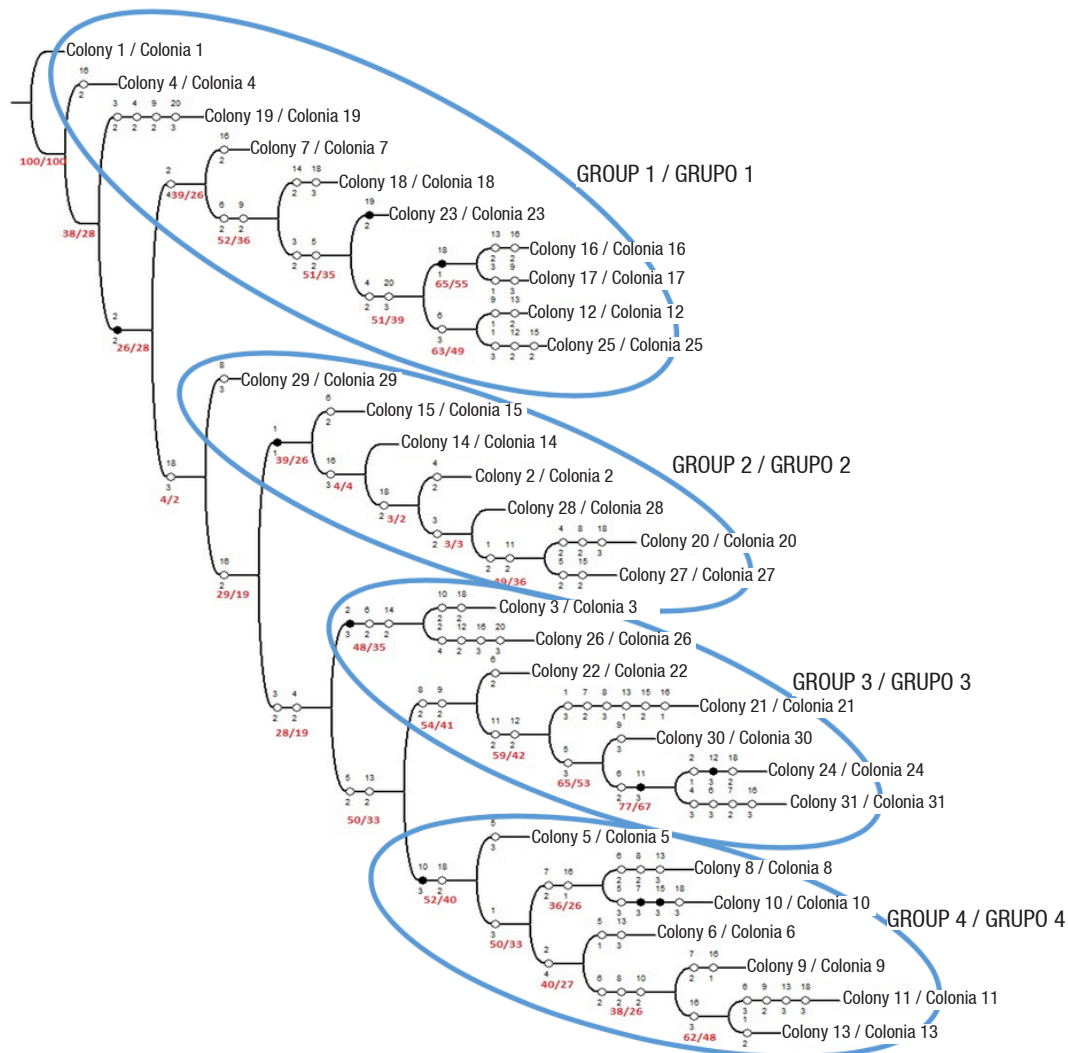


Figure 2. Cladogram of 31 colonies of escamolera ant (*Liometopum apiculatum*), with the categories of variables recorded in their habitat (white circle = category of the variable that characterizes the group of colonies; black circle = category of the variable that does not distinguish the group of colonies). The values described in the upper part of the circles indicate the habitat variable, the lower ones refer to its category (Morrone, 2003) and those in red indicate values of the consistency (Bootstrap) and retention (Jackknife) indices (Felsenstein, 1985; Lanyon, 1985).

Figura 2. Cladograma de 31 colonias de hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*), con las categorías de las variables registradas en su hábitat (círculo blanco = categoría de la variable que caracteriza al grupo de colonias; círculo negro = categoría de la variable que no distingue al grupo de colonias). Los valores descritos en la parte superior de los círculos indican la variable del hábitat, los inferiores se refieren a su categoría (Morrone, 2003) y los valores en rojo indican valores de los índices de consistencia (Bootstrap) y retención (Jackknife) (Felsenstein, 1985; Lanyon, 1985).

