

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE FORMICIDAE (HYMENOPTERA) EN DOS AGROECOSISTEMAS CON DIFERENTE GRADO DE PERTURBACIÓN

STRUCTURE OF THE COMMUNITY OF FORMICIDAE (HYMENOPTERA) IN TWO AGROECOSYSTEMS WITH DIFFERENT DEGREE OF DISTURBANCE

I. Rubí Rodríguez-de León¹, C. Sadiel Venegas-Barrera¹, Miguel Vásquez-Bolaños², J. Víctor Horta-Vega^{1*}

¹Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Bulevard Emilio Portes Gil, No. 1301, Ciudad Victoria Tamaulipas, México (jhortavega@yahoo.com.mx). ²Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. 45100. Apartado Postal 134.

RESUMEN

Varios estudios sobre la disposición de la comunidad de Formicidae del suelo ante distintas condiciones de los agroecosistemas se han realizados debido al avance de la frontera agrícola. La abundancia de especies tolerantes es común en estos ambientes con consecuencias negativas en la riqueza y diversidad, pero hay experimentos con observaciones contrarias. La hipótesis de este estudio fue que la caracterización de la estructura de la comunidad permite detectar diferencias de la respuesta de estos insectos ante distintos tipos de actividad agrícola. El objetivo fue realizar un análisis ecológico de la composición y abundancias de las especies de hormigas en dos cultivos con un diferente nivel de manejo agrícola: un plantío de sábila, *Aloe vera* (L.) Burm F. y otro de maíz, *Zea mays* L., y la referencia fue un área de vegetación secundaria (área sin cultivo). El estudio se realizó en el ejido San Lorenzo, municipio de Jaumave, estado de Tamaulipas, México. Para los muestreos se usaron 30 trampas "pitfall" por sitio, entre julio y agosto de 2013, con cuatro repeticiones cada 15 d. La caracterización de la estructura de la comunidad de hormigas en los tres ambientes se obtuvo mediante medidas de riqueza, diversidad, valor indicador y métodos multivariados. Los resultados mostraron 32 especies de hormigas. La riqueza mayor fue en el área sin cultivo, la diversidad más alta en el cultivo de maíz y una abundancia mayor en el de sábila. Dos especies resultaron indicadoras del cultivo de sábila, y cuatro especies lo fueron en el área no cultivada. Los análisis multivariados mostraron asociación significativa en la frecuencia de hormigas capturadas con el tipo de cultivo y la especie. La estructura de la comunidad de hormigas dependió del sitio y la temporada.

ABSTRACT

Several studies about the disposition of the community of Formicidae in the soil when facing different conditions of the agroecosystems were performed given the advance of the agricultural frontier. The abundance of tolerant species is common in these environments with negative consequences in wealth and diversity, although there are experiments with observations to the contrary. The hypothesis of this study was that characterizing the structure of the community allows detecting differences in the response of these insects towards diverse types of agricultural activity. The objective was to carry out an ecological analysis of the composition and abundance of the species of ants in two crops with different level of agricultural management: a plantation with aloe, *Aloe vera* (L.) Burm F. and another with maize, *Zea mays* L., and the reference was an area of secondary vegetation (uncultivated area). The study was performed in the *ejido* of San Lorenzo, municipality of Jaumave, state of Tamaulipas, Mexico. For sampling, 30 "pitfall" traps were used per site, between July and August 2013, with four repetitions every 15 d. Characterization of the structure of the ant communities in the three environments was obtained through measurements of wealth, diversity, indicator value and multivariate methods. The results showed 32 species of ants. The highest wealth was in the uncultivated area, the highest diversity in the maize crop, and the highest abundance in the aloe crop. Two species were indicators of the aloe crop and four species of the uncultivated area. The multivariate analyses showed significant association in the frequency of ants captured with the type of crop and the species. The structure of the ant community depended on the site and the season.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.
Recibido: noviembre, 2017. Aprobado: mayo, 2018.
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 285-301. 2019.

Key words: disturbance, multivariate analysis, diversity, wealth, indicator species.

Palabras clave: perturbación, análisis multivariados, diversidad, riqueza, especies indicadoras.

INTRODUCCIÓN

Los insectos, debido a su gran diversidad y multifunción en los ecosistemas, se usan como indicadores biológicos de algún atributo medio-ambiental desde principios del siglo XX (Peck *et al.*, 1998). Tal es el caso de los formícidos del suelo que, por su abundancia, sus distintas funciones ecológicas y gran movilidad, son un grupo de organismos con respuestas diferentes a cambios del entorno (Rojas-Fernández, 2001; Phillips *et al.* 2005; Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011). El avance de la frontera agrícola promueve cambios de uso del suelo, por lo que hay estudios acerca de como la comunidad de hormigas de este tipo de hábitats se comporta ante distintas condiciones en los agroecosistemas (Mackay *et al.*, 1991; Peck *et al.*, 1998).

Las investigaciones sobre la mirmecofauna en agroecosistemas buscan correlacionar un atributo ambiental, como el nivel de perturbación o nivel de intensidad de manejo agrícola, con alguna propiedad de la comunidad de hormigas (Peck *et al.*, 1998; Tejeda-Cruz *et al.*, 2008; Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011). Entre las propiedades de la comunidad asociadas con ambientes perturbados están la predominancia de una especie (Risch y Carroll, 1982), una riqueza menor de especies (Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011), un grado de diversidad menor (Mackay *et al.*, 1991), la presencia de especies indicadoras (Dufrêne y Legendre, 1997) y el ensamblaje de especies (Peck *et al.*, 1998). La predominancia de especies tolerantes (nativas o exóticas invasoras) a causa de la perturbación reduce la capacidad competitiva (Rojas-Fernández, 2001) de las otras especies en un ecosistema, que se refleja en una reducción en su riqueza y diversidad (Magurran, 2004). Pero hay estudios en formícidos que muestran aumentos de estos parámetros ecológicos en sitios perturbados (Lachaud y García, 1999; Phillips *et al.*, 2005). Entonces, como la competencia puede no ser el principal factor afectado, un análisis de la estructura de la comunidad puede ofrecer un mayor alcance para establecer diferencias en la respuesta de este grupo de himenópteros ante distintos tipos de alteración ambiental.

La hipótesis de este estudio fue que los cultivos de sábila (*Aloe vera*) y maíz (*Zea mays*) son áreas donde

INTRODUCTION

Insects, due to their great diversity and multifunction in ecosystems, are used as biological indicators of some environmental attributes since the beginning of the 20th century (Peck *et al.*, 1998). Such is the case of Formicidae in the soil which, because of their abundance, various ecological functions and great mobility are a group of organisms with different responses to changes in the environment (Rojas-Fernández, 2001; Phillips *et al.* 2005; Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011). The advance of the agricultural frontier promotes changes in land use, which is why there are studies about how ant communities from these types of habitats behave when facing different conditions in the agroecosystems (Mackay *et al.*, 1991; Peck *et al.*, 1998).

The studies about ant fauna in agroecosystems seeks to correlate an environmental attribute, such as the level of disturbance or level of intensity of agricultural management, with some property of the ant community (Peck *et al.*, 1998; Tejeda-Cruz *et al.*, 2008; Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011). Among the properties of the community associated with disturbed environments, there is the predominance of a species (Risch and Carroll, 1982), a lower wealth of species (Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011), a reduced degree of diversity (Mackay *et al.*, 1991), the presence of indicator species (Dufrêne and Legendre, 1997), and the assembly of species (Peck *et al.*, 1998). The predominance of tolerant species (native or exotic invaders) as a result of disturbance reduces the competitive ability (Rojas-Fernández, 2001) of the other species in an ecosystem, which is reflected in a reduction in their wealth and diversity (Magurran, 2004). However, there are studies in Formicidae that show increases of these ecological parameters in disturbed sites (Lachaud and García, 1999; Phillips *et al.*, 2005). Thus, since the competition may not be the main factor affected, an analysis of the community structure can offer a greater reach to establish differences in the response of this group of Hymenoptera when facing different types of environmental alteration.

The hypothesis of this study was that the aloe (*Aloe vera*) and maize (*Zea mays*) crops are areas where predominant species of Formicidae stand out due to the implicit disturbance of the soil, although the

destacan especies de formícidos predominantes por la perturbación implícita del suelo, aunque los valores de riqueza y diversidad no siempre explican los niveles de manejo agrícola; pero el análisis estructural de las comunidades y su comparación con áreas de vegetación secundaria pueden dar una explicación de dichos niveles. Los objetivos fueron: 1) estimar la riqueza y diversidad de formícidos en cada sitio de estudio; 2) determinar las especies indicadoras de cada sitio; 3) asociar la riqueza de formícidos con los sitios de estudio; 4) determinar las diferencias entre muestreos en función de la abundancia relativa y presencia-ausencia de las especies de formícidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El estudio se realizó en tres sitios con diferente tipo de vegetación en el suroeste del municipio de Jaumave, estado de Tamaulipas, México. El municipio tiene una superficie de 2642 km², y hay diversos tipos de climas debido a las diferencias de altitud en su territorio, con clima semicálido en la región montañosa y muy cálido en las zonas de menor altura en la región semiárida. La temperatura anual oscila de 21 °C a 45 °C, con una precipitación anual de 500 a 1200 mm y lluvias en verano (INAFED, 2010).

