



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSGRADO EN INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y FACTORES
AMBIENTALES EN EL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA
(*Liometopum apiculatum* Mayr)**

ERNESTINA HERNÁNDEZ ROLDAN

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

SALINAS DE HIDALGO, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

2018



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el (la) que suscribe ERNESTINA HERNÁNDEZ ROLDAN, alumno(a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe 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 (la) Profesor(a) DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARÁMBULA, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y FACTORES AMBIENTALES EN EL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (*Liometopum apiculatum* Mayr) 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 (la) Consejero (a) o Director (a) 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.

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, a 17 de enero de 2018.

ERNESTINA HERNÁNDEZ ROLDAN

Firma

DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARAMBULA

Vo. Bo. Profesor(a) Consejero(a) o Director(a) de Tesis

La presente tesis, titulada: **Compuestos Orgánicos Volátiles y Factores Ambientales en el Hábitat de la Hormiga Escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr)**, realizada por la alumna **Ernestina Hernández Roldan**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
EN INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARÁMBULA

DIRECTOR DE TESIS



DR. ROGELIO FLORES RAMÍREZ

ASESOR:



DR. JOSÉ PIMENTEL LÓPEZ

ASESOR:



DR. FRANCISCO GAVI REYES

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí
Enero, 2018

COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y FACTORES AMBIENTALES EN EL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA

(*Liometopum apiculatum* Mayr)

Ernestina Hernández-Roldan, MC

Colegio de Postgraduados, 2018.

RESUMEN GENERAL

La hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) es una especie de importancia económica en zonas rurales de las regiones áridas de México. Actualmente existe poca información de la influencia de compuestos químicos y condiciones ambientales en su conducta reproductiva. El objetivo de esta investigación fue identificar Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) y evaluar factores ambientales (temperatura, humedad relativa, radiación, precipitación, dirección y velocidad del viento) en el hábitat de *L. apiculatum* con relación a la temporada de producción de escamoles, en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas. La tesis consta de dos capítulos, el primero aborda aspectos para la identificación de COVs en el hábitat (nido y sitio de forrajeo) durante *pretemporada* y *temporada* (enero-junio, 2017) de producción de escamoles y el segundo sobre factores ambientales en la *pretemporada*, *temporada* y *posttemporada* de escamoles (enero-septiembre, 2017). Se identificaron 48 COVs en el hábitat. La variabilidad de los COVs entre temporadas se identificó mediante Análisis de Componentes Principales. Los resultados indicaron que dos componentes explicaron el 84% de la variabilidad de las temporadas. Por otra parte, los registros de los factores ambientales se analizaron mediante estadística descriptiva y análisis de varianza ($\alpha=0.05$). Los resultados indican que la temperatura y la humedad relativa presentaron diferencias significativas para las tres temporadas y la radiación solo presentó diferencias en la *temporada*. La temperatura también se evaluó con perfiles verticales y se observó la temperatura más alta en la *temporada*. La información acerca de los COVs y factores ambientales en el hábitat de esta especie, serán base para futuras investigaciones que evalúen la posibilidad de producir escamoles bajo sistemas controlados.

Palabras clave: escamoles, hormigas, insecto comestible, semioquímicos.

**CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL PATTERNS IN THE HABITAT OF
ESCAMOLERA ANT (*Liometopum apiculatum* Mayr)**

Ernestina Hernández-Roldan, MC

Colegio de Postgraduados, 2018.

GENERAL ABSTRACT

The escamolera ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) is a species of economic importance in rural areas of the arid regions of Mexico. Currently there is little information on the influence of chemical compounds and environmental conditions on its reproductive behavior. The objective of this research was to identify Volatile Organic Compounds (VOCs) and to evaluate environmental factors (temperature, relative humidity, radiation, precipitation, direction and wind speed) in the habitat of *L. apiculatum* and its relationship with the production seasons of escamoles, in the Management Unit for the Conservation of Wildlife (UMA) El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas. The thesis consists of two chapters, the first addresses topics regarding the identification of VOCs in the habitat (nest and foraging site) in the pre-season and season of escamol production (January-June, 2017) and the second on environmental factors in the pre-season, season and postseason of production of escamoles (January-September, 2017). We identified 48 VOCs in the habitat during the seasons of escamoles production. The variability of VOCs between seasons was identified through Principal Component Analysis. The results indicated that two components explained 84% of the variability between seasons. On the other hand, the records of the environmental factors were analyzed by descriptive statistics and analysis of variance ($\alpha = 0.05$). The results indicate that the temperature and the relative humidity presented significant differences for the three seasons and the radiation only showed differences in the *season* of production of escamoles. The temperature was also evaluated with vertical profiles and the highest temperature was observed in the season of production. The information about the VOCs and environmental factors in the habitat of this species, will be the basis for future research to evaluate the possibility of producing escamoles under controlled systems.

Key words: escamoles, ants, edible insect, semiochemicals.

“La apicultura ha permitido la creación de una industria altamente productiva, inclusive exportadora, pensamos que la explotación racional y científica del escamol es digna de tomarse en cuenta”

Cuadriello, 1980

DEDICATORIA

A **Dios**, por darme fortaleza para no rendirme en ningún momento.

A **mi familia**, a **mi padre** que siempre ha creído en mí, a **mi madre** que es un ejemplo de esfuerzo, trabajo y fortaleza, a **mi hermano y hermanas** por impulsarme siempre y no dejarme caer en mis peores momentos.

A **mis sobrinitas** que con sus palabras, sonrisas y abrazos hacen mis días más alegres, y me motivan a avanzar.

A **Emilio Córdova Cruz** por ser un pilar en mi vida, brindarme su apoyo incondicional.

GRACIAS

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por brindarme la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida.

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

Al **Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí**.

A la **CIACYT- UASLP** por permitirme realizar una estancia de investigación, así como la disponibilidad para el acceso al laboratorio y el uso del equipo.

Al **Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula**, por su constante apoyo, atención, consejos, paciencia, aportándome siempre valiosas sugerencias y ser un ejemplo de trabajo constancia y disciplina.

Al **Dr. Rogelio Flores Ramírez**, por su valiosa orientación y enseñanza.

Al **Dr. Pimentel** por el apoyo en el trabajo de campo, orientación, enseñanza y atención en las correcciones del presente estudio.

Al **Dr. Francisco Gavi Reyes** por sus sugerencias y correcciones en el presente trabajo.

A los **académicos del COLPOS, Campus San Luis Potosí** que compartieron su conocimiento en los diferentes cursos académicos.

A la **M.C. Leticia Carrizales Yáñez** por su asesoría y apoyo para el análisis de muestras.

A la **M.C. Maribel Rodríguez Aguilar** por su asesoría y apoyo en trabajo de laboratorio.

Al **Tec. Fernando Montoya** por permitirme trabajar dentro de su propiedad, por su apoyo durante el trabajo de campo y disponibilidad de tiempo.

Al **grupo de escamoleros** de la comunidad de Tecomate, Pinos Zacatecas, por su apoyo en el trabajo de campo.

A **Diego Monroy, Omar Maya y Luis Carlos García** por el apoyo para el transporte de muestras, su disponibilidad de tiempo, sin duda su participación fue vital en esta investigación.

A **Ariel Rosas Benítez †**, eterno viajero, por brindarme su amistad, su cariño y su amor, por coincidir en una parte de la vida, dejar en mi recuerdos y vivencias inolvidables, compartir parte de su sentir, de su pensar y de su ser. GRACIAS “No he muerto, aunque mi cuerpo no este, mi presencia siempre se hará sentir” Descanse en Paz.

A mis amigos **Saraí Barajas Tejeda y Diego Monroy**, les agradezco su compañía y apoyo, en momentos difíciles, me ayudaron a levantarme cuantas veces fue necesario, jamás lo olvidare, espero volvamos a coincidir.

A **Lidia López Monsiváis** por apoyarme en diferentes aspectos durante mi estancia en Salinas.

A la **Dra. Margarita Torres Aquino** por brindarme su amistad, confianza y apoyo.

A la **Dra. Alejandra Olivera Méndez** por compartir sus conocimientos, por su apoyo en diversos aspectos no solo académicos y darme ánimos.

Gracias a todas las personas que de alguna forma contribuyeron en la realización de este proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
LITERATURA CITADA.....	3
CAPITULO I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EN EL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (<i>Liometopum apiculatum</i> Mayr) EN LA UMA EI MILAGRO, VILLA GONZÁLEZ ORTEGA, ZACATECAS, MÉXICO.....	6
1.1. RESUMEN	6
1.2. ABSTRACT	8
1.3. INTRODUCCIÓN	10
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	13
1.4.1. Área de estudio.....	13
1.4.2. Selección de sitios de muestreo	14
1.4.3. Recolecta de muestras de aire	16
1.4.4. Análisis de Compuestos Orgánicos Volátiles.....	18
1.4.5. Agrupación de datos	19
1.4.6. Análisis estadístico	19
1.4.7. Papel químico de Compuestos Orgánicos Volátiles	19
1.5. RESULTADOS.....	19
1.6. DISCUSIÓN	32
1.7. CONCLUSIONES	36
1.8. LITERATURA CITADA.....	37

CAPÍTULO II. FACTORES AMBIENTALES EN EL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (<i>Liometopum apiculatum</i> Mayr) EN LA UMA EL MILAGRO, VILLA GONZÁLEZ ORTEGA, ZACATECAS, MÉXICO.	44
2.1. RESUMEN	44
2.2. ABSTRACT	45
2.3. INTRODUCCIÓN	46
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	49
2.4.1. Área de estudio	49
2.4.2. Registro de factores ambientales.....	49
2.4.3. Clasificación de la información.....	52
2.4.4. Análisis de la información	52
2.5. RESULTADOS	53
2.6. DISCUSIÓN	60
2.7. CONCLUSIONES	64
2.8. LITERATURA CITADA	65
CONCLUSIONES GENERALES	71
ANEXOS	73

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Relación de muestras de aire recolectadas por temporada en el hábitat de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.....	17
Cuadro 2. Compuestos Orgánicos Volátiles registrados en el hábitat de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) durante enero-junio 2017, en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.....	20
Cuadro 3. Compuestos Orgánicos Volátiles de mayor variabilidad en el hábitat de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro Villa González Ortega, Zacatecas.	21
Cuadro 4. Compuestos Orgánicos Volátiles de mayor variabilidad en los nidos de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro Villa González Ortega, Zacatecas.	22
Cuadro 5. Compuestos de mayor variabilidad en el sitio de forrajeo de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro Villa González Ortega, Zacatecas.	24
Cuadro 6. Papel semioquímico de Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en insectos y plantas.....	25
Cuadro 7. Medias, desviación estándar, mínimas y máximas de los factores ambientales registrados por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.....	53
Cuadro 8. Medias y errores estándar de los factores ambientales evaluados por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.....	54
Cuadro 9. Perfil de temperatura por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	13
Figura 2. Tipos de vegetación en Villa González Ortega, Zacatecas.	14
Figura 3. Localización de las colonias de <i>Liometopum apiculatum</i> seleccionadas para el muestreo de aire en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	15
Figura 4. Colocación del puerto de muestreo en nidos de <i>Liometopum apiculatum</i> de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	16
Figura 5. Recolección de muestras de aire en el hábitat de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>); a) nido, b) sitio de forrajeo en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	17
Figura 6. Preparación de muestras de aire para el análisis cromatográfico. a) Incubación durante 10 minutos a 37°C, b) extracción de 40 ml de muestra de las bolsas a viales y c) colocación de viales en la rejilla del equipo.	18
Figura 7. Análisis de Componentes Principales de los Compuestos Orgánicos Volátiles del hábitat de la hormiga escamolera (<i>Liometopum apiculatum</i>) por temporada de producción de escamoles.	21
Figura 8. Análisis de Componentes Principales de Compuestos Orgánicos Volátiles en nidos de <i>Liometopum apiculatum</i> por temporada de producción de escamoles, en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	22
Figura 9. Análisis de Componentes Principales de Compuestos Orgánicos Volátiles en sitios de forrajeo de <i>Liometopum apiculatum</i> por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	23
Figura 10. Colocación de la estación meteorológica en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	50
Figura 11. Ubicación de la estación meteorológica en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	51
Figura 12. Registrador electrónico y su conjunto de sensores a diferentes alturas colocado en una colonia de <i>Liometopum apiculatum</i> de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	52
Figura 13. Dirección y velocidad del viento por temporada de producción de escamoles, en la UMA el Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	55

Figura 14. Temperatura a 23 cm de profundidad del suelo por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega Zacatecas.	57
Figura 15. Temperatura a ras del suelo (0 cm) por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	57
Figura 16. Fotografía infrarroja de la temperatura a ras de suelo en un camino forrajero de <i>Liometopum apiculatum</i> a las 7:30 y 13:30 horas en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.....	58
Figura 17. Perfil de temperatura por temporada de producción de escamoles de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.	59

INTRODUCCIÓN GENERAL

El incremento poblacional para el año 2050 será aproximadamente de nueve mil millones de personas. Ante este panorama se necesitará casi el doble de la producción actual de alimentos, que haga frente a los retos de alimentación y nutrición (FAO, 2013). Sin embargo, ampliar la cantidad de tierra para actividades agrícolas y ganaderas no es una solución sustentable (Horrigan *et al.*, 2002; Dossey y Méndez-Gutiérrez, 2014). Por ello, es indispensable evaluar alimentos con altos valores nutricionales y de bajo impacto ambiental para su obtención.

El consumo de insectos o entomofagia representa una alternativa en el sector agropecuario y de alimentación, cuya obtención es de bajo impacto ambiental comparada con la producción ganadera (Pimentel y Pimentel, 2003; Yen, 2008; Sabate y Soret, 2014). Por esta razón, es necesario establecer estrategias para un aprovechamiento sostenible de insectos comestibles, se requiere de estudios enfocados a conocer su ecología, fisiología, propiedades nutrimentales, entre otras características (Cuadriello, 1980). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) promueve la entomofagia; con ello, ha fomentado el estudio de estas especies, con énfasis en la conservación de sus hábitats, ecología, reproducción, transformación, comercialización, legislación y políticas de seguridad alimentaria (FAO, 2013).

Mundialmente se estima que existen más de 1900 especies de insectos comestibles (FAO, 2013), de las cuales 699 se encuentran distribuidas en el continente americano; en México se reportan más de 540 especies (Ambrosio-Arzate *et al.*, 2010). En nuestro país el consumo de insectos en sus diferentes etapas del ciclo biológico (huevo, larva, pupa, ninfa, adulto) data de épocas prehispánicas. La hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) es una especie que se aprovecha en los estados inmaduros (larvas y pupas) de las castas reproductoras llamadas escamoles (Cuadriello, 1980). Esta especie constituye una alternativa nutricional y económica, principalmente para las comunidades rurales de las zonas áridas y semiáridas del país (Dinwiddie *et al.*, 2013). No obstante, los usos de prácticas no sustentables de explotación ocasionan problemas de manejo, deterioro de su hábitat y de producción (Esparza-Frausto *et al.*, 2008).

En esta especie se ha estudiado aspectos en su clasificación taxonómica y morfológica (Mayr, 1870; Del Toro, 2009); distribución y hábitat (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Del Toro, 2009); aspectos biológicos (Lara-Juárez *et al.*, 2015); hábitos e interacciones (Ramos-Elorduy *et al.*, 1984; Esparza-Frausto *et al.*, 2008); desarrollo del hormiguero y ciclo biológico (Kaspari, 2003; Ramos Elorduy *et al.*, 2007); producción y aprovechamiento (Ramos-Elorduy y Viejo-Montesinos, 2007; Tarango-Arámbula, 2012; Dinwiddie *et al.*, 2013); valor económico, cultural y nutricional (Ramos-Elorduy, 1982; Ruiz-Cabrera *et al.*, 2014; Dossey y Méndez-Gutiérrez, 2014). No obstante, se desconocen los compuestos químicos, así como factores ambientales (temperatura, humedad relativa, radiación, precipitación y viento) en el hábitat relacionados al comportamiento reproductivo de la hormiga escamolera.

En el ecosistema los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) son importantes en las interacciones intra e interespecíficas de todos los organismos (Tumlinson, 2014). Por lo que su conocimiento en la química ecológica en especies de insectos comestibles ayudará a comprender la importancia y complejidad de las redes de señales químicas que emplean los insectos a través de los COVs, en sus procesos fisiológicos como defensa, reproducción y forrajeo, entre otros. También, los factores ambientales como la temperatura, humedad relativa o el fotoperiodo influyen en algunos parámetros ecofisiológicos de las hormigas (Brian, 1978; Wagner *et al.*, 1984; Kaspari, 2003) como; el desarrollo de estados inmaduros, crecimiento y tiempo de madurez, actividad metabólica, entre otros (Marco, 2001, Urra y Apablaza 2005; Abril, 2009).

Por lo tanto, los objetivos de esta investigación fueron 1) Identificar los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) presentes en el hábitat (nido y sitio de forrajeo) de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) y 2) Evaluar factores ambientales (temperatura, humedad relativa, radiación, precipitación, velocidad y dirección del viento) en el hábitat de la hormiga escamolera durante la *pretemporada*, *temporada* y *posttemporada* de producción de escamoles 2017. Esta investigación se realizó en un matorral desértico de la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas, México.

LITERATURA CITADA

- Abril, S. 2009. Efecto de la temperatura en la tasa de puesta de reinas de la hormiga argentina, *Linepithema humile* (Mayr, 1868), (Hymenoptera, Dolichoderinae) bajo condiciones experimentales de monoginia y poliginia. *Boln. Asoc. esp. Ent.*, 33 (3-4): 287-297
- Ambrosio-Arzarte, G.A., Nieto-Hernández, C.R., Aguilar-Mendel, S., Espinoza-Ortega, A. 2010. Los insectos comestibles para del desarrollo local en el centro de México. *Memories of European Association of Agricultural Economists 116 th Seminar*, Parma, Italy.
- Brian, M.V.1978. *Production Ecology of Ants and Termites*. Cambridge University Press, Cambridge. Pp.399
- 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. Uso de hábitat por la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) en el centro de México. *Agrociencia*, 48: 569-582.
- 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.
- De Toro, I., Pacheco, J.A. Mackay W.P. 2009. Revision of the ant *Liometopum* (Hymenoptera: Formacidae). *Sociobiology*. Vol. 52: 2.
- Dinwiddie, M.L., Jones, R.W., Roitman-Genoud, P., Tarango-Arámbula, L.A., Malda-Barrera, G.X. 2013. Estudio etnoentomológico de la Hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en dos localidades del estado de Querétaro. *Agroproductividad*, 6:27-34.
- Dossey, A.T., Méndez-Gutiérrez, I.R. 2014. Los insectos como una fuente de proteína limpia y sustentable para el futuro. *Entomología Mexicana*, 1: 1039-1044.
- Esparza-Frausto, G., Macías- Rodríguez, F.J., Martínez-Salvador, M., Jiménez-Guevara, M.A., Méndez-Gallegos, S.J.2008. Insectos comestibles asociados a las magueyeras en el Ejido Tolosa, Pinos, Zacatecas, México. *Agrociencia* 42: 243-252.

- FAO. 2013. Edible insects Future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, p. 187.
- Horrigan, L., Lawrence, R.S, Walker, P. 2002. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environ Health Perspect*, 110:445–56.
- Kaspari, M. 2003. Introducción a las hormigas de la región neotropical. In. *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*. Fernando Fernández Ed. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia. Pp.97-112
- Lara J.P. 2013. Etnoentomología de escamoles (*Liometopum apiculatum*) en el Altiplano Potosino Zacatecano. Tesis de Maestría. Postgrado en Ciencias ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. p 103.
- Lara-Juárez P., Aguirre, R.J.R., Castro, L.P., Reyes, A.J.A.2015. Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae) *Acta Zoológica Mexicana*, 31(2): 251-264.
- Marco, V. 2001. Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al manejo integrado de plagas mediante el método de grados día. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 28: 147-150.
- Mayr, G.1870 Neue Formiciden. *Verhandlungen der Zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien*, 20:960-961.
- Pimentel, D., Pimentel, M.2003. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *J. Clin. Nutr.*, 78:660
- Ramos-Elorduy, B.J. Flores, P.M.J., Pérez, R.A., Cuevas, G.L., Sandoval, C.S. Garduño, C.E. Portillo I., Délage-Darchen, B.1987. Colony structure of *Liometopum apiculatum* M. and *Liometopum Occidentale* var. *Luctusum* W. *Chemistry and biology of social insects*. Springer, New York. 671-673pp.
- Ramos-Elorduy, B.J., Délage, D.B., Cuadriello, A.J.I., Galindo, M.N., Pino, M.J.1984. Ciclo de vida y fundación de las sociedades de *Liometopum apiculatum* M. (Hymenóptera, Formicidae). *Anales del Instituto de Biología, UNAM. Ser. Zoología*, 58: 341-354.