In this study, the nesting sites were characterized by a higher percentage of bare soil; on the other hand, they presented low percentages of woody material components and grasses. Similar results were found in north-central Mexico by Cruz-Labana et al. (2014); this indicates that the current soil cover condition is inappropriate for the escamolera ant to perform its foraging activities on a regular basis, since high air and soil temperatures affect its survival (Miller, 2007). Although Ramos-Elorduy et al. (1988) mention that *L.*

sustrato forrajero media (74 - 116 m). El segundo grupo se integró por las colonias 29, 15, 14, 2, 28, 20 y 27; este grupo de nidos se caracteriza por cobertura de arbustos alta (44.2 - 66.3 %) y una amplitud forrajera media (1 227.3 - 1 847.2 m²). Las colonias 3, 26, 22, 21, 30, 24 y 31 conformaron el tercer grupo, el cual se caracterizó por presentar una distancia recta media (74 - 116 m) del nido al sustrato de forrajeo, siendo una distancia media (121.8 - 190.5 m), una frecuencia media de *Yucca* spp. forrajeadas (3 - 4 individuos·ha⁻¹) y una densidad media de

apiculatum Mayr forages during daylight hours, it has the ability to establish foraging paths either under the ground or under the leaf litter and herbs present on the soil surface. Likewise, *L. apiculatum* uses cracks in stony soils (Lara-Juárez et al., 2015). In this study, nesting sites were also characterized by the presence of shrubs, as they contribute to providing protective conditions against extremely high temperatures.

The escamolera ant is omnivorous; however, it prefers a diet of extrafloral nectaries produced by plants and some insects (Miller, 2007). Lara-Juárez et al. (2015) report a mutualistic association between *L. apiculatum* Mayr and *Opuntia imbricata*, from which the ant extracts nectary from the inflorescences and, in return, provides protection (emitting a strong odor and an aggressive attack) against herbivores and predators. The spatial distribution of *L. apiculatum* Mayr is related to the location of plants infested by hemipterans (Cruz-Labana et al., 2014; Ramos-Elorduy & Levieux, 1992), since these ants feed on their sugary secretions via trophobiosis, but they also feed on insect pupae, crustaceans, annelids, mollusks, dead vertebrates, animal excreta and nectar from the flowers of *Opuntia* spp. (Velasco-Corona, Corona-Vargas, & Peña-Martínez, 2007). Miller (2007) reports an association between the ant and its forage substrates because they provide it with food and protect it from predators and extreme temperatures. In Mexico's arid and semi-arid ecosystems, creosote bush (*Larrea tridentata*) is one of the most common species; however, in this study escamolera ant colonies were associated with low and medium creosote bush densities; these results are similar to those obtained by Cruz-Labana et al. (2014) and Lara-Juárez et al. (2015). In addition, Cruz-Labana et al. (2014) and Rafael-Valdez et al. (2017) do not report this plant as a frequent nesting substrate; the possible explanation is that the allelopathic effects of this plant prevent the establishment of nests in its root system.

The CCA showed an association ($P < 0.0001$) between the size of the foraging area of the escamolera ant and the habitat variables involved; the two axes of the two-dimensional map explained 100 % of the variation between foraging areas and habitat variables (Figure 3). Small foraging areas (607.25 – 1 227.2 m²) are mainly associated with high densities of agave (*Agave salmiana*) and nopal (*Opuntia rastrera*), high percentages of cow excrement cover, low densities of huizache (*Acacia farnesiana*), a short straight distance and a high density of chaparro (*Mimosa biuncifera*). The medium-sized foraging areas (1 227.3 – 1 847.2 m²) were characterized by having a large yucca density, a large woody material cover and small densities of nopal, chaparro and agave.

Also, large foraging areas (1 847.3 - 2 467.2 m²) were associated with long straight distances, high densities

Yucca spp. (8 - 15 individuos·ha⁻¹). El cuarto grupo incluyó a las colonias 5, 8, 10, 6, 9, 11 y 13 y presentó densidades de gobernadora (*Larrea tridentata*) de baja a media (0 - 95 individuos·ha⁻¹), una cobertura de suelo de arbustos media (22.1 - 44.2 %) y una frecuencia de caminos de forrajeo alta (5 - 6) (Figura 2).

En este estudio, los sitios de anidación se caracterizaron por un porcentaje mayor de suelo desnudo; por el contrario, presentaron porcentajes de los componentes de material leñoso y pastos bajos. Resultados similares se encontraron en el centro-norte de México por Cruz-Labana et al. (2014); esto indica que la condición de cobertura del suelo actual es inapropiada para que la hormiga escamolera realice sus actividades forrajeras de manera regular, pues las temperaturas del aire y del suelo altas afectan su sobrevivencia (Miller, 2007). Aunque Ramos-Elorduy et al. (1988) mencionan que *L. apiculatum* Mayr realiza la búsqueda de alimento durante un horario diurno, tiene la capacidad de establecer trayectos de forrajeo subterráneos o bien bajo la hojarasca y hierbas presentes en la superficie del suelo. Asimismo, *L. apiculatum* utiliza las grietas en terrenos pedregosos (Lara-Juárez et al., 2015). En este estudio, los sitios de anidación también se caracterizaron por la presencia de arbustos, pues contribuyen a proveer condiciones de protección ante temperaturas extremas calientes.