Recolecta

Los sitios para el estudio fueron un cultivo de maíz (23°23'24" N, 99°24'36" O, a 796 msnm), un cultivo de sábila (23°22'21" N, 99°24'30" O, a 846 msnm) y un área no cultivada (23°22'36" N, 99°40'28" O, a 801 msnm) con matorral espinoso y áreas de pastizal. La superficie de cada sitio de estudio es cercana a 1 ha y la distancia aproximada entre ellos es 500 m. En las actividades agrícolas se utilizan herramientas manuales para remover la hierba y no se usan insecticidas ni fertilizantes.

Para la captura de individuos que transitan en el suelo se usaron trampas "pitfall", las cuales fueron botes de plástico de 1 L, 11 cm de diámetro de apertura, con ~150 mL de agua corriente y 10 % de detergente líquido. En cada muestreo se colocaron 30 trampas "pitfall" en puntos al azar con un tiempo de exposición de 48 h continuas. Los muestreos se realizaron de julio a agosto de 2013, cada 15 d en cada sitio y con cuatro repeticiones: las dos de julio y una de agosto fueron en la época de lluvias, y la cuarta en agosto después de la época de lluvia. El muestreo se hizo siempre en días soleados no lluviosos, sin importar la temperatura. El material recolectado en campo se llevó en frascos con alcohol

values of wealth and diversity do not always explain the levels of agricultural management; however, the structural analysis of the communities and their comparison with areas of secondary vegetation can explain such levels. The objectives were: 1) estimating the wealth and diversity of Formicidae in each study site; 2) defining the indicator species in each site; 3) associating the wealth of ants with the study sites; 4) determining the differences between samples in function of the relative abundance and presence-absence of the ant species.

MATERIALS AND METHODS

Study zone

The study was carried out in three sites with different type of vegetation in the southeast region of the municipality of Jaumave, state of Tamaulipas, Mexico. The municipality has a surface of 2642 km², and there are diverse types of climates because of differences in altitude in the territory, with semi-warm climate in the mountainous region and very warm in the zones of lower altitude in the semi-arid region. The annual temperature ranges from 21 °C to 45 °C, with annual precipitation of 500 to 1200 mm and summer rains (INAFED, 2010).

Collection

The sites for the study were one plantation with maize crop (23°23'24" N, 99°24'36" W, at 796 masl), one with aloe crop (23°22'21" N, 99°24'30" W, at 846 masl), and an uncultivated area (23°22'36" N, 99°40'28" W, at 801 masl) with spiny shrub and pastureland areas. The surface from each study site is close to 1 ha and the approximate distance between them is 500 m. In agricultural activities, manual tools are used to remove the weed and no insecticides or fertilizers are used.

For the capture of individuals moving on the ground, "pitfall" traps were used, which were 1 L plastic containers, 11 cm of opening diameter, with ~150 mL of tap water and 10 % liquid detergent. In each sampling event, 30 "pitfall" traps were placed in random points with an exposure time of 48 continuous hours. Sampling was carried out from July to August 2013, every 15 d in each site and with four repetitions; the two from July and one from August were during the rainy season, and the fourth in August after the rainy season. The sampling was performed always on sunny days, not rainy, regardless of the temperature. The material collected in the field was transported in containers with alcohol at 70 % to the Ecology Laboratory of the Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, for the review and separation

al 70 % al Laboratorio de Ecología del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, para la revisión y separación de cada muestra. Los ejemplares representativos de cada taxa se montaron y etiquetaron para la identificación de subfamilia y género con las claves de MacGown (2014), y la específica según las revisiones de los géneros de Cuzzo (2000), Wilson (2003) y MacGown (2014). El material está depositado en la colección de insectos del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tamaulipas.

Análisis de los datos

La riqueza estimada se evaluó en cada sitio con el modelo de Clench (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). La curva de acumulación de especies se estableció con 100 aleatorizaciones sin reemplazamiento, empleando el programa EstimateS. El número esperado de especies se estimó con el radio de la pendiente y la ordenada al origen del modelo de Clench, los cuales se calcularon mediante una regresión no lineal y el método Simplex-QuasiNewton en el programa STATISTICA. La estimación de la riqueza específica puede ser afectada por el número de individuos capturados, y para evitar este sesgo de muestreo se realizó un análisis de rarefacción (Hulbert, 1971). La diversidad alfa se calculó en el programa PAST versión 2.03, con el índice de Simpson (D) y su valor complementario de diversidad (1-D) (Magurran, 2004). También se determinó el índice/valor de equidad del índice de Hill de primer orden dividido entre el total de especies (Magurran, 2004).

Las especies indicadoras de cada sitio de estudio se determinaron por el método de valor indicador de especies (IndVal) propuesto por Dufrene y Legendre (1997), el cual se basa en el grado de especificidad (A_{ij}) a un ambiente en particular y en el grado de fidelidad (B_{ij}) medida con la frecuencia de ocurrencia dentro del mismo ambiente. Ambos se evalúan de manera independiente para cada especie con la fórmula $IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$. El valor indicador se obtuvo mediante simulaciones de Monte Carlo (10000 iteraciones), con las cuales una especie es indicadora del sitio o hábitat si tiene $p \leq 0.05$ y un porcentaje mayor al 50 %, mientras que las especies con valor IndVal menor a 50 % (Dufrene y Legendre, 1997) y mayor o igual a 25 % son detectoras (Tejeda-Cruz *et al.*, 2008). El método se realizó con las funciones de "IndVal" y el paquete "labdsv" de la librería de R (Roberts, 2016).

La asociación de la riqueza de formícidos con los sitios de estudio se realizó con un análisis de correspondencia en el programa STATISTICA y se analizan tablas de dos o más vías que incluyen alguna medición de correspondencia entre renglones y columnas, lo que permite la estructura de las variables categóricas incluidas en la tabla (Gotelli y Ellison, 2004). La comparación de la estructura (abundancia relativa) y composición (presencia-

de cada muestra. The representative specimens from each taxa were mounted and labeled for identification of subfamily and genus with the MacGown (2014) keys, and of species according to revisions of the genera by Cuzzo (2000), Wilson (2003) and MacGown (2014). The material was deposited in the insect collection of the Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tamaulipas.

Data analysis

The estimated wealth was evaluated in each site with the Clench model (Jiménez-Valverde and Hortal, 2003). The accumulation curve of the species was established with 100 randomized events without repositioning, using the software EstimateS. The number of species expected was estimated with the radius of the slope and the intercept from the Clench model, which were calculated through a non-linear regression and the Simplex-QuasiNewton method in the STATISTICA software. The estimation of the specific wealth can be affected by the number of individuals captured, and to avoid this bias in the sampling, a rarefaction analysis was performed (Hulbert, 1971). The alpha diversity was calculated in the PAST software version 2.03, with the Simpson index (D) and its complementary diversity value (1-D) (Magurran, 2004). The equity index/value of the Hill index of the first order divided by the total species was also determined (Magurran, 2004).

The indicator species from each study site were defined by the method of species indicator value (IndVal) proposed by Dufrene and Legendre (1997), which is based on the degree of specificity (A_{ij}) to a particular environment and on the degree of fidelity (B_{ij}) measured with the frequency of occurrence within the same environment. They are both evaluated independently for each species with the formula: $IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$. The indicator value was obtained through Monte Carlo simulations (10000 iterations), with which a species is indicator of the site or habitat if there is $p \leq 0.05$ and a percentage higher than 50 %, while the species with IndVal value lower than 50 % (Dufrene and Legendre, 1997) and higher or equal to 25 % are detectors (Tejeda-Cruz *et al.*, 2008). The method was carried out with the "IndVal" functions and the "labdsv" package of the R library (Roberts, 2016).