- Ramos-Elorduy, B.J., Viejo Montesinos, J.L. 2007. Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia con especial referencia a México. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Biol., 102 (1-4), 2007, 61-84.
- Ramos-Elorduy, J. 1982. Los insectos como una fuente de proteínas en el futuro (2° ed.). Limusa, México, D.F.
- Ramos-Elorduy, J., Costa, N.E., Pino, J.M., Cuevas, C.M., 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, (2): 121-134.
- Ruiz-Cabrera, M.A., De Anda-Salazar, A., González-García, R., Abud-Archila, M., Grajales-Lagunes, A. 2014. Experimental and simulated thermal properties and process time for canned escamoles (*Liometopum apiculatum*) under sterilization conditions, CyTA- Journal of Food, 13 (2):188-195.
- Sabate, J., Soret, S. 2014. Sustainability of plant-based diets: back to the future. Am J. Clin. Nutr., 100:476–82.
- Tarango-Arámbula, L. A. 2012. Los escamoles y su producción en el Altiplano Potosino–Zacatecano. Revista Salud Pública y Nutrición. 4:139-144.
- Tumlinson, H.J. 2014. The Importance of Volatile Organic Compounds in Ecosystem Functioning. J. Chem. Ecol. 40:212-213
- Urra, F., Apablaza J. 2005. Temperatura base y constante térmica de *Copitarsia decolora* (Lepidoptera: Noctuidae) Cien. Inv. Agr. 32 (1):19-26.
- Wagner, T.L., Wu H., Sharpe P., School field R.M., Coulson R.N. 1984. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. Ann. Entomol. Soc. Am. 77(2):208-220.
- Yen, A.L. 2008. Entomophagy and insect conservation: some thoughts for digestion. J. Insect. Conserv. 13:667-670.

CAPITULO I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EN EL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (*Liometopum apiculatum* Mayr) EN LA UMA EI MILAGRO, VILLA GONZÁLEZ ORTEGA, ZACATECAS, MÉXICO.

1.1. RESUMEN

Los estados inmaduros (larvas y pupas) de las castas reproductoras de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) conocidas como escamoles representan una alternativa nutricional y económica, principalmente para las comunidades rurales de las zonas áridas y semiáridas de México. En los ecosistemas los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) desempeñan un rol importante en las interacciones intra e interespecíficas de todos los organismos. Sin embargo, se desconoce su papel en el comportamiento de la hormiga escamolera y su relación con la etapa reproductiva. Por ello, el objetivo de este estudio fue identificar los COVs presentes en el hábitat (nido y sitio de forrajeo) de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) durante la *pretemporada* y *temporada* de producción de escamoles. Para ello, durante enero-junio de 2017 se recolectaron 70 muestras de aire en el hábitat (n=35 en nidos, n=35 en sitios de forrajeo) de cinco colonias de *L. apiculatum*, en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas, México. En dicho hábitat se identificaron 48 COVs, mediante un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de nariz electrónica (CG-enose), sobresaliendo los aldehídos (19%), alcoholes (17%), hidrocarburos saturados (12%), ésteres (10%), ésteres organofosfatados (10%), cetonas (6%), terpenos (6%), éteres (4%), compuestos aromáticos (4%), trazinas (4%), aminas (4%) y fenoles (2%). El Análisis de Componentes Principales explicó el 88.2% (CP1 72.2%; CP2 16.0%) de la variabilidad de COVs en ambas temporadas. Los compuestos que explicaron la variabilidad en la *pretemporada* fueron el acetaldehído, glicerol, (E)-2-nonenol, (E,E) 2,4 nonadienal, hexil isobutirato, salicilato de metilo, (E) cinamaldehído y el bis(2)metil-3-furany disulfuro, y en la *temporada* de producción fueron el 2-metil butano, (Z)-octanol, anilina, 3-metil-3-sulfanil butanol-1-ol, (E)-2-penten-1-ol, trimetilamina, 1,8-cineol y el 1,2-benceno diol. En este estudio se identificaron COVs presentes en los nidos y sitios de forrajeo de la hormiga escamolera y se identificó un perfil químico en el hábitat por temporada de producción de escamoles. Sin embargo, es necesario realizar estudios de

análisis cuantitativos de los compuestos representativos de las temporadas y observar el efecto de los COVs en el comportamiento de las hormigas, para incrementar el conocimiento sobre el papel de semioquímicos en la actividad reproductiva de *L. apiculatum* y establecer un aprovechamiento sostenible de esta especie.

Palabras clave: Compuestos Orgánicos Volátiles, escamoles, hormiga escamolera, semioquímicos.

CHAPTER I. VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN THE HABITAT OF THE ESCAMOLERA ANT (*Liometopum apiculatum* Mayr) IN THE UMA EL MILAGRO, VILLA GONZÁLEZ ORTEGA, ZACATECAS, MEXICO.

1.2. ABSTRACT

The immature stages (larvae and pupae) of the reproductive breeds of the escamolera ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) known as escamoles represent a nutritional and economic alternative, mainly for rural communities in the arid and semi-arid zones of Mexico. In the ecosystems, Volatile Organic Compounds (VOCs) play an important role in the intra- and interspecific interactions of all organisms. However, their role in the behavior of the escamolera ant and its relationship with the reproductive stage are unknown. Therefore, the objective of this study was to identify the Volatile Organic Compounds (VOCs) present in the habitat (nest and foraging site) of the escamolera ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) during the pre-season and season of production of escamoles. For this, during January and June 2017, 70 samples of air were collected in the habitat (n = 35 in nests, n = 35 in foraging sites) of five colonies of *L. apiculatum*, in the UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas, Mexico. In the habitat, 48 VOCs were identified, by means of a gas chromatograph coupled to an electronic nose detector (CG-enose), with the aldehydes (19%), alcohols (17%), saturated hydrocarbons (12%), esters (10%), organophosphate esters (10%), ketones (6%), terpenes (6%), ethers (4%), aromatics (4%), trazines (4%), amines (4%) and phenols (2%). The Principal Components Analysis explained 88.2% (PC1 72.2%; PC2 16.0%) of the variability of VOCs in both seasons. The compounds that explained the variability of the seasons were; for the pre-season acetaldehyde, glycerol, (E) -2-none-ol, (E, E) 2,4 nonadienal, hexylisobutyrate, methyl salicylate, (E) cinnamaldehyde, bis (2) methyl-3-furany disulfide and in the production season were 2-methyl butane, (Z) -octanol, aniline, 3-methyl-3-sulfanyl butanol-1-ol, (E) -2-penten-1-ol, trimethylamine, 1, 8-cineole, 1,2-benzene diol. In this study, we identified VOCs present in nests and foraging sites and was possible and chemical pattern in the habitat by seasons of production of escamoles. However, it is necessary to perform quantitative analysis studies of the representative compounds of the seasons to observe the effect of VOCs on the behavior of the ants, this will increase

the knowledge about the role of semiochemicals in the reproductive activity of *L. apiculatum* and to establish a sustainable use of this species.

Key words: Volatile Organic Compounds, escamoles, scaly ant, semiochemicals.

1.3. INTRODUCCIÓN

Las hormigas habitan en casi todos los ecosistemas terrestres, con excepción de los polos y glaciares, son los insectos más numerosos con aproximadamente 14 000 especies, y participan en la estructura como en el funcionamiento del ecosistema a través de procesos físicos, químicos y bióticos del suelo (Holldöbler y Wilson, 1990; Jaffé, 2004; Klotz *et al.*, 2008). Las hormigas son eusociales, se caracterizan por la división de trabajo reproductivo, cooperación en el cuidado de las crías, el altruismo y un avanzado sistema de castas (Wilson, 1971).

En general, las hormigas se dividen en tres castas: obreras, machos, princesas o reinas (Kapari, 2003). Las castas ejecutan diferentes funciones mediante una organización y un sistema de comunicación altamente desarrollado (Keller y Gordon, 2009; López-Riquelme y Ramón, 2010). En la comunicación intervienen tres mecanismos: radial (percepción de la luz), mecánico (táctil o auditivo) y químico (olfato y gusto) (Jackson y Morgan, 1993), siendo este último el más empleado por las hormigas.

En la comunicación química de las hormigas, las sustancias en el ambiente juegan un papel fundamental, las cuales en combinación con estímulos externos e internos influyen en su comportamiento y desarrollo (Cuadriello, 1980; Holldöbler y Wilson, 1990; Blanco, 2004). La investigación sobre la composición del estímulo químico, y su efecto en el comportamiento de la hormiga ha identificado compuestos denominados semioquímicos involucrados en la transmisión de información entre organismos (Blanco, 2004).

Los semioquímicos están constituidos principalmente por Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) que se manifiestan tanto en olores como en sabores, y se clasifican en: 1) feromonas, que intervienen en la comunicación intra-específica y 2) aleloquímicos, los cuales afectan la comunicación inter-específica, y se subdividen en Kairomonas (benefician al receptor), alomonas (benefician al emisor), sinomonas (beneficio mutuo) y apneumonas (producidas por el entorno de la especie) (Norlund y Lewis, 1976; Cammaets *et al.*, 1978; Blanco, 2004; Jaffé, 2004; López-Riquelme y Ramón, 2010). Los mecanismos de comunicación de las hormigas dependen de la naturaleza del hábitat, el contexto ecológico, el espaciamiento y agrupación social de la especie (Marler, 1977).

Gran parte del comportamiento social de las hormigas es regulada por feromonas (Jaffé, 2004; Kaspari, 2003; Keller y Gordon, 2009) constituidas principalmente por acetatos, aldehídos, alcoholes, alcanos, y cetonas, en general los compuestos comúnmente identificados en hormigas son las cetonas con sustituyente tipo alquilo (Guerrero, 1988; Blanco, 2004; Lach *et al.*, 2010). La emisión de COVs por las hormigas se relaciona con las actividades de alerta y defensa del nido, dispersión, agregación, atracción y reconocimiento de miembros de la colonia, delimitación del territorio, localización de fuentes de alimento, entre otras (Jaffé, 2004).

Las hormigas producen diferentes castas según la época del año o las necesidades de la colonia. Las reinas emiten hormonas sociales o feromonas iniciadoras para regular la oviposición, y en algunas especies, se usan para esterilizar a las hormigas obreras, estas feromonas también se relacionan con el vuelo nupcial (Hölldobler y Wilson, 1990). Sin embargo, el conocimiento sobre el papel de las feromonas y su composición en la etapa reproductiva es escaso (Guerrero, 1988; Kaspari, 2003; Fujiwara-Tsujii *et al.*, 2006).

Los análisis químicos cualitativos han permitido identificar los compuestos activos en especies de hormigas y son reproducibles en una determinada población (Jackson y Morgan, 1993; Fujiwara-Tsujii *et al.*, 2006; Vega *et al.*, 2014). Sin embargo, la respuesta conductual de las hormigas y la función de los semioquímicos varían con la especie, dependen de la volatilidad y cantidad liberada (Jaffé, 1984; Guerrero, 1988; Fujiwara-Tsujii *et al.*, 2006). Por ejemplo, en la hormiga argentina (*Linepithema humile*) se reportó (Z)-9-hexadecenal como el compuesto principal de la feromona de pista, mientras que para la subfamilia Dolichoderus fue 4-metil-2-hexanona (Guerrero, 1988); por otra parte, Jaffé (2004) reportó que la feromona de alarma de la hormiga tejedora (*Oecophylla longinoda*) contiene cuatro componentes activos (hexanal, 1-hexanol, 3-undecanona y 2-butil-2-octenal). En contraste Fujiwara-Tsujii *et al.* (2006) reportaron al n-undecano, n-decano y n-pentadecano en las hormigas carpinteras (*Camponotus obscuripes*). Asimismo, Vergara (2005) reportó que el comportamiento de las hormigas arrieras (*Atta* spp, *Acromyrmex* spp) depende de 35 sustancias químicas.

En el mundo las hormigas son usadas con fines medicinales, culturales, ambientales y alimenticios (Jaffé, 2004; Eeva *et al.*, 2004; CONABIO, 2008; Ramos *et al.*, 2012). Se han reportado más de 1900 especies de insectos comestibles, de los cuales el 13% corresponde a abejas, avispas y hormigas (FAO, 2013). Los insectos comestibles puede ser una alternativa para la alimentación y economía, pero se requiere de estudios enfocados a conocer estas especies y la posibilidad de establecer su cultivo (Cuadriello, 1980). En México se consumen seis especies de hormigas; la hormiga chicatana o de San Juan (*Atta mexicana* S. y *A. cephalotes* L.), la hormiga mielera (*Myrmecosistus melliger* W. y *mexicanus* W.) y la hormiga escamolera (*Liometopum occidentale* var. *Luctuosum* y *Liometopum apiculatum* Mayr) (Ramos-Elorduy y Levieux, 1992; Ramos-Elorduy *et al.*, 1988; Ramos-Elorduy y Pino, 2001; Lara-Juárez *et al.*, 2015).

La hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) se distingue por su alto contenido nutricional y valor económico, son consumidas en los estados inmaduros (larvas y pupas) de las castas reproductoras conocidas como “escamoles”. Actualmente esta especie enfrenta problemas como el manejo y aprovechamiento no sostenible, fragmentación y contaminación de su hábitat, lo que afecta el establecimiento de nidos y la sobrevivencia de esta especie (Ramos-Elorduy, 2006; Barrios-Díaz *et al.*, 2016). La producción de escamoles se restringe a una temporada anual. En las zonas áridas de México ocurre durante la época seca (febrero-mayo) o en las primeras lluvias del verano (Cuadriello, 1980; Miranda *et al.*, 2011) y se le relaciona con condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa), disponibilidad y tipo de alimento (Ramos-Elorduy *et al.*, 1983; Kaspari, 2003; Velasco *et al.*, 2007). Ante este panorama es indispensable evaluar la posibilidad de producir escamoles bajo sistemas de producción controlados que permitan su aprovechamiento por un periodo más prolongado en el año.

Por ello, conocer el papel de los semioquímicos en el comportamiento reproductivo de la hormiga escamolera, permitiría entender las funciones de la química ecológica en especies de insectos comestibles, y ayudaría, a comprender la complejidad de las redes de señales químicas que emplean estos insectos en sus procesos fisiológicos (defensa, reproducción, forrajeo, entre otros). El objetivo del presente estudio fue identificar Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en el hábitat de la hormiga escamolera (*L.*

apiculatum) durante la *pretemporada* (enero-marzo) y la *temporada* (abril-junio) de producción de escamoles en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas. Esta información es básica para el manejo sostenible de *Liometopum apiculatum*.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1. Área de estudio

El estudio se realizó durante enero-junio 2017, en un matorral crasicauale (Rzedowski, 1978) de la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas, México. Ésta se ubica en las coordenadas 22°37'46.41" N, 101°56'25.36"O, a una altura de 2208 msnm, con una superficie total de 302.9 ha (**Figura 1**).

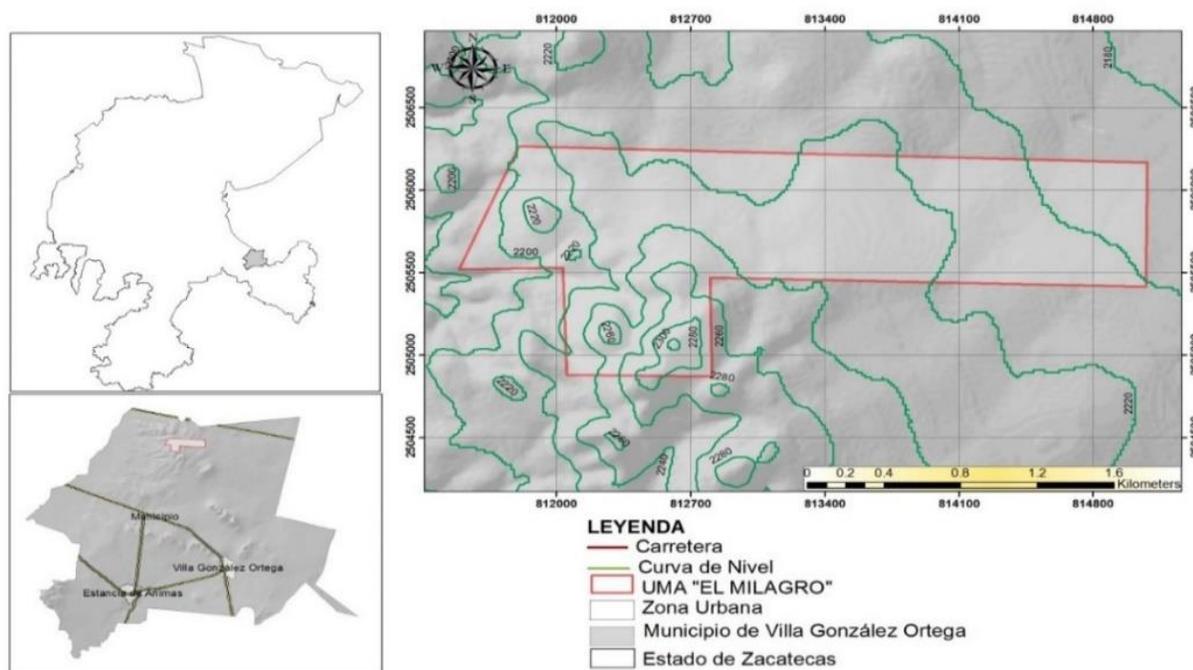


Figura 1. Localización de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas. (Hernández-Roldan *et al.*, 2017).

En el área de estudio se presenta un clima semiseco, con una temperatura media anual que oscila entre 12 y 26 °C, y una precipitación menor a 400 mm anuales (**Figura 2**) La capa superficial del suelo predominante es tipo xerosol háplico, caracterizado por ser de color claro y muy pobre en materia orgánica.

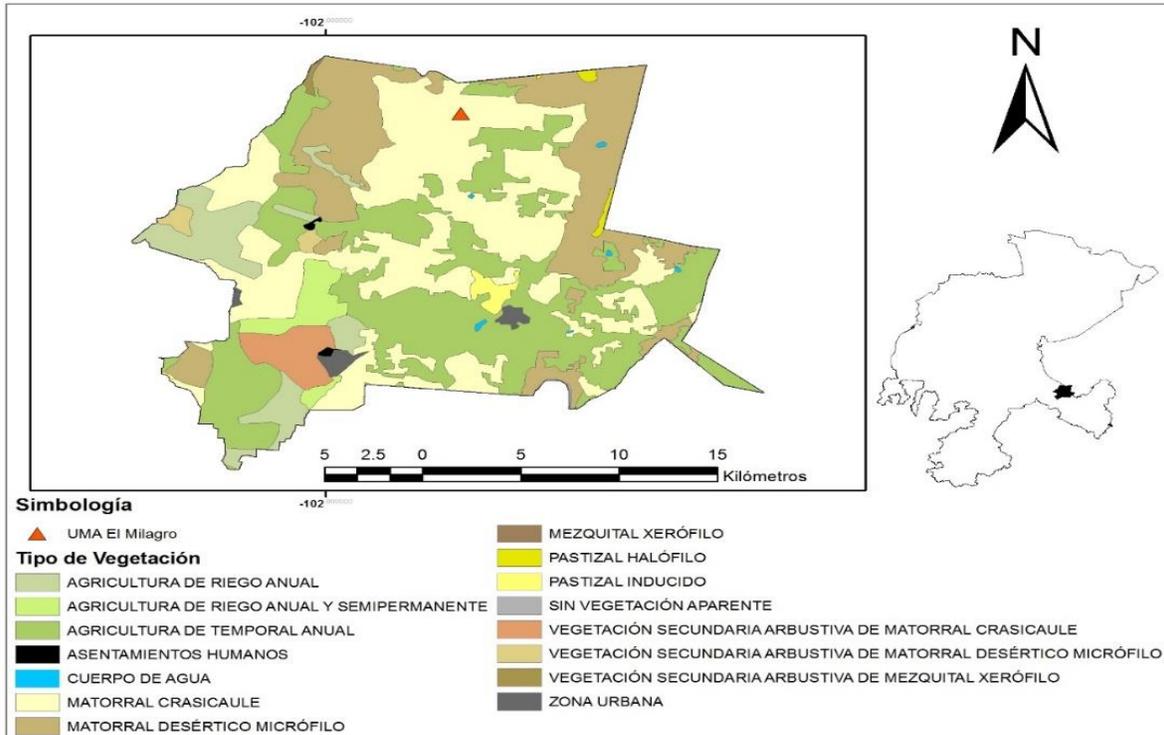


Figura 2. Tipos de vegetación en Villa González Ortega, Zacatecas. (Elaborado por Alfredo Esparza, con cartas del INEGI, 2005).

Entre las especies de fauna silvestre, presentes en la zona de estudio, se encuentra: el gato montés (*Lynx rufus*), pecarí de collar (*Pecari tajacu*), coyote (*Canis latrans*), mapache (*Procyon lotor*), liebres (*Lepus californicus*), tlacuache (*Didelphis marsupialis*), tejón (*Taxidea taxus*), tigrillo (*Leopardus wiedii*), zorrilla nortea (*Vulpes macrotis*) y serpientes de cascabel (*Crotalus spp.*).

1.4.2. Selección de sitios de muestreo

Para este estudio se seleccionaron cinco colonias de *L. apiculatum*, con base a la experiencia del propietario y los escamoleros de la UMA El Milagro, siendo el principal criterio de inclusión el aprovechamiento de la colonia (**Figura 3**).



Figura 3. Localización de las colonias de *Liometopum apiculatum* seleccionadas para el muestreo de aire en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

En cada colonia se eligieron dos sitios de muestreo de aire (nido y sitio de forrajeo). La profundidad promedio de un nido de hormiga en el matorral crasicaule es de 50.2 cm y comúnmente la hormiga escamolera realiza su actividad forrajera utilizando en promedio 3.5 caminos de forrajeo con una distancia media de 38.6 m (Rafael-Valdez *et al.*, 2017).

