

Ortópteros (Caelifera) y sus hongos entomopatógenos en agroecosistemas de maíz en Erongarícuaro, Michoacán*

Orthoptera (Caelifera) and its entomopathogens fungi in maize agroecosystems in Erongarícuaro, Michoacán

Venecia Quesada-Béjar^{1,3}, Miguel B. Nájera R.^{2,3}, Enrique Reyes-Novelo⁴ y Carlos E. González-Esquivel^{3§}

¹Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil km 15.5, Mérida, Yucatán, México. CP. 97100. Tel. 52(443)3223878. (eslabonmichoacan@hotmail.com). ²Campo Experimental Uruapan-INIFAP. Av. Latinoamericana núm. 110, Col. Revolución, Uruapan, Michoacán, México. CP. 97100. Tel. 52(452)5237392. (minaj47@hotmail.com). ³Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad-Universidad Nacional Autónoma de México (IIES-UNAM). Antigua Carretera a Pátzcuaro núm. 8701, Col. Ex Hacienda de San José de La Huerta, Morelia, Michoacán, México. CP. 58190. Tel. 52(443)3223878. ⁴Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”, Universidad Autónoma de Yucatán. Av. Itzaes por 49 núm. 490, Centro, Mérida, Yucatán, México. CP. 97000. Tel: 52 (999)9255755. (enrique.reyes@correo.uady.mx). [§]Autor para correspondencia: cgesquivel@iies.unam.mx.

Resumen

Los saltamontes son una plaga importante del maíz, uno de sus enemigos naturales son los hongos entomopatógenos (HEP). El manejo adecuado de este cultivo, que involucre cambios en el microhábitat puede contribuir al control de las poblaciones de saltamontes, así como la presencia de sus enemigos naturales. Se evaluó el efecto de dos tipos de manejo agrícola: monocultivo (MC-I) de maíz y policultivo de maíz, calabaza y frijol (PC-I), así como de la vegetación de los márgenes del monocultivo (VMM) y la vegetación de los márgenes del policultivo (VMP), sobre la riqueza y abundancia de saltamontes y sus hongos entomopatógenos (HEP) asociados en Erongarícuaro, Michoacán. Se recolectaron saltamontes mensualmente con una red de golpeo de julio a diciembre de 2015 en dos parcelas de cada tipo de manejo y su vegetación marginal en tres sitios. La comunidad de saltamontes (CS) estuvo conformada por 17 especies, en donde *Sphenarium purpurascens purpurascens* Charpentier, fue la especie dominante (97.8% de la abundancia). El tipo de manejo agrícola no tuvo efecto sobre la riqueza de especies. La riqueza en la vegetación marginal de los cultivos no explicó

Abstract

Grasshoppers are a major pest of maize, one of its natural enemies are entomopathogenic fungi (HEP). Proper management of this crop, involving changes in the microhabitat, can contribute to the control of grasshopper populations, as well as the presence of its natural enemies. The effect of two types of agricultural management was evaluated: monoculture (MC-I) of maize and polyculture of maize, pumpkin and bean (PC-I), as well as the vegetation of the monoculture margins (VMM) and the vegetation of the polyculture margins (VMP) on the richness and abundance of grasshoppers and its associated entomopathogenic fungi (HEP) in Erongarícuaro, Michoacán. Grasshoppers were collected monthly with a striking net from July to December 2015 on two plots of each management type and its marginal vegetation at three sites. The grasshopper community (CS) consisted of 17 species, where *Sphenarium purpurascens purpurascens* Charpentier, was the dominant species (97.8% abundance). The type of agricultural management had no effect on species richness. Richness in the marginal vegetation of the crops did not explain the richness in

* Recibido: junio de 2017
Aceptado: septiembre de 2017

la riqueza en el MC-I y PC-I; sin embargo, la abundancia de *S. p. purpurascens* en la vegetación marginal en los sitios explicó la abundancia encontrada en el MC-I y el PC-I. De 2 920 saltamontes colectados, 0.41% estuvieron infectados por *Metarhizium* Sorokin o *Beauveria* (Balsamo) Vuillemin. El HEP con mayor frecuencia de infección fue *Metarhizium*. La proporción de individuos infectados y las condiciones del PC-I se relacionaron positivamente, en comparación con la VMP. Los sitios con mayor diversidad vegetal tuvieron una mayor abundancia de saltamontes y mayor infección con HEP.

Palabras clave: *Sphenarium purpurascens purpurascens*, *Metarhizium*, *Beauveria*, Saltamontes.

Introducción

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es el principal cultivo por la superficie que ocupa, ya que es sembrado en más de ocho millones de hectáreas, lo que representa 39% de la superficie agrícola del país (González-Estrada *et al.*, 2008). El 72.1% de las unidades productoras de maíz en México son de 0-5 ha, conformadas por productores pequeños que operan con muy poca mecanización (SAGARPA, 2010).

Para producir maíz, las comunidades rurales emplean sistemas de manejo agrícola que son resultado de sus conocimientos y sus medios para la apropiación de recursos naturales (Toledo, 2010). Por ejemplo, en Napízaro, perteneciente al municipio de Erongarícuaro, Michoacán, dos de los sistemas de manejo agrícola que los productores utilizan son el monocultivo (MC) y la milpa o policultivo (PC), compuesta de maíz, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y calabaza (*Cucurbita maxima* L.) (Del Val *et al.*, 2013). El sistema de MC se caracteriza por la aplicación de fertilizantes e insecticidas sintéticos y la minimización de la diversidad de especies vegetales (Nicholls y Altieri, 2006). Esto trae como consecuencia la simplificación del sistema y la disminución de la diversidad de organismos benéficos (Andow, 1991).

Se ha documentado que dadas las características mencionadas, en el MC se favorece la proliferación de herbívoros (Nicholls, 2008) que aumentan su densidad hasta causar daños económicos en los cultivos, por lo que se les considera una plaga. Dicha proliferación es mayor a medida que se incrementa la superficie cultivada con MC (Brechelt, 2004; Altieri y Nicholls, 2005). En contraste, existen estudios

MC-I and PC-I; however, abundance of *S. p. purpurascens* in marginal vegetation explained the abundance found in the MC-I and PC-I sites. From the 2920 grasshoppers collected in, 0.41% were infected by *Metarhizium* Sorokin or *Beauveria* (Balsamo) Vuillemin. The most frequently infected HEP was *Metarhizium*. The proportion of infected individuals and PC-I conditions were positively related, compared to VMP. The sites with greater vegetal diversity had greater abundance of grasshoppers and greater infection with HEP.

Keywords: *Sphenarium purpurascens purpurascens*, *Metarhizium*, *Beauveria*, Grasshopper.

Introduction

In México, maize (*Zea mays* L.) is the main crop due to the area occupied, as it is planted in more than eight million hectares, representing 39% of agricultural land area (González-Estrada *et al.*, 2008) 72.1% of the maize producing units in México have from 0-5 ha, made up of small producers that operate with very little mechanization (SAGARPA, 2010).