La hormiga escamolera es omnívora; sin embargo, ella prefiere una dieta de néctares extraflorales producidos por plantas y algunos insectos (Miller, 2007). Lara-Juárez et al. (2015) reportan una asociación mutualista entre *L. apiculatum* Mayr y *Opuntia imbricata*, de la cual la hormiga extrae néctar de las inflorescencias y, a cambio, brinda protección (emitiendo un olor fuerte y un ataque agresivo) contra herbívoros y depredadores. La distribución espacial de *L. apiculatum* Mayr se relaciona con la ubicación de plantas infestadas por hemipteros (Cruz-Labana et al., 2014; Ramos-Elorduy & Levieux, 1992); ya que las hormigas se alimentan con sus secreciones azucaradas vía trofobiosis, pero también se alimentan con pupas de insectos, crustáceos, anélidos, moluscos, vertebrados muertos, excretas de animales y néctar de las flores de *Opuntia* spp. (Velasco-Corona, Corona-Vargas, & Peña-Martínez, 2007). Miller (2007) reporta una asociación entre la hormiga y sus sustratos forrajeros pues éstos le proporcionan alimento, la protegen de depredadores y de temperaturas extremas. En los ecosistemas áridos y semiáridos de México, la gobernadora (*Larrea tridentata*) es una de las especies más comunes; sin embargo, en este estudio las colonias de hormiga escamolera se asociaron a densidades baja y media de gobernadora; estos resultados son similares a los obtenidos por Cruz-Labana et al., (2014) y Lara-Juárez et al., (2015). Además, Cruz-Labana et al. (2014) y Rafael-Valdez et al. (2017) no reportan a esta planta como sustrato de anidación

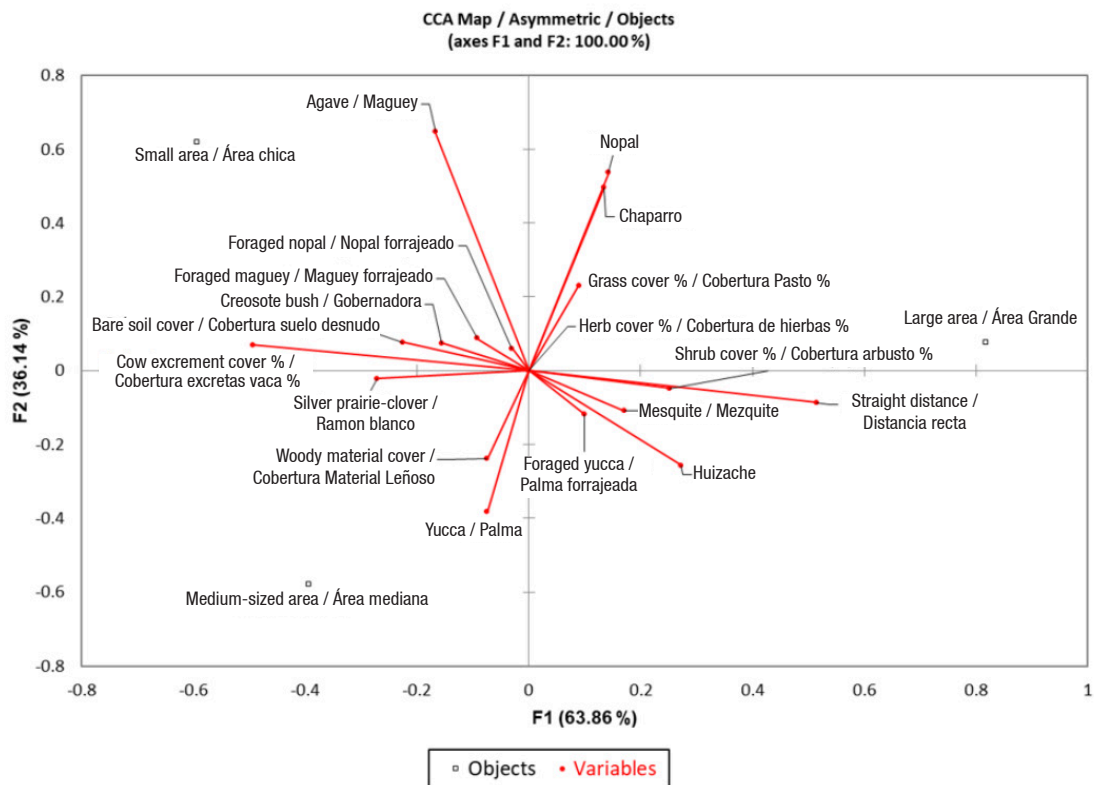


Figure 3. Representation of Canonical Correlation Analysis between foraging area size of *Liometopum apiculatum* Mayr and habitat variables in Villa González Ortega, Zacatecas, México.