Los nidos se identificaron y excavaron por un recolector de escamoles, las excavaciones se realizaron para colocar los puertos de muestreo, los cuales consistieron de un tubo PVC plus® de ½ pulgada de diámetro, de 80 cm de largo y una tapa de rosca y se colocaron a una inclinación de 45°, dejando la tapa al ras de suelo (**Figura 4**). Los muestreos en los sitios de forrajeo se realizaron en el sustrato maguey o palma tomando en cuenta la mayor incidencia y actividad de hormigas obreras (Kaspari, 2003).



Figura 4. Colocación del puerto de muestreo en nidos de *Liometopum apiculatum* de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

1.4.3. Recolecta de muestras de aire

Los muestreos de aire se realizaron una vez al mes (segunda semana) durante enero-junio 2017 entre las 7:00-10:00 am. Se recolectaron 70 muestras (5 muestras por nido y 5 muestras por sitio de forrajeo) y se clasificaron con base a la *temporada* de aprovechamiento de escamoles, definiendo la ausencia de escamoles como **pretemporada** de producción (enero- marzo, 2017) y su presencia como **temporada** de producción (abril-junio, 2017) (**Cuadro 1**).

Para muestrear el aire de los nidos y de los sustratos forrajeros, se utilizó una manguera de polietileno acoplada a una bomba de vacío modelo 0211-V45R-68cx Marathon[®] electric. Las muestras de aire se recolectaron en bolsas Tedlar[®] de 1L con thermogreen[®] LB-2 septa (Supelco[®]) (**Figura 5**), las cuales son especiales para la recolecta de COVs y cumplen con las especificaciones de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). Previo al muestreo, éstas se purgaron con nitrógeno ultrapuro (99.9999%) para disminuir la contaminación de fondo. Una vez que las muestras se recolectaron se mantuvieron en hieleras y se transportaron al laboratorio Nacional de la

Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, donde se almacenaron a -20 °C hasta su análisis.

Cuadro 1. Relación de muestras de aire recolectadas por temporada en el hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

Temporada de producción escamoles	de Mes	Fecha	Sitio y número de muestras		Total de muestras
			Nido	Sustrato forrajero	
<i>Pretemporada</i>	Enero	14/01/2017	5	5	10
	Febrero	17/02/2017	5	5	10
	Marzo	17/03/2017	5	5	10
<i>Temporada</i>	Abril	12/04/2017	5	5	20
		24/04/2017	5	5	
	Mayo	15/05/2017	5	5	10
	Junio	12/06/2017	5	5	10
Total			35	35	70



Figura 5. Recolecta de muestras de aire en el hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*); a) nido, b) sitio de forrajeo en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

1.4.4. Análisis de Compuestos Orgánicos Volátiles

Las muestras de aire se analizaron con un cromatógrafo de gases ultrarrápido con detector de nariz electrónica modelo HERACLES II (Alpha M.O.S Company, Francia), el cual cuenta con dos columnas cortas de diferentes polaridades con dos detectores de ionización de llama (DB-5-FID 1 y DB-1701-FID 2) y una trampa de pre-concentración que aumenta la sensibilidad y la adquisición de una huella química global. De cada bolsa se tomaron 40 ml de aire en un vial (**Figura 6**), posteriormente la muestra se incubó en el automoestreador durante 900 s a una temperatura de 40°C con una agitación de 500 rpm, se tomó 1 ml de muestra por headspace y se inyectó en GC-enose. El inyector se mantuvo a una temperatura constante de 200°C. La separación de los compuestos se realizó con un programa de temperatura de 50 °C durante 30s aumentando a una velocidad constante de 10 °C/s, hasta un máximo de 280 °C a un flujo constante de hidrógeno de 1 mL/min. Los compuestos separados se detectaron mediante el software Alpha MOS de la nariz electrónica, la caracterización de los compuestos químicos se basó en los índices de Kovats con el estándar para C6-C16.



Figura 6. Preparación de muestras de aire para el análisis cromatográfico. a) Incubación durante 10 minutos a 37°C, b) extracción de 40 ml de muestra de las bolsas a viales y c) colocación de viales en la rejilla del equipo.

1.4.5. Agrupación de datos

El análisis de los compuestos se realizó con el software Alphasoft versión 12 y una vez que los COVs se identificaron se agruparon por *pretemporada* o *temporada* de producción de escamoles. Los sensores o compuestos con altas respuestas y con similitud entre los perfiles cromatográficos del mismo grupo se consideraron como significativos y solo se consideraron significativos los COVs que presentaron una proporción >20% para crear modelos de representación.

1.4.6. Análisis estadístico

Los compuestos orgánicos identificados y clasificados por temporada de producción de escamoles, se analizaron mediante Análisis de Componentes Principales (ACP), con el software Alphasoft versión 12., la variable considerada fue la respuesta cromatográfica del área bajo la curva de cada compuesto identificado.

1.4.7. Papel químico de Compuestos Orgánicos Volátiles

Para conocer el papel químico de los Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en este estudio, se realizó una búsqueda en bases de datos. Para ello, se usó el software MetaboAnalyst versión 3.0, el cuál realizó búsquedas en las bibliotecas de Human Metabolome Database (HMDB), PUBCHEM vinculada dentro del sistema de recuperación de información de National Center for Biotechnology Information (NCBI), NCBI y Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG). Asimismo, a través de Google Academic y Web of Science se consultaron fuentes bibliográficas de literatura científica y académica relacionadas con química de insectos y metabolitos.

1.5. RESULTADOS

En el hábitat de la hormiga escamolera (*L. apiculatum*) durante enero-junio 2017, se identificaron 48 Compuestos Orgánicos Volátiles. De estos compuestos, cinco correspondieron a sustancias utilizadas como agroquímicos.

Los COVs identificados se clasificaron de acuerdo a su grupo funcional y por orden de frecuencia. Los COVs de mayor variabilidad fueron aldehídos (19%), alcoholes (17%), hidrocarburos saturados (14%), ésteres (10%), terpenos (6%), cetonas (6%), éteres (4%), compuestos heteroaromáticos (4%), fenol (2%), amina (2%), de los cuales algunos

han sido reportados como semioquímicos en otras especies de insectos. También se identificaron ésteres organofosforados (6%) y triazinas (4%) (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Compuestos Orgánicos Volátiles registrados en el hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) durante enero-junio 2017, en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

Compuestos Orgánicos Volátiles			
Aldehidos	Hidrocarburos	Alcoholes	Éteres
Acetaldehído	Butano	Propanol	diethyl eter
Butanal	Decano	(E)-2-penten-1-ol	disopropil éter
propanal 2-one	Heptano	3-metil -2-butane-1-ol	Ésteres organofosforado
2 metil propanal	2-metil propanoacid	2-metil-2-propanol	Monocrotophos*
Benzeneacetaldehido	(Z)-2-hexano-1-ol	pent-len-3-ol	Dicrotophos*
(E) cinnamaldehido	2-metil butano acid acid	(Z)-2-Hexen -1-ol	Mevinphos*
(E,E)2, 4 Nonadienal	Esteres	3-metil -3-sulfani butanol-1-ol	Triazinas
(Z)-3-Phenil-2propanal	Hexil isobutirate	(E)-2-none-ol	Atrazine*
2,4, decadienal	Salicilato de metilo	Terpenos	Prometon*
compuestos heteroaromáticos	(Z)-octanol	Citronellal	
2-ethyl furan	metil undecanoate	p-cymene	
Bis (2) metil -3-furani) disulfide	Triacetin	Cetonas	
Aminas	Fenoles	2-metil-2 cyclopenten 1 one	
Anilina	1,8-cineole	beta-damascenona	
trimetilamina	1,2-benzene diol	3-hexanone	

*Compuestos Orgánicos Volátiles usados como agroquímicos.

El ACP de los compuestos orgánicos presentes en el hábitat de la hormiga escamolera (nidos y sitios de forrajeo) mostró una separación de ellos por temporada. El ACP explicó el 88.7 % de la variabilidad de los compuestos analizados a través de dos componentes principales (CP1 74.23% y CP2 14.44%) (**Figura 7**).

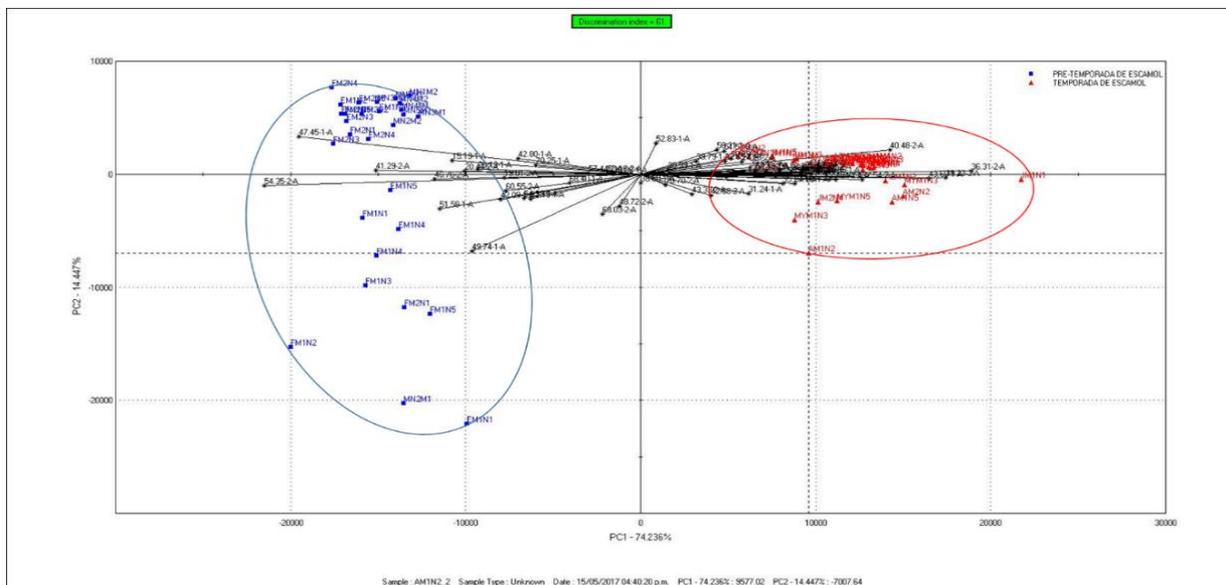


Figura 7. Análisis de Componentes Principales de los Compuestos Orgánicos Volátiles del hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) por temporada de producción de escamoles.

La intensidad media del área bajo la curva (A_{NC}) de los compuestos que explicaron la mayor variabilidad en la *pretemporada* y *temporada* de producción de escamoles se muestran en el **Cuadro 3**.

Cuadro 3. Compuestos Orgánicos Volátiles de mayor variabilidad en el hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro Villa González Ortega, Zacatecas.

Compuesto	<i>Pretemporada</i> A _{NC}	<i>Temporada</i> A _{NC}
Acetaldehído	69	11
Triacetin	483	342
(E) cinamaldehído	1162	903
(E,E) 2, 4 Nonadienal	3111	1398
E-2-None-ol	3111	1398
salicilato de metilo	9717	3286
Hexil isobutirato	26 738.9	6 405.7
Bis (2)metil -3-furanil) disulfuro	46 190.3	12 374.8
trimetilamina	7	145
1,2-benceno diol	35	803
(E)-2-penten-1-ol	78	1 900.9
2-ácido metil butanoico	184	969
(Z)-octanol	320	1490
3-metil -3-sulfanil butanol-1-ol	690	1738
Anilina	780	1362

*A_{NC}= área bajo la curva

Específicamente para los COVs identificados en los nidos, el ACP identificó dos componentes principales (CP1= 72.2%, CP2= 16.0%) que explicaron el 88.2% de la variabilidad de dichos compuestos por temporada de producción (**Cuadro 4; Figura 8**).

Cuadro 4. Compuestos Orgánicos Volátiles de mayor variabilidad en los nidos de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro Villa González Ortega, Zacatecas.

Tiempo de retención	Compuesto	Pretemporada AñC	Temporada AñC
46.76-2	(E,E)2,4 Nonadienal	2255.25	864.71
51.58-1	(E) cinnamaldeido	921.293	890.263
47.45-1	Hexil isobutirato	15 469.291	3373. 998
54.35-2	Bis (2) metil -3-furani) disulfide	31 234.229	7461.019
14.70-2	Trimetilamina	0	100
54.00-1	1,2-benceno diol	35	778.81
36.31-2	2-metil butano acid	131.909	751
40.48-2	(Z)-octanol	206.553	1316. 563
39.23-2	3-metil -3-sulfani butanol-1-ol	470.829	1166.088
43.60-1	Anilina	586.63	945.96

*AñC= área bajo la curva

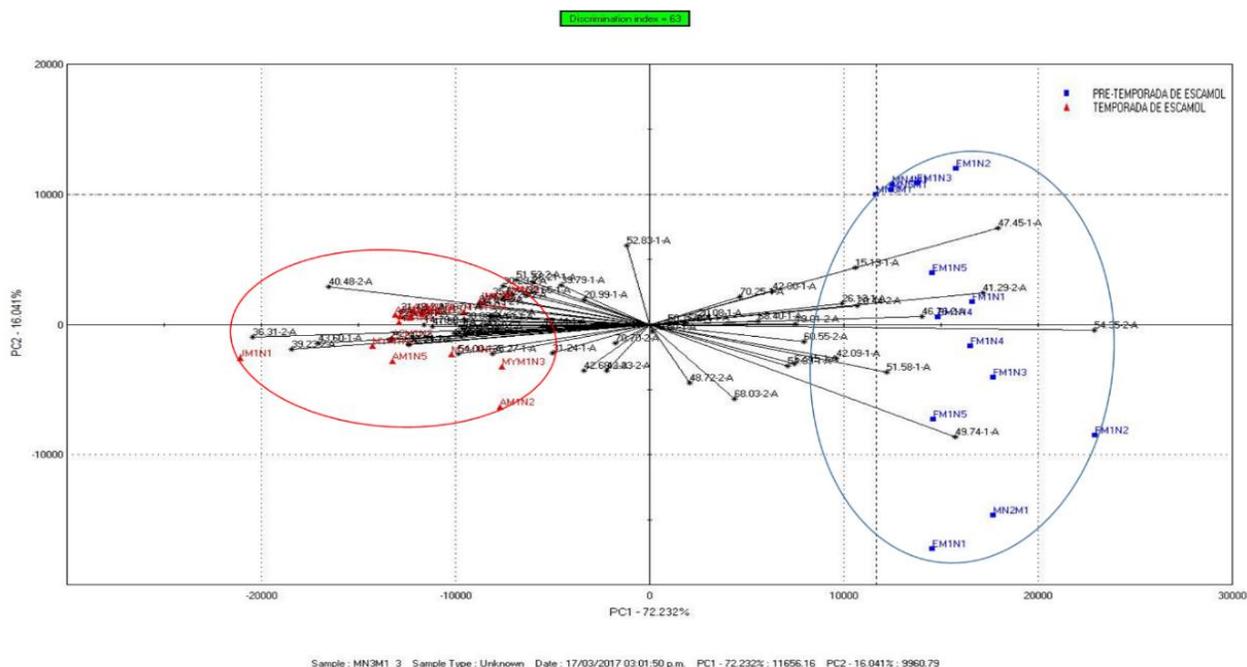


Figura 8. Análisis de Componentes Principales de Compuestos Orgánicos Volátiles en nidos de *Liometopum apiculatum* por temporada de producción de escamoles, en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

Asimismo, para los COVs identificados en los sitios de forrajeo, el ACP identificó dos componentes principales (PC1 84.92%, PC2 5.67%) que explican el 90.59% de la variabilidad de los compuestos analizados por temporada de producción (**Figura 9; Cuadro 5**).

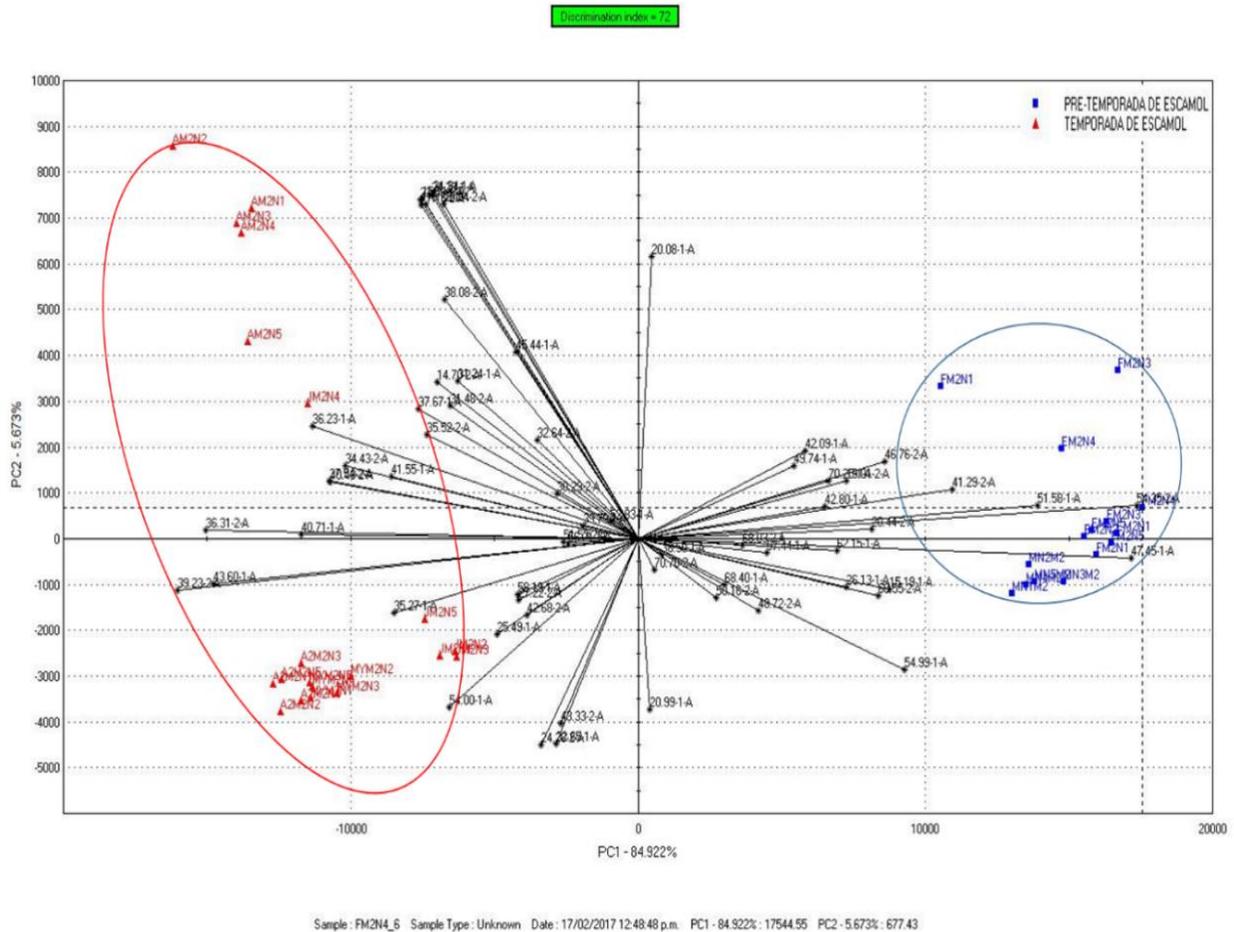


Figura 9. Análisis de Componentes Principales de Compuestos Orgánicos Volátiles en sitios de forrajeo de *Liometopum apiculatum* por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

Cuadro 5. Compuestos de mayor variabilidad en el sitio de forrajeo de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro Villa González Ortega, Zacatecas.

Tiempo de retención	Compuesto	Pretemporada A _{NC} *	Temporada A _{NC}
15.19--1	Acetaldehído	43.9	5.5
54.99-1	Triacetin	242.46	134
36.23-1	2-metil propanoacid	243.9	522
51.58-1	(E) cinamaldehído	482	25
41.29-2	E-2-None-ol	495	292
46.76-2	(E,E)2, 4 Nonadienal	1711	1066
49.74-1	metil salicilato	2232	527
47.45-1	Hexil isobutirato	22539.4	6064.5
54.35-2	Bis (2) metil -3-furaiy)disulfide	29912	9827.6
54.00-1	1,2-benzene diol	0	48
37.67-1	3-metil -2-butane-1-ol	41.2	91.1
36.31-2	2-metil butano acid acid	104	436
41.55-1	2-metil-2 butano acid	161.2	272.4
40.48-2	(Z)-octanol	226	346.9
34.43-2	metil hexanoate	329.8	375.1
39.23-2	3-metil -3-sulfani butanol-1-ol	339	1142.8
43.60-1	Anilina	387.6	831.9
35.52-2	Decano	746	963

*A_{NC}= área bajo la curva

En el hábitat durante la *pretemporada* los COVs de mayor variabilidad en su intensidad identificados (n=11), fueron, el bis-(2) metil-3-furanil disulfuro, el hexil isobutirato, salicilato de metilo y acetaldehído. Éstos compuestos disminuyeron considerablemente su intensidad durante la *temporada* de escamoles. Por el contrario, la trimetilamina y 1,2-benceno diol, 3-metil -3-sulfani butanol-1-ol, (E)-2-penten-1-ol, 2- ácido metil butanoico, (Z)-octanol y la anilina aumentaron durante la *temporada* de escamoles.