In order to produce maize, rural communities use agricultural management systems that are the result of their knowledge and means for the appropriation of natural resources (Toledo, 2010). For example, in Napízaro, in the municipality of Erongarícuaro, Michoacán, two of the agricultural management systems that producers use are monoculture (MC) and milpa or polyculture (PC), consisting of maize, beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) (Del Val *et al.*, 2013). The MC system is characterized by the application of synthetic fertilizers and insecticides and the minimization of plant species diversity (Nicholls and Altieri, 2006). This results in simplification of the system and reduction of the diversity of beneficial organisms (Andow, 1991).

It has been documented that given the mentioned characteristics, the MC favors the proliferation of herbivores (Nicholls, 2008) that increase its density until causing economic damages in the crops, reason why they are considered a plague. This proliferation grows as the area under MC cultivation increases (Brechelt, 2004; Altieri and Nicholls, 2005). In contrast, there are studies showing how pest species, particularly insects,

que muestran cómo las especies plaga, particularmente los insectos, tienen menor impacto en la producción agrícola cuando se emplean sistemas de PC en comparación con los de MC (Altieri y Nicholls, 2013). Las principales razones de esta diferencia son la heterogeneidad del hábitat, que repercute en una menor colonización de herbívoros; una menor tasa de reproducción a consecuencia de sustancias químicas producidas por las diferentes plantas que conforman el sistema; camuflaje; inhibición de alimentación por parte de plantas no-hospederas y por una mayor diversidad de especies que actúan como enemigos naturales de los herbívoros (Andow, 1991).

No obstante esto no siempre se cumple. Altieri (1992) consideró que el efecto resultante de las estrategias de manejo agrícola depende en gran medida de la biología de la especie plaga, de la abundancia de sus enemigos naturales, de la duración del cultivo en el agroecosistema y de la vegetación alrededor del cultivo. Los hongos entomopatógenos (HEP) son enemigos naturales de la mayoría de insectos considerados plagas de importancia económica (Dent, 1999; Ames, 2004). Son escasos los estudios que han evaluado la distribución de insectos plaga y de sus HEP asociados en los cultivos. Es imprescindible el estudio de los componentes que involucran los tres niveles tróficos (planta, herbívoro y HEP), ya que estos componentes tienen implicaciones para el diseño de estrategias de manejo integrado de plagas (Altieri, 1995). Además los HEP se pueden utilizar como agentes de control biológico como parte del manejo integrado de plagas.

Los representantes de la superfamilia Acridoidea MacLeay (Orthoptera), conocidos como saltamontes o chapulines, son un grupo entre los insectos que afectan a los cultivos de México, debido que más de 12 especies presentan brotes poblacionales ocasionales, que provocan daños severos (Kevan, 1977; Barrientos-Lozano, 2001). Los HEP, como *Beauveria bassiana*. (Balsamo), *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin y *Entomophaga grylli* Fresen, son enemigos naturales de los saltamontes y en algunos casos pueden regular sus poblaciones (Uribe-González y Santiago-Basilio, 2012) cuando se usan como agentes de control biológico en agroecosistemas (Díaz *et al.*, 2006).

El Estado de Michoacán se considera uno de los más afectados por plagas de saltamontes en México (Fontana *et al.*, 2008). Sus brotes se presentan de forma cíclica en la temporada de lluvias, causando daños importantes en los cultivos, lo que demanda la implementación de campañas fitosanitarias, en las que la principal estrategia de control es la aplicación masiva de insecticidas sintéticos (Bahena-Juárez y Velázquez-

have a smaller impact on agricultural production when PC systems are used compared to MC systems (Altieri and Nicholls, 2013). The main reasons for this difference are the habitat heterogeneity, which results in a lower colonization of herbivores; a lower rate of reproduction as a result of chemical substances produced by the different plants that make up the system; camouflage; feeding inhibition by non-host plants and by a greater diversity of species that act as natural enemies of herbivores (Andow, 1991).

However this is not always true. Altieri (1992) considered that the resulting effect of agricultural management strategies depends to a great extent on the biology of the pest species, the abundance of its natural enemies, the duration of the crop in the agroecosystem and the vegetation around the crop. Entomopathogenic fungi (HEP) are natural enemies of the majority of insects considered pests of economic importance (Dent, 1999; Ames, 2004). There are few studies that have evaluated the distribution of pests insect and its associated HEP in crops. It is essential to study the components that involve the three trophic levels (plant, herbivore and HEP), since these components have implications for the design of integrated pest management strategies (Altieri, 1995). In addition, HEPs can be used as biological control agents as part of integrated pest management.

Representatives of the Acridoidea MacLeay (Orthoptera) superfamily, commonly known as grasshoppers or chapulines, are an important group among insects that affect Mexican crops, as more than 12 species have occasional population outbreaks causing severe damage (Kevan, 1977; Barrientos-Lozano, 2001). HEP, as *Beauveria bassiana*. (Balsamo), *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin and *Entomophaga grylli* Fresen, are natural enemies of grasshoppers and in some cases can regulate its populations (Uribe-González and Santiago-Basilio, 2012) when used as biological control agents in agro-ecosystems (Díaz *et al.*, 2006).

The state of Michoacán is considered one of the most affected by grasshoppers plagues in México (Fontana *et al.*, 2008). Its outbreaks occur cyclically during the rainy season, causing significant damage to crops, which demands the implementation of phytosanitary campaigns, in which the main control strategy is the massive application of synthetic insecticides (Bahena-Juárez and Velázquez-García, 2012), despite the negative consequences it entails

García, 2012), a pesar de las consecuencias negativas que esto conlleva para la sustentabilidad de los agroecosistemas y el riesgo para la salud de los productores (Barrientos-Lozano y Almaguer-Sierra, 2009). A fin de desarrollar estrategias de manejo integrado para el control de estos insectos, es necesario conocer la respuesta de la plaga a la variación en las prácticas de cultivo de la región, por lo que este trabajo tuvo como objetivos evaluar el efecto del sistema de manejo agrícola (MC o PC) y la vegetación de los márgenes de los cultivos (VMM y VMP) sobre la riqueza y abundancia de saltamontes (CS) y sus HEP asociados en el municipio de Erongarícuaro, Michoacán.

Materiales y métodos

Zona de estudio y diseño de muestreo

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Erongarícuaro, el cual forma parte de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro en el estado de Michoacán. La región tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw). El rango de temperaturas oscila entre 5 y 26 °C con una precipitación pluvial promedio anual de 1 040.8 mm (INEGI, 2009). Cuenta con un tipo de vegetación de bosque de pino y encino (Díaz-Barriga *et al.*, 1988).