The association of the Formicidae wealth with the study sites was carried out with a correspondence analysis in the STATISTICA software, and tables of two or more paths are analyzed that include some correspondence measurement between lines and columns, which allows the structure of the categorical variables included in the table (Gotelli and Ellison, 2004). The comparison of the structure (relative abundance) and composition (presence-absence) of the ant community

ausencia) de la comunidad de hormigas entre las tres diferentes áreas y los cuatro muestreos se realizó con el ANDEVA multivariado permutacional de una vía (one-way PERMANOVA), que es una prueba no paramétrica para comparar la variación dentro y entre grupos de la distancia multidimensional, y es similar al ANDEVA para datos que no se ajustan a una distribución normal (Anderson, 2001). La prueba para analizar la estructura (abundancia relativa) de las hormigas se basa en la medida de distancia Bray-Curtis porque hay especies de hormigas con altas variaciones en su abundancia (Krebs, 1998). La comparación de la presencia-ausencia de especies se realizó con la medida de distancia de Sorensen, que supone un muestreo imperfecto y le da más peso a las similitudes que a las disimilitudes (Gottelli y Ellison, 2004). Los cálculos se realizaron con el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001), y se usó el número de permutaciones predeterminadas por el programa (9999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los dos agroecosistemas y la zona de vegetación secundaria en este estudio presentan comunidades de hormigas con diferencias estructurales significativas. Esta investigación es la primera de este tipo en la comunidad de Formicidae del suelo en los agroecosistemas sábila y maíz (Rojas-Fernández, 2001; Pedroza-Sandoval y Durán-Bendejo, 2005; Rodríguez de León *et al.*, 2014a). Además, se contribuye en la sistemática y biodiversidad del grupo porque hay pocos estudios en suelos áridos, comparados con los de zonas tropicales, por el incentivo científico de la gran diversidad de estos insectos en los trópicos (Rojas-Fernández, 2001; Ríos-Casanova, 2004). En el análisis se hace la distinción entre parámetro de “riqueza” como el número de especies, y el parámetro de “diversidad” como la ponderación de la abundancia de cada una de ellas. En otros estudios la distinción entre tales indicadores no es precisa (Flores-Maldonado y González-Hernández, 2005; Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011).

Riqueza y abundancia

En total se capturaron 33 772 individuos pertenecientes a 32 especies, 20 géneros y cinco subfamilias (Cuadro 1). Rodríguez-De León *et al.* (2014a) registraron 33 especies y 20 géneros de seis subfamilias de dos de las localidades evaluadas en nuestro estudio, la de maíz y la de un área no cultivada pero con muestreos de febrero a marzo y de julio a

between the three different areas and the four sampling events was carried out with the one-way PERMANOVA, which is a non-parametrical test to compare the variation within and between groups from the multidimensional distance, and is similar to ANOVA for the data that do not adjust to a normal distribution (Anderson, 2001). The test to analyze the structure (relative abundance) of the ants is based on the measurement of Bray-Curtis distance because there are ant species with high variations in their abundance (Krebs, 1998). The comparison of the presence-absence of species was carried out with the Sorensen's distance measurement, which assumes an imperfect sampling and gives more weight to the similarities than to the dissimilarities (Gottelli and Ellison, 2004). The calculations were carried out with the PAST software (Hammer *et al.*, 2001), and the number of permutations predetermined by the software were used (9999).

RESULTS AND DISCUSSION

The two agroecosystems and the zone of secondary vegetation in this study present ant communities with significant structural differences. This study is the first of its type in the soil Formicidae community in aloe and maize agroecosystems (Rojas-Fernández, 2001; Pedroza-Sandoval and Durán-Bendejo, 2005; Rodríguez de León *et al.*, 2014a). In addition, it contributes to the systematics and biodiversity of the group because there are few studies in arid soils, compared to those of tropical zones, due to the scientific incentive of the great diversity of these insects in the tropics (Rojas-Fernández, 2001; Ríos-Casanova, 2004). In the analysis, a distinction is made between the parameter of “wealth” such as the number of species, and the parameter of “diversity” such as the weighing of the abundance of each of them. In other studies, the distinction between such indicators is not accurate (Flores-Maldonado and González-Hernández, 2005; Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011).

Wealth and abundance

In total, 33 772 individuals were captured that belonged to 32 species, 20 genera, and five subfamilies (Table 1). Rodríguez-De León *et al.* (2014a) found 33 species and 20 genera from six subfamilies from two of the localities evaluated in our study, the maize plantation and an uncultivated area but with samples from February to March and from July to

Cuadro 1. Lista de especies de formícidos recolectados en tres localidades del Ejido San Lorenzo, Municipio de Jaumave, Tamaulipas, México.

Table 1. List of Formicidae species collected in three localities of Ejido San Lorenzo, Municipality of Jaumave, Tamaulipas, Mexico.

No.	Subfamilia (géneros, especies) Especie	Sábila	ASC	Maíz
	Dolichoderinae (3, 6)			
1.	<i>Forelius keiferi</i>	1554	4582	1456
2.	<i>Forelius pruinosus</i>	92	105	41
3.	<i>Dorymyrmex bicolor</i>	22	15	17
4.	<i>Dorymyrmex insanus</i>	134	76	171
5.	<i>Dorymyrmex pyramicus</i>	1348	508	578
6.	<i>Myrmecosystus melanoticus</i>	0	211	0
	Formicinae (4, 6)			
7.	<i>Brachymyrmex musculus</i>	0	13	0
8.	<i>Camponotus atriceps</i>	0	7	0
9.	<i>Camponotus conspicuus</i>	0	6	0
10.	<i>Camponotus planatus</i>	0	1	0
11.	<i>Paratrechina longicornis</i>	0	0	7
12.	<i>Nylanderia terricola</i>	3	78	34
	Ponerinae (2, 3)			
13.	<i>Hypoponera punctatissima</i>	2	0	0
14.	<i>Odontomachus clarus</i>	0	36	0
15.	<i>Odontomachus laticeps</i>	0	1	0
	Myrmicinae (10, 16)			
16.	<i>Atta mexicana</i>	271	2	1320
17.	<i>Cardiocondyla emeryi</i>	33	1	11
18.	<i>Crematogaster sumichrasti</i>	0	7	0
19.	<i>Cyphomyrmex peltatus</i>	0	2	0
20.	<i>Pheidole bilimeki</i>	0	61	2
21.	<i>Pheidole constipata</i>	30	32	4
22.	<i>Pheidole porcula</i>	56	122	14
23.	<i>Pheidole tepicana</i>	124	27	148
24.	<i>Pheidole</i> sp. 1	1	0	0
25.	<i>Pheidole</i> sp. 2	0	2	0
26.	<i>Pogonomyrmex barbatus</i>	20	183	0
27.	<i>Pogonomyrmex imberbicus</i>	0	48	0
28.	<i>Solenopsis geminata</i>	11 824	84	8020
29.	<i>Tetramorium spinosum</i>	0	182	12
30.	<i>Temnothorax</i> n. sp.	0	2	0
31.	<i>Monomorium minimum</i>	2	16	8
	Dorylinae (1, 1)			
32.	<i>Labidus coecus</i>	0	0	3
Total	Especímenes: 33,772	15 516	6410	11 846
	Géneros: 20	10	17	11
	Especies: 32	16	28	17
	Especies exclusivas	1	13	1

agosto y se encontraron, además, *Camponotus nitidior* (Formicinae), *Pseudomyrmex pallidus* y *P. gracilis* (Pseudomyrmecinae), por la diferencia del período de muestreo. En nuestro estudio se anexa a la lista de formícidos de Jaumave, a *Hypoponera punctatissima*

August and, in addition, the following were found: *Camponotus nitidior* (Formicinae), *Pseudomyrmex pallidus* and *P. gracilis* (Pseudomyrmecinae), because of the difference in the sample period. In our study, *Hypoponera punctatissima* (Roger) (Ponerinae) was

(Roger) (Ponerinae) no recolectada en la investigación de Rodríguez-De León *et al.* (2014a) ni en la de Rodríguez-De León *et al.* (2014b).

La subfamilia Myrmicinae fue la mejor representada a nivel de género (10) y especie (16), lo que equivale al 50 % de los géneros y 50 % de las especies recolectadas. Esto es consistente con la mayoría de los estudios mirmecofaunísticos, donde se reporta que la subfamilia Myrmicinae agrupa el mayor número de géneros y especies (Rojas-Fernández, 2001; Ríos-Casanova *et al.*, 2004; Flores-Maldonado y González-Hernández, 2005). Los géneros con mayor número de especies fueron *Pheidole* (6), *Camponotus* (3) y *Dorymyrmex* (3), mientras que *Solenopsis geminata* destacó como la más abundante (Cuadro 1). La subfamilia Dorylinae fue la menos representada con la captura de sólo una especie (*Labidus coecus*).

En sábila se recolectó el mayor número de especímenes (15 516), seguido de maíz (11 846) y por el área sin cultivo (6411), pero en este último se recolectó el mayor número de géneros y de especies (17 y 28), seguido del maíz (11 y 17) y sábila (10 y 16, respectivamente), y en el área sin cultivo se recolectaron más especies exclusivas (13). *Myrmecocistus melanoticus*, *P. barbatus* y algunas especies de *Dorymyrmex* son clasificadas como exclusivas de climas cálidos y secos (Andersen, 2000; Ríos-Casanova *et al.*, 2004, Cuezco y Guerrero, 2012). Nuestro estudio complementa investigaciones sobre formícidos adaptados a este tipo de hábitats en otras zonas del país (Ríos-Casanova *et al.*, 2004). Respecto al tamaño del área de estudio, si bien es importante, no se requiere inventariar sitios poco accesibles o áreas conservadas para aumentar el conocimiento de la familia Formicidae.

Curvas de acumulación

La riqueza estimada con el modelo de Clench muestra que en los cultivos (sábila y maíz) puede habitar una especie más en ambos agroecosistemas, mientras que en el área sin cultivo pueden registrarse dos especies adicionales (Cuadro 2).