Los compuestos más representativos en los nidos fueron la trimetilamina un compuesto específico de la *temporada* de producción de escamoles y en los sitios de forrajeo durante las temporadas de producción de escamoles fueron (n=6) el acetaldehído, triacetin, salicilato de metilo, ácido 2 metil-2-butanoico, metil hexanoato y el decano. Cada Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en este estudio tienen una función química (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Papel semioquímico de Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en insectos y plantas.

Compuesto	Organismo de comparación	Papel semioquímico	Fuente
Aldehídos			
Acetaldehído	<i>Mirmica rubra</i>	Atrayente en la actividad de forrajeo de las hormigas obreras.	Baker y Evans, 2007. Weaver, 2012
Butanal	<i>Ceraochrysa smithi</i> Hemípteros Coleópteros Blattodea	Compuesto del aceite que cubre y protege a los huevos de <i>Ceraochrysa smithi</i> y componente de secreciones defensivas de Hemípteros, escarabajos y cucarachas contra las hormigas.	NCBI: Eisner <i>et al.</i> , 1996.
propanal 2-one	<i>Mirmica rubra</i>	Compuesto volátil de la secreción de la glándula Dufour en especies de <i>Myrmica</i> .	Attygalle <i>et al.</i> , 1983
2 methyl propanal	<i>Mirmica rubida</i>	Compuesto volátil en la glándula Dufour en las hormigas obreras <i>M. rubida</i> .	Jackson <i>et al.</i> , 1990
Benzeneacetaldehido	Hormigas Dolichoderinae	Compuesto importante de las glándulas pygidial, influye como secreción defensiva en las hormigas Dolichoderinae.	Hölldobler <i>et al.</i> , 2013
(E) cinnamaldehydo	<i>Cinnamomum verum</i> <i>Solenopsis invicta</i>	Metabolito secundario de la <i>Cinnamomum verum</i> con efecto inhibitorio en el control de la hormiga roja de fuego (<i>Solenopsis invicta</i>).	NCBI: Cheng <i>et al.</i> , 2008.
	<i>A. senilis</i> <i>C. auberti</i> <i>C. scuterellaris</i> <i>P. pallidula</i> <i>P. pygmaea</i> <i>T. semilaeve</i>	Compuesto usado por <i>Cytinus</i> para atraer a seis especies de hormigas para su polinización.	Vega <i>et al.</i> , 2014

Cuadro 6 (Continua). Papel semioquímico de Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en insectos y plantas.

Compuesto	Organismo de comparación	Papel semioquímico	Fuente
(E,E)2, 4 Nonadienal		Sustancia aromática que se encuentra en la mantequilla y en el sabor y fragancia del caviar.	HMDB: 31685
(Z)-3-Phenyl-2-propanal	<i>Solenopsis invicta</i>	Compuesto usado para el control de la hormiga roja de fuego	PubChem CID:6428995 Koul, 2016.
2,4, decadienal (E,Z)	<i>Hoplocampa testudínea</i>	Compuesto en la secreción de larvas <i>Hoplocampa testudínea</i>	Städler y Rowell-Rahier, 2012
Alcoholes			
Propanol		Efecto sobre la volatilidad de los compuestos	Agosta, 1992.
(E)-2-penten-1-ol		Compuesto de mezclas aleloquímicas emitidas por las plantas infestadas de herbívoros para atraer a sus enemigos naturales	Takabayashi <i>et al.</i> , 1991.
3-metil -2-butane-1-ol (3-metil-1-butanol)	<i>Vespa mandarinia</i>	Componente de la feromona de alarma de la avista gigante (<i>Vespa mandarinia</i>)	Ono <i>et al.</i> , 2003
2-metil-2-propanol	Hymenoptera	Compuesto atrayente de insectos.	Zhang y Margaryan, 2001
pent-len-3-ol	Arabidopsis	Ingrediente aromatizante. Aleloquímicos producidos por Arabidopsis infestadas como defensa de larvas de <i>Plutella xylostella</i>	PubChem CID:12020 NCBI: Dieu-Hien <i>et al.</i> , 2014.
(Z)-2-Hexen -1-ol	Hymenoptera	Compuesto de feromonas de agregación en algunos insectos y secreciones defensivas. Compuestos volátiles producidos por las hojas como sinimonas atrayentes de insectos.	Morgan, 2004.

Cuadro 6 (Continua). Papel semioquímico de Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en insectos y plantas.

Compuesto	Organismo de comparación	Papel semioquímico	Fuente
3-metil butanol-1-ol	-3-sulfani <i>Cephalotes alfaroi</i> <i>Cephalotes cristatus</i> <i>Vespa mandarinia</i>	Componentes volátiles de las glándulas mandibulares de las hormigas <i>Cephalotes alfaroi</i> y <i>Cephalotes cristatus</i> Componente de la feromona de alarma <i>Vespa mandarinia</i> .	William <i>et al.</i> , 2011. Gerald, 2010.
E-2-none-ol	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Compuesto volátil del nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>).	HMDB41498
Ésteres			
Hexil isobutirato	<i>Lygus lineolaris</i> <i>Lygus elisus</i>	Compuesto emitido por machos y hembras de <i>Lygus lineolaris</i> y <i>Lygus elisus</i> como defensa contra los depredadores, con un uso adicional como feromonas sexuales.	Byers <i>et al.</i> , 2013.
metil salicilate	<i>Mayriella overbecki</i> Viehmeyer	Un componente de la feromona del rastro de la hormiga <i>Mayriella overbecki</i> Viehmeyer.	NCBI: Kohl <i>et al.</i> , 2000.
(Z)-octanol	<i>Mirmica rubra</i>	3-octanol -compuesto de la feromona de alarma de <i>Mirmica rubra</i> .	Napper <i>et al.</i> , 2008 Hölldobler y Wilson , 1990
metil undecanoate	Hymenoptera: Anthophoridae Formica	Compuesto principal del líquido de las hembras de Hymenoptera: Anthophoridae, La secreción provoca el aseo cuando se aplica tópicamente a las antenas de las hormigas Formica.	James y Harles. 1983
Triacetin o glicerol ácido triacético		Se encuentra en las frutas es un agente aromatizante de olor dulce, está presente en los aceites, grasas animales y vegetales.	PubChem CID:5541

Cuadro 6 (Continua). Papel semioquímico de Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en insectos y plantas.

Compuesto	Organismo de comparación	Papel semioquímico	Fuente
Triacetin o glicerol ácido triacético	<i>Camponotus obscuripes</i>	Efectos sobre la resistencia al frío y a cambios estacionales de algunas especies de insectos, (sustancia producida por las obreras de hormigas <i>Camponotus obscuripes</i> que ayuda a prevenir la formación de cristales de hielo dentro de los cuerpos de las hormigas).	Lauritz, 1964. Dubach <i>et al.</i> 1959 Tanno, 1962.
Hidrocarburos			
2-metil propano acid	Papilionidae	Compuesto de la glándula defensiva de orugas Papilionidae.	Anaya, 2003
(z)-2-hexano-1-ol	Formicinae	Compuesto de la feromona de alarma de obreras.	
2-metil butano acid acid	<i>Cephalotes alfaroi</i> <i>C. cristatus</i>	Compuesto de la glándula mandibular de <i>Cephalotes alfaroi</i> y <i>Cephalotes cristatus</i> .	Wood <i>et al.</i> , 2011
Butano	<i>Mirmica rubra</i> <i>M. scabrinodis</i>	Compuesto químico volátil de la secreción de glándulas de veneno de especies de hormigas obreras de <i>Mirmica rubra</i> y <i>M. scabrinodis</i> .	Cammaerts <i>et al.</i> , 1978
Decano	<i>Camponotus obscuripes</i> <i>Lasius fuliginosus</i> <i>L. latreille</i> <i>Fomica rufa</i>	Componente de la feromona de alarma de la hormiga <i>Camponotus obscuripes</i> , <i>Lasius fuliginosus</i> , <i>L. latreille</i> y <i>Fomica rufa</i> .	NCBI: Mizunami <i>et al.</i> , 2010 Hölldobler y Wilson, 1990
Heptano	<i>Aenictus rotundatus</i>	Compuesto de la glándula Dufour de las hormigas obreras <i>Aenictus rotundatus</i>	Oldham <i>et al.</i> , 1994

Cuadro 6 (Continua). Papel semioquímico de Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en insectos y plantas.

Compuesto	Organismo de comparación	Papel semioquímico	Fuente
Terpenos			
Citronellal	<i>Lasius spathopus</i> <i>L. claviger</i>	Compuesto de la glándula mandibular de la hormiga <i>Lasius spathopus</i> y <i>L. claviger</i> .	Hölldobler y Wilson , 1990
	<i>Lasius interjectus</i>	Olor característico de la hormiga citronela (<i>Lasius interjectus</i>) que obtiene al alimentarse de excreciones de áfidos y cochinillas.	KEGG COMPOUND C17384 Jacobs, 2014
p-cimene	Isoptera Anthophila <i>Technomyrmex albipes</i> Dolichoderinae	Alelomonas de termitas y abejas. Componente de secreciones de especies de hormigas Dolichoderinae (<i>Technomyrmex albipes</i>) Formica y <i>Lasius fuliginosus</i> .	Blum, 2012 Hayashi y Komae, 1980.
	1,8-cineole	<i>Oxyops vistosa</i> Crematogaster	Compuesto de aceites esenciales usados como aleloquímicos en insecticidas. Compuesto derivado de plantas usado por larvas de gorgojo <i>Oxyops vistosa</i> para la defensa de hormigas rojas de fuego. Componentes de las secreciones de especies de Crematogaster.
Cetonas			
2-methyl-2 cyclopenten 1 one		Compuesto en el aroma de cereales y subproductos.	PubChem CID:14266
beta-damascenona		Compuesto aromático potente en el olor a frutas (manzana, uva).	
3-hexanone	Hymenoptera	Compuesto identificado en la feromona de alarma en hormigas	Hölldobler y Wilson , 1990

Cuadro 6 (Continua). Papel semioquímico de Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en insectos y plantas.

Compuesto	Organismo de comparación	Papel semioquímico	Fuente
Ésteres organofosfatados			
Monocrotophos		Insecticida agrícola con acción tanto sistémica como de contacto.	PubChem CID:124489337
Dicrotophos		Plaguicida es un inhibidor de la acetilcolinesterasa organofosforada.	PubChem CID:5371560
Mevinphos		Insecticida organofosforado que actúa como un inhibidor de la acetilcolinesterasa, se utiliza para el control de insectos en un amplio rango de cultivos. Se utiliza como insecticida y acaricida en hortalizas.	PubChem CID:5355863
Éteres			
dietil ether	<i>P. lamellidens</i>	Componente activo en el extracto de la hormiga <i>P. lamellidens</i> , con efecto analgésico y antiinflamatorios usado en la medicina china.	NCBI: Kou <i>et al.</i> , 2005
disopropil ether	Hymenoptera	Compuesto de la hormona juvenil de algunos insectos.	Ouellette y Rawn, 2014.
Compuestos aromáticos			
2-etil furan	<i>Pityogenes chalcographus</i>	Compuesto de feromona de agregación <i>Pityogenes chalcographus</i> (L.).	Francke <i>et al.</i> , 1977
Bis (2)metil -3-furani) disulfide	Hymenoptera	Compuesto que realza el olor y se encuentra en la tiamina; la tiamina o vitamina B1 ha sido reportado como atributo en el contenido de vitaminas en diversos insectos comestibles.	Buttery <i>et al.</i> , 1984 Ramos-Elorduy <i>et al.</i> 2001

Cuadro 6 (Continua). Papel semioquímico de Compuestos Orgánicos Volátiles identificados en insectos y plantas.

Compuesto	Organismo de comparación	Papel semioquímico	Fuente
Triazinas*			
Atrazine		Herbicida ampliamente utilizado, que tiene asociaciones con defectos de nacimiento y problemas menstruales, así como la desmasculinización de la <i>Rana pipiens</i> .	HMDB: 41830
Prometon		Herbicida para el control anual y perenne de malas hierbas de hoja ancha y pasto, principalmente en situaciones no agrícolas.	EPA, 1990
Aminas			
Aniline	Hemípteros	Compuesto sustancial con interacción en la hormona juvenil de hemípteros.	Slama <i>et al.</i> , 2012
Trimetilamina	<i>Daphnia magna</i>	Efecto en el aumento de tamaño del huevo en la madurez en <i>Daphnia magna</i>	Lass <i>et al.</i> , 2001.
Fenoles			
1,2-benzene diol	<i>Spodoptera eridania</i>	Aleloquímicos de las plantas de la familia Salicaceae con efecto anti alimenticio en las larvas <i>Spodoptera eridania</i>	NCBI: Manuwoto <i>et al.</i> , 1985

1.6. DISCUSIÓN

La intensidad de los 48 COVs detectados en el hábitat de la hormiga escamolera fue diferente por temporadas de producción de escamoles; por ejemplo, la intensidad del acetaldehído, bis (2) metil-3-furanil disulfuro, triacetin, (E) cinamaldehído, (E, E) 2,4 nonadienal, E-2-noneol, salicilato de metilo y hexil isobutirato fue mayor en la *pretemporada* respecto a la *temporada*. Por otra parte, la mayor intensidad de respuesta de la trimetilamina, 1,2-benceno diol, (E)-2-penten-1-ol, ácido 2 metil-butanoico, (Z) octanol, 3-metil-sulfanil butanol-1-ol y anilina se detectó en la *temporada*. Aunque algunos de los compuestos presentaron intensidad de respuesta baja, su papel semioquímico puede ser importante en el nivel de respuesta del organismo (Jaffé, 2004).

Del total de COVs identificados en el hábitat (nidos y área de forrajeo) de la hormiga escamolera, 39 son semioquímicos en plantas e insectos principalmente de la familia Formicidae. Cuatro de los compuestos encontrados (E,E 2,4 nonadienal, propanol, 2 métil-2, beta-damascenona) influyen en la volatilidad de los aromas y cinco son contenidos en agroquímicos. La fuente de estos pueden ser las áreas agrícolas dentro o circundantes a la UMA. El efecto de los agroquímicos sobre la actividad de la hormiga escamolera debería ser evaluado, ya que no fue posible encontrar literatura científica específica o reportes al respecto.

El hábitat de la hormiga escamolera durante la *pretemporada* de escamoles se caracterizó por la presencia y mayores intensidades de acetaldehído, salicilato de metilo, triacetin, E)-2 none-ol, (E,E)2,4 Nonadienal, hexil isobutirate, (E) cinamaldehido, Bis (2)metil -3-furani) disulfide. El Acetaldehído ha sido reportado como atrayente de las hormigas obreras *Mirmica rubra* (Baker y Evans, 2007) para realizar actividades de forrajeo y como el principal compuesto en secreciones de la hormiga de patas blancas (*Technomyrmex albipes*) (Hayashi y Komae, 1980; Weaver, 2012). Existen feromonas de rastro que juegan un papel importante en la actividad de forrajeo, éstas permiten a las hormigas orientarse desde el nido hacia las fuentes de alimento. El salicilato de metilo ha sido registrado en el Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI por sus siglas en inglés) por Kohl *et al.*, (2000) como el principal compuesto de la feromona de rastro de la hormiga *Mayriella overbecki* Viehmeyer. El salicilato de metilo también es

un compuesto de las feromonas sexuales en insectos sociales, desafortunadamente, son pocos los estudios al respecto, limitando la identificación de estos atractivos sexuales y su caracterización química (Jackson y Morgan *et al.*, 1993). Con base en lo anterior, el acetaldehído y el salicilato de metilo podrían ser importantes para la hormiga *L. apiculatum* durante la *pretemporada* para intensificar la búsqueda de fuentes de alimento y la actividad de forrajeo.

El triacetin, compuesto presente en la grasa de los animales (PubChem CID: 5541), en algunos insectos contribuye a su adaptación a cambios estacionales y resistencia al frío previniendo la formación de hielo en su interior, como ha sido reportado para las hormigas obreras de *Camponotus obscuripes* (Dubach *et al.*, 1959; Tanno, 1962; Lauritz, 1964). En la hormiga escamolera éste compuesto podría influir en la adaptación a las variaciones del clima, pues la *pretemporada* de escamoles incluye al invierno, durante el cual, las fuentes de alimento son escasas y las temperaturas bajas. Por otra parte, el (E)-2-nonenol es un compuesto característico de *Opuntia* (HMDB41498), su presencia en el aire de los nidos y sitios de forrajeo puede estar asociada a la presencia de nopales como parte de la flora característica del hábitat, a su vez los nectarios extraflorales de *Opuntia* conforman la dieta de la hormiga escamolera (Cuadriello *et al.*, 1980; Velazco *et al.*, 2007; Klotz *et al.*, 2008; Lara-Juárez *et al.*, 2015).

El (E,E)2, 4 Nonadienal y el hexil isobutirato son compuestos identificados en el presente estudio, éstos pueden estar relacionados con secreciones defensivas que emite la hormiga escamolera contra depredadores para evitar el robo de alimento y otras amenazas dentro del nido, pues *L. apiculatum* carece de aguijón y depende de la rapidez de liberación de estas secreciones químicas (Hölldobler y Wilson, 1990). El (E,E)2, 4 Nonadienal una sustancia aromática característica del olor a mantequilla, de sabor y fragancia del caviar (HMDB: 31685), probablemente sea un compuesto que contribuye al olor característico de las secreciones defensivas de la subfamilia Dolichoderinae a la que pertenece taxonómicamente la hormiga escamolera (Jaffé, 2004). El hexil isobutirato es emitido por machos y hembras de *Lygus lineolaris* y *Lygus elisus* como defensa contra depredadores; asimismo es emitido como feromona sexual (Byers *et al.*, 2013).

Además, en los ambientes áridos una gran variedad de plantas depende de las hormigas para la dispersión de sus semillas, éstas plantas poseen adaptaciones especiales para atraer polinizadores (Jaffé, 2004). Vega *et al.* (2014) determinaron que las plantas de *Cytinus* para su polinización emiten el (E) cinnamaldehído como atrayente de hormigas. Se ha encontrado que el bis (2) metil -3-furani disulfuro realza los aromas y se encuentra en la tiamina (Buttery *et al.*, 1984), la importancia de la tiamina radica en la síntesis de hidratos de carbono para la obtención de energía. En la presente investigación se observó que en la *pretemporada* (enero-marzo) hubo mayor presencia de Bis (2) metil -3-furanil disulfuro, en comparación con la *temporada* (abril-junio) de producción de escamoles, lo cual puede asociarse a la demanda de energía en actividades de forrajeo durante el invierno.

Los COVs en el hábitat de *L. apiculatum* característicos de la *temporada* de escamoles fueron (n=7) (E)-2-penten-1-ol, 1,2-benzene diol, anilina, 2-metil butano acid, 3-metil -3-sulfany butanol-1-ol, (Z)-octanol y trimetilamina. El (E)-2-penten-1-ol forma parte de las secreciones aleloquímicas de plantas infestadas por herbívoros para atraer a los enemigos naturales (Takabayashi *et al.*, 1991) y el 1,2-benzene diol es compuesto producido por las plantas de la familia Salicaceae que reduce su palatabilidad para las larvas *Spodoptera eridania* (NCBI: Manuwoto *et al.*, 1985). Durante la *temporada* el (E)-2-penten-1-ol aumentó; dicho aumento, pudo deberse a la emisión de éste compuesto por plantas para su protección.

El ácido 2-metil butanóico se ha detectado en la glándula mandibular de las hormigas *Cephalotes alfaroi* y *Cephalotes cristatus* (Wood *et al.*, 2011). La importancia de esta glándula radica en la producción de feromonas iniciadoras, la cual en algunas especies de abejas es responsable de producir la “sustancia de la reina”, para las hormigas ésta sustancia inhibe el desarrollo de ovarios en las hormigas obreras (Hölldobler y Wilson, 1990). Otro compuesto es el 3-metil-3-sulfanil butanol-1-ol que ha sido reportado es un componente de la feromona de alarma de la avispa gigante (*Vespa mandarinia*) (Ono *et al.*, 2003). Asimismo, Napper *et al.* (2008) reportaron que el 3-octanol actúa como feromona de alarma de *Mirmica rubra*. Ambos compuestos podrían conformar un sistema

de alarma en el nido para protegerse contra depredadores y evitar el robo de huevos, larvas o alimento (Cuadriello, 1980; Lara-Juárez *et al.*, 2015).

La anilina es importante en la interacción de la hormona juvenil de hemípteros (Slama *et al.*, 2012) y su presencia puede deberse a la relación mutualista entre la hormiga escamolera y estos insectos (cóccidos) escamosos para obtener alimento. Se ha reportado que la calidad, cantidad y tipo de alimento proporcionado a las larvas influye en la diferenciación de las castas reproductoras (Delfino y Buffa, 2000). En la hormona juvenil es importante, pues se cree que ésta participa en la diferenciación de castas, la cual, en conjunto con otras hormonas, y una dieta rica en proteínas, inducen el crecimiento de las larvas y en la formación de pupas (Jaffé, 2004). Entre los compuestos característicos detectados en el nido durante la *temporada* de producción de escamoles destaca la trimetilamina, este compuesto propicia el crecimiento de los huevos de *Daphnia magna* (Lass *et al.*, 2001).