Figura 3. Representación del Análisis de Correlación Canónica entre el tamaño del área de forrajeo de *Liometopum apiculatum* Mayr y las variables del hábitat en Villa González Ortega, Zacatecas, México.

of huizache, with small cow excrement cover and small or medium silver prairie-clover (*Dalea bicolor*) densities.

In the present study, the escamolera ant foraged on areas from 607.25 to 2 467.2 m²; Ramos-Elorduy and Leveux (1992) estimated that the foraging area size of *L. apiculatum* Mayr ranged between 361.5 and 580 m², while Lara-Juárez et al. (2015) reported that the forage area was from 1 600 to 2 500 m² in the Altiplano Potosino. Therefore, foraging amplitude depends on the general condition of the habitat, the number of nesting and forage substrates, and their distribution, among other factors. For example, the minimum foraging area recorded in this research was 607.25 m²; this value is lower than that reported by Lara-Juárez et al. (2015). Rafael-Valdez et al. (2017) indicated that the average number of foraging paths per escamolera ant colony was 3.7 and an average straight foraging distance of 38.6 ± 17.18 m. Specifically, they mention that the average foraging distances in yucca and agave were 41.2 and 33.9 m, respectively; also, these authors reported that the yuccas (*Yucca* spp.) and agave (*Agave salmiana*) foraged by *L. apiculatum* Mayr were infested by scale insects (Hemiptera), which the escamolera ant stimulates to expel their sugary secretions (Delfino & Buffa, 2000; Lara-Juárez et al., 2015).

frecuente; la explicación posible es que los efectos alelopáticos de esta planta impiden el establecimiento de nidos en su sistema radical.

El ACC mostró una asociación ($P < 0.0001$) entre el tamaño del área de forrajeo de la hormiga escamolera y las variables del hábitat involucradas; los dos ejes del mapa bidimensional explicaron el 100 % de la variación entre las áreas de forrajeo y las variables del hábitat (Figura 3). Las áreas de forrajeo pequeñas (607.25 – 1 227.2 m²) se asocian principalmente con densidades altas de maguey (*Agave salmiana*) y nopal (*Opuntia rastrera*), porcentajes grandes de cobertura de excretas de vaca, densidades pequeñas de huizache (*Acacia farnesiana*), una distancia recta corta y una densidad grande de chaparro (*Mimosa biuncifera*). Las áreas de forrajeo de tamaño mediano (1 227.3 – 1 847.2 m²) se caracterizaron por presentar una densidad grande de palma, por una cobertura grande de Material Leñoso y por densidades pequeñas de nopal, chaparro y maguey.

Asimismo, las áreas de forrajeo de tamaño grande (1 847.3 – 2 467.2 m²) se asociaron con distancias rectas largas, densidades grandes de huizache, con cobertura pequeña de excretas de vaca y densidades pequeñas o medias de ramón (*Dalea bicolor*).

Vegetation structure and soil cover have an effect on the food component of *L. apiculatum* Mayr; a large plant cover offers greater availability of food resources and provides mulch on the soil, which protects ants from extremely high temperatures (Lara-Juárez et al., 2015; Ramos-Elorduy et al., 1988).

In general, the habitat conditions of *L. apiculatum* Mayr determine the subsistence and persistence of its colonies, the amount of food, and the nesting and forage cover (Hölldobler & Wilson, 2008). Cruz-Labana et al. (2014) state that the escamolera ant preferentially used *Agave salmiana* as nesting substrate (91 %) in the Altiplano Potosino-Zacatecano; likewise, Rafael-Valdez et al. (2017) note that of 31 nests of the escamolera ant, 45.2 % used *Agave salmiana* as nesting substrate, 38.7 % used *Yucca* spp., 12.9 % *Opuntia rastrera* and only 3.2 % *Dalea bicolor*.

During the escamol collection, the populations of *Agave salmiana*, *Opuntia* spp. and *Yucca* spp. are not drastically affected because *L. apiculatum* establishes its nests on one side of their root system. However, the economic importance and demand for this species are elements that threaten its persistence (Cruz-Labana et al., 2014; Esparza-Frausto, Macías-Rodríguez, Martínez-Salvador, Jiménez Guevara, & Méndez-Gallegos, 2008; Lara-Juárez et al., 2015; Ramos-Elorduy et al., 2006; Tarango-Arámbula, 2012). Added to this, extensive livestock systems, where the escamolera ant is distributed, exceed the carrying capacity of the pastures. For example, for an area adjacent to the one considered in this study where the larvae of the escamolera ant are also collected, COTECOCA (2009) establishes a pasture coefficient of 14.49 ha per animal unit; however, it involves 6.18 ha per animal unit (Hernández-Roldan et al., 2017), which results in direct overgrazing.

This study generated information that can be used to design appropriate management plans for the populations and habitat of the escamolera ant, a species that due to its economic importance and demand is in a situation of constant risk. Therefore, to manage and conserve *Liometopum apiculatum* in a better way in north-central Mexico, and more specifically in the country's arid and semi-arid zones, it is necessary to evaluate nest production in different nesting substrates and different habitat conservation conditions. Also, based on experience and research results, we recommend carrying out a single harvest per nest annually, providing 1-3 years rest and monitoring its production in different ecological contexts.