Las curvas de rarefacción comparadas entre los tres sitios sugieren que al capturar un número similar de hormigas (6410) se espera encontrar una riqueza mayor de especies en el área sin cultivo (27.94±0.22), respecto a los cultivos de sábila (15.98±0.12) y maíz (16.99±0.11) (Figura 1).

Las investigaciones sobre la comunidad de formícidos en agroecosistemas mexicanos, aunque escasas,

annexed which was not collected in the study by Rodríguez-De León *et al.* (2014a) or by Rodríguez-De León *et al.* (2014b), in addition to the list of Formicidae from Jauvame.

The Myrmicinae subfamily was the best represented at the level of genus (10) and species (16), which is equivalent to 50 % of the genera and 50 % of the species collected. This is consistent with most of the ant fauna studies, where the Myrmicinae subfamily is reported to group the largest number of genera and species (Rojas-Fernández, 2001; Ríos-Casanova *et al.*, 2004; Flores-Maldonado and González-Hernández, 2005). The genera with highest number of species were *Pheidole* (6), *Camponotus* (3) and *Dorymyrmex* (3), while *Solenopsis geminata* stood out as the most abundant (Table 1). The Dorylinae subfamily was the least represented with the capture of only one species (*Labidus coecus*).

The highest number of specimens was collected in aloe (15 516), followed by maize (11 846) and by the uncultivated area (6411), although in the latter the highest number of genera and species were collected (17 and 28), followed by maize (11 and 17) and aloe (10 and 16, respectively), and in the uncultivated area more exclusive species were collected (13). *Myrmecocistus melanoticus*, *P. barbatus* and some species of *Dorymyrmex* are classified as exclusive from warm and dry climates (Andersen, 2000; Ríos-Casanova *et al.*, 2004, Cuezco and Guerrero, 2012). Our study complements studies about ants adapted to this type of habitats in other zones of the country (Ríos-Casanova *et al.*, 2004). Regarding the size of the study area, although it is important, it is not required to make an inventory of inaccessible sites or conserved areas to increase the understanding of the Formicidae family.

Accumulation curves

The wealth estimated with the Clench method shows that in the crops (aloe and maize), more than one species can inhabit in both agroecosystems, while two additional species can be found in the uncultivated area (Table 2).

The rarefaction curves compared between the three sites suggested that when capturing a similar number of ants (6410), a greater wealth of species is expected to be found in the uncultivated area (27.94±0.22), compared to the aloe (15.98±0.12) and maize (16.99±0.11) crops (Figure 1).

Cuadro 2. Riqueza estimada de las especies de la familia Formicidae por medio del modelo de Clench en cultivo de sábila, área sin cultivo (ASC) y maíz del ejido San Lorenzo, Jaumave, Tamaulipas, México.

Table 2. Estimated species wealth of the Formicidae family through the Clench model in aloe crop, uncultivated area (UCA) and maize in Ejido San Lorenzo, Jaumave, Tamaulipas, Mexico.

	Sitios de estudio		
	Sábila	ASC	Maíz
Riqueza observada	16	28	17
Riqueza estimada	16.72	30.21	18.08
% de especies colectadas	95.67	92.66	93.99
Rango de especies esperadas	15@17	25@30	14≅19

señalan una pérdida en la riqueza (Mackay *et al.*, 1991; Perfecto y Vandermeer, 1996; Rojas-Fernández, 2001) y muestran el patrón de una especie predominante (Carroll y Risch, 1983; Perfecto y Vandermeer, 1996). Los resultados de nuestra investigación

The studies about the Formicidae community in Mexican agroecosystems, although scarce, point to a loss in wealth (Mackay *et al.*, 1991; Perfecto and Vandermeer, 1996; Rojas-Fernández, 2001) and show the pattern of a predominant species (Carroll

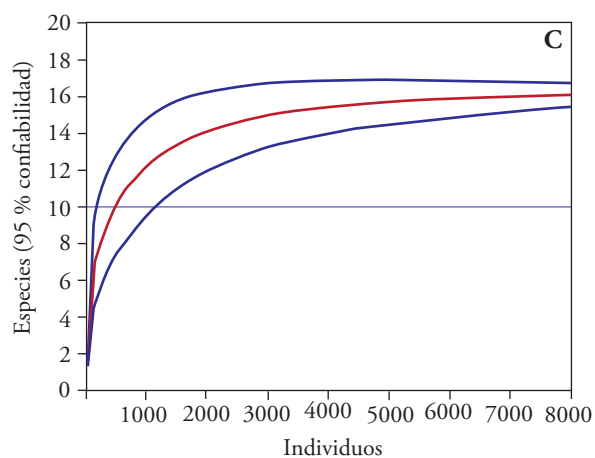
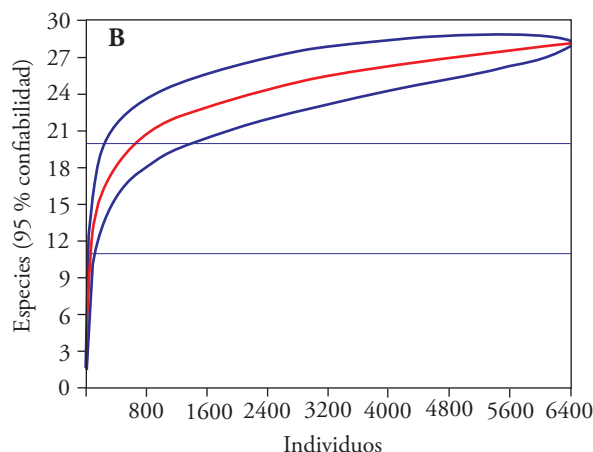
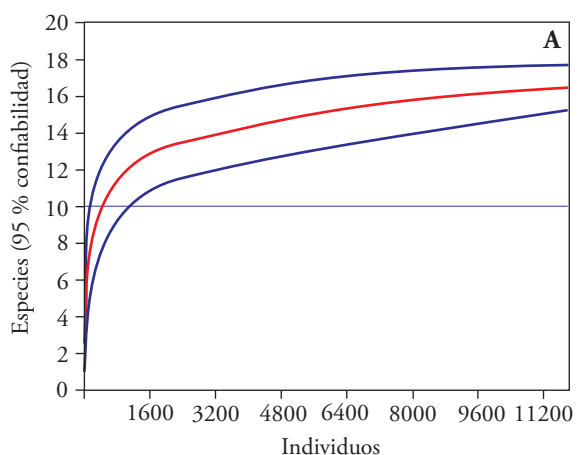


Figura 1. Curva de acumulación de especies por esfuerzo de muestreo (asíntota central en rojo). Las líneas superiores e inferiores en azul corresponden a los intervalos al 95 % de confiabilidad. A) cultivo de sábila, B) área sin cultivo, y C) cultivo de maíz.

Figure 1. Accumulation curve of species by sampling effort (central asymptote in red). The superior and inferior lines in blue correspond to the intervals at 95 % of reliability. A) aloe crop, B) uncultivated area, and C) maize crop.

son claros y consistentes con dicha visión general. La curva de rarefacción también sugiere que en el área no cultivada se espera encontrar una mayor riqueza de hormigas que en las áreas de cultivo de sábila y maíz. La especie *Solenopsis geminata* fue la especie predominante en los cultivos, mientras que *Forelius keiferi* dominó en el área sin cultivo. Los factores ambientales que influyen en forma determinante en el comportamiento de los formícidos son la temperatura, humedad, radiación solar y la vegetación (Carroll y Risch, 1983; Rojas-Fernández, 2001). En nuestro estudio la riqueza mayor de especies de hormigas en el área sin cultivo se atribuye principalmente al mayor número de especies de plantas encontradas en el sitio, ya que generan condiciones óptimas para especies con diferentes requerimientos nutricionales y de microambientes (Ribas y Schoereder, 2007). La menor cobertura vegetal en los cultivos reduce la disponibilidad de recursos y genera condiciones ambientales no propicias, sobre todo de temperatura y humedad del suelo para el forrajeo de especies de baja tolerancia. Las condiciones adversas para formícidos podrían ser mayores en cultivos anuales como es el caso de la sábila. Además, como los monocultivos son una fuente de alimento única, la competencia aumenta y origina que las especies con mayor tolerancia y hábito trófico generalista sean más exitosas, respecto a otras especies del suelo (Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011).

Diversidad

La dominancia de formícidos fue menor en el cultivo de maíz, pero la diversidad y equidad de hormigas presentaron los valores significativos más altos. La dominancia mayor y la diversidad menor se presentaron en el cultivo de sábila. La equidad menor se registró en el cultivo de sábila y en el área no cultivada (Cuadro 3).