Se seleccionaron tres sitios con parcelas para producción de maíz. El primer sitio se encuentra en la localidad de la Ex Hacienda Charahuén (19° 31' 23"-19° 31' 13" latitud norte y 101° 42' 32"-101° 42' 19" longitud oeste), y los dos restantes están en la localidad de Napízaro (19° 35' 54" N y 101° 41' 85"-101° 41' 51" longitud oeste y 19° 36' 10"-19° 36' 00" latitud norte y 101° 41' 93"-101° 41' 56" longitud oeste). En los tres sitios se verificó la presencia de saltamontes en el periodo de barbecho (mayo del 2015), cuando la mayoría de sus especies están en fase de huevo. Las observaciones se confirmaron mediante entrevistas con los productores.

En cada sitio se seleccionaron arbitrariamente dos parcelas con una superficie de 9×200 m, una con el manejo agrícola de MC de maíz y su vegetación al margen del monocultivo (VMM) y otra de PC compuesto de maíz, frijol, calabaza y su vegetación al margen del policultivo (VMP). Se realizaron tres réplicas de cada tipo de manejo agrícola, con su respectiva vegetación al margen, dando un total de seis parcelas, a ninguna se le aplicó insecticida.

for the agroecosystems sustainability and the risk to the producers health (Barrientos-Lozano and Almaguer-Sierra, 2009). In order to develop integrated management strategies for the control of these insects, it is necessary to know the pest response to the variation in the cultivation practices of the region, so that the objective of this paper was to evaluate the effect of the management system (MC or PC) and crop margin vegetation (VMM and VMP) on the richness and abundance of grasshoppers (CS) and its associated HEPs in the municipality of Erongarícuaro, Michoacán.

Materials and methods

Study area and sampling design

The study was conducted in the municipality of Erongarícuaro, which is part of the Basin of Patzcuaro Lake in Michoacan state. The region has a subhumid temperate climate with summer rains (Cw). The temperature range is between 5 and 26°C with an average annual rainfall of 1 040.8 mm (INEGI, 2009). It has a vegetation type of pine and oak forest (Díaz-Barriga *et al.*, 1988).

Three sites with plots for maize production were selected. The first site is located in the town of Ex Hacienda Charahuén (19° 31' 23"-19° 31' 13" north latitude and 101° 42' 32"-101° 42' 19" west longitude), while the remaining two are in the locality of Napízaro (19° 35' 54" N and 101° 41' 85"-101° 41' 51" west longitude and 19° 36' 10"-19° 36' 00" north latitude and 101° 41' 93"-101° 41' 56" west longitude). In all three sites the presence of grasshoppers was observed in the fallow period (May 2015), when most of its species are in the egg phase. The observations were confirmed through interviews with the producers.

In each site two plots with an area of 9×200 m were arbitrarily selected, one with agricultural management of MC of maize and its monoculture marginal vegetation (VMM) and another of PC composed of maize, beans, zucchini and its polyculture marginal vegetation (VMP). Three replicates of each type of agricultural management were carried out, with their respective marginal vegetation, giving a total of six plots, none of which were applied with insecticide.

En cada parcela se realizaron colectas de saltamontes una vez por mes durante el cultivo (julio a diciembre de 2015). Estas se realizaron en transectos cubriendo longitudinalmente la parcela, una para el interior del MC (MC-I), otro para el PC (PC-I) y otra para la vegetación marginal de cada una (VMM y VMP). Se realizaron la tercera semana de cada mes, con una red de golpeo de 33 cm de diámetro, entre las 10:00 y 13:00 h, mediante 200 golpes de red por transecto hasta una altura de 1.5 m. Los saltamontes se introdujeron vivos en recipientes de plástico de un litro y se trasladaron al laboratorio. Un ejemplar de cada morfoespecie fue fijado en alcohol a 70% e identificado a nivel de especie tomando como base criterios de Mariño *et al.* (2011). Algunos se identificaron hasta nivel de subfamilia, debido a la ausencia de especímenes machos en fase adulta. Las determinaciones fueron corroboradas por la Colección Nacional de Insectos del Instituto de Biología de la UNAM.

Aislamiento e identificación de HEP

Los saltamontes colectados en campo fueron confinados en recipientes de un litro a una densidad de diez ejemplares por recipiente a temperatura ambiente. Se les alimentó con hojuelas de avena comercial y lechuga desinfectada mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 5% durante 20 min y posteriormente enjuagada con agua destilada. Este procedimiento se realizó durante un máximo de dos semanas. Los individuos muertos fueron colocados en cámaras húmedas individuales, consistentes en un recipiente de plástico de 3.5×4.5 cm con tapa y un papel filtro en el fondo, humedecido cada 2 d con 100 µL de agua destilada durante 10 d, con el fin de inducir la esporulación de HEP.

El aislamiento de HEP se realizó en una campana de flujo laminar y consistió en el raspado de conidias presentes sobre el cadáver y su siembra en medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) en cajas Petri, las cuales fueron incubadas a 27 °C durante cuatro a seis días. En este periodo se observó el crecimiento del micelio cada 48 h. Los cultivos puros se obtuvieron realizando reaislamientos del hongo a partir del cultivo original (Monzón, 2001). Los aislados obtenidos serán integrados a la colección de HEP del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB).

La identificación de HEP de saltamontes se realizó mediante la observación macro y microscópica de la morfología del crecimiento y estructuras del hongo (micelio, conidios y conidióforos). Se utilizaron claves dicotómicas (Samson *et al.*, 1988) para identificar los géneros de HEP. Se registró la riqueza de HEP y el número de saltamontes infectados.

Grasshoppers were collected once per month during the growing season (July to December, 2015). The collections were made in transects covering the plot longitudinally, one for the interior of the MC (MC-I), another for the PC (PC-I) and another for the marginal vegetation of each one (VMM and VMP). The collections were carried out the third week of each month, with a striking network of 33 cm in diameter, between 10 and 13 h, by 200 strokes of net per transect to a height of 1.50 m. The collected grasshoppers were introduced alive into one-liter plastic containers and transferred to the laboratory. One specimen of each morphospecies was fixed in 70% alcohol and identified to species level based on criteria of Mariño *et al.* (2011). Some specimens were identified to subfamily level, due to the absence of adult male specimens. The findings were corroborated by the Colección Nacional de Insectos del Instituto de Biología of the UNAM.

Isolation and identification of HEP

Grasshoppers collected in the field were confined in one liter containers at a density of ten specimens per container at room temperature. They were feed with commercial oat flakes and lettuce disinfected by immersion in 5% sodium hypochlorite solution for 20 min and then rinsed with distilled water. This procedure was performed for up to two weeks. The dead individuals were placed in individual wet chambers, consisting of a 3.5×4.5 cm plastic container with a lid and a filter paper in the bottom, moistened every 2 d with 100 µL of distilled water for 10 d, in order to induce sporulation of HEP.