Undoubtedly, *L. apiculatum* and its reproductive castes known as *escamoles* are important for rural communities, constituting important economic income that is additional to that generated by their

En el presente estudio, la hormiga escamolera forrajeó en superficies de 607.25 a 2 467.2 m²; Ramos-Elorduy y Levieux (1992) estimaron que el tamaño del área de forrajeo de *L. apiculatum* Mayr varió entre 361.5 y 580 m²; mientras que Lara-Juárez et al. (2015) consignaron que el área de forrajeo fue de 1 600 a 2 500 m² en el Altiplano Potosino. Entonces, la amplitud forrajera depende de la condición general del hábitat, de la cantidad de sustratos de anidación y de forrajeo, y de su distribución, entre otros factores. Por ejemplo, el área de forrajeo mínima registrada en esta investigación fue de 607.25 m²; este valor es menor al reportado por Lara-Juárez et al. (2015). Rafael-Valdez et al. (2017) señalaron que el número promedio de caminos de forrajeo por colonia de hormiga escamolera fue de 3.7 y una distancia recta de forrajeo promedio de 38.6 ± 17.18 m. Específicamente, ellos mencionan que las distancias promedio para forrajear en palma y magueyes fueron 41.2 y 33.9 m, respectivamente; también, esos autores reportaron que las palmas (*Yucca* spp.) y magueyes (*Agave salmiana*) forrajeados por *L. apiculatum* Mayr estaban infestados por insectos escama (Hemiptera), a los cuales la hormiga escamolera estimula para que expulse sus secreciones azucaradas (Delfino & Buffa, 2000; Lara-Juárez et al., 2015).

La estructura de la vegetación y la cobertura del suelo tienen un efecto sobre el componente alimenticio de *L. apiculatum* Mayr; una cobertura vegetal grande ofrece una mayor disponibilidad de recursos alimenticios y propicia el mantillo sobre el suelo, el cual protege a las hormigas de las temperaturas extremas calientes (Lara-Juárez et al., 2015; Ramos-Elorduy et al., 1988).

En general, las condiciones del hábitat de *L. apiculatum* Mayr determinan la subsistencia y persistencia de sus colonias, la cantidad de alimento, así como la cobertura de anidación y forrajeo (Hölldobler & Wilson, 2008). Cruz-Labana et al. (2014) mencionan que la hormiga escamolera utilizó preferentemente el *Agave salmiana* como sustrato de anidación (91 %) en el Altiplano Potosino-Zacatecano; asimismo, Rafael-Valdez et al. (2017) mencionan que de 31 nidos de la hormiga escamolera, el 45.2 % utilizó como sustrato de anidación al *Agave salmiana*, el 38.7 % a *Yucca* spp., el 12.9 % a *Opuntia rastrera* y solo el 3.2 % utilizó a *Dalea bicolor* como sustrato de anidación.

Durante la recolecta del escamol, las poblaciones de *Agave salmiana*, *Opuntia* spp. y *Yucca* spp. no son afectadas drásticamente pues *L. apiculatum* establece sus nidos a un costado de su sistema radical. Sin embargo, la importancia económica y demanda de esta especie son elementos que amenazan su persistencia (Cruz-Labana et al., 2014; Esparza-Frausto, Macías-Rodríguez, Martínez-Salvador, Jiménez Guevara, & Méndez-Gallegos, 2008; Lara-Juárez et al., 2015; Ramos-

conventional productive activities, so their care and permanence are necessary. In this sense, to maintain this species and its populations in healthy terms and to inherit, this important natural resource in good condition, to future generations of Mexicans, research institutions and municipal, state and federal governments should undertake joint efforts to manage and conserve this species.

In this sense, to maintain this species and its populations in healthy terms and to bequeath, this important natural resource in good conditions to future generations of Mexicans, joint efforts must be conducted between research institutions and municipal, state and federal governments.

Conclusions

This research determined that the foraging area of the escamolera ant ranged from 607.25 to 2 467.2 m². The average straight distance from the nest to the forage substrate of *L. apiculatum* was 24.3 ± 11.36 m. The most noteworthy variables that determined foraging area size were the presence of *Agave salmiana*, *Yucca* spp., *Prosopis* spp., *Acacia farnesiana* and soil cover. This information is essential to design management and conservation plans for the escamolera ant and its habitats in Mexico.

Acknowledgments

The authors wish to thank the San Luis Potosí Campus of the Colegio de Postgraduados for providing assistance in the development of this research. Thanks also go to María Isabel Iñiguez Luna for her support in data analysis, and the group of escamolera ant collectors, especially Margarito Alfaro Briones, of the Socorro Pámanes Escobedo neighborhood of the municipality of Pánfilo Natera, Zacatecas, for the support provided in the field phase of this research.