El índice de diversidad fue más alto en el cultivo de maíz (Cuadro 3), incluso que en el área no cultivada, contrario a lo observado en la riqueza (Cuadro 2). Estos resultados son consistentes con estudios en agroecosistemas de café y cacao (Torres, 1984; Lachaud y García, 1999), lo cual sugiere que algunos ecosistemas agrícolas pueden funcionar como reservorios de biodiversidad como lo mencionan Flores-Maldonado y González-Hernández (2005). Sin embargo, siempre se deben considerar los factores

and Risch, 1983; Perfecto and Vandermeer, 1996). The results from our study are clear and consistent with such a general vision. The rarefaction curve also suggests that in the uncultivated area a higher wealth of ants is expected to be found than in the cultivation areas of aloe and maize. The species *Solenopsis geminata* was the predominant species in the crops, while *Forelius keiferi* dominated in the uncultivated area. The environmental factors that influence in a defining way on the behavior of ants are temperature, moisture, solar radiation and vegetation (Carroll and Risch, 1983; Rojas-Fernández, 2001). In our study the highest wealth of ant species in the uncultivated area is attributed mainly to the higher number of plant species found in the site, since they generate optimal conditions for species with different nutritional and micro-environmental requirements (Ribas and Schoereder, 2007). The lower plant cover in the crops reduces the availability of resources and generates unfavorable environmental conditions, particularly temperature and soil moisture for foraging by low-tolerance species. The adverse conditions for ants could be greater in annual crops as in the case of aloe. In addition, since a single crop is a unique source of food, the competition increases and causes species with greater tolerance and generalist trophic habit to be more successful, compared to other species in the soil (Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011).

Diversity

The dominance of Formicidae was lower in the maize crop, but the diversity and equity of ants presented the highest significant values. The highest

Cuadro 3. Parámetros de diversidad en la comunidad de Formicidae en el área de estudio.

Table 3. Diversity parameters of the Formicidae community in the study area.

	Sitios de estudio [†]		
	Sábila	ASC	Maíz
Dominancia (D)	0.5988 c	0.5213 b	0.4887 a
Simpson (1-D)	0.4012 c	0.4787 b	0.5113 a
Equidad (e ^{H/S})	0.1535 b	0.1309 b	0.1789 a

[†] Letras distintas entre columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) ♦ Different letters between columns indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

climáticos; en nuestra investigación las recolectas se realizaron después de un período de lluvias y la humedad favoreció la aparición de algunas plántulas, principalmente gramíneas, alrededor de las plantas de maíz. Al aumentar los recursos se genera un mayor equilibrio en la abundancia de las especies y el resultado es una disminución en la dominancia y un aumento en la diversidad (Magurran, 2004).

Especies indicadoras

Las especies *S. geminata* y *D. pyramicus* tuvieron una alta frecuencia con un valor de IndVal mayor a 50 % ($p \leq 0.05$) en el cultivo de sábila, lo cual permitió considerarlas como especies indicadoras de ese ambiente. La clasificación de estas especies como indicadoras coincide con su biología y se caracterizan por ser abundantes en ambientes abiertos y presentar tolerancia alta a los grados de perturbación, colonizando rápido en ambientes alterados como los cultivos (Risch y Carroll, 1982; Cuezco y Guerrero, 2012). En el cultivo de maíz no hubo presencia de especies indicadoras, lo que puede explicarse por el mayor equilibrio en la abundancia de las especies, pero se presentaron especies consideradas como detectoras (*D. insanus* y *S. geminata*) con un valor de IndVal alrededor del 40 % ($p \leq 0.05$). En el área no cultivada *F. keiferi*, *P. imberbicus*, *P. barbatus* y *T. spinosum* se caracterizaron como indicadoras al presentar una mayor ocurrencia, con un valor de IndVal >50 % ($p \leq 0.05$) (Cuadro 4). Esto es consistente con el nicho de tales especies, ya que son típicas de ambientes áridos y semiáridos, y prefieren zonas abiertas con poca cobertura vegetal como matorrales y pastizales (Cuezco, 2000; Cuezco y Guerrero, 2012; AntWeb, 2018).

Estructura de las comunidades

Los análisis de riqueza de formicidos y el análisis de diversidad se basan en la respuesta comunitaria de las especies, pero éstas responden de manera distinta ante la variación ambiental y, por lo tanto, la frecuencia de las hormigas capturadas en los sitios de estudio se atribuye a la biología de cada especie (Andersen, 2000). Las respuestas específicas se determinaron con el análisis de correspondencia, en el cual los dos primeros ejes explicaron el 71.13 % de la varianza total

dominance and lowest diversity were present in the aloe crop. The lowest equity was found in the aloe crop and in the uncultivated area (Table 3).

The diversity index was higher in the maize crop (Table 3), even higher than in the uncultivated area, contrary to what was observed in wealth (Table 2). These results are consistent with studies in coffee and cacao agroecosystems (Torres, 1984; Lachaud and García, 1999), which suggests that some agricultural ecosystems can function as biodiversity reservoirs as mentioned by Flores-Maldonado and González-Hernández (2005). However, the climate factors should always be considered; in our study the collections were carried out after a period of rains and the moisture favored the appearance of some seedlings, primarily grasses, around maize plants. When increasing the resources, a greater equilibrium is generated in the abundance of species and the result is a decrease of the dominance and an increase of the diversity (Magurran, 2004).

Indicator species

The species *S. geminata* and *D. pyramicus* had a high frequency with an IndVal value higher than 50 % ($p \leq 0.05$) in the aloe crop, which allowed considering them as indicator species of that environment. The classification of these species as indicators agrees with their biology and they are characterized for being abundant in open environments and presenting high tolerance to degrees of disturbance, colonizing rapidly in altered environments such as crops (Risch and Carroll, 1982; Cuezco and Guerrero, 2012). In the maize crop there was no presence of indicator species, which can be explained by the greater equilibrium in the abundance of species, although there were species considered as detectors (*D. insanus* and *S. geminata*) with an IndVal value around 40 % ($p \leq 0.05$). In the uncultivated area, *F. keiferi*, *P. imberbicus*, *P. barbatus* and *T. spinosum* are characterized as indicators for presenting a higher occurrence, with an IndVal value >50 % ($p \leq 0.05$) (Table 4). This is consistent with the niche of such species, since they are typical of arid and semi-arid environments, and they prefer open zones with scarce plant cover such as shrubs and grasslands (Cuezco, 2000; Cuezco and Guerrero, 2012; AntWeb, 2018).

Cuadro 4. Resumen del análisis del valor indicador (IndVal) de las especies de hormigas en sábila, maíz y en un área sin cultivo (ASC) en el municipio de Jaumave, Tamaulipas, México.**Table 4. Summary of the analysis of indicator value (IndVal) of the ant species in aloe, maize and an uncultivated area (UCA) in the municipality of Jaumave, Tamaulipas, Mexico.**

Especies †	Sábila	IndVal		p≤
		ASC	Maíz	
<i>Forelius keiferi</i>	20.4	60	19.1	0.0001
<i>Forelius pruinosus</i>	14.1	16	3.4	0.524
<i>Dorymyrmex bicolor</i>	6.7	5.5	5.20	0.961
<i>Dorymyrmex insanus</i>	18	12.6	40.3	0.015
<i>Dorymyrmex pyramicus</i>	55.3	20	22.1	0.0001
<i>Myrmecocystus melanoticus</i>	0.00	20	0.00	0.003
<i>Brachymyrmex musculus</i>	0.00	6.6	0.00	0.323
<i>Camponotus atriceps</i>	0.00	16.6	0.00	0.010
<i>Camponotus conspicius</i>	0.00	16.6	0.00	0.010
<i>Camponotus planatus</i>	0.00	3.3	0.00	1
<i>Paratrechina longicornis</i>	0.00	0.00	6.6	0.324
<i>Nylanderia terricola</i>	0.1	29	7.8	0.013
<i>Hypoponera punctatissima</i>	6.6	0.00	0.00	0.325
<i>Odontomachus clarus</i>	0.00	16	0.00	0.009
<i>Odontomachus laticeps</i>	0.00	0.3	0.00	1
<i>Atta mexicana</i>	9.6	0.00	16.5	0.647
<i>Cardioconda emeryi</i>	26.8	0.00	6.5	0.010
<i>Crematogaster sumichrasti</i>	0.00	20	0.00	0.003
<i>Cyphomyrmex peltatus</i>	0.00	6.6	0.00	0.32
<i>Pheidole bilimeki</i>	0.00	29	0.2	0.00
<i>Pheidole constipata</i>	4.5	6.4	0.2	0.527
<i>Pheidole porcula</i>	5.8	16.9	1.4	0.292
<i>Pheidole tepicana</i>	24.8	18	31	0.062
<i>Pheidole</i> sp. 1	3.3	0.00	0.20	1
<i>Pheidole</i> sp. 2	0.00	3.3	0.00	1
<i>Pogonomyrmex barbatus</i>	1.3	66	0.00	0.0001
<i>Pogonomyrmex imberbiculus</i>	0.00	60	0.00	0.0001
<i>Solenopsis geminata</i>	59.3	0.09	40	0.0001
<i>Tetramorium spinosum</i>	0.00	65	0.2	0.0001
<i>Temnothorax</i> n. sp.	0.00	6.6	0.00	0.324
<i>Monomorium minimum</i>	0.5	14	2.00	0.0915
<i>Labidus coecus</i>	3.3	0.000	0.00	1