The isolation of HEP was carried out in a laminar flow hood and consisted of the scraping of conidia present on the cadaver and its seeding in potato dextrose agar medium (PDA) in Petri dishes, which were incubated at 27 °C for four to six days. During this period, mycelial growth was observed every 48 h. The pure cultures were obtained by performing re-insultation of the fungus from the original culture (Monzón, 2001). The isolates obtained will be integrated into the HEP collection of the Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB).

The identification of grasshopper HEP was performed by macro and microscopic observation of the growth morphology and fungus structures (mycelium, conidia and conidiophores). Dichotomous keys (Samson *et al.*, 1988) were used to identify HEP genres. HEP richness and the number of infected grasshoppers were recorded.

Se realizó una matriz de Bray-Curtis con medidas de similitud de datos de la abundancia acumulada de seis muestreos de cada especie utilizando el paquete Biodiversity Pro versión 2 (McAleece, 1997), con el fin de obtener las distancias ecológicas que expresan diferencias en la estructura y composición de los saltamontes entre parcelas (Bray y Curtis, 1957), así como una matriz de distancias geográficas entre las parcelas transformadas con $\log+1$ para homogeneizar las distancias extremas (Su *et al.*, 2004; Manly, 2006). Con estas matrices se aplicó la prueba de Mantel (1967) con 10 000 permutaciones, mediante el software XLSTAT (Addinsoft, 2009) para Excel, para explorar la independencia espacial de las muestras y usarlas como réplicas en análisis estadísticos.

Para probar el efecto de los tratamientos sobre la riqueza de especies de saltamontes y sobre la abundancia de la especie dominante, se empleó un modelo lineal mixto usando el software estadístico R versión 3.2.3. (Pinheiro y Bates, 2000). El modelo se ajustó empleando la función “lme” de la biblioteca “nlme” para R (Pinheiro *et al.*, 2007). Como predictores se incluyeron el tipo de manejo agrícola, el tiempo, tanto en término lineal (T) como cuadrático (T²) y su interacción. La riqueza observada de especies y la abundancia de la especie dominante en la vegetación marginal fueron incluidas como covariables (S) en los modelos de riqueza y abundancia, respectivamente. El sitio y la parcela fueron incluidos como factores aleatorios, con el fin de modelar la asociación espacial de los tratamientos y de las diferentes colectas en el tiempo, respectivamente. Las ecuaciones del modelo para riqueza y abundancia fueron:

$$\log(\text{riqueza}+1) = \text{tratamiento} + S + T + T^2 + \text{tratamiento} * T + \text{tratamiento} * T^2 + 1 | \text{sitio/parcela}$$

$$\log(\text{abundancia}+1) \sim \text{tratamiento} + S + T + (T^2) + \text{tratamiento} * T + \text{tratamiento} * (T^2)$$

Donde: S= covariables: riqueza de especies de saltamontes y abundancia de la especie dominante en la vegetación marginal del monocultivo y policultivo; T= tiempo.

En ambos casos la variable de respuesta se transformó con $\log(\text{respuesta}+1)$ con el fin de cumplir los supuestos de homogeneidad de varianza y de normalidad de los residuos. Finalmente, se exploró la asociación de la frecuencia de infección por HEP aislados en saltamontes con los tratamientos en los que fueron colectados, empleando una prueba de Chi cuadrada.

A Bray-Curtis matrix was constructed with data similarity measures of the cumulative abundance of the six samples of each species using the Biodiversity Pro version 2 package (McAleece, 1997), in order to obtain the ecological distances expressing the differences in the structure and composition of the grasshopper community among plots (Bray and Curtis, 1957) as well as an array of geographical distances between plots transformed $\log+1$ to homogenize the extreme distances (Su *et al.*, 2004; Manly, 2006). With these two matrices, the Mantel (1967) test was applied with 10 000 permutations, using the XLSTAT statistical software (Addinsoft, 2009) for Excel, to explore the spatial independence of the samples and use them as replicas in the statistical analyzes.

To test the effect of treatments on the abundance of grasshopper species and on abundance of the dominant species, a mixed linear model was used using the statistical software R version 3.2.3. (Pinheiro and Bates, 2000). The model was adjusted using the “lme” function of the “nlme” library for R (Pinheiro *et al.*, 2007). As predictors there were included the agricultural management, time, both linear term (T) as square (T²) and their interaction. The observed species richness and abundance of the dominant species in the marginal vegetation were included as covariates (S) in wealth and abundance models, respectively. The site and plot were included as random factors, in order to model the spatial association of treatments and the different collections over time, respectively. The model’s equations for richness and abundance were:

$$\log(\text{richness}+1) = \text{treatment} + S + T + T^2 + \text{treatment} * T + \text{treatment} * T^2 + 1 | \text{site/plot}$$

$$\log(\text{abundance}+1) \sim \text{treatment} + S + T + (T^2) + \text{treatment} * T + \text{treatment} * (T^2)$$

Where: S= covariables: grasshopper species richness and abundance of the dominant species in the marginal vegetation of monoculture and polyculture; T= time.

In both cases the response variable was transformed with $\log(\text{response}+1)$ in order to meet the assumptions of variance homogeneity and residues normality. Finally, the association of the frequency of HEP infection isolated in grasshoppers with the treatments in which they were collected was reviewed, using a Chi square test.

Resultados y discusión

Composición de la CS

Se colectaron 2 920 saltamontes pertenecientes a dos familias, cuatro subfamilias, diez géneros y 17 especies. El 97.8% del total de individuos recolectados pertenecieron a una sola especie, *Sphenarium purpurascens purpurascens* Charpentier (Cuadro 1).

Results and discussion

CS composition

2920 grasshoppers belonging to two families of four subfamilies, ten genera and 17 species were collected. 97.8% of all individuals collected belonged to a single species, *Sphenarium purpurascens purpurascens* Charpentier (Table 1).

Cuadro 1. Especies de saltamontes y su abundancia en dos tipos de manejo agrícola y la vegetación de los márgenes de las parcelas en Erongarícuaro, Michoacán.

Table 1. Grasshoppers species and their abundance in two types of agricultural management and vegetation of the plots margins in Erongarícuaro, Michoacán.

Taxa	Tratamientos		Covariables		Total
	MC-I	PC-I	VMM	VMP	
Acrididae	10	5	32	17	64
Gomphocerinae					
<i>Boopedum diabolicum</i> Bruner	2	1	10	2	15
<i>Dichromorpha</i> sp.			4		4
Sp. 1			3	2	5
Sp. 2			1		1
Sp. 3		1	1		2
Melanoplinae					
<i>Melanoplus differentialis differentialis</i> Thomas	6		10	5	21
<i>Melanoplus regalis</i> Dodge				1	1
<i>Melanoplus sanguinipes sanguinipes</i> Fabricius			2		2
<i>Philocleon</i> sp.	1			1	2
Sp. 1	1		5	6	12
Sp. 2			1		1
Oedipodinae					
<i>Arphia conspersa</i> Scudder				1	1
<i>Encoptolophus otomitus</i> Saussure				1	1
<i>Spharagemon</i> sp.			1		1
Sp. 1		4	2		6
Sp. 2			1		1
Pyrgomorphidae					
<i>Sphenarium purpurascens purpurascens</i> Charpentier	373	508	791	1184	2856
Riqueza	6	5	14	10	
Abundancia	393	519	864	1220	2920

Tratamientos: MC-I= interior del monocultivo, PC-I= interior del policultivo. Covariables: VMM= vegetación marginal del monocultivo y VMP= vegetación marginal del policultivo. Datos acumulados de muestreos con redes de golpeo realizados entre julio y diciembre de 2015.