En los sitios de forrajeo en las temporadas de producción de escamoles los compuestos representativos fueron el acetaldehído, triacetin, salicilato de metilo, 3 metil-2-butano-1-ol, ácido 2 metil-2-butanoico, metil hexanoato y el decano. Este último ha sido reportado como constituyente de la feromona de alarma de las hormigas *Camponotus obscuripes*, *Lasius fuliginosus*, *L. latreille* y *Fornica rufa* (Hölldobler y Wilson, 1990; Mizunami *et al.*, 2010).

En este estudio se identificaron Compuestos Orgánicos Volátiles en nidos y en áreas de forrajeo durante la *pretemporada* y *temporada* de producción de escamoles 2017. Éstos pueden conformar diversas feromonas o secreciones emitidas por la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) como parte de su sistema de comunicación química para su reproducción y supervivencia. Los COVs de mayor variabilidad en los nidos durante la *temporada* fueron la trimetilamina, 1,2-benceno diol, 2-metil butano acid, (Z)-octanol, 3-metil -3-sulfani butanol-1-ol y anilina. Mientras que en los sitios de forrajeo fueron el 1,2-benzene diol, 3-metil -2-butane-1-ol, 2-metil butano acid acid, 2-metil-2 butano acid, (Z)-octanol, metil hexanoate, 3-metil -3-sulfani butanol-1-ol, anilina y el decano. Es importante continuar con estudios de análisis cuantitativos de los compuestos y observar su efecto en el comportamiento reproductivo de *Liometopum apiculatum*.

1.7. CONCLUSIONES

1. En el hábitat (nido y área de forrajeo), durante el periodo del estudio (*pretemporada* y *temporada* de producción) de la hormiga escamolera se identificaron 48 COVs, de los cuales cinco son utilizados como agroquímicos para el control de plagas, enfermedades y/o malezas en los cultivos.
2. Independientemente del sitio de muestreo (nido y área de forrajeo) los COVs de mayor variabilidad en la *pretemporada* de producción de escamoles fueron (n=8) acetaldehído, triacetin, (E)-2-none-ol, (E,E) 2,4 nonadienal, hexilisobutirato, salicilato de metilo, (E) cinamaldehído y bis(2)metil-3-furany disulfuro.
3. Independientemente del sitio de muestreo (nido y área de forrajeo) los COVs de mayor variabilidad en la *temporada* de producción de escamoles fueron (n=8) 2-metil butano, (Z)-octanol, anilina, 3-metil-3-sulfanil butanol-1-ol, (E)-2-penten-1-ol, trimetilamina, 1,8-cineol y 1,2-benceno diol.
4. En los nidos durante la *pretemporada* de producción de escamoles los COVs característicos fueron (n=5) el E-2-None-ol, (E,E) 2,4 Nonadienal, (E)cinnamaldeido, Hexil isobutirate y Bis (2)metil -3-furani) disulfide.
5. En los nidos durante la *temporada* de producción de escamoles los COVs fueron (n=6) la trimetilamina, 1,2-benceno diol, 2-metil butano acid, (Z)-octanol, 3-metil -3-sulfani butanol-1-ol y anilina.
6. En los sitios de forrajeo durante la *pretemporada* destacaron (n=9) el acetaldehído, triacetin, 2-metil propanoacid, (E) cinamaldehído, E-2-None-ol, (E,E)2, 4 Nonadienal, metil salicilato, hexil isobutirato y bis (2)metil -3-furaiy) disulfide.
7. En los sitios de forrajeo durante la *temporada* de producción de escamoles los COVs de mayor variabilidad fueron (n=9) el 1,2-benzene diol, 3-metil -2-butane-1-ol, 2-metil butano acid acid, 2-metil-2 butano acid, (Z)-octanol, metil hexanoate, 3-metil -3-sulfani butanol-1-ol, anilina y decano.

1.8. LITERATURA CITADA

- Agosta, W, C. 1992. Chemical Communication: The Language of pheromones. Scientific American Library, New York.
- Anaya, L.A.L.2003.Los caminos adaptativos en la defensa y el ataque. Ecología química. Ed. Plaza Valdez, México.
- Attygalle, A.B., Evershed R.P., Morgan E.D., Cammaesrts M.C.1983. Dufour gland secretions of workers of the ants *Myrmica sulcinodis* and *Myrmica lobicornis*, and comparison with six other species of *Myrmica*. *Insect Biochem* 13 (5):507-512.
- Baker R., Evans D.A.2007. Insect pheromones and related behavior modifying chemicals.pp.102-126. In. Gustone F.D. Ed. The chemical Royal Society of Chemistry. Pp. 320.
- Barrios-Díaz, B., González-Vázquez J.A., Márquez-Pérez, G., Ojeda-Martínez A., Vázquez-Herrera G., Barrios-Díaz J.M.2016. Situación actual de la recolección de la hormiga escamolera *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) en Tela de Ocampo, Puebla. *Entomología Mexicana* 3: 142-145
- Blanco M. 2004. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 71 p.112-118.
- Blum M.2012.Chemical defenses of arthropods.Elsevier.Pp.574
- Buttery, R.G., Haddon W.F., Seifert R.M., Turnbaug J.G.1984. Thiamine odor and bis (2-methyl-3-furyl) disulfide. *J. Agric. Food Chem.* 32(3): 676-678. doi:10.1021/jf00123a061
- Byers, J.A., Feder D., Levi-Zada A.2013.Sex pheromone component ratios and mating isolation among three *Lygus* plant bug species of North America. *Naturwissenschaften* 100 (12): 1115–1123. doi: 10.1007 / s00114-013-1113-7
- Cammaets, M.C., Inwood M.R, Morgan E.D, Parry K, Tyler R.C.1978. Comparative study of the pheromones emitted by workers of the ants *Myrmica rubra* and *Myrmica scabrinodis*. *Journal of insect Physiology* 24: 207-214. doi 10.1016/0022-1910
- Cheng, S.S., Lui J, K., Hsui Y, R., Lu M, C., Wu W, J., Chang S, T. 2008. Terminating red imported fire ants using *Cinnamomum osmophloeum* leaf essential oil. *Bioresour Technol.* Mar. 99 (4):889-93.

- CONABIO. 2008. Himenópteros. In: S. Oceguedazz J. Llorente (Coords.). Catálogo taxonómico de especies de México. Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México.
- 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.
- Delfino, MA., Buffa L.M.2000.Algunas interacciones planta-áfido-hormiga en Córdoba (Argentina) *Zoologica Baetica* 11:3-15
- Dieu-Hien, T., Benjamin MD., Yves B., Stéphanie H., Pierre D., Frédéric F., Georges L.2014. *Plutella xylostella* (L.) infestations at varying temperatures induce the emission of specific volatile blends by *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Plant Signal Behav.* 9(11): 973816. doi: 10.4161/15592324.2014.973816
- Dossey, A.T., Méndez-Gutiérrez I.R.2014. Los insectos como una fuente de proteína limpia y sustentable para el futuro. *Entomología Mexicana* 1:1039-1044
- Dubach, P., Pratt D., Smith F., Stewart C.M.1959.Possible role of glycerol in the winter-hardiness of insects. *Nature* 184: 288-289. doi:10.1038/184288b0
- Eeva, T., Sorvari J., Koibvunen V.2004. Effects of heavy metal pollution on red wood ant (*Formica* S.str.) population. *Environmental Pollution* 132: 533-539. doi: 10.1016/j.envpol.2004.05.004
- Eisner. T., Attygalle A.B., Conner W.E., Eisner M., MacLeod E., Meintwalds J.1996. Chemical egg defense in a green lacewing (*Ceraeochrysa smithi*). *Ecology. Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93: 3280-3283.
- EPA. United States Environmental Protection Agency.1990. National Pesticide Survey: Prometon
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).2013. Edible insects Future prospects for food and feed security. Rome
- Francke W., Heemann V, Gerken B., Renwick J.A.A., Vité J.P.1977. 2-Ethyl-1,6-dioxaspiro nonane, Principal Aggregation Pheromone of *Pityogenes chalcographus* (L.) *Naturwissenschaften* 64.
- Fujiwara-Tsujii, N., Yamagata N., Takeda T., Mizunami M., Yamaoka R.2006. Behavioral responses to the alarm pheromone of the ant *Componotus obscuripes*

- (Hymenoptera: Formicidae). *Zoological Science* 23:353-358. doi: 10.2108/zsj.23.353.
- Gerald L. 2010. *Pheromones*. Academic Press. Pp.664
- Guerrero, A.1988. La comunicación química de insectos sociales: feromonas de alarma y de pista. *Ecología* 2:321-331.
- Hayashi. N., Komae H.1980.Components of the Ant Secretions. *Biochemical Ecology* 8: 293-295. doi [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(80\)90063-0](https://doi.org/10.1016/0305-1978(80)90063-0).
- Hernández-Roldán, E., Tarango-Arámbula, L.A., Ugalde-Lezama., Hernández-Juárez, A., Cortes-Romero, C., Cruz-Miranda, Y., Morales-Flores, F.J.2017. Hábitat y densidad de nidos de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) en una UMA de Zacatecas, México. *Agroproductividad*10 (5):10-17.
- Hölldobler, B., Plowes N.J.R., Johnson R.A., Nishshanka U., Chongming L., Attygalle A.B.2013.Pygidial gland chemistry and potential alarm-recruitment function in column foraging, but not solitary, Nearctic *Messor* harvesting ants (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). *Journal of insect physiology* 59 (9): 863-869. doi: 10.1016/j.jinsphys.2013.06.006.
- Hölldobler, B., Wilson E.O.1990.*The ants*. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge. pp. 732.
- Jackson, B.D., Cammaerts M.C., Morgan E.D., Attygalle A.B.1990.Chemical and behavioral studies on dufour gland contents of *Manica rubida* (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Chemical Ecology* 16(3); 827–840 doi.org/10.1007/BF01016493.
- Jackson, BD., Morgan E, D. 1993. Insect chemical communication: Pheromones and exocrine glands of ants. *Chemoecology* 4: 125-144.doi: 10.1007/BF01256548
- Jacobs, S.B.2014. *Citronella Ants*. College of agriculture Sciences. U.S. Department of Agriculture and Pennsylvania Counties Cooperation.
- Jaffé, C.K.1984. Evolución de los sistemas de comunicación química en hormigas (Hemynoptera, Formicidae). *Entomología Mexicana* 61: 189-1894.
- Jaffé, C.K.2004. *El mundo de las hormigas*. Segunda edición. Edit. Equinoccio Ediciones de la Universidad Simón Bolívar, Caracas. Pp 83.

- James, H.C., Harles D.1983. Chemistry and function of mandibular gland products of bees of the genus *Exoneura* (Hymenoptera, Anthophoridae). *J. Chemical Ecology* 9 (12): 1525–1531.
- Kaspari, M.2003. Introducción a la ecología de las hormigas (In) Fernández R.(Ed) Introducción a las hormigas de la región neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. Pp. 97-112.
- Keller L, Gordon É.2009. The lives of ants. Oxford University Press. United States. pp.252
- Klotz J., Hansen L., Pospischil R., Rust M.2008.Urban ants of North America and Europe. Cornell University Press.
- Kohl, E., Hölldobler B., Bestmann H.J.2000. A trail pheromone component of the ant *Mayriella overbecki* Viehmeyer (Formicidae: Myrmicinae). *Naturwissenschaften* 87 (7): 320-2. doi <https://doi.org/10.1007/s001140050>.
- Kou, J., Yun N., Jingrong W., Liang L., Zhi-Hong J.2005.Analgesic and anti-inflammatory activities of total extract and individual fractions of Chinese medicinal ants *Polyrhachis lamellidens*. *Biol. Pharm. Bull.* 28 (1): 176-180.
- Koul, O.2016.The Handbook of Naturally Occurring Insecticidal Toxins. CABI, India, pp. 862.
- Lach L., Parr L.C., Abbott K.L. 2010.Ant Ecology. Oxxford University Press.United States. Pp.402.
- Lara-Juárez, P., Aguirre R.J.R., Catillo L.P., Reyes A.J.A.2015.Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana* 31 (2):251-264.
- Lass, S., Boersma M.K., Wiltshire P.H., Hinnerk S.B.2001.Does trimetilamine induce life-history reactions in *Daphnia*. *Hydrobiologia* 442: 199–206. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1017538524539>.
- Lauritz, A.1964.Efectos del glicerol sobre la frío-harduit en insectos. *Canadian J Zoology*, 42 (1): 87-101. doi: <https://doi.org/10.1139/z64-009>.
- López-Riquelme, G O., Ramón F. 2010. El mundo feliz de las hormigas. *Revista Especializada en ciencias químicas y biológicas*, 13(1): 35-48.

- Manuwoto, S., Scriber J.M., Hsia M.T., Sunarjo P. 1985. Antibiosis/antixenosis in tulip tree and quaking aspen leaves against the polyphagous southern armyworm, *Spodoptera eridania*. *Oecologia*. 67(1):1-7. doi: 10.1007/BF00378443.
- Marler, P. 1977. The evolution of communication. In: Seabeok TA (ed) *How Animals Communicate*: Indiana University Press. Bloomington, London pp.45-70. doi 10.1002/ajpa.1330500114.
- Miranda, R.G., Quintero S.B., Ramos R.B., Olgún-Arredondo H.A. 2011. La recolección de insectos comestibles en Otumba y Teotihuacán, Estado de México. *Pasos Revista de Turismo y Patrimonio Cultural* 9:81-100.
- Mizunami, M., Yamagata N., Nishino H. 2010. Alarm pheromone processing in the ant brain: an evolutionary perspective. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* 4:28. doi: 10.3389/fnbeh.2010.00028.
- Morgan, E. D. 2004. *Biosynthesis in Insects*. Royal Society of Chemistry. 2a ed. Keele University, UK. Pp.199.
- Napper, J.E., Pickett R. 2008. Alarm pheromones of insects. In: Carpintera J.L.(ed) *Springer. Encyclopedia of entomology*. 2a ed. India. pp.85-95.
- Nordlund, D.A., Lewis W.J. 1976. Terminology of chemical releasing stimuli in intraspecific and interspecific interaction. *J Chem Ecol.* 2:211-220. doi:10.1007/BF00987744.
- Oldham, N.J., Morgan E.D., Gobin B., Schoeters E., Billen J. 1994. Volatile secretions of old world army *Aenictus rotundatus* and chemotaxonomic implications of army ant dufour gland chemistry. *J Chem Ecol.* 20: 3297–3305. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02033727>.
- Ono, M., Terabe H., Hori H., Sasaki M. 2003. Components of giant hornet alarm pheromone. *Brief communications. Nature* 424:637-638. doi:10.1038/424637^a
- Ouellette R, J., Rawn J.D. 2014. *Organic chemistry*. Elsevier, Pp.1240.
- Rafael-Valdez J., Tarango-Arámbula L.A., Ugalde-Lezama S, Lozano-Cavazos E.A., Ruíz-Vera V., Bravo-Vinaja A. 2017. Sustratos forrajeros y de anidación de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr, Hymenoptera Formicidae) en Villa González Ortega, Zacatecas, México. *Agrociencia* 51: 755-769.

- Ramos, RB, Quintero S.B., Ramos-Elorduy J., Pino M.J.M., Ángeles C.S.C., García P.A., Barrera G.V.D.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* 12:914-920.
- Ramos-Elorduy J., Pino M. J. M. 2001. Contenido de vitaminas en algunos insectos comestibles en México. *Rev. Soc. Quím. Méx.* 45(2); 66-76.
- Ramos-Elorduy, J., Delague D.D., Cuadriello A.J.I., Galindo M, N., Pino M.J.M.1983. 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., Levieux, J.1992.*Liometopum apiculatum* Mayr and *L. occidentale* Wheeler foraging areas studied with radio-isotopes markers (Hymenoptera, Formicidae-Dolichoderinae). *Bulletin de la Société Zoologique de France* 117: 21-30.
- Ramos-Elorduy, J., Pino M., Conconi M.2006. Ausencia de una reglamentación y normalización de la explotación y la comercialización de insectos comestibles en México. *Folia Entomológica Mexicana* 45:291-318.
- Ramos-Elorduy, J., Pino M.J.M., Romero S.L.A.1988. Determinación del valor nutritivo de algunas especies de insectos comestibles del estado de Puebla. *Anales del Instituto de Biología, UNAM. Ser. Zoología* 58:355-372.
- Regnault-Roger C.1997. The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integrated. Pest Management Reviews* 2: 25–34.
- Rzedowski, J.1978. La vegetación de México. Ed. Limusa. México, D.F.pp.432
- Slama, K., Romanuk M., Sorm F.2012.*Insect Hormones and Bioanalogues*. Springer Verlag, New York. pp477.
- Städler, E., Rowell-Rahier M., Bau R. 2012. Proceedings of the 9th International Symposium on Insect-Plant Relationships. Springer Science and Business Media. Pp.338.
- Takabayashi, J., Dicke M., Posthumus M.A.1991. Variation in composition of predator-attracting allelochemicals emitted by herbivore-infested plants: Relative influence

- of plant and herbivore. *Chemoecology* 2:1-6. doi:
<https://doi.org/10.1007/BF01240659>.
- Tanno, K.1962. Frost-resistance in a carpenter ant *Camponotus obscuripes*. The relation of glycerol to frost-resistance. *Low Tem Sci. Ser. B* 20: 25-34.
- Vega, C., Herrera C.M., Dötterl S. 2014. Floral volatiles play a role in specialized ant pollination. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 16:32-42. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2013.11.002>.
- Velazco, C.C., Corona-Vargas M.C., Peña-Martínez R.2007. *Liometopum apiculatum* (FORMICIDAE: DOLICHERINAE) y su relación trofobiótica con Hemíptera sternorrhyncha en Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana* 2:31-42.
- Vergara, C.J. C.2005. *Biología, manejo y control de la hormiga arriera*. Imprenta departamental del Valle de Cauca. Santiago de Cali.
- Weaver, N. 2012. Chemical control of behavior.pp.392-418. Interspecific. In: Morris R. *Biochemistry of insects*. Academic Press. New York. London.Pp.666.
- Wheeler, G.S., Massey L.M., Southwell I.A.2002. Antipredator defense of biological control agent *Oxyops vitiosa* is mediated by plant volatiles sequestered from the host plant *Melaleuca quinquenervia*. *J Chem Ecol.* 28(2):297-315. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1017982007812>.
- William, F.W., Thuy-Tien H., Torrence P.Mc.2011.Volatile components from the mandibular glands of the turtle ants, *Cephalotes alfaroi* and *Cephalotes cristatus*. *Biochemical Systematics and Ecology* n 39: 135-138. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2011.01.013>.
- Wilson E.1971. *The Insect Societies*. Harvard University Press, Cambridge.
- Wood W.F., Hoang T., McGlynn T.P.2011. Volatile components from the mandibular glands of the turtle ants, *Cephalotes alfaroi* and *Cephalotes cristatus*. *Biochemical Systematics and Ecology* 39: 135-138.
- Zhang Q., Margaryan A. 2001. Synergistic attractants for pestiferous social insects.

CAPÍTULO II. FACTORES AMBIENTALES EN EL HÁBITAT DE LA HORMIGA ESCAMOLERA (*Liometopum apiculatum* Mayr) EN LA UMA EL MILAGRO, VILLA GONZÁLEZ ORTEGA, ZACATECAS, MÉXICO.

2.1. RESUMEN

Los estados inmaduros (larvas y pupas) de las castas reproductoras de la hormiga *Liometopum apiculatum* conocidos popularmente como escamoles son un recurso alimenticio y económico en las regiones áridas de México. No obstante, su aprovechamiento es anual y se limita a los meses más secos y cálidos del año. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar los factores ambientales (temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación, velocidad y dirección del viento) que influyen en la producción de escamoles. Este estudio se realizó durante la *pretemporada* (enero-marzo), *temporada* (abril-junio) y *posttemporada* (julio-septiembre) de producción de escamoles en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre “El Milagro”, Villa González Ortega, Zacatecas. Los factores ambientales se registraron con una estación meteorológica y se realizaron siete perfiles de temperatura (de 24 horas cada uno durante la segunda semana de cada mes). Los perfiles se determinaron con cuatro sensores de temperatura, tres de ellos se colocaron sobre la superficie del suelo (0:1.0 y 100 cm de alto) y a una profundidad de 23 cm. Los registros de los factores ambientales se analizaron mediante estadística descriptiva y análisis de varianza ($\alpha=0.05$). De los factores ambientales la temperatura y la humedad relativa presentaron diferencias estadísticas significativas en las tres temporadas y la radiación solo presentó diferencias durante la temporada de producción. Asimismo, se observó que los valores de temperatura registrados a través de los perfiles, fueron mayores en la *temporada* de escamoles que en *la pre* y *posttemporada*. En este estudio durante la *temporada* de producción de escamoles se observó un incremento en la temperatura, radiación solar y velocidad del viento, lo cual está estrechamente relacionado con el desarrollo de la colonia de la hormiga escamolera, su actividad forrajera y reproducción. Sin embargo, se requieren estudios más específicos para entender como estos factores ambientales en combinación con compuestos químicos, influyen en la producción de escamoles.