† Las especies indicadoras son aquellas con valor de IndVal mayor a 50 ($p \leq 0.05$; prueba de significancia de Monte Carlo) ♦ The indicator species are those with an IndVal higher than 50 ($p \leq 0.05$; Monte Carlo significance test).

de la abundancia de las especies en los sitios. El análisis mostró una asociación significativa en la frecuencia de hormigas capturadas de acuerdo con el tipo de cultivo y la especie (Total Inertia = 0.9154; $X^2_{gl\ 341} = 3091$. $p \leq 0.0001$). La gráfica de dispersión muestra especies en el área sin cultivo registradas en las cuatro recolectas (por ejemplo: *Monomorium minimum* (Mmi), *Forelius keiferi* (Fk), *Pheidole porcula* (Pp);

Structure of the communities

The wealth analyses in Formicidae and the diversity analysis are based on the community response of the species, but they respond differently when facing environmental variation and, therefore, the frequency of ants captured in the study sites is attributed to the biology of each species (Andersen,

Figura 2). Las especies *S. geminata* (Sg), *Cardiocondyla emeryi* (Ce) y *Pheidole tepicana* (Pt) se presentaron en todas las recolectas en el cultivo de sábila, pero también estuvieron asociadas con el cultivo de maíz en la primera recolecta de julio y tercera recolecta en agosto. La especie *Atta mexicana* (Am) ocurrió con más frecuencia en la segunda (julio) y cuarta (agosto) recolecta en el cultivo de maíz. Las especies del género *Dorymyrmex* (Dp, Db, Di), con respecto al resto de formicidos, presentaron valores promedio de abundancia en el cultivo de sábila durante la segunda colecta en julio. En forma particular, *Camponotus*

2000). The specific responses were determined with the correspondence analysis, in which the first two axes explained 71.13 % of the total variance of the abundance of species in the sites. The analysis showed a significant association in the frequency of ants captured according to the type of crop and the species (Total Inertia = 0.9154; $X^2_{gl\ 341} = 3091$. $p \leq 0.0001$). The dispersion graph shows species in the uncultivated area found in the four collections (for example: *Monomorium minimum* (Mmi), *Forelius keiferi* (Fk), *Pheidole porcula* (Pp); Figure 2). The species *S. geminata* (Sg), *Cardiocondyla*

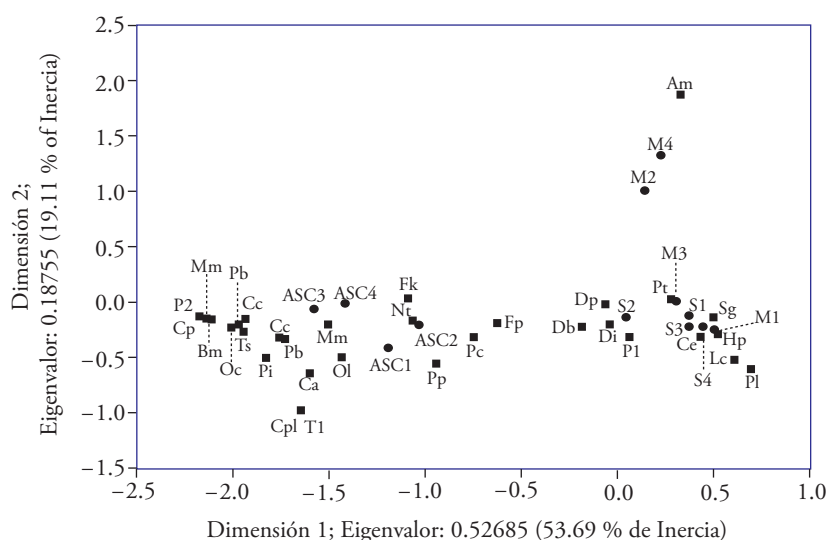


Figura 2. Análisis de Correspondencia para la frecuencia de las especies hormigas capturadas en los distintos sitios; sábila (S), maíz (M) y área sin cultivo (ASC) y recolectas (indicadas por números). ● = Sitios y meses. ■ = Especies. Grupo 1: especies que estuvieron asociadas con el área sin cultivo (*Monomorium minimum* (Mmi), *Pogonomyrmex barbatus* (Pb), *Brachymyrmex musculus* (Bm), *Odontomachus laticeps* (Ol), *Odontomachus clarus* (Oc), *Myrmecocystus melanoticus* (Mme), *Pheidole* sp. 2 (P2), *Cyphomyrmex peltatus* (Cp), *Camponotus conspicuus* (Cc), *Tetramorium spinosum* (Ts), *Crematogaster sumichrasti* (Cs), *Pheidole bilimeki* (Pbi), *Pogonomyrmex imberbiculus* (Pi) *Camponotus atriceps* (Cat), *Camponotus planatus* (Cpl), *Temnothorax* sp. (T1) *Forelius keiferi* (Fk), *Nylanderia terricola* (Nt), *Pheidole porcula* (Pp), *Pheidole constipata* (Pc), *Forelius pruinosus* (Fp). Grupo 2: conformado por las especies asociadas con el cultivo de maíz y sábila (*Solenopsis geminata* (Sg), *Pheidole tepicana* (Pt), *Hypoponera punctatissima* (Hp), *Cardiocondyla emeryi* (Ce), *Labidus coecus* (Lc), *Paratrechina longicornis* (Plo). Grupo 3: integrado solo por *Atta mexicana* (Am) en la segunda y cuarta recolecta en el cultivo de maíz.

Figure 2. Correspondence Analysis for the frequency of ant species captured in the different sites; aloe (S), maize (M) and uncultivated area (NCA) and collections (indicated by numbers). ● = Sites and months. ■ = Species. Group 1: species that were associated with the uncultivated area (*Monomorium minimum* (Mmi), *Pogonomyrmex barbatus* (Pb), *Brachymyrmex musculus* (Bm), *Odontomachus laticeps* (Ol), *Odontomachus clarus* (Oc), *Myrmecocystus melanoticus* (Mme), *Pheidole* sp. 2 (P2), *Cyphomyrmex peltatus* (Cp), *Camponotus conspicuus* (Cc), *Tetramorium spinosum* (Ts), *Crematogaster sumichrasti* (Cs), *Pheidole bilimeki* (Pbi), *Pogonomyrmex imberbiculus* (Pi) *Camponotus atriceps* (Cat), *Camponotus planatus* (Cpl), *Temnothorax* sp. (T1) *Forelius keiferi* (Fk), *Nylanderia terricola* (Nt), *Pheidole porcula* (Pp), *Pheidole constipata* (Pc), *Forelius pruinosus* (Fp). Group 2: integrated by the species associated with the maize and aloe crops (*Solenopsis geminata* (Sg), *Pheidole tepicana* (Pt), *Hypoponera punctatissima* (Hp), *Cardiocondyla emeryi* (Ce), *Labidus coecus* (Lc), *Paratrechina longicornis* (Plo). Group 3: integrated only by *Atta mexicana* (Am) in the second and fourth collection in the maize crop.

planatus (Cpl), *Odontomachus laticeps* (Ol) y *Pheidole* sp. 1 (P1) fueron las especies de menor abundancia, con un solo registro y estaban asociadas al área sin cultivo (Cpl y Ol) (Figura 2).

La dispersión de las frecuencias de las especies en el análisis de correspondencia permitió distinguir tres grupos faunísticos. Un grupo correspondió a especies cuya mayor abundancia estuvo asociada al área sin cultivo, incluyendo en su mayoría aquellas con un nicho más restringido. Esto puede deberse a la heterogeneidad de la vegetación en dicha área, la cual proporcionó un recurso más amplio para los formicidos (Bestelmeyer, 2005). Otro grupo estuvo integrado por *S. geminata*, *P. tepicana*, *L. coecus*, *C. emeryi*, *H. punctatissima* y *P. longicornis*, las cuales están asociadas con zonas abiertas o hábitats alterados y se consideran especies de nichos más amplios (Antweb, 2018). Las últimas tres especies de este grupo son introducidas en México y *H. punctatissima* es considerada una plaga doméstica al igual que *P. longicornis* que, además, es una plaga agrícola (AntWeb, 2018). El tercer grupo fue representado sólo por *Atta mexicana* la cual presentó las mayores abundancias en la segunda y cuarta recolecta en el cultivo de maíz. La dominancia de estas especies en dicho cultivo se atribuye a su capacidad para sobrevivir y reproducirse en hábitats perturbados, y en el caso particular de *Atta mexicana* es considerada una plaga frecuente e importante (Rojas-Fernández, 2001; Pedroza-Sandoval y Durán-Bendejo, 2005).

En adición a los grupos faunísticos, a través del análisis de correspondencia se encontraron patrones particulares de actividad en los formicidos. Por ejemplo, las especies de *Dorymyrmex* estuvieron presentes en todas las áreas de estudio sin mostrar preferencia por alguno de los sitios. Lo anterior es un comportamiento conocido de este género en zonas semiáridas porque son forrajeras generalistas, con preferencia de áreas abiertas y cálidas (Cuezzo y Guerrero, 2012). La especie de mayor abundancia en todo el estudio y asociada con ambos cultivos en la mayor parte de las recolectas fue *S. geminata*. Esto es similar a lo encontrado por Perfecto y Vandermeer (1996), quienes señalan que dicha especie domina por su amplia distribución, abundancia, hábitos generalistas y alta tolerancia a los cambios provocados por la perturbación.