La evidente dominancia de *S. p. purpurascens* en los sitios de estudio implica que ésta es la especie económicamente más importante para los productores de maíz en la región. La prueba de Mantel mostró que la estructura y composición de la CS en las parcelas no se correlacionaron con las distancias geográficas entre ellas ($R = -0.178$, $p = 0.348$) por lo que se consideraron muestras independientes para el análisis comparativo (Cuadro 2).

Evaluación del sistema de manejo sobre la riqueza de especies de saltamontes

La riqueza de las especies cambió estadísticamente significativa en el T, siendo el término cuadrático el que mejor describió dicho cambio ($p < 0.05$). El tipo de manejo agrícola no tuvo un efecto significativo sobre la riqueza de las especies ($p > 0.05$), ni modificó la tendencia temporal de la riqueza ($p > 0.05$). La riqueza de las especies en la vegetación marginal tampoco explicó la riqueza de especies en las parcelas ($p > 0.05$, Cuadro 3). La variación explicada por los efectos fijos del modelo fue del 29%. Los efectos aleatorios (sitio/parcela) no tuvieron una capacidad explicativa adicional.

Abundancia de *S. p. purpurascens*

La abundancia de *S. p. purpurascens* cambió significativamente en el T. El término cuadrático fue el que mejor describió este cambio ($p < 0.05$). El tipo de manejo agrícola no tuvo un efecto significativo sobre la abundancia de *S. p. purpurascens*, no modificó la tendencia temporal de la abundancia ($p > 0.05$, Cuadro 4). La abundancia de esta especie en la VMM y VMP en los sitios determinó la abundancia en el MC-I y del PC-I ($p < 0.05$, Figura 1 y Cuadro 4). La variación explicada por los efectos fijos del modelo fue de 57%. Los efectos aleatorios no tuvieron una capacidad explicativa adicional.

El PC-I no dificultó el ataque de *S. p. purpurascens*, por lo que no se registraron bajas. De hecho en septiembre se registró mayor abundancia en este manejo agrícola que en el MC-I. Este insecto es considerado polífago (Cano-Santana y Oyama, 1994; Tamayo-Mejía, 2009), y de acuerdo con los resultados de este estudio la diversidad vegetal incrementó su abundancia, ya que VMM y la VMP presentaron mayores valores que los registrados en MC-I y PC-I. La abundancia de *S. p. purpurascens* en la vegetación de los márgenes influyó sobre la abundancia encontrada en el MC-I y PC-I (Cuadro 4).

The apparent dominance of *S. p. purpurascens* in the study sites implies that this is the most economically important species for maize producers in the region. Mantel's test showed that the structure and composition of the CS in the plots were not correlated with geographical distances between them ($R = -0.178$, $p = 0.348$) so they were considered as independent samples for comparative analysis (Table 2).

Cuadro 2. Matriz de similitud de distancia ecológica entre parcelas de Erongarícuaro, Michoacán.

Table 2. Similarity matrix of ecological distance between plots in Erongarícuaro, Michoacán.

	MC 1	MC 2	MC 3
PC 1	80.84	73.21	72.61
PC 2	90.57	98.51	66.24
PC 3	86.26	78.59	49.58

PC= policultivo; MC= monocultivo.

Evaluation of the management system on the richness of grasshopper species

Species richness changed significantly in the T being the quadratic term that best described the change ($p < 0.05$). The agricultural management had no significant effect on overall species richness ($p > 0.05$) nor modified the temporal trend of richness ($p > 0.05$). Species richness in the marginal vegetation did not explain species richness in plots ($p > 0.05$, Table 3). The variation explained by the fixed effects of the model was 29%. The random effects (site/plot) did not have an additional explanatory capacity.

Cuadro 3. Riqueza de saltamontes en dos tipos de manejo agrícola y la vegetación de los márgenes de las parcelas en Erongarícuaro, Michoacán.

Table 3. Grasshoppers richness in two types of agricultural management and vegetation of the plots margins in Erongarícuaro, Michoacán.

Efecto	gl del numerador	F	p
Tratamiento (MC-I y PC-I)	1	0.511	0.659
S	1	1.05	0.303
T	1	2.315	0.029*
T ²	1	3.343	0.002**
Tratamiento×T	1	0.522	0.606
Tratamiento×T ²	1	0.3	0.766

Modelo lineal mixto tratamientos: MC-I= interior del monocultivo; PC-I= interior del policultivo. S: covariables T= tiempo; T²= tiempo cuadrático; gl= grados de libertad; F= de distribución F de Fisher. * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.

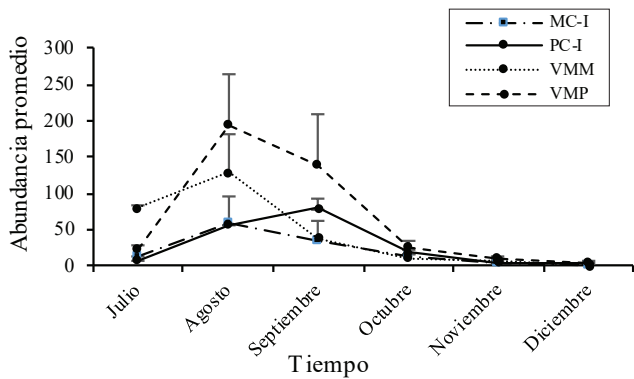


Figura 1. Abundancia promedio mensual de *S. p. purpurascens* en dos tipos de manejo agrícola y la vegetación de los márgenes de las parcelas de Erongarícuaro, Michoacán, 2015. N= 72. Tratamientos: MC-I= interior del monocultivo; PC-I= interior del policultivo. Covariables: VMM= vegetación marginal del monocultivo; VMP= vegetación marginal del policultivo.

Figure 1. Average monthly abundance of *S. p. purpurascens* in two types of agricultural management and margins plots vegetation in Erongarícuaro, Michoacán, 2015. N= 72. Treatments: MC-I= monocultures interior; PC-I= polyculture interior. Covariables: VMM= marginal vegetation of monoculture; VMP= marginal vegetation of polyculture.