Palabras clave: escamoles, insectos comestibles, microclima.

CHAPTER II. ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE HABITAT OF THE ESCAMOLERA ANT (*Liometopum apiculatum* Mayr) IN THE UMA EL MILAGRO, VILLA GONZÁLEZ ORTEGA, ZACATECAS, MEXICO.

2.2. ABSTRACT

The immature stages (larvae and pupae) of the reproductive breeds of the ant *Liometopum apiculatum* popularly known as escamoles are food and economic resource in the arid regions of Mexico. Its annual harvest is limited to the driest and warmest months of the year. More information is needed to increase the productivity and the annual period length of harvest, and to design its production under controlled environment. Therefore, the objective of this study was to evaluate the environmental factors (temperature, relative humidity, solar radiation, precipitation, wind speed and direction) that influence the production of escamoles. This study was conducted during the *preseason* (January-March), *season* (April-June) and *post-season* (July-September) of production of escamoles in the Management Unit for the Conservation of Wildlife "El Milagro", Villa González Ortega, Zacatecas. The environmental factors were registered with a weather station and seven temperature profiles were made (24 hours each one during the second week of each month). The profiles were determined with four temperature sensors, three of them were placed on the surface of the soil (0, 1 and 100 cm high) and the other one at a depth the 23 cm. The records of the environmental variables were analyzed by descriptive statistics and analysis of variance. Of the environmental factors, the temperature and the relative humidity showed significant statistical differences in the three seasons ($\alpha = 0.05$) and the radiation only showed differences during the production season. Likewise, it was observed that the temperature values registered through the profiles, was higher in the escamole *season* than in the *pre-* and *postseason*. In this study, in the habitat of the scaly ant, during the season of production of escamoles an increase in temperature, solar radiation and wind speed were observed, which is closely related to the development of the colony of the scaly ant, its forage activity and its reproduction. However, studies more specific are needed to understand how these environmental factors, in combination with chemical compounds, influence the production of escamoles.

Keywords: escamoles, edible insects, microclimate.

2.3. INTRODUCCIÓN

En el mundo algunas especies de insectos son usadas con fines culturales, medicinales o ambientales (Folgarrait, 1998; Yussell, 2006; Amador y Gorres, 2007; Klotz *et al.*, 2008). Varias de ellas tienen valores económicos y nutricionales altos e incluso se han considerado fuentes alternativas de proteína animal (Ramos-Elorduy y Viejo, 2007; Dossey y Méndez-Gutiérrez, 2014). Se han reportado más de 1,900 especies de insectos comestibles, el 13% corresponde a hormigas, abejas y avispas (FAO, 2013).

Las hormigas son los insectos de mayor abundancia en el mundo (Holldöbler y Wilson 1990), están distribuidas en todas las regiones zoogeográficas (North, 1996). El ciclo biológico de la familia Formicidae se ha relacionado con la disponibilidad, cantidad y tipo de alimento, así como con la actividad hormonal y condiciones ambientales (Ramos-Elorduy *et al.*, 1984; Porter y Tschinkel, 1993; Jaffé, 2004). Los factores como la temperatura, humedad relativa o el fotoperiodo influyen en algunos de sus parámetros ecofisiológicos (Brian, 1978), como el desarrollo de sus estados inmaduros, su crecimiento, tiempo de madurez y actividad metabólica (Marco, 2001; Urra y Apablaza 2005; Abril, 2009), también intervienen en sus relaciones conductuales e influyen en el acceso a recursos que permiten la fundación, crecimiento y reproducción de las colonias (Kaspari, 1993; Kaspari, 2003; Velasco *et al.*, 2007).

La fundación de una colonia se ve favorecida por condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa para realizar el vuelo nupcial o establecer nuevas colonias (Hödobler y Wilson 1990; Keller y Gordon 2009). La temperatura y humedad relativa juegan un papel fundamental en la actividad de forrajeo y construcción de galerías durante el crecimiento de la colonia (Kaspari, 2003; Hurlbert *et al.*, 2008). Al alcanzar un estado de madurez y un número suficiente de obreras, la colonia alcanza la fase reproductora (Jaffé, 2004). En esta fase, la temperatura influye en el comportamiento reproductivo de las hormigas reinas (Frouz y Finer, 2007).

Para las poblaciones de hormigas la temperatura es una condición determinante (Kadochová y Frouz, 2014). La temperatura del microclima afecta aspectos biológicos, como; el tiempo de incubación y desarrollo de huevos, larvas, pupas y adultos (Brian, 1973; Klotz *et al.*, 2008). Las temperaturas bajas en el nido influyen en la producción de la casta obrera mientras que las temperaturas cálidas constantes permite el desarrollo de castas reproductoras (Kadochová y Frouz, 2014). Por ello, las hormigas utilizan mecanismos diversos (termorregulación) para mantener dentro del nido temperaturas estables (Frouz, 2000).

La radiación solar también influye en la termorregulación del nido (Galle, 1973; Frouz, 2000), ya que permite elevar la temperatura dentro a través del calor acumulado como energía térmica en los cuerpos de las hormigas obreras durante el forrajeo (Galle, 1973; Frouz, 1996). Esta capacidad de termorregulación en las hormigas se debe a la cantidad de individuos en la sociedad, las interacciones de comportamiento y la estructura del nido (Jones *et al.*, 2006). El viento, factor importante en el hábitat de las hormigas, interviene en el sistema de ventilación para mantener condiciones de temperatura y humedad relativa apropiadas en la colonia (Kleineidam *et al.*, 2001; Kadochová y Frouz, 2014). En México se han registrado 525 especies de hormigas (CONABIO, 2008), seis de ellas son aprovechadas con fines alimenticios; la hormiga chicatana o de San Juan (*Atta mexicana* S. y *A. cephalotes* L.); la hormiga mielera (*Myrmecosistus melliger* W. y *mexicanus* W.) y la hormiga escamolera (*Liometopum occidentale* var. *Luctuosum* y *Liometopum apiculatum* Mayr) (Ramos-Elorduy y Levieux 1992; Ramos-Elorduy y Pino, 2001).

La hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta el sureste de México, principalmente en climas semiáridos (Del Toro, 1990). En el país los estados inmaduros (larvas y pupas) de las castas reproductoras de ésta hormiga son conocidos como escamoles y se consumen desde épocas prehispánicas (Ramos Elorduy *et al.*, 1984; Ramos *et al.*, 2012; Barrios-Díaz *et al.*, 2016), su recolecta es variable y se limita a pocos meses; en las zonas áridas ocurre durante la época seca (febrero-mayo) o hasta las primeras lluvias del verano (Cuadriello, 1980; Ramos-Elorduy,

2009; Miranda *et al.*, 2011). Los escamoles representan una oportunidad económica para muchos campesinos principalmente en localidades rurales de éstas zonas (Dinwiddie *et al.*, 2013). Sin embargo, las poblaciones de *L. apiculatum* actualmente son aprovechadas insosteniblemente (Velazco *et al.*, 2007; Esparza-Frausto *et al.*, 2008; Cruz-Labana *et al.*, 2014), poniendo en peligro su existencia (Lara 2013; Barrios-Díaz *et al.*, 2016).

Ramos-Elorduy *et al.* (1984) y Cruz-Labana (2013) estudiaron las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de nidos de *L. apiculatum* en el estado de Michoacán y al sureste del Desierto Chihuahuense, respectivamente. También, Ramos-Elorduy *et al.* (1984) estudiaron el efecto de la temperatura y humedad relativa en el desarrollo de las hormigas bajo condiciones de laboratorio, reportando que el ciclo de desarrollo de *L. apiculatum* se vio favorecido por una constante de temperaturas cálidas (26°C). El desarrollo de larvas y pupas disminuyó tres veces y se incrementó el número de huevecillos que llegaron a la etapa adulta.

El estudio sobre factores ambientales (temperatura y humedad relativa) en poblaciones de *L. apiculatum* se ha enfocado en su distribución, actividad de forrajeo y sitios de anidación (Ramos-Elorduy *et al.* 1984; Del Toro, 1990; Shapley, 1920, Cruz, 2013). Sin embargo, dichas variables, así como la radiación solar, precipitación, velocidad y dirección del viento no se han estudiado con un enfoque en la producción de escamoles. El objetivo del presente estudio fue evaluar factores ambientales (temperatura, humedad relativa, radiación, precipitación, velocidad y dirección del viento) en el hábitat de la hormiga escamolera durante la *pretemporada*, *temporada* y *posttemporada* de producción de escamoles 2017. Esta investigación se realizó en un matorral desértico de la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Área de estudio

El estudio se realizó durante enero-septiembre de 2017, en un área de distribución natural de colonias de *L. apiculatum* en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) El Milagro, al sureste del estado Zacatecas, México. La UMA se encuentra en el municipio de Villa González Ortega, en las coordenadas geográficas 22°37'46.41" N, 101°56'25.36"O, a una altitud de 2208 msnm, y cuenta con aproximadamente 300 ha. En el sitio se presenta un clima BS okw, árido frío, la temperatura del mes más frío es menor de 18°C y la temperatura del mes más cálido es mayor de 22°C; con lluvias de verano y una precipitación menor a 400 mm anuales (García, 2004), y presenta una vegetación de matorral desértico (Rzedowski ,1978).

2.4.2. Registro de factores ambientales

Durante enero-septiembre de 2017, dentro del área de estudio se registraron las siguientes variables ambientales.

- Temperatura (°C)
- Humedad relativa (%)
- Radiación solar (W/m²)
- Precipitación (mm)
- Velocidad y dirección del viento (km/h)

Para el registro de estos factores ambientales se colocó una estación meteorológica WatchDog WD-900ET, Spectrum® Technologies, Inc. Dicha estación se integró por cinco sensores y se colocó a dos metros de altura (**Figura 10**). Los sensores se programaron cada hora para el registró de datos, los cuales se descargaron en campo con una computadora portátil y el software SpecWare 9 Proffesional, versión 9.01.



Figura 10. Colocación de la estación meteorológica en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

Los criterios de selección del sitio para la colocación de la estación meteorológica fueron; 1) punto concéntrico de nidos de hormiga escamolera seleccionados para el muestreo de Compuestos Orgánicos Volátiles (Capítulo I), 2) un sitio que garantizara la permanencia, seguridad y correcto funcionamiento del equipo y 3) un área que no tuviera obstáculos cercanos que alteraran las lecturas de las variables ambientales (**Figura 11**).



Figura 11. Ubicación de la estación meteorológica en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

El registro de la temperatura se complementó con la obtención de siete perfiles verticales (de 24 horas cada uno de ellos durante la segunda semana de cada mes). Para ello, en una colonia previamente identificada y bajo aprovechamiento de escamoles se colocó un registrador electrónico de datos Modelo CR1000, CABELL® SCIENTIFIC (**Figura 12**), los sensores contenidos en el registrador se programaron para el obtener información cada 10 minutos. La información registrada se capturó en campo en una computadora portátil y el software LoggerNet versión 3.4.1.

Los perfiles se determinaron con cuatro sensores de temperatura acoplados al registrador electrónico, tres de ellos se colocaron sobre la superficie del suelo (0; 1.0 y 100 cm de alto) y uno a la profundidad de 23 cm. La temperatura a ras de suelo (0 cm) se obtuvo con un radiómetro infrarrojo Apogee Instruments IC, modelo SI-111. Mientras que para medir la temperatura de uno y 100 cm de altura, así como a 23 cm de profundidad se utilizaron termopares de tipo T.



Figura 12. Registrador electrónico y su conjunto de sensores a diferentes alturas colocado en una colonia de *Liometopum apiculatum* de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

2.4.3. Clasificación de la información

Los registros de los factores ambientales se clasificaron por temporada de producción de escamoles; **pretemporada** (incluyó enero, febrero y marzo; se caracterizó por la ausencia de larvas y pupas; **temporada** (incluyó abril, mayo y junio; se caracterizó por la presencia de larvas y pupas); **posttemporada** (incluyó julio, agosto y septiembre de 2017; se caracterizó por la presencia de princesas y zánganos en el nido).

2.4.4. Análisis de la información

La información de temperatura, humedad relativa, radiación, precipitación, velocidad y dirección del viento registrada con la estación meteorológica se clasificó por temporada de producción de escamoles (*temporada*, *pretemporada* y *posttemporada*) y se analizó mediante estadística descriptiva. Para identificar diferencias estadísticas por factor ambiental y temporada, se realizó un análisis de varianza (ANOVA; $\alpha=0.05$) con prueba de medias de Tukey con el Software estadístico **InfoStat** versión 2008. De la misma forma, la información de temperatura de la estación meteorológica y la del registrador electrónico (sensor colocado a 100 cm de altura) se analizó.

Los perfiles de temperatura de cada mes se promediaron por temporada de producción de escamoles y se analizaron con estadística descriptiva.

2.5. RESULTADOS

En el hábitat de la hormiga escamolera la temperatura, la radiación solar y la velocidad del viento fueron mayores durante la *temporada*. En contraste, en la *pretemporada* la temperatura, la radiación solar y la precipitación fueron más bajas, mientras que la humedad relativa y la precipitación se incrementaron en la *posttemporada* (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Medias, desviación estándar, mínimas y máximas de los factores ambientales registrados por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

Temporada de producción de escamoles		Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Radiación (W/m ²)	Precipitación (mm)*	Velocidad del viento (km/h)
<i>Pretemporada</i>	Media	14±6	39±26	250	-	1.83±2.86
	Min.	1	6	0	-	0
	Máx.	29	100	1 186	-	19
	Total	-	-	-	27	-
<i>Temporada</i>	Media	20±6	35±28	326	-	1.92±3
	Min.	7	6	-	-	0
	Máx.	33	97	1 211	-	28
	Total	-	-	0	106	-
<i>Posttemporada</i>	Media	18±5	65±25	271	-	1.17±2.01
	Min.	7	8	0	-	0
	Máx.	30	100	1226	-	24
	Total	-	-	-	168	-

* Precipitación acumulada durante la temporada

Los resultados del ANOVA ($p < 0.0001$) indicaron que la temperatura y humedad relativa en el hábitat de la hormiga escamolera variaron por temporada (*pretemporada*, *temporada* y *posttemporada*) de producción de escamoles. La temperatura media fue mayor durante la *temporada* ($\bar{X}=20.3$ °C) y el promedio de la humedad relativa se incrementó en la *posttemporada* ($\bar{X}=64.6$ %). Asimismo, el ANOVA ($p < 0.0001$) indicó variaciones para la radiación solar por temporada de producción de escamoles y su valor mayor se presentó en la *temporada* ($\bar{X}=325.81$ W/m²) (**Cuadro 8**).

Durante la temporada de producción de escamoles se identificaron diferencias significativas ($p < 0.0001$) para la precipitación, éste factor difirió entre la *pre* y *posttemporada*. La precipitación media más alta se presentó durante la *posttemporada*.

(\bar{X} = 0.11 mm). La velocidad del viento varió por temporada. La menor velocidad se presentó durante la *posttemporada* (**Cuadro 8**).

Cuadro 8. Medias y errores estándar de los factores ambientales evaluados por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

Factor ambiental	Temporada de producción	Media	Error Estándar		
Temperatura (°C)	<i>Pretemporada</i>	14.37	0.16	A	
	<i>Temporada</i>	20.32	0.14		C
	<i>Posttemporada</i>	18.46	0.15		B
Humedad relativa (%)	<i>Pretemporada</i>	39.03	0.71		B
	<i>Temporada</i>	35.11	0.64	A	
	<i>Posttemporada</i>	64.63	0.66		C
Radiación solar (W/m ²)	<i>Pretemporada</i>	249.97	10.09	A	
	<i>Temporada</i>	325.81	9.03		B
	<i>Posttemporada</i>	270.99	9.40	A	
Precipitación (mm)	<i>Pretemporada</i>	0.02	0.02	A	
	<i>Temporada</i>	0.06	0.02	A	B
	<i>Posttemporada</i>	0.11	0.02		B
Velocidad del viento (Km/h)	<i>Pretemporada</i>	1.83	0.07	A	
	<i>Temporada</i>	1.92	0.06	A	
	<i>Posttemporada</i>	1.17	0.07		B

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

Durante la *pretemporada* los vientos dominantes procedieron del suroeste y en la temporada y posttemporada su dirección fue del sureste y, este y sureste, respectivamente. La mayor frecuencia de la dirección de viento fue del este (**Figura 13**).

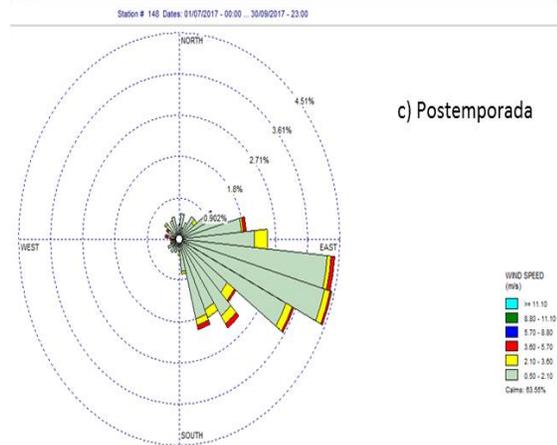
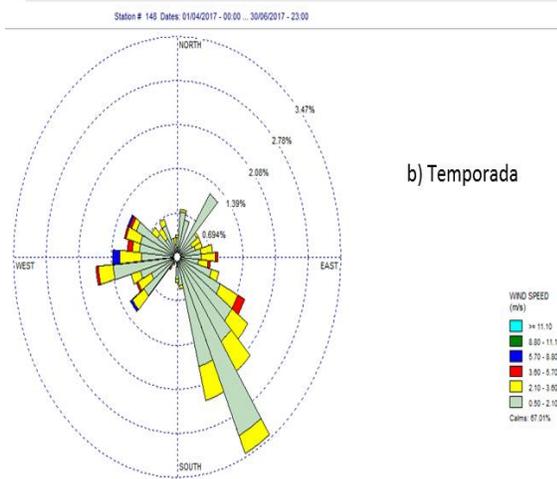
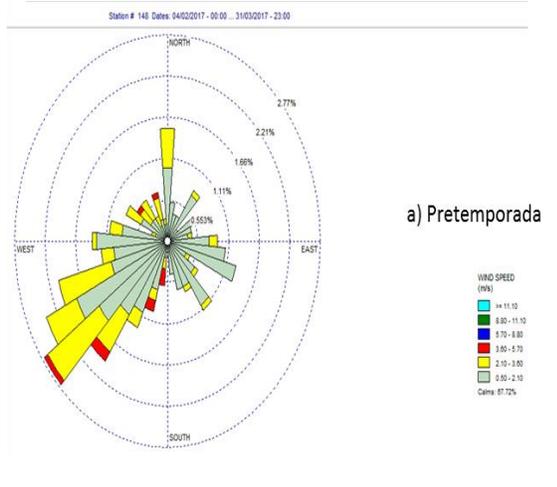


Figura 13. Dirección y velocidad del viento por temporada de producción de escamoles, en la UMA el Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

La temperatura registrada con la estación meteorológica y con el termopar ubicado a 100cm de altura fue similar ($p>0.78$). Por ello, se consideró como la temperatura atmosférica para los perfiles de temperatura.

La temperatura varió con la altura del sensor y por temporada de producción de escamoles. Durante el estudio las temperaturas más bajas se obtuvieron a 100 cm y las más altas a ras de suelo (0cm). En la *temporada* se registraron las temperaturas más altas en todos los niveles del perfil y mientras que en la *pretemporada* obtuvieron las temperaturas más bajas (**Cuadro 9**).

Cuadro 9. Perfil de temperatura por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

Producción de escamoles		Perfil de temperatura °C			
		-23 cm	0 cm	1 cm	100 cm
<i>Pretemporada</i>	Media	16±2	19±11	17±5	15±5
	Mín.	10	7	5	5
	Máy.	20	53	39	26
<i>Temporada</i>	Media	24±4	28±15	22±9	20±6
	Mín.	14	11	9	10
	Máy.	32	62	39	31
<i>Posttemporada</i>	Media	21±4	24±11	19±6	20±5
	Mín.	12	9	6	10
	Máy.	26	57	39	30

En las tres temporadas la temperatura a 23 cm de profundidad presentó las fluctuaciones menores. La temperatura descendió de 8:00 a 15:00h y de 15:00- 20:00 h incrementó (**Figura 14**).