Las especies de menor abundancia y con sólo un registro fueron *C. planatus* y *O. laticeps*, las cuales se

emeryi (Ce) and *Pheidole tepicana* (Pt) were found in all the collections in the aloe crop, but they were also associated with the maize crop in the first collection from July and third collection from August. The species *Atta mexicana* (Am) was found more frequently in the second (July) and the fourth (August) collection in the maize crop. The species from the *Dorymyrmex* genus (Dp, Db, Di), compared to the rest of the Formicidae, presented average abundance values in the aloe crop during the second collection in July. In particular, *Camponotus planatus* (Cpl), *Odontomachus laticeps* (Ol) and *Pheidole* sp. 1 (P1) were the species of least abundance, with only one registry and were associated to the uncultivated area (Cpl and Ol) (Figure 2).

The dispersion of the frequencies of species in the correspondence analysis allowed distinguishing three fauna groups. One group corresponded to species whose higher abundance was associated to the uncultivated area, including mostly those with a more restricted niche. This can be due to the heterogeneity of the vegetation in that area, which provided a broader resource for the ants (Bestelmeyer, 2005). Another group was integrated by *S. geminata*, *P. tepicana*, *L. coecus*, *C. emeryi*, *H. punctatissima* and *P. longicornis*, which are associated to open zones or altered habitats, and are considered species of broader niches (Antweb, 2018). The last three species of this group were introduced in Mexico and *H. punctatissima* is considered a domestic plague the same as *P. longicornis*, which, in addition, is an agricultural plague (AntWeb, 2018). The third group was represented only by *Atta mexicana* which presented the highest abundances in the second and fourth collections in the maize crop. The dominance of these species in this crop is attributed to their ability to survive and reproduce in disturbed habitats, and in the particular case of *Atta mexicana*, it is considered a frequent and important plague (Rojas-Fernández, 2001; Pedroza-Sandoval and Durán-Bendejo, 2005).

In addition to the fauna groups, particular patterns of activity in ants were found through the correspondence analysis. For example, the species *Dorymyrmex* were present in all the study areas without showing preference for one of the sites. This is a known behavior of this genus in semi-arid zones because they are generalist fodder gatherers, with preference for open and warm areas (Cuezzo and Guerrero, 2012). The species with highest

encontraron asociadas al área sin cultivo, mientras que *Pheidole* sp. 1 se asoció al cultivo de sábila. En el caso de *O. laticeps* se corrobora que son especies poco resistentes a las altas temperaturas (Torres, 1984) y se consideran depredadoras generalistas de muchos grupos de la fauna edáfica (Rojas-Fernández, 2001). La morfoespecie *Pheidole* sp. 1, también con un solo ejemplar recolectado, pertenece a un género designado como hiperdiverso, cosmopolita, abundante (Wilson, 2003) y generalista (Andersen, 2000; Wilson, 2003). No obstante, el hallazgo de un único ejemplar sugiere que hay especies de ese género poco abundantes y de hábitos restringidos.

Diferencias en la estructura de las comunidades

El análisis de PERMANOVA indicó que la estructura de la comunidad de hormigas fue diferente en función del sitio y la temporada ($F_{g,l=2,359} = 8.928$; $p=0.0001$) (Cuadro 5, diagonal superior). Además, sugiere una variación significativa en la composición de formícidos en relación con la presencia-ausencia de especies entre las recolectas de los cultivos y el área sin cultivo ($F_{g,l=2,359} = 11.09$; $p = 0.0001$) (Cuadro 5, diagonal inferior). La estructura de las especies con base en la distancia de Bray-Curtis, que se fundamenta en la abundancia relativa, fue diferente en 95.45 % de las comparaciones espaciales y temporales (Cuadro

abundance in the whole study and associated with both crops in most of the collections was *S. geminate*. This is similar to what was found by Perfecto and Vandermeer (1996), who point out that this species dominates because of its broad distribution, abundance, generalist habits, and high tolerance to changes provoked by the disturbance.

The species of lower abundance and with only one record were *C. planatus* and *O. laticeps*, which are found in association to the uncultivated area, while *Pheidole* sp. 1 was associated to the aloe crop. In the case of *O. laticeps* it was corroborated that they are species of low resistance to high temperatures (Torres, 1984) and they are considered to be generalist predators of many groups of soil fauna (Rojas-Fernández, 2001). The morphospecies *Pheidole* sp. 1, also with a single specimen collected, belongs to a genus designated as hyperdiverse, cosmopolitan, abundant (Wilson, 2003) and generalist (Andersen, 2000; Wilson, 2003). However, the finding of a single specimen suggests that there are species of this genus that are scarcely abundant and of restricted habits.

Differences in the structure of the communities

The PERMANOVA analysis indicated that the structure of the ant community was different in

Cuadro 5. Análisis de PERMANOVA en la comparación de los sitios de muestreo en función de la abundancia y presencia-ausencia de especies de formícidos.

Table 5. PERMANOVA analysis in the comparison of sampling sites in function of the abundance and presence-absence of ant species.

	S1	M1	ASC1	S2	M2	ASC2	S3	M3	ASC3	S4	M4	ASC4
S 1		0.008	0.000	0.000	0.015	0.000	0.003	0.001	0.000	0.012	0.003	0.000
M 1	0.002		0.000	0.000	0.036	0.000	0.002	0.003	0.000	0.004	0.021	0.000
ASC 1	0.000	0.000		0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S 2	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2	0.002	0.467	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.035	0.000
ASC 2	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S 3	0.858	0.000	0.000	0.000	0.035	0.000		0.930	0.000	0.014	0.002	0.000
M 3	0.152	0.595	0.000	0.000	0.846	0.000	0.331		0.000	0.009	0.006	0.000
ASC 3	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000		0.000	0.000	0.111
S 4	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000		0.223	0.000
M 4	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.010	0.000	0.471		0.000
ASC 4	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	

La diagonal superior representa la abundancia a través de la distancia Bray-Curtis. La diagonal inferior indica la presencia-ausencia de formícidos por la distancia de Sorensen ♦ The superior diagonal represents the abundance through the Bray-Curtis distance. The inferior diagonal indicates the presence-absence of Formicidae through the Sorensen distance.

5, diagonal superior). Además, 87.9 % de las diferencias entre comparaciones espaciales y temporales se detectaron usando la distancia de Sorensen que se basa en la presencia-ausencia de especies (Cuadro 5, diagonal inferior). Estos datos sugieren que las áreas estudiadas proporcionan a las hormigas una distinta diversidad de recursos y que incluso se modifican en el tiempo cambiando los patrones de actividad y por ende la composición de especies. Los resultados muestran que las hormigas presentaron un gran dinamismo, es decir, capacidad de ocupar el mayor número de nichos posibles. En climas áridos, las condiciones cambiantes y la mayor variación microclimática anual generan patrones muy variables en las comunidades y, por tanto, una variación espacio-temporal mayor en la composición de las especies (Monger y Bestelmeyer, 2006), lo cual es precisamente lo encontrado en nuestro estudio. De las pocas comparaciones en las cuales no hubo diferencias significativas, destaca el cultivo de maíz con similitud en la composición de especies en tres muestreos, excepto por el muestreo 4, realizado posterior al período de lluvias. Esta similitud con base a la presencia-ausencia de especies se puede atribuir a que la comunidad de hormigas es de mayor tolerancia en ese monocultivo (maíz) y pueden mantener sus colonias estables por tiempos prolongados hasta algún cambio ambiental significativo como es la temporada de lluvias.

CONCLUSIÓN

Las comunidades de hormigas difieren de forma significativa en función del ambiente. Los datos en su conjunto muestran que las comunidades de hormigas, al estar integradas por especies de distintas gremios tróficos o rangos adaptativos, configuran estructuras diferenciales en función de los microambientes disponibles tanto en ambientes conservados, perturbados o transicionales, lo que confirma la hipótesis de esta investigación. Esta característica del grupo les confiere un uso potencial como especies bioindicadoras.