Cerritos y Cano-Santana (2008) registraron que la densidad de huevos de *S. purpurascens* fue 14.9 veces mayor en los bordes de las parcelas de alfalfa que dentro de las parcelas. Esto contrasta con lo que plantea Andow (1991) acerca de que una determinada plaga encontrará menos posibles hospederos en un hábitat más diverso y, por tanto los insectos plaga son menos dañinos en los policultivos en comparación a los monocultivos. Sin embargo, insectos con un amplio espectro de hospederos usualmente no reducen su población por la diversidad en los cultivos (Andow, 1991). Por lo tanto, se deben utilizar otras estrategias para su control.

La abundancia máxima de *S. p. purpurascens* del PC-I la VMM y la VMP se presentó en agosto, con excepción del MC-I que aumento en septiembre y posteriormente disminuyó. Cano-Santana (1994) reportó que las densidades máximas de *S. purpurascens* se presentaron a principios de julio en sitios abruptos y planos de la Reserva del Pedregal de San Ángel en la Ciudad de México en 1990 y 1991. En 1991 se observó que después de alcanzar la densidad máxima, la población descendió drásticamente en los meses posteriores.

Abundance of *S. p. purpurascens*

Abundance of *S. purpurascens purpurascens* changed significantly in the T. The quadratic term was the one that best described this change ($p < 0.05$). The agricultural management had no significant effect on the abundance of *S. p. purpurascens*, or alter the temporal trend of abundance ($p > 0.05$, Table 4). The abundance of this species in the VMM and VMP sites and the abundance in the MC-I and PC-I ($p < 0.05$, Figure 1 and Table 4). The variation explained by the fixed effects of the model was 57%. The random effects did not have an additional explanatory capacity.

The PC-I did not hinder the attack of *S. p. purpurascens*, so no low abundances were reported. In fact, in September, the higher abundance was recorded in this type of agricultural management than in the MC-I. This insect is considered polyphagous (Cano-Santana and Oyama, 1994; Tamayo-Mejía, 2009), and according to the results of this study, plant diversity increased its abundance, since VMM and PMV showed higher values than those recorded in MC-I and PC-I. *S. p. purpuascens* abundance in margins vegetation influenced the abundance found in the MC-I and PC-I (Table 4).

Cuadro 4. Comparación de la abundancia de *Sphenarium pupurascens purpurascens* en dos tipos de manejo agrícola y la vegetación de los márgenes de las parcelas de Erongarícuaro, Michoacán.

Table 4. Comparison of the abundance of *Sphenarium pupurascens purpurascens* two types of agricultural management and the vegetation of plots margins in Erongarícuaro, Michoacán.

Efecto	gl del numerador	F	p
Manejo agrícola (MC-I, PC-I)	1	0.51	0.549
S	1	16.314	0.004**
T	1	6.193	0.019*
T ²	1	24.05	0.001**
Tratamiento×T	1	0.737	0.398
Tratamiento×T ²	1	0.09	0.766

Tratamiento: MC-I= interior del monocultivo; PC-I= interior del policultivo S= covariables (vegetación marginal del monocultivo y vegetación marginal del policultivo). T= tiempo; T²= tiempo cuadrático. gl= grados de libertad; F= distribución de Fisher; * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.

La alta humedad combinada con temperaturas bajas pudo haber causado una alta mortalidad de los primeros estadios ninfales de *S. purpurascens*. Tamayo-Mejía (2009) reportó que los estadios ninfa 1 y ninfa 2 de saltamontes de *Melanoplus differentialis* (Thomas) y *S. purpurascens* presentaron una mortalidad en campo de 50%, causada por factores bióticos y abióticos. En base a los resultados de este estudio y de los citados anteriormente se infiere que la dinámica de poblaciones de *S. p. purpurascens* es afectada por las condiciones ambientales y de la vegetación herbácea de los sitios de estudio (Cano-Santana, 1994; Cerritos y Cano-Santana, 2008; Tamayo-Mejía, 2009).

Es necesario el estudio puntual de la interacción entre *S. p. purpurascens* y las arvenses que se encuentran en los márgenes de las parcelas, ya que puede ser útil para la manipulación de la composición de especies de arvenses en los bordes de los cultivos para que funcionen como vegetación trampa. Es importante realizar evaluaciones de plantas que han demostrado propiedades repelentes y manipular su presencia dentro de los cultivos, con el fin de alejar a *S. p. purpurascens* del cultivo principal. Entre las especies que se pueden evaluar se encuentran la higuerilla (*Ricinus comunis* L.) el ajo (*Allium sativum* L.) y el cempasúchil (*Tagetes erecta* L.) (Grainge y Ahmed, 1988; Rodríguez y Nieto, 1997; Vidal *et al.*, 2008). Lo anterior permitiría tener áreas que concentren mayor diversidad de plantas con un propósito específico dentro del agroecosistema, con el fin de minimizar el daño que el saltamontes ocasiona al cultivo principal.

En el presente estudio la abundancia de *S. p. purpurascens* en la VMM y la VMP determinó la abundancia de esta especie en el interior de las parcelas independientemente del tipo de manejo agrícola utilizado (MC-I o PC-I). Además del manejo integrado de plagas, existe otra alternativa para regular las poblaciones de *S. purpurascens*, que consiste en su recolección para aprovecharlo como recurso alimenticio. En la actualidad este insecto se vende en mercados del Estado de México y de Valles Centrales de Oaxaca, donde forma parte de la gastronomía regional (Marcos *et al.*, 2015).

Cerritos y Cano-Santana, (2008) compararon el impacto de la aplicación del insecticida malatión con la captura de *S. purpurascens* para el consumo humano sobre la densidad de ootecas m⁻² en el interior del cultivo de alfalfa y de sus bordes en dos años. La densidad de ootecas fue menor en parcelas donde se aplicó malatión con respecto a las de control mecánico mediante recolección. Sin embargo, la

Cerritos and Cano-Santana (2008) reported that the density of *S. purpurascens* eggs was 14.9 times higher at the edges of the alfalfa plots than within the plots. This contrasts with Andow (1991) that a particular pest will find less possible hosts in a more diverse habitat and, therefore, pest insects are less harmful in polycultures compared to monocultures. However, insects with a broad spectrum of hosts usually do not reduce their population by crop diversity (Andow, 1991). Therefore, other strategies should be used for their control.

The maximum abundance of *S. p. purpurascens* of PC-1 the VMM and VMP was recorded in August except the MC-I which increased in September and subsequently decreased. Cano-Santana (1994) reported that the highest densities of *S. purpurascens* were recorded in early July on abrupt and flat sites of the Reserve Pedregal de San Angel in México City in 1990 and 1991. In 1991 it was observed that after achieving the maximum density, the population declined drastically in subsequent months.

High humidity combined with low temperatures could have caused high mortality of first instars of *S. purpurascens*. Tamayo-Mejía (2009) reported that the 1 and 2 nymph stages of grasshopper *Melanoplus differentialis* (Thomas) and *S. purpurascens* showed a 50% mortality in field, caused by biotic and abiotic factors. Based on the results of this paper and those mentioned above it is inferred that the dynamics of populations of *S. p. purpurascens* is affected by environmental conditions and herbaceous vegetation of the study sites (Cano-Santana, 1994; Cerritos and Cano-Santana, 2008; Tamayo-Mejía, 2009).