End of English version

References / Referencias

- Baxter, F. P., & Hole, F. D. (1967). Ant (*Formica cinerea*) pedoturbation in a prairie soil. *Soil Science Society of America Journal*, 31(3), 425-428. doi:10.2136/sssaj1967.03615995003100030036x
- Bernstein, R. A., & Gobbel, M. (1979). Partitioning of space in communities of ants. *Journal of Animal Ecology*, 48(3), 931-942. doi: 10.2307/4205.

Elorduy et al., 2006; Tarango-Arámbula, 2012). Aunado a esto, los sistemas de ganadería extensiva, donde se distribuye la hormiga escamolera, sobrepasan la capacidad de carga de los agostaderos. Por ejemplo, para un área contigua a la considerada en este estudio donde también se recolectan las larvas de la hormiga escamolera, la COTECOCA (2009) establece un coeficiente de agostadero de 14.49 ha por unidad animal; sin embargo, en ella se involucran 6.18 ha por unidad animal (Hernández-Roldan et al., 2017), lo que deriva en un sobrepastoreo directo.

En el presente estudio se generó información que puede ser usada para diseñar planes de manejo apropiado de las poblaciones y el hábitat de la hormiga, especie que por su importancia económica y demanda se encuentra en una situación de riesgo constante. Por lo tanto, para conservar a *Liometopum apiculatum* de una mejor manera en el centro-norte de México, y más específicamente en las zonas áridas y semiáridas del país, es necesario evaluar la producción de nidos en diferentes sustratos de anidación y diferentes condiciones de conservación de sus hábitats. Asimismo, de acuerdo a la experiencia y resultados de investigación, nosotros recomendamos realizar una sola cosecha por nido anualmente, proporcionarle de 1-3 años de descanso y monitorear su producción en contextos ecológicos diferentes.

Sin duda, *L. apiculatum* y sus castas reproductoras conocidas como escamoles son importantes para las comunidades rurales, constituyendo ingresos económicos importantes y adicionales a los generados por sus actividades productivas convencionales, por lo que su cuidado y permanencia son necesarios. En este sentido, para mantener esta especie y sus poblaciones en términos saludables y heredar, en buen estado, este recurso natural tan importante a las generaciones futuras de mexicanos, lo conveniente es que las instituciones de investigación, gobiernos municipales, estatales y federales realicen esfuerzos conjuntos de manejo y conservación de esta especie.

Conclusiones

En esta investigación se identificó que el área de forrajeo de la hormiga escamolera varió de 607.25 a 2 467.2 m². La distancia recta promedio del nido al sustrato forrajero de *L. apiculatum* fue de 24.3 ± 11.36 m. Las variables más sobresalientes que determinaron el tamaño del área de forrajeo fueron la presencia de *Agave salmiana*, *Yucca* spp., *Prosopis* spp., *Acacia farnesiana* y la cobertura del suelo. Esta información es esencial para diseñar planes de manejo y conservación de la hormiga escamolera y sus hábitats en México.

- Canfield, R. H. (1941). Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*, 39(4), 388-394. Consultado 30-10-2017. <http://www.ingentaconnect.com/content/saf/jof/1941/00000039/00000004/art00012>.
- Comité Técnico Consultivo de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). (2009). Coeficientes de agostadero por entidad, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 1 pp. Consultado 17-11-2017 en http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet77fe.html.
- Cruz-Labana, J. D., Tarango-Arámbula, L. A., Alcántara-Carvajal, J. L., Pimentel-López, J., Ugalde-Lezama, S., Ramírez-Valverde, G., & Méndez-Gallegos, S. de J. (2014). Habitat use by “escamolera” ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) in Central Mexico. *Agrociencia*, 48(6), 569-582. Consultado 23-10-2017 en <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2014/ago-sep/art-1.pdf>.
- Davidson, D. W., & Morton, S. R. (1981). Competition for dispersal in ant-dispersed plants. *Science*, 213(4513), 1259-1261. doi:10.1126/science.213.4513.1259.
- De Luna-Valadez, B., Macías-Rodríguez, F. J., Esparza-Frausto, G., León-Esparza, E., Tarango-Arámbula, L. A., & Méndez-Gallegos, S. de J. (2013). Insectos comestibles en Pinos Zacatecas: Descripción y análisis de la actividad. *Agroproductividad*, 6(5), 35-43. Consultado 28-10-2017 en http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2013/AGROPRODUCTIVIDAD%20V_2013.pdf.
- Del Toro, I., Pacheco, J. A., & Mackay, W. P. (2009). Revision of the ant genus *Liometopum* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 53(2A), 296-369. Consultado 27-10-2017 en <https://www.researchgate.net/publication/260866074>.
- Delfino, M. A., & Buffa, L. M. (2000). Algunas interacciones planta-áfido-hormiga en Córdoba (Argentina). *Zoologica Baetica*, 11, 3-15. Consultado 28-10-2017 en http://www.ugr.es/~zool_bae/vol11/zoo-1.pdf.
- Dinwiddie, M. L., Jones, R. W., Roitman-Genoud, P., Tarango-Arámbula, L. A., & Maldama-Barrera, G. X. (2013). Estudio Etnoentomológico de la Hormiga Escamolera (*Liometopum apiculatum*) en dos localidades del estado de Querétaro. *Agroproductividad*, Volumen 6(5), 27-34. Consultado 27-10-2017 en http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2013/AGROPRODUCTIVIDAD%20V_2013.pdf.
- Dornhaus, A., & Powell S. (2010). Foraging and Defence Strategies. In *Ant Ecology Oxford University Press*. 210-232. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199544639.003.0012.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2016). ArcGIS Desktop: Release 10.5 Redlands. Consultado 03-11-2017 en <http://www.esri.com/products>.
- Esparza-Frausto, G., Macías-Rodríguez, F., Martínez-Salvador, M., Jiménez-Guevara, M. A., & Méndez-Gallegos, S. de J. (2008). Insectos comestibles asociados a las magueyerías en el Ejido Tolosa, Pinos, Zacatecas,