El área de estudio, considerada como una de las zonas más áridas del estado de Tamaulipas, constituye una región de importancia ecológica ya que existen especies características o únicas de este tipo de ecosistemas. Debido a la acelerada desertificación provocada por la explotación excesiva de los recursos naturales, es necesario evaluar los patrones de

function of the site and the season ($F_{g.l.=2,359} = 8.928$; $p = 0.0001$) (Table 5, superior diagonal). In addition, it suggests a significant variation in the composition of Formicidae in relation with the presence-absence of species between the collections from the crops and the uncultivated area ($F_{g.l.=2,359} = 11.09$; $p = 0.0001$) (Table 5, inferior diagonal). The structure of the species based on the Bray-Curtis distance, which is based on the relative abundance, was different in 94.45 % of the spatial and temporal comparisons (Table 5, superior diagonal). In addition, 87.9 % of the differences between spatial and temporal comparisons were detected using Sorensen's distance, which is based on the presence-absence of species (Table 5, inferior diagonal). These data suggest that the areas studied provide the ants with a different diversity in resources and that they are even modified in time, changing the patterns of activity and therefore the composition of species. The results show that ants presented great dynamism, that is, capacity for occupying the greatest number of niches possible. In arid climates, the changing conditions and the higher annual microclimate variation generate quite variable patterns in the communities and, therefore, a greater space-time variation in the composition of species (Monger and Bestelmeyer, 2006), which is precisely what was found in this study. From the few comparisons where there were no significant differences, the maize crop stands out with similarity in the composition of species in three samples, except for sample 4, which was carried out after the rain period. This similarity based on the presence-absence of species can be attributed to the fact that the ant community has higher tolerance in this monoculture (maize) and can maintain stable colonies for prolonged periods until some significant environmental change takes place, such as the rainy season.

CONCLUSION

Ant communities differ significantly in function of the environment. The data as a whole show that ant communities, because they are integrated by species from different trophic guilds or adaptive ranks, configure differential structures in function of the microenvironments available in conserved, disturbed or transitional environments; thus, confirming the hypothesis of this study. This characteristic of the

formícidos y otros grupos biológicos en ambientes modificados, como los agroecosistemas, con el objetivo de contribuir al desarrollo sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo de la beca para los estudios de Maestría en Ciencias de IRRL. Al Dr. John T. Longino de la Universidad de Utah en Salt Lake City, Estados Unidos de América, por su apoyo en la corroboración de las especies del género *Pheidole* y en relación con la especie nueva del género *Temnothorax*.

LITERATURA CITADA

- Andersen, A. N. 2000. The Ants of Northern Australia: A Guide to the Monsoonal Fauna. CSIRO Publishing. Collingwood, Victoria. Australia. 106 p.
- Andersen, M. J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26: 32-46
- Antweb. 2018. Available from <http://www.antweb.org>. (Accessed: April 2018).
- Bestelmeyer, B. T. 2005. Does desertification diminish biodiversity? Enhancement of ant diversity by shrub invasion in Southwestern USA. *Diversity Distrib.* 11: 45-55.
- Carroll, C. R., and S. J. Risch. 1983. Tropical annual cropping systems: ant ecology. *Environ. Manage.* 7: 51-57.
- Chanatásig-Vaca, C. I., E. Huerta L., P. Rojas F., A. Ponce-Mendoza, J. Mendoza V., A. Morón R., H. Van der Wal y B. B. Dzib-Castillo. 2011. Efecto del uso del suelo en las hormigas (Formicidae: Hymenoptera) de Tikinmul, Campeche, México. *Acta Zool. Mex (n.s.)* 27: 441-461.
- Cuezzo, F. 2000. Revisión del género *Forelius* (Hymenoptera: Formicidae: Dolichoderinae). *Sociobiology* 35: 197-275.
- Cuezzo, F., and R. J., Guerrero. 2012. The Ant Genus *Dorymyrmex* Mayr (Hymenoptera: Formicidae: Dolichoderinae) in Colombia. *Psyche* 2012: 1-24.
- Dufrêne, M., and P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.* 67: 345-366.
- Flores-Maldonado, K. Y., y H. González-Hernández. 2005. La mirmecofauna en árboles de mango. *In: Sánchez-Ramos, G., P. Reyes-Castillo y R. Dirso (eds). Historia Natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo. Universidad Autónoma de Tamaulipas.* pp: 483-488.
- Gotelli, N. J., and A. M. Ellison. 2004. *A Primer of Ecological Statistics*. 2ª Edn. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts U.S.A. pp: 421-427.
- Hammer, O., D. A. T. Harper, and P. D. Ryan. 2001. Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontol. Electron.* 41: 9.
- Hulbert, S. H. 1971. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52: 577-585.
- INAFED, (Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2010. Enciclopedia del municipio de Jaumave. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM28tamaulipas/index.html> (Consulta: noviembre 2016).

group gives them a potential use as bioindicator species.

The study area, considered one of the most arid zones of the state of Tamaulipas, constitutes a region of ecologic importance since there are characteristic or unique species in this type of ecosystems. Because of the accelerated desertification caused by the excessive exploitation of natural resource, it is necessary to evaluate the patterns of Formicidae and other biological groups in modified environments, such as agroecosystems, with the objective of contributing to sustainable development.

—End of the English version—



- Jiménez-Valverde A., y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Rev. Iber. Aracnol.* 8: 151-161.
- Krebs, C. J. 1989. *Ecological Methodology*. Harper. S. Row publishers, New York, USA. 654 p.
- Lachaud, J. P., y J. A. García. 1999. Biodiversidad de la mirmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) en los agroecosistemas de café y cacao en Chiapas, México: enfoque sobre la subfamilias Ponerinae y Cerapachyinae. *In: Bautista, N., O. Morales, y C. Ruiz (eds). Memorias XXXIV Congreso Nacional de Entomología. Aguascalientes, Ags, México.* pp: 79-82.
- Mackay, W. P., M. A. Rebeles, H. C. Arredondo, A. D. Rodríguez, D. A. González, and S. B. Vinson. 1991. Impact of the slashing and burning of a tropical rainforest on the native ant fauna (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 18: 257-268.
- MacGown, J. A. 2014. Ants (Formicidae) of the Southeastern United States. <http://mississippiantomologicalmuseum.org.msstate.edu/Researchtaxapages/Formicidae/Identification.Keys.htm#.WHxjzPnhDIU> (Accessed: April 2014).
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd, Oxford, United Kingdom. 256 p.
- Monger, H. C., and B. T. Bestelmeyer. 2006. The soil-geomorphic template and biotic change in arid and semi-arid ecosystems. *Arid Environ.* 65: 207-218.
- Peck, S. L., B. McQuaid, and C. L. Campell. 1998. Using ant species (Hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition. *Environ. Entomol.* 27: 1102-1110.
- Pedroza-Sandoval, A., y S. Durán-Bendejo. 2005. Efecto del acolchado plástico, fertilización nitrogenada y composta orgánica en el crecimiento y desarrollo de sábila *Aloe barbadensis* Miller con riego por goteo automatizado. *Rev. Chapingo Ser. Zon. Áridas* 4: 1-7.
- Perfecto, I., and J. Vandermeer. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecología* 108: 577-582.

- Phillips, S. A., G. Jr. Sánchez-Ramos, y R. Jusino-Atresino. 2005. Hormigas indicadoras de disturbio. *In*: Sánchez-Ramos, G., P. Reyes-Castillo, y R. Dirso (eds). Historia Natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo. Universidad Autónoma de Tamaulipas. pp: 489-496.
- Ribas, C. R., and J. H. Schoereder. 2007. Ant communities, environmental characteristics and their implications for conservation in the Brazil Pantanal. *Biodivers. Conserv.* 16: 1511-1520.
- Ríos-Casanova, L., A. Valiente-Banuet, y V. Rico-Gray. 2004. Las hormigas del Valle de Tehuacán (Hymenoptera: Formicidae): Una comparación con otras zonas áridas de México. *Acta Zool. Mex (n.s.)* 20: 37-54.
- Risch, J. S., and C. R. Carroll. 1982. The ecological role of ants in two Mexican agroecosystems. *Oecología* 55: 114-119.
- Roberts, D. W. 2016. *labdsv*: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology. R package version 1.8-0. <https://cran.r-project.org/web/packages/labdsv/labdsv.pdf> (Accessed: June 2017).
- Rodríguez-De León I. R., J. V. Horta-Vega, C. S. Venegas-Barreira, M. Vásquez-Bolaños y K. Y. Flores-Maldonado. 2014a. Comunidades de Formicidae (Hymenoptera) en dos localidades del Ejido San Lorenzo, Jaumave, Tamaulipas. *Entomología Mexicana* 1: 362-367.
- Rodríguez-De León I. R., K. Y. Flores-Maldonado, M. Vásquez-Bolaños y J. V. Horta-Vega. 2014b. Lista de especies de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Tamaulipas, México. *In*: Correa S. A., J. V. Horta V., J. García J. y L. Barrientos L. (eds). Biodiversidad Tamaulipeca. Volumen 2, Número 2. Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. pp. 155- 165.
- Rojas-Fernández, P. 2001. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zool. Mex (n.s.)*. Número especial. 1: 189-238.
- Tejeda-Cruz, C., K. Mehlreter, y V. J. Sosa. 2008. Indicadores ecológicos multi-taxonómicos. *In*: Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina, y K. Mehlreter (eds). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. e Instituto Nacional de Ecología. México. pp: 271-278.
- Torres, J. 1984. Diversity and distribution of ant communities in Puerto Rico. *Biotropica* 16: 296-303.
- Wilson, E. O. 2003. La hiperdiversidad como fenómeno real: el caso de *Pheidole*. *In*: Fernández, F. (ed). Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. pp: 363-370.