It is necessary a precise study of the interaction between *S. p. purpurascens* and weeds found in the plot margins, since it may be useful for manipulation of the composition of weeds species in crop margins to function as trap vegetation. It is important to carry out assessments in plants that have demonstrated repellent properties and manipulate its presence within the crops, in order to push away *S. p. purpurascens* from the main crop. Among the species that can be evaluated are include castorbean (*Ricinus communis* L.), garlic (*Allium sativum* L.) and marigolds (*Tagetes erecta* L.) (Grainge and Ahmed, 1988; Rodríguez and Nieto, 1997; Vidal *et al.*, 2008). This would allow having areas that concentrate a greater diversity of plants with a specific purpose within the agroecosystem, in order to minimize the damage that the grasshopper causes to the main crop.

densidad de ootecas del control mecánico fue menor en contraste con el control. La densidad de huevos en los bordes de las parcelas fue 14.9 veces mayor que los encontrados en el interior de las parcelas. Las áreas de ovoposición de las hembras de *S. p. purpurascens* se encontraron con mayor frecuencia en bordes de las parcelas, ya que en estas áreas el suelo es menos compacto (Cerritos y Cano-Santana, 2008). El método de control mecánico es una alternativa viable para regular las poblaciones de *S. p. purpurascens*, además de que es un producto rentable para las regiones antes mencionadas (Cerritos y Cano-Santana, 2008).

HEP aislados en *S. p. purpurascens*

De 2 920 individuos colectados, se encontraron 12 ejemplares de *S. p. purpurascens* infectados por algún HEP, lo que corresponde al 0.41% del total (Cuadro 5). Todos los HEP fueron aislados de individuos adultos, excepto dos ninfas en el sitio de la VMM infectadas con *Metarhizium* sp. Sorokin. El 75% del total de saltamontes infectados tuvieron *Metarhizium* sp. y 25% restante se encontraron infectados por *Beauveria* sp. (Balsamo) Vuillemin. El 16.7% de los saltamontes infectados por HEP fueron colectados en el MC-I, 41.7% en el PC-I, 16.6% en la VMM y finalmente 25% en la VMP. De manera general, el hongo con mayor frecuencia de infección en los saltamontes de la región fue *Metarhizium* sp., encontrándose una asociación entre la proporción de saltamontes infectados con este HEP en el PC-I, respecto a los que se encontraron infectados en la VMP ($\chi^2= 3.84, p=0.04$). Para el caso de los demás sitios no se encontró asociación significativa ($p> 0.05$) (Cuadro 5).

Los HEP que se encontraron infectando a *S. p. purpurascens*, tuvieron mínima presencia en los agroecosistemas de maíz. Es conocido que *Metarhizium* y *Beauveria* presentan niveles bajos de infección natural en las CS en comparación a *E. grylli*, la cual es una especie que se esperaba encontrar en este estudio, ya que se ha documentado infectando distintas poblaciones de saltamontes tanto en México como en otros países del continente americano (Sánchez *et al.*, 2011; Uribe-González y Santiago-Basilio, 2012). No obstante, en este trabajo se presentó una asociación entre *Metarhizium* sp. y el PC-I, comparado con la VMP, por lo que la infección de *Metarhizium* parece verse favorecida por la diversidad vegetal, ya que en estos sistemas, el microclima cambia incrementándose principalmente la humedad relativa, favoreciendo la presencia de HEP (Van Huis, 1997).

In this paper the abundance of *S. p. purpurascens* in the VMM and the VMP determined the abundance of the species within the plots regardless of the type of agricultural management used (MC-I or PC-I). Besides the integrated pest management, there is another alternative to regulate *S. purpurascens* populations, consisting of harvesting to use it as a food source. At present this insect is sold in markets in the State of Mexico and the Central Valleys of Oaxaca, where it forms part of the regional cuisine (Marcos *et al.*, 2015).

Cerritos and Cano-Santana (2008) compared the impact of malathion insecticide application with the capture of *S. purpurascens* for human consumption on the density of oothecae m⁻² within the alfalfa plot and its margins in two years. The oothecae density was lower in plots where malathion was applied with respect to those of mechanical control through harvesting. However, the density of oothecae in the mechanical control was lower compared to the control. The eggs density at the plots margins was 14.9 times higher than those found within the plots. The oviposition areas of female *S. p. purpurascens* were found most frequently in the edges of the plots, because in these areas the soil is less compact (Cerritos and Cano-Santana, 2008). The mechanical control method is a viable alternative to regulate populations of *S. p. purpurascens*, plus it is a profitable product for the above regions (Cerritos and Cano-Santana, 2008).

HEP isolated in *S. p. purpurascens*

Of 2920 individuals collected, 12 species of *S. p. purpurascens* were found infected by HEP, which corresponds to 0.41% of the total (Table 5). All HEP were isolated from adult individuals, but two nymphs on the site of the VMM infected with *Metarhizium* sp. Sorokin. 75% of infected grasshoppers had *Metarhizium* sp. and the remaining 25% were found infected by *Beauveria* sp. (Balsamo) Vuillemin. 16.7% of the grasshoppers infected with HEP were collected in the MC-I, 41.7% in the PC-I, 16.6% in the VMM and finally 25% in the VMP. Generally speaking, the fungus with the highest infection frequency of grasshoppers in the region was *Metarhizium* sp., Finding an association between the proportion of infected grasshoppers with this HEP on the PC-I, compared to those who were found infected in the VMP ($\chi^2= 3.84, p= 0.04$). In the case of the other sites no significant association ($p> 0.05$) was found (Table 5).

Cuadro 5. *Sphenarium purpurascens purpurascens* infectados con hongos entomopatógenos en agroecosistemas de maíz de la región de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro.

Table 5. *Sphenarium purpurascens purpurascens* infected with entomopathogenic fungi in maize agroecosystems of the Lake of Patzcuaro Basin region.

Hongos entomopatógenos	Sitios de colecta				Total
	MC-I	PC-I	VMM	VMP	
Número de saltamontes revisados	373	508	791	1184	2856
<i>Beauveria</i> sp.	1	1	0	1	3
<i>Metarhizium</i> sp.	1	4	2	2	9

MC-I= interior del monocultivo; PC-I= interior del policultivo; VMM= vegetación de los márgenes del monocultivo; VMP= vegetación de los márgenes del policultivo.

Conclusiones

Se encontraron 17 especies, de las cuales la más abundante fue *S. p. purpurascens*. La abundancia de esta especie en la vegetación de los márgenes de los cultivos influyó sobre la abundancia del interior de los cultivos. La frecuencia de infección por HEP fue baja. *Metarhizium* sp. tuvo una mayor frecuencia de infección en el PC-I en comparación de la VMP. De los aislamientos de HEP tres correspondieron a *Beauveria* sp. y nueve a *Metarhizium* sp.