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, por brindar las facilidades en el desarrollo del presente trabajo de investigación. A la M. C. María Isabel Iñiguez Luna por el apoyo en el análisis de datos. Al grupo de recolectores de escamol, en especial al C. Margarito Alfaro Briones de la Colonia Socorro Pámanes Escobedo del municipio de Pánfilo Natera, Zacatecas por el apoyo en la fase de campo de esta investigación.

Fin de la versión en español

- México. *Agrociencia*, 42(2), 243-252. Consultado 29-10-2017 en <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2008/feb-mar/art-12.pdf>.
- Felsenstein, J. (1985). Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution*, 39, 783-791. doi: 10.1111/j.1558-5646.1985.tb00420.x.
- Folgarait, P. J. (1998). Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: A review. *Biodiversity and Conservation*, 7, 1221-1244. Doi: 10.1023/A:1008891901953.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional autónoma de México. Serie Libro N° 6. México, D. F. 90 pp. Consultado 27-11-2017 en http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf.
- Giménez-De Azcárate, J., & González-Costilla, O. (2011). Pisos de vegetación de la sierra catorce y territorios. *Acta Botánica Mexicana*, 94, 91-123. Consultado 26-10-2017 en <http://abm.ojs.inacol.mx/index.php/abm/article/view/272/405>.
- Gómez, C., & Espadaler, X. (1996). Distancias de forrajeo, áreas de forrajeo y distribución espacial de nidos de *Aphaenogaster senilis* Mayr (Hym. Formicidae). *Miscelánea Zoológica*, 19(2), 19-25. Consultado 01-11-2017 en <https://www.researchgate.net/publication/39404680>.
- Gutiérrez, G. (1998). Estrategias de forrajeo. En Ardila, R., López, W., Pérez, A. M., Quiñones, R., & Reyes F. (Eds.). *Manual de Análisis Experimental del Comportamiento*. Pgs. 359-381. Madrid: Librería Nueva. Consultado 15-11-2017 en <https://www.researchgate.net/publication/268429342>.
- Hernández-Roldan, E., Tarango-Arambula, L. A., Ugalde-Lezama, S., Hernández-Juarez, A., Cortez-Romero, C., Cruz-Miranda, Y., & Morales-Flores, F. J. (2017). Hábitat y densidad de nidos de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en una UMA de Zacatecas, México. *Agroproductividad*, 10(5), 10-17. Consultado 13-11-2017 en http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD_V_2017.pdf.

- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). The ants. Cambridge, MA: Belknap Harvard University Press. 732 pp.
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (2008). The superorganism: The beauty, elegance, and strangeness of insect societies. Norton. New York. 522 pp.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Villa González Ortega, Zacatecas. Consultado 15-11-2017 en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/32/32053.pdf>.
- Lanyon, S. M. (1985). Detecting internal inconsistencies in distances data. *Systematic Zoology*, 34(4), 397-403. doi: 10.2307/2413204.
- Lara-Juárez, P., Aguirre-Rivera, J. R., Castillo-Lara, P., & Reyes-Agüero, J. A. (2015). Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera:Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 31(2), 251-264. Consultado 27-10-2017 en <http://www1.inecol.edu.mx/azm/2015/2/12-Lara-Juarez-J-et-al.pdf>.
- Mackay, W., & Mackay, E. (2002). The ants of New Mexico (Hymenoptera: Formicidae). Edwin Mellen Press. Lewinston, NY. 400 pp.
- MacMahon, J. A., Mull, J. F., & Crist, T. O. (2000). Harvester ants (*Pogonomyrmex* spp.): Their community and ecosystems influences. *Annual Review Ecology Systematics*, 31, 265-291. doi:10.1146/annurev.ecolsys.31.1.265.
- Microsoft Office. (2016). Microsoft Excel software. Microsoft Excel for windows release 2016.
- Miller, T. E. X. (2007). Does having multiple partners weaken the benefits of facultative mutualism? A test with cacti and cactus-tending ants. *Oikos*, 116, 500-512. doi: 10.1111/j.2007.0030-1299.15317.x.
- Miranda-Román, G., Quintero-Salazar, B., Ramos-Rostro, B., & Olguín-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, 81-100. Consultado 07-11-2017 en http://pasosonline.org/Publicados/9111/PS0111_08.pdf.
- Morrone, J. J. (2003). El lenguaje de la cladística. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 110 p.
- Nixon, K. C., & Wheeler, Q. D. (2002). An amplification of the phylogenetic species concept. *Cladistics*, 6(3), 211-223. doi: 10.1111/j.1096-0031.1990.tb00541.x.
- Nkem, J. N., Lobry de Bruyn, L. A., Grant, C. D., & Hulugalle N. R. (2000). The impact of ant bioturbation and foraging activities and surrounding soil properties. *Pedobiología*, 44(5), 609-621. Doi: 10.1078/0031-4056(04)70075-X.
- Rafael-Valdez, J., Tarango-Arámbula, L. A., Ugalde-Lezama, S., Lozano-Cavazos, E. A., Ruíz-Vera, V. M., & Bravo-Vinaja A. (2017). Sustratos forrajeros y de anidación de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*, Himenoptera:Formicidae) en Villa González Ortega, Zacatecas, México. *Agrociencia*, 51(7), 755-769. Consultado 11-12-2017. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2017/oct-nov/art-5.pdf>.
- Ramos-Elorduy, J., Delage-Darchen, B., Flores-Robles, A., Sandoval-Castro, E., & Cuevas-Correa, S. (1986). Estructura del nido *Liometopum occidentale* Var. *Luctuosum* manejo y cuidados de estos en los núcleos rurales de México de las especies productoras de escamoles (*L. apiculatum* M. y *L. occidentale* Var. *Luctuosum* W.) (Himenoptera, Formicidae). *Anales Instituto de Biología UNAM. México, Serie Zoología*, 57(2), 333-342.
- Ramos-Elorduy, J., Delage-Darchen, B., Galindo-Miranda, N. E., & Pino-Moreno, J. M. (1988). Observaciones bioecológicas de *Liometopum apiculatum* M. y *Liometopum occidentale* var. *Luctuosum* W. (Himenoptera-Formicidae). *Anales del Instituto de Biología UNAM. México Serie Zoología*, 58(1), 341-354.
- Ramos-Elorduy, J., & Levieux, J. (1992). *Liometopum apiculatum* Mayr and *L. occidentale* Wheeler foraging areas studied with radioisotopes markers (Hymenoptera, Formicidae - Dolichoderinae). *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 117, 21-30.
- Ramos-Elorduy, J., & Pino-Moreno, J. M. (2001). Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de México. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 45(2), 66-76. Consultado 17-10-2017 en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47545206>
- Ramos-Elorduy J., Pino-Moreno, 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. Consultado 28-10-2017 en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42445304>.
- Ramos-Elorduy, J., Costa-Neto, E. M., Pino-Moreno, J. M., Cuevas-Correa, M. del S., García-Figueroa, J., & Zetina, D. H. (2007). Conocimiento de la entomofauna útil en el poblado de la Purísima Palmar de Bravo, Estado de Puebla, México. *Biotemas*, 20 (2), 121-134. Doi: 10.5007/%25x.
- Ryti, R. T., & Case, T. J. (1992). The role of neighborhood competition in the spacing and diversity of ant communities. *The American Naturalist*, 139(2), 55-74. Consultado 13-12-2017 en <http://www.jstor.org/stable/2462416>.
- Sanders, N. J., & Gordon, D. M. (2003). Resource-dependent interactions and the organization of desert ant communities. *Ecology*, 84(4), 1024-1031. doi: 10.1890/0012-9658(2003)084[1024:RIA TOO]2.0.CO;2.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J..., De la Maza, J. (2009). Capital Natural de México: Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de Sustentabilidad. Síntesis. México:

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 104 pp. Consultado http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Capital%20Natural%20de%20Mexico_Sintesis.pdf.
- Tarango-Arámbula, L. A. (2012). Los escamoles y su producción en el Altiplano Potosino-Zacatecano. *RESPYN (Edición especial)*, 4, 139-144. respyn2.uanl.mx/especiales/2012/ee-04-2012/documentos/sesion_2/14.pdf.
- Ter Braak, C. J. F. (1986). Canonical Correspondence analysis: A new technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5), 1167-1179. doi: 10.2307/1938672.
- Velasco-Corona, C., Corona-Vargas, M. del C., & Peña-Martínez, R. (2007). *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) y su relación trofobiótica con Hemiptera Sternorrhyncha en Tlaxco, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 23(2), 31-42. Consultado 28-10-2017 en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57523203>.
- Whitford, W. G. (1978). Foraging in seed harvester ants *Pogonomyrmex* spp. *Ecology*, 59(1), 185-189. doi: 10.2307/1936647
- XLSTAT. (2017). XLSTAT software. Xlstat for Windows Release 19.5. Copyright Addinsoft 1994-2017. Consultado 04-11-2017 en <https://www.xlstat.com/es/>.