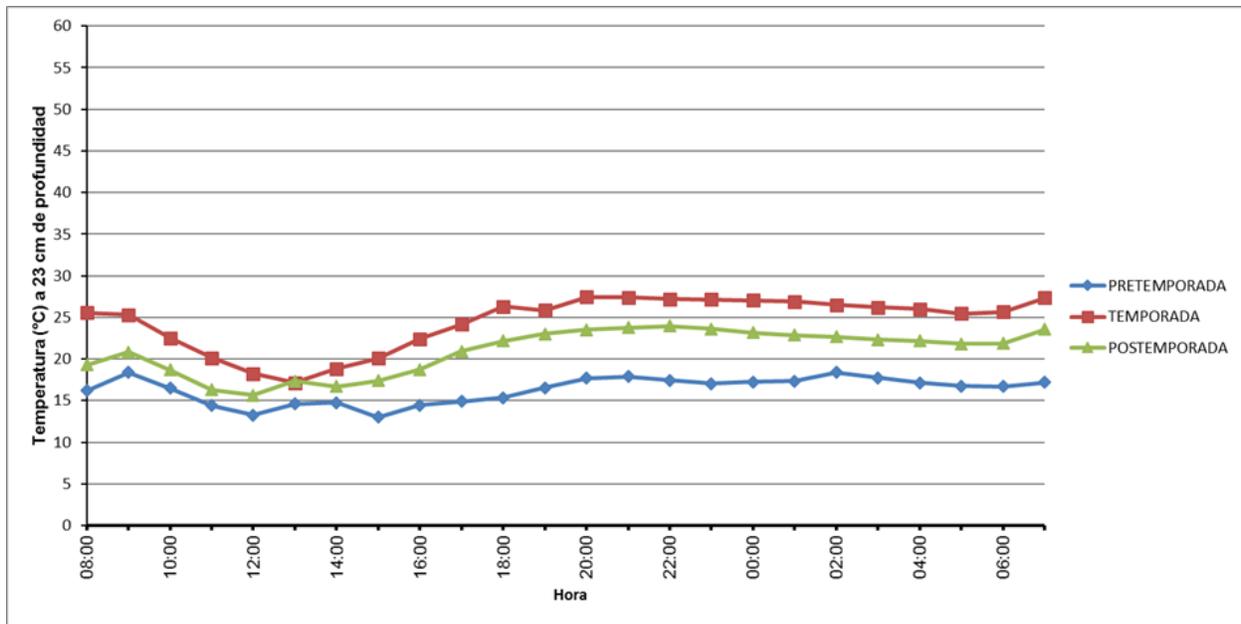


Figura 14. Temperatura a 23 cm de profundidad del suelo por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega Zacatecas.

Las temperaturas mayores se registraron a ras de suelo y durante la *pretemporada* y *posttemporada* se incrementaron de 8:00 a 14:00 horas, y de 8:00 a 12:00 h. Las temperaturas máximas y mínimas fueron 55°C y 10 °C, respectivamente (**Figura 15**).

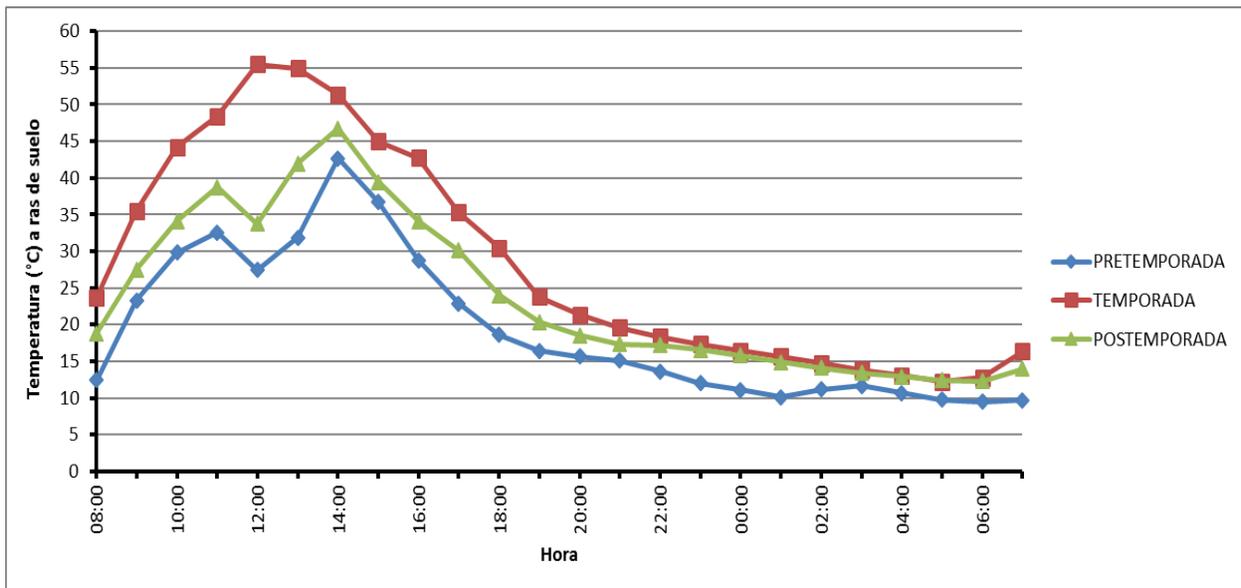


Figura 15. Temperatura a ras del suelo (0 cm) por temporada de producción de escamoles en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

Los valores de temperatura obtenidos con el sensor (a ras de suelo) son promedios del área circundante al sensor. Sin embargo, la cámara termográfica registró temperaturas más precisas como la de 72°C a las 13:00 horas, a diferencia de los 55°C registrada con el sensor en la temporada de producción de escamoles a la misma hora (**Figura 16**).

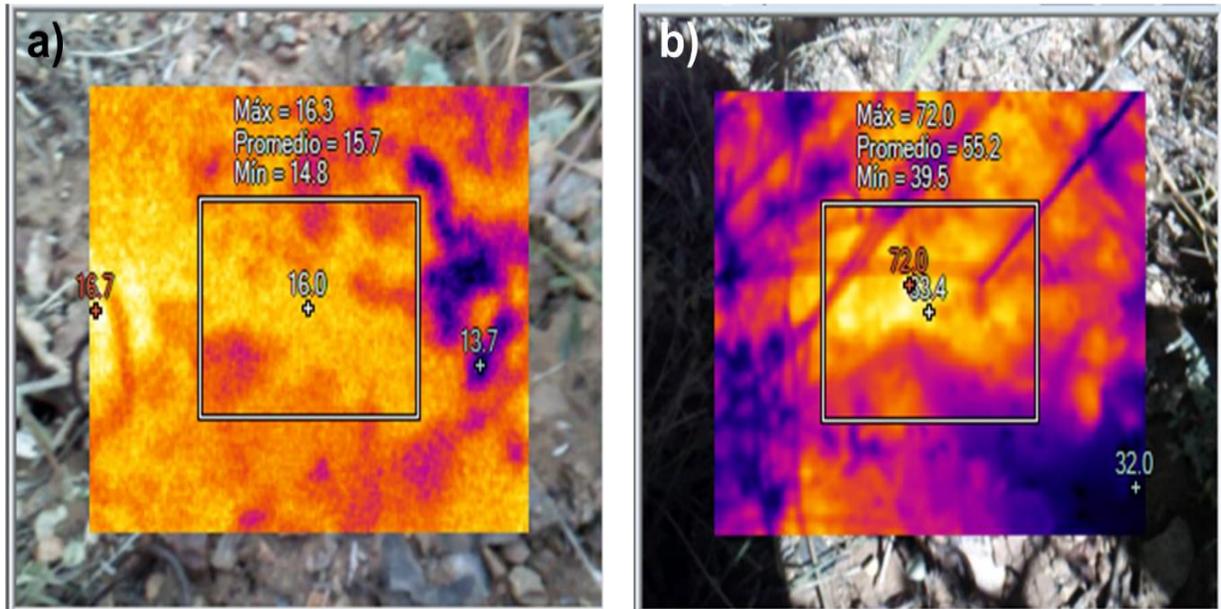


Figura 16. Fotografía infrarroja de la temperatura a ras de suelo en un camino forrajero de *Liometopum apiculatum* a las 7:30 y 13:30 horas en la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

La temperatura en todas las alturas varió más durante el día que la noche, con excepción de la registrada a 23 cm de profundidad, particularmente durante la *temporada* (**Figura 17**).

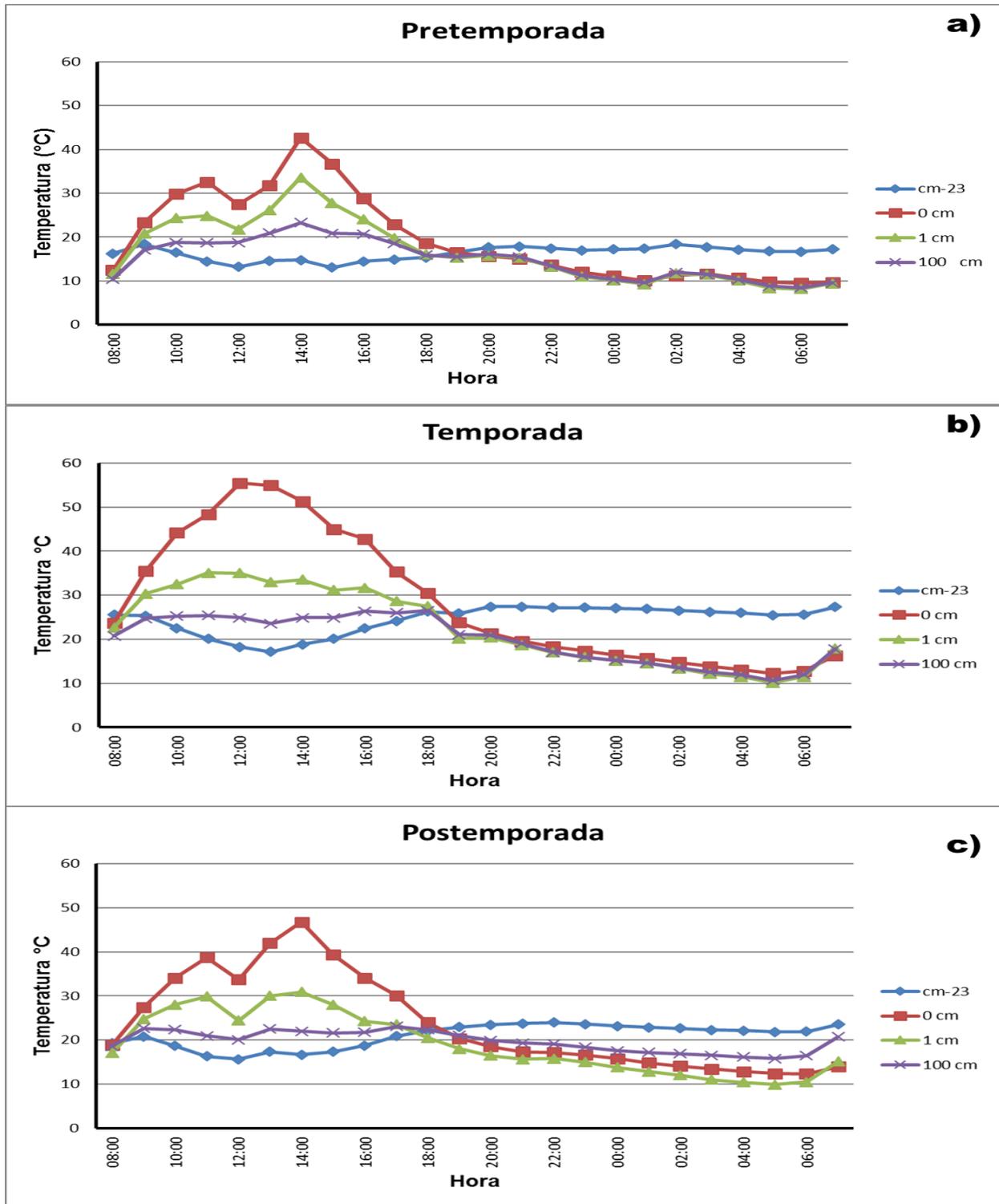


Figura 17. Perfil de temperatura por temporada de producción de escamoles de la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas.

2.6. DISCUSIÓN

La *pretemporada* (ausencia de escamoles) se caracterizó por temperaturas bajas, menor radiación solar y poca precipitación, comparada con la *temporada* y *posttemporada* de producción de escamoles. Gavande (1972) describe que la temperatura y humedad relativa están relacionadas con la cantidad de radiación solar y precipitación. La *pretemporada* incluyó la estación de invierno que se caracteriza por temperaturas frías. Las bajas temperaturas disminuyen la disponibilidad de alimento (Gabriel, 2008), incrementando la demanda de tiempo y energía en el forrajeo de las hormigas obreras, esto limita desarrollo y crecimiento las colonias (Shapley, 1920; Cuadriello, 1980; Porter y Tschinkel, 1993). Las hormigas utilizan un periodo de invernación que les permite sobrevivir a estas condiciones (Cerdea *et al.*, 1992). El cual, tiene relación con la presencia de Compuestos Orgánicos Volátiles identificados durante la *pretemporada* (Capítulo I); como el acetaldehído, el salicilato de metilo que intensifican la actividad de forrajeo en diversas especies de hormigas, y el triacetin que contribuye a la adaptación a cambios estacionales y resistencia al frío de algunos insectos (Kohl *et al.*, 2000; Baker y Evans 2007).

En contraste, la *temporada* se caracterizó por la temperatura, radiación solar y velocidad del viento con los mayores valores, con vientos provenientes del Sureste, y una disminución de la humedad relativa. La presencia de escamoles puede asociarse con la estación de primavera, la cual ofrece a la hormiga temperaturas cálidas. Las temperaturas altas favorecen la tasa de reproducción de las hormigas y el aumento en la demanda de energía (Brian, 1973). Las temperaturas cálidas también incrementan la disponibilidad de alimento para las hormigas (Gabriel, 2008). De acuerdo con Jaffé (2004), la cantidad y calidad de alimento influyen en el desarrollo y diferenciación de castas.

Por otra parte, Frouz (2000) y Kadochová y Frouz (2014) describen la importancia de la radiación y el viento en la termorregulación de nidos para mantener el nido seco, lo cual favorece el ciclo de desarrollo de las hormigas (oviposición de la reina y el desarrollo de los estadios; huevos, larvas, pupas y adultos). Asimismo, Galle (1973) determinó que la radiación solar también influye en el calor acumulado en las hormigas obreras (*Formica*

pratensis Retz) durante el forrajeo. El mecanismo de termorregulación y las condiciones óptimas del nido son distintas para cada especie (Frouz, 2000); por ejemplo, *Formica polyctena* prefiere una temperatura de 29 °C para el desarrollo pupal (Coenen y Zum, 1985.), mientras que colonias del género *Myrmica* requiere temperaturas de 19 y 21 °C (Brian, 1973; Banschbach *et al.*, 1997). Ramos-Elorduy *et al.* (1984) reportaron que el ciclo de desarrollo de *L. apiculatum* es favorecido por temperaturas cálidas constantes (\bar{X} = 26°C) y un porcentaje de humedad relativa de 40 a 50%.

Al mismo tiempo, en el Capítulo 1, se reportó la presencia de compuestos de agroquímicos (monocrotophos, dicrotophos, mevinphos, atrazine y prometon), situación que pudo favorecerse por el viento, mediante el arrastre de partículas provenientes de las zonas agrícolas de la UMA y de zonas aledañas. Existen elementos químicos contaminantes que al estar en contacto con organismos como las hormigas pueden ser bioasimilables y tienen un efecto perjudicial (Galán y Romero, 2008; Newman y Jagoe, 1994).

Durante la *posttemporada* se presentaron temperaturas intermedias entre las obtenidas en *pretemporada* y *temporada*, una radicación media similar a la registrada en la *pretemporada*, los vientos dominantes provenían del Este y Sureste. También se observó un incremento en el porcentaje de humedad y la cantidad de precipitación. Cuadriello (1980) y Lara-Juárez *et al.* (2015) reportan que la lluvia es un elemento esencial para las colonias de hormigas debido a que influye en el porcentaje de humedad en el suelo, facilitando la remoción de éste por princesas y zánganos para la fundación de nuevas colonias. En el área de estudio, de acuerdo a lo observado por el propietario de la UMA, el vuelo nupcial ocurrió la segunda semana de septiembre, lo que difiere con las fechas reportadas para este fenómeno por Ramos-Elorduy *et al.* (1984) para el estado de Michoacán y por Lara (2013) en el Altiplano Potosino.

La ausencia de la etapa reproductiva de la hormiga escamolera en esta temporada podría deberse por el ciclo reproductivo de la hormiga reina. En otras especies como la hormiga roja (*Formica polyctena*), se ha demostrado que las reinas entra en diapasas (detención prolongada de crecimiento) después de 100 días de su reproducción,

situación que se produce independientemente de que haya condiciones favorables o no, esta condición está determinada mediante un estímulo externo, como por ejemplo, la variación en la duración del día (fotoperíodo), termoperíodo o cambios aleloquímicos de plantas y/o alimento (Kipyatkov y Schederova, 1990; Korb y Linsenmair, 1998; astornatura, 2004). Para las hormigas las variaciones climáticas se convierten en patrones de actividad estacional que influyen en su ciclo de vida (Wolda, 1988; Hölldobler y Wilson, 1990). Diversos autores señalan que la temperatura es un factor central en la vida de las colonias de hormigas (Wilson, 1971; Frouz, 2000, Bollazzi *et al.*, 2008; Abril, 2009). Aunque es el factor que tiene las mayores variaciones a lo largo del año, hora del día, distancia o profundidad respecto al suelo (Gavande, 1972).

En la *pretemporada* la temperatura a una profundidad 23 cm del suelo ($\bar{X}=16^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$) fue similar a la reportada durante el invierno en nidos de la hormiga escamolera al sureste del Desierto Chihuahuense por Cruz, (2013). Las condiciones bajas de temperatura a esta profundidad pudieron deberse principalmente a la cantidad de radiación solar (Gavande, 1972). La temperatura a ras de suelo en este periodo fue menor a la presente en la *temporada* y *posttemporada*. Curtis (1985) y Porter y Tschinkel (1987) reportan que la actividad de forrajeo se ve limitada ante temperaturas bajas.

En la *temporada* de producción de escamoles se identificó un aumento en las condiciones de temperatura comparada con la *pre* y *posttemporada*. Porter y Tschinkel (1993) y Challet *et al.* (2005) mencionan que las temperaturas altas influyen en el tiempo de desarrollo, velocidad de desplazamiento, demanda de alimentos y reproducción de las hormigas. En este estudio se observaron temperaturas cálidas $\bar{X}=24^{\circ}\text{C}\pm 4^{\circ}\text{C}$ a una profundidad de 23 cm. Similar a los valores que reportó Cruz (2013) durante la primavera en nidos de *L. apiculatum.*, lo que sugiere que temperaturas constantes mayores a 20°C en el nido favorecen la conducta reproductiva de la hormiga reina, así como el desarrollo de larvas y pupas de las castas reproductoras. Por otra parte, la temperatura al ras de suelo alcanzó un promedio de $28^{\circ}\text{C}\pm 15^{\circ}\text{C}$, Porter y Tschinkel (1993), indican que temperaturas óptimas, incrementan la actividad de forrajeo.

Por otra parte, la temperatura durante la *posttemporada* presentó una disminución: a 23 cm de profundidad $\bar{X}=21^{\circ}\text{C}\pm 4^{\circ}\text{C}$, se asemejó a la temperatura reportada por Cruz (2013) en nidos de *L. apiculatum* durante el verano. Por otra parte, a ras de suelo la temperatura disminuyó, coincidiendo con las temperaturas requeridas por las hormigas *Acromyrmex* para la construcción de galerías y actividades de forrajeo reportadas por Bollazi *et al.* (2008). Posiblemente, estas condiciones durante la *posttemporada* influyen en la construcción de galerías y nidos, para el resguardo de princesas y zánganos, así como en la fundación de colonias.

En este estudio se observó un patrón en la temperatura registrada a una profundidad de 23 cm, que se caracterizó por presentar las menores oscilaciones (Gavande, 1972) y una disminución de temperaturas durante el día y el aumento por la tarde. Las temperaturas más altas a esta profundidad generalmente ocurrirán por la tarde o por la noche, lo que se podría asociarse a la temperatura del nido y el retorno de las hormigas forrajeras (Frouz, 1996). Este patrón en la pérdida térmica en el nido es similar al mecanismo descrito por Frouz (2000) en nidos de *Formica polyctena*, lo que sugiere que la hormiga escamolera posiblemente utiliza la energía térmica acumulada en el horario de forrajeo y la estructura del nido como característica principal de la termorregulación del nido, aunque se necesitan realizar estudios específicos para determinar dicho mecanismo.

Durante las tres temporadas la temperatura más alta se registró a ras del suelo (0 cm), se observó un incremento de la temperatura durante el día y un descenso durante la noche asemejándose a la temperatura atmosférica, lo que concuerda con lo descrito por Gavande (1972) para suelos de regiones áridas. La temperatura del suelo está interrelacionada con numerosos factores, es una respuesta a la radiación solar entrante y la conducción de calor, que es afectada por el tipo de suelo, cobertura superficial, y otros factores como la condensación, evaporación, lluvia, aislamiento, vegetación, actividad biológica, entre otros (Gavande, 1972; William *et al.*, 1991). De acuerdo con Kadochová y Frouz (2014) la temperatura del suelo es utilizada por las hormigas como una señal para construir túneles y galerías, la estructura del nido interviene en el sistema de ventilación y control de humedad que afectan la temperatura.

2.7. CONCLUSIONES

En el hábitat de la hormiga *Liometopum apiculatum* se identificaron factores ambientales durante la *pretemporada*, *temporada* y *posttemporada* de producción de escamoles:

- La *pretemporada* o usencia de larvas y pupas de las castas reproductoras de *L. apiculatum* presentó temperaturas bajas ($14^{\circ}\text{C}\pm 6^{\circ}\text{C}$) y una radiación similar a la *posttemporada*, la humedad relativa ($39\%\pm 25\%$) y la precipitación total (27 mm) fueron menores que durante la *posttemporada*, los vientos dominantes provinieron del suroeste con una velocidad ($\bar{X}= 1.83$ km/h).
- La *temporada* de escamoles presentó temperaturas cálidas ($24^{\circ}\text{C}\pm 4^{\circ}\text{C}$), la menor humedad relativa ($\bar{X}= 35\%$), la mayor radiación solar (326 W/m²) y una precipitación total de 106 mm, con vientos dominantes del sureste.
- La *posttemporada* se distinguió por registrar el mayor porcentaje de humedad $\bar{X}=65\%$ y una precipitación total de 168 mm, con una radiación solar similar a la *pretemporada* y vientos que provenían del Este y Sureste.
- Durante las tres temporadas las menores oscilaciones entre las temperaturas máximas y mínimas se presentaron a 23 cm de profundidad.
- En las tres temporadas la temperatura a ras del suelo (0 cm) presentó los valores medios más altos y mayores oscilaciones.

2.8. LITERATURA CITADA

- Abril, S. 2009. Efecto de la temperatura en la tasa de puesta de reinas de la hormiga argentina, *Linepithema humile* (Mayr, 1868), (Hymenoptera, Dolichoderinae) bajo condiciones experimentales de monoginia y poliginia. *Boln. Asoc. esp. Ent.*, 33 (3-4): 287-297.
- Amador, J.A., Gorres, J.H. 2007. Microbiological characterization of the structures built by earthworms and ants in an agriculture field. *Soil Biol. Biochem.* 39:2070-2077.
- Astornatura. 2004. Los insectos. La diapausa. Consultado el 01 de enero 2018 en <https://www.astornatura.com/insectos/diapausa.html>.
- Baker R., Evans D.A. 2007. Insect pheromones and related behavior modifying chemicals. pp.102-126. In. Gustone F.D. Ed. *The chemical Royal Society of Chemistry*. Pp. 320.
- Banschbach VS, Levit N, Herbers JM. 1997. Nest temperatures and thermal preferences of a forest ant species: is seasonal polydomy a thermoregulatory mechanism? *Insect Soc.* 44(2): 109–122.
- Barrios-Díaz B., González-Vázquez J.A., Márquez-Pérez G., Ojeda-Martínez A., Vázquez-Herrera G., Barrios-Díaz J.M. 2016. Situación actual de la recolección de la hormiga escamolera *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) en Tela de Ocampo, Puebla. *Entomología Mexicana*, 3: 142-145.
- Bollazzi, M., Kronenbitter J., Roces F. 2008. Soil temperature, digging behavior, and the adaptive value of nest depth in South American species of *Acromyrmex* leaf-cutting ants. *Oecologia* 158:165-175.
- Brian MV. 1973. Temperature choice and its relevance to brood survival and caste determination in the ant *Myrmica rubra* L. *Physiol Zool.* 46(4): 245–252.
- Brian, M.V. 1978. *Production Ecology of Ants and Termites*. Cambridge University Press, Cambridge. Pp.399.
- Cerda X., Retana J., Bosch J., Cros S. 1992. Estrategias alternativas en el ciclo de vida de tres hormigas mediterráneas. *Orsis* 7: 87-96.
- Challet M, Jost C, Grimall A. 2005. How temperature influences displacements and corpse aggregation behaviors in the ant *Messor sancta*. *Insect Soc.* 52(4): 309–315.

- Coenen, S. D., Zum V.W.1985. *Formica polyctena*. (Hymenoptera, Formicidae) im Klimagradient während der Brutpflege. Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft., 78: 204–112.
- CONABIO.2008. Himenopteros.In S. Ocegueda y J. Llorente (Coords). Catalogo taxonómico de especies de México actual de la biodiversidad. CONABIO, México.CD 1.
- 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., Tarango-Arámbula L.A., Alcántara-Carbajal J. L., Pimentel-López J., Ugalde-Lezama S., Ramírez-Valverde G., Méndez-Gallegos S.J. 2014. Uso de hábitat por la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) en el centro de México. *Agrociencia* 48(6): 569-582.
- 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.
- Curtis BA.1985. Activity of the Namib Desert dune ant, *Camponotus detritus*. *S Aft J Zool* 20:41-48.
- Dinwiddie, M.L., Jones, R.W., Roitman-Genoud, P., Tarango-Arámbula, L.A., Maldabarrera, G.X. 2013. Estudio etnoentomológico de la Hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) en dos localidades del estado de Querétaro. *Agroproductividad*, 6:27-34.
- Dossey A.T., Méndez-Gutiérrez. 2014. Los insectos como una fuente de proteína limpia y sustentable para el futuro. *Entomología Mexicana*, 1:1039-1044.
- Esparza-Frausto, G., Macías-Rodríguez, F.J., Martínez-Salvador, M., Jiménez-Guevara, M.A., Méndez-Gallegos, S.J.2008. Insectos comestibles asociados a las magueyeras en el Ejido Tolosa, Pinos, Zacatecas, México. *Agrociencia* 42: 243-252.
- FAO.2013. Edible insects Future prospects for food and feed security. Food and agriculture organization of the united nations. Roma. pp. 187.

- Folgarait, P. J., 1998. Ant biodiversity ants its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodivers. Conserv.* 7:1221-1244.
- Frouz, J. 1996. The role of nest moisture in thermoregulation of ant (*Formica polyctena*, Hymenoptera, Formicidae) nests. *Biology, Bratislava* 51: 541-547.
- Frouz, J. 2000. The effect of nest moisture on daily temperature regime in the nest of *Formica polyctena* Wood ants. *Insects Soc.* 47:229-235.
- Frouz, J., Finer L. 2007. Diurnal and seasonal fluctuations in wood ant (*Formica polyctena*) nest temperature in two geographically distant populations along a south-north gradient. *Insect Soc.* 54(3): 251–259.
- Gabriel P., R. 2008. Granivoría por hormigas del género *Pogonomyrmex* en el monte central: respuestas funcionales a las variaciones en la disponibilidad de semillas. Tesis Doctoral. Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Cuyo. Pp. 125.
- Galán H, E. Romero, B.A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. Facultad de química. Apartado 553. Universidad de Sevilla España. Sevilla 41071.
- Galle, L.1973. Thermoregulation in the nest of *Formica pratensis* Retz. (Hymenoptera, Formicidae). *Acta Biol. Szeged* 19: 139-142.
- García, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía Universidad Autónoma de México. México, D.F. 90p.
- Gavande, S.A. 1972. Física de suelos principios y aplicaciones. Ed. LIMUSA-WILEY.México.Pp.351.
- Hölldobler, B., Wilson E.O.1990. *The ants*. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge. pp. 732.
- Hurlbert, A.H., Ballantyne F., Powell S.2008. Shaking a leg and hot to trot: the effects of body size and temperature on running speed in ants. *Ecological Entomology* 33:144-154.
- Jaffé, C.K.2004. *El mundo de las hormigas*. Segunda edición. Edit. Equinoccio Ediciones de la Universidad Simón Bolívar, Caracas. Pp. 83.
- Jones, J.C., Oldroyd B, P.2006. Nest Thermoregulation in Social Insects. *Adv in Insect Phys.* 33: 153–191.

- Kadochová, Š., Frouz, J. 2014. Thermoregulation strategies in ants in comparison to other social insects, with a focus on red wood ants (*Formica rufa* group). *Resecar* 2:280. doi: 10.12688/f1000research.2-280.v2.
- Kaspari, M. 2003. Introducción a las hormigas de la región neo tropical. In. Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Fernando Fernández Ed. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Kaspari, M. 1993. Body size and microclimate use in Neotropical granivorous ants. *Oecologia* 96: 500-507. Pp.97-112.
- Keller L., Gordon É. 2009. *The lives of ants*. Oxford University Press.
- Kipyatkov, V, E., Schederova S,S. 1990. The endogenous rhythm of queens' reproductive activity in red wood ants (*Formica* group). *Zool Zhurnal*. 69(5): 40–52.
- Kleineidam, C., Ernst R., Roces F. 2001. Wind induced ventilation of the giant nests of the leaf-cutting ant *Atta vollenweideri*. *Naturwissenschaften* 88(7): 301–305.
- Klotz, J., Hansen, L., Pospischil R., Rust M. 2008. *Urban ants of North America and Europe, Identification, biology, and management*. Cornell University Press. Pp.196.
- Kohl, E., Hölldobler B., Bestmann H.J. 2000. A trail pheromone component of the ant *Mayriella overbecki* Viehmeyer (Formicidae: Myrmicinae). *Naturwissenschaften* 87 (7): 320-2. doi <https://doi.org/10.1007/s001140050>.
- Korb J, Linsenmair K.E. 1998. The effects of temperature on the architecture and distribution of *Macrotermes bellicosus* (Isoptera, Macrotermitinae) mounds in different habitats of a West African Guinea savanna. *Insec Soc*. 45(1): 51–65.
- Lara, J.P. 2013. *Etnoentomología de escamoles (Liometopum apiculatum) en el Altiplano Potosino Zacatecano*. Tesis de Maestría. Postgrado en Ciencias ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. p 103.
- Lara-Juárez P., Aguirre, R.J.R., Castro, L.P., Reyes, A.J.A. 2015. Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae) *Acta Zoológica Mexicana*, 31(2): 251-264.
- Marco, V. 2001. Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al manejo integrado de plagas mediante el método de grados día. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 28: 147-150.

- Miranda, R., G., Quintero S., B., Ramos R., 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*, 9: 81-100.
- Newman, M.C. Jagoe, C.H. 1994: Inorganic toxicants-ligands and the bioavailability of metals in aquatic environments. In *Bioavailability-Physical, Chemical, and Biological Interactions*, SETAC Spec. Pub. Series, J.L. Hameling, P.F. Landrum, H.L. Bergman & W.H. Benson, eds. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 39-61.
- North, R. 1996. *Ants. World Wildlife Series*. London. 128 pp.
- Porter, S.D. Tschinkel W.R.1987. Foraging in *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae): effects of weather and season. *Environ Entomol.* 16:802-808
- Porter, S.D., Tschinkel W, R.1993. Fire ant thermal preferences: behavioral control of growth and metabolism. *Behav Ecol Sociobiol.* 32(5): 321–329.
- Ramos, R.B., Quintero, S.B., Ramos-Elorduy, J., Pino, M.J.M., Ángeles, C.S.C., García, P.A., Barrera, G.V.D. 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.
- Ramos-Elorduy, B.J., Délage, D.B., Cuadrillo, A.J.I., Galindo, M.N., Pino, M.J.1984.Ciclo de vida y fundación de las sociedades de *Liometopum apiculatum* M. (Hymenoptera, Formicidae). *Anales de instituto de Biología, UNAM. Ser. Zoología*, 58: 341-354.
- Ramos-Elorduy, B.J., Viejo Montesinos, J.L. 2007. Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia con especial referencia a México. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Biol.* 102 (1-4): 61-84.
- Ramos-Elorduy, J., Levieux, J.1992.*Liometopum apiculatum* Mayr and *L. occidentale* Wheeler foraging areas studied with radio-isotopes markers (Hymenoptera, Formicidae-Dolichoderinae). *Bulletin de la Société Zoologique de France* 117: 21-30.
- Ramos-Elorduy, J.2009. Anthopo-etnomophagy: Cultures, evolution and Sustainability. *Entomological Research*, 39:271-288.
- Rzedowski, J.1978. *La vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F.pp.432.

- Shapley, H.1920.Thermokinetics of *Liometopum apiculatum* Mayr. Proceedings of National Academy of Sciences,6:204-211.
- Urra, F., Apablaza J. 2005. Temperatura base y constante térmica de *Copitarsia decolora* (Lepidoptera: Noctuidae) Cien.Inv.Agr. 32 (1):19-26.
- Velazco, C.C., Corona-Vargas M.C., Peña-Martínez R.2007. *Liometopum apiculatum* (FORMICIDAE: DOLICHERINAE) y su relación trofobiótica con Hemíptera sternorrhyncha en Tlaxcala, México. Acta Zoológica Mexicana 2:31-42
- William A.J., Wilford R.G., Walter H.G.1991. Soil Physics. Jhon Wiley & Sons, INC. New York.
- Wilson E.1971. The Insect Societies. Harvard University Press, Cambridge.
- Wolda, 1998. Wolda, H. 1988. Insect seasonality: why? Ann. Rev. Ecol. Syst. 19: 1-18.
- Yusseff, V.S.Z.2006. Entomología forense: los insectos en la escena del crimen. Revista Luna Azul 23: 42-49.

CONCLUSIONES GENERALES

En México los escamoles (*Liometopum apiculatum*) representan una oportunidad alimenticia y económica, principalmente para las comunidades rurales de las zonas áridas del país. Sin embargo, su aprovechamiento irracional ha puesto en peligro sus poblaciones. El presente estudio se relacionó con la identificación de Compuestos Orgánicos Volátiles y Factores Ambientales durante la *pretemporada*, *temporada* y *posttemporada* de producción de escamoles.

En la UMA El Milagro, Villa González Ortega, Zacatecas, se estudiaron cinco colonias de *L. apiculatum*, en cada una de ellas se seleccionaron dos sitios de muestreo de aire (nido y sustrato forrajero) para determinar los COVs presentes por temporada. Asimismo, se colocó una estación meteorológica para registrar los factores ambientales por temporada de producción de escamoles, misma que se complementó con el registro de temperatura en perfiles verticales (23 cm de profundidad, 0; 1 y 100 cm sobre el nivel del suelo).

- La *pretemporada* (ausencia de larvas y pupas) se caracterizó por la presencia de acetaldehído, triacetin, 2-metil propanoacid, (E) cinamaldehído, E-2-None-ol, (E, E)2, 4 Nonadienal, metil salicilato, hexil isobutirato y bis (2) metil -3-furani) disulfide en el aire muestreado en el nido y en los sitios de forrajeo. Por otra parte, dentro del nido el patrón COVs (n=5) estuvo conformado por el E-2-None-ol, (E,E) 2,4 Nonadienal, (E) cinnamaldehído, Hexil isobutirato, Bis (2) metil -3-furani) disulfide. En este periodo se identificaron temperaturas bajas sobre la superficie del suelo y a una profundidad de 23 cm de $\bar{X}=14^{\circ}$ y $\bar{X}=16^{\circ}$ C, respectivamente y los vientos dominantes que provinieron del suroeste con una velocidad de $\bar{X}=1.83$ km/h. También se registró la menor radiación ($\bar{X}=250$ W/m²) en comparación con la *temporada* de producción; por otra parte, la humedad relativa (39%±25%) y la precipitación total de 27 mm fueron menores que durante la *posttemporada*,
- La *temporada* de escamoles se caracterizó por presentar en el aire muestreado en los nidos y sitios de forrajeo, un patrón de COVs (n=9) integrado por 1,2-benzene diol, 3-metil -2-butane-1-ol, 2-metil butano acid acid, 2-metil-2 butano acid, (Z)-octanol, metil hexanoate, 3-metil -3-sulfani butanol-1-ol, anilina, decano.

Mientras que en el nido el perfil de COVs (n=6) se caracterizó por la trimetilamina, 1,2-benceno diol, 2-metil butano acid, (Z)-octanol, 3-metil -3-sulfani butanol-1-ol, anilina. En este periodo se presentaron temperaturas ambientales cálidas ($\bar{X}=20^{\circ}\text{C}$), la humedad relativa disminuyó a 35%, se distinguió un incremento en la radiación solar $\bar{X}= 326 \text{ W/m}^2$ y una precipitación total de 106 mm, con vientos dominantes del sureste.

- Durante la *postemporada* se caracterizó por registrar temperaturas medias de 18 °C y la mayor humedad relativa con 65% en el aire muestreado sobre la superficie del suelo, así como el incremento en la precipitación (168 mm).

En este estudio se identificó un perfil químico y los factores ambientales en el hábitat de la hormiga escamolera por temporada de producción de escamoles. Sin embargo, es necesario realizar estudios de análisis cuantitativos de los Compuestos Orgánicos Volátiles representativos de cada temporada para observar su efecto en el comportamiento de las hormigas y comprender como estos compuestos en combinación con factores ambientales, influyen en la actividad reproductiva de la hormiga escamolera.

ANEXOS

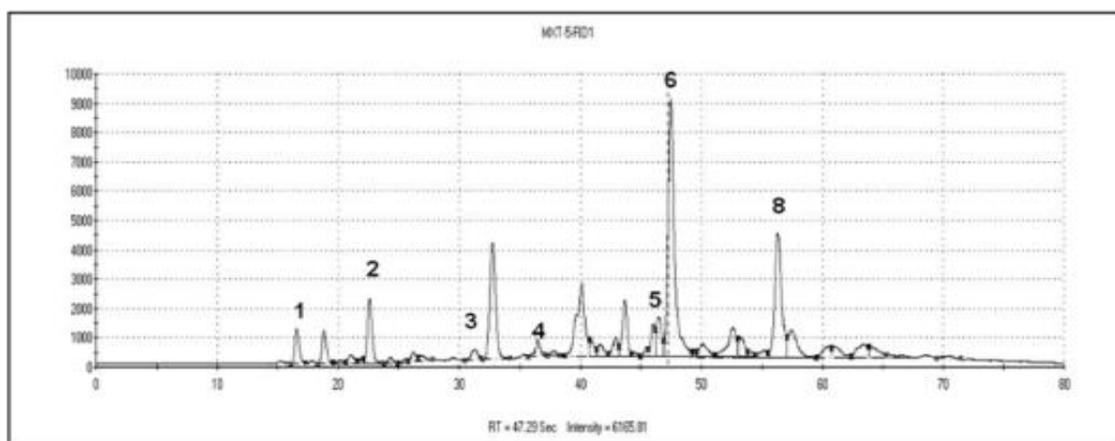
Anexo 1. Compuestos Orgánicos Volátiles registrados en el hábitat de la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) a través de dos detectores en la UMA “El Milagro” Villa González Ortega, Zacatecas, México.

Detector 1		Detector 2	
Tiempo de retención	de COV	Tiempo de retención	de COV
15.19-1	Acetaldehido	14.70-2	trimetilamina
18.78-1	Butano	15.71-2	2-metil butano
20.08-1	disopropil ether	17.16-2	dietil éter
20.99-1	Propanol	19.01-2	2 propanol
21.94-1	propanal 2-one	20.44-2	2-metil-2-propanol
22.50-1	dietil ether	24.28-2	Heptane
24.23-1	2 metil propanal	25.24-2	2-etil furan
25.49-1	2-mercaptoethanol sulfured	27.22-2	pent-len-3-ol
26.13-1	Butanal	30.29-2	3-hexanone
31.24-1	2 metil propanoacid acid	31.48-2	(E)-2-penten-1-ol
35.27-1	(E)-2-penten-1-ol	32.64-2	2-mercaptoethanol
36.23-1	2-methyl propanoacid	34.43-2	metil hexanoate
37.67-1	3-methyl -2-butane-1-ol	35.52-2	Decano
38.50-1	hydroxy-2-(metilthiol)	36.31-2	2-metil butano acid acid
39.79-1	(z)-2-hexano-1-ol	37.54-2	p-cimene
41.55-1	2-metil-2 cyclopenten 1 one	38.08-2	1,8-cineole
42.80-1	Benzeneacetaldehido	39.23-2	3-metil -3-sulfani butanol-1-ol
43.60-1	Anilina	40.48-2	(Z)-octanol
45.44-1	2-(2-ethoxiethoxy) etanol	41.29-2	E-2-None-ol
47.45-1	Hexil isobutirato	42.68-2	Benzeneacetaldehido
49.74-1	metil salicilato	43.33-2	Citronelal
51.58-1	(E)cinnamaldehyde	46.76-2	(E,E)2, 4 Nonadienal
52.83-1	1-p-menthen-8-thiol	48.72-2	(Z)-3-Phenyl-2-propanal
54.00-1	1,2-benzene diol	50.16-2	2,4, decadienal(E,Z)
54.99-1	Triacetin	51.53-2	beta-damascenona
56.21-1	beta-damascenona	54.35-2	Bis (2)metil -3-furaiy)disulfide
57.44-1	Mevinphos*	60.55-2	Atrazine*
58.19-1	metil undecanoate	70.70-2	Monocrotopos*
62.15-1	Molinate*		
68.40-1	Dicrotopos*		
70.25-1	Prometon*		

*compuestos orgánicos volátiles usados como agroquímico

Anexo 2. Ejemplo de compuestos orgánicos volátiles identificados a partir de una muestra de aire del nido de *L. apiculatum* obtenida en la temporada de producción de larvas de las castas reproductoras; 1) butane, 2) diethyl ether, 3) 2 methyl propano acid, 4) (*E*)-2-penten-ol, 5) aniline, 6)hexyl isobutirate, 1, 2-benzene diol, 8) betadamacenone, 9) trimethylamina, 10)2-methyl butane, 11) heptane; 12) 3-hexanone, 13) decane, 14) 2-methyl butano acid , 15) 1,8 cineole, 16) 3-methyl 3 furany butanol-ol, (*Z*) octanol, 18)betadamacenone, 19) Bis(2) methyl -3-furanil disulfide.

Detector 1



Detector 2