Los resultados del presente estudio muestran un efecto positivo de la diversidad vegetal sobre la comunidad de saltamontes y en particular sobre *S. p. purpurascens*, una especie económicamente importante por el daño que ocasiona al maíz en la región. Estos hallazgos muestran la necesidad de profundizar en la manipulación experimental de la composición de plantas dentro de estos agroecosistemas para minimizar el daño de este saltamonte, potenciar la presencia y acción de enemigos naturales tales como los HEP. De esta forma mejorar la sustentabilidad de estos sistemas de producción a través del manejo agroecológico de los recursos.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto SEP-CONACYT 2012-179319. "Importancia de los microbios benéficos de la rizósfera en la producción sustentable de maíz". Los autores agradecemos a Enrique Mariño Pedraza de la Colección Nacional de Insectos del Instituto de Biología de la UNAM por su colaboración en la identificación de las especies de saltamontes. VQB. agradece al CONACYT por la beca de

HEP found infecting *S. p. purpurascens*, had minimal presence in maize agroecosystems. It is known that *Metarhizium* and *Beauveria* show low levels of natural infection in CS compared to *E. grylli*, which it is a species that was expected to find in this research, as it has been documented infecting different populations of grasshoppers in México and in other countries in the Americas (Sánchez *et al.*, 2011; Uribe-González y Santiago-Basilio, 2012). However, in this paper there was an association between *Metarhizium* sp. and PC-I compared to the VMP, so that the infection of *Metarhizium* seems to be favored by plant diversity, since in these systems, the microclimate changes mainly by increasing relative humidity, favoring the presence of HEP (Van Huis, 1997).

Conclusions

17 species were found, of which the most abundant was *S. p. Purpurascens*. The abundance of this species in the vegetation of the crops margins influenced the abundance of the interior of the crops. The frequency of HEP infection was low. *Metarhizium* sp. had a higher infection frequency of in PC-I compared to VMP. Of the HEP isolates three were *Beauveria* sp. and nine were *Metarhizium* sp.

The results of this research show a positive effect of plant diversity on grasshopper population and in particular on *S. p. purpurascens*, an economically important species because of the damage caused to maize in the region. These findings show the need to deepen the experimental manipulation of the composition of plants within these agroecosystems to minimize the damage of this grasshopper, to enhance the presence and action of

estudios de posgrado (444-081). A Francisco Mora Ardila y Víctor Arroyo Rodríguez por su asesoría en los análisis estadísticos. A Virginia Meléndez, Luis Abdalá Roberts y Juan Pinzón por sus comentarios a las primeras versiones de este trabajo.

natural enemies such as HEP. And in this way to improve the sustainability of these production systems through the agroecological management of resources.

End of the English version



Literatura citada

- Addinsoft. 2009. XLSTAT versión 2009. <http://www.xlstat.com>.
- Altieri, M. A. 1995. Agroecology: The science of sustainable agriculture. First edition. Westview Press Boulder. United States. 30-45 pp.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2000. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Primera edición. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México. 13-43 pp.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2005. Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture. First edition. United Nations Environmental Programme, Environmental Training Network for Latin America and the Caribbean. México. 13-27 pp.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2013. Diseños agroecológicos para incrementar la biodiversidad de entomofauna benéfica en agroecosistemas. Primera edición. SOCLA. Medellín, Colombia. 83 pp.
- Andow, D. A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual review of entomology*. 36:561-586.
- Bahena-Juárez, F. y Velázquez-García, J. D. J. 2012. Manejo agroecológico de plagas en maíz para una agricultura de conservación en el valle de Morelia-Queréndaro, Michoacán. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3541>.
- Barrientos-Lozano, L. 2001. El problema de la langosta (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker) en México y Centro América. *In*: Barrientos Lozano, L. (ed.). Memoria del Curso 1 Internacional. Ecología, manejo y control de la langosta voladora (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker). Altamira, Tamaulipas, México. 1-11 pp.
- Barrientos-Lozano, L. 2004. Orthoptera. *In*: Llorente, J.; Morrone J. J.; Yañes O. y Vargas, I. (eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Primera edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 603-625 pp.
- Barrientos-Lozano, L. y Almaguer-Sierra, P. 2009. Manejo sustentable de chapulines (Orthoptera: Acridoidea) en México. *Vedalia (México)*. 13(2):51-56.
- Bray, J. R. y Curtis, J. T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs (United States)*. 27(4):325-349.
- Brechelt, A. 2004. El manejo ecológico de plagas y enfermedades. Primera edición. Red de acción de plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAP-AL). Chile. 36 pp.
- Cano, S. Z. y Oyama, K. 1994. *Wigandia urens* (Hydrophyllaceae): un mosaico de recursos para sus insectos herbívoros. *Acta Botánica Mexicana* 28:29-39.
- Cañedo, V. y Ames, T. 2004. Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos. Centro Internacional de la Papa. Primera edición. Lima, Perú. 1-60 pp.
- Cerritos, R. y Cano-Santana, Z. 2008. Harvesting grasshoppers *Sphenarium purpurascens* in Mexico for human consumption: a comparison with insecticidal control for managing pest outbreaks. *Crop Protection*. 27(3) 473-480.
- Del Val, E.; Arnés, E.; Gaona, J. A. y Astier, M. 2013. Incidencia de gallina ciega, sistemas de manejo campesino y variabilidad climática en la comunidad de Napízaro, Michoacán, México. *Agroecología*. 1(8):53-62.
- Dent, D. 1999 Biological agents as biopesticides. CABI Bioscience Biopesticide Programme. Programme Briefing Paper. 15 p.
- Díaz, M. P.; Macías, A. F.; Navarro, S. R. y De La Torre, M. 2006. Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de América*. 31:856-860.
- Díaz-Barriga, H.; Guevara-Fefer, F. y Valenzuela, R. 1988. Contribución al conocimiento de los macromicetos del estado de Michoacán. *Acta Botánica Mexicana*. 12(31):21-44.
- Fontana, P.; Buzzetti, F. M. y Mariño-Pérez, R. 2008. Chapulines, langostas, grillos y esperanzas de México: guía fotográfica. México. Primera edición. Editado por asociación mundial de la biodiversidad. 266 p.
- González, E. A.; Gutiérrez, J. I.; Calderón, A. E.; Vázquez, J. C. y Wood, S. 2008. Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: híbrido H-48. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Primera Edición. Coyoacán, Ciudad de México, México. 78-85 pp.
- Grainge, M. y Ahmed, S. 1988. Handbook of plants with pest-control properties. First edition. Ilustrada Minnesota. 470 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de información geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Erongarícuaro, Michoacán de Ocampo. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos>.
- Kevan, D. K. 1977. The American Pyrgomorphidae (Orthoptera). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. 36(4):3-28.
- Manly, B. F. 2006. Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in biology. Third Edition. Chapman & Hall/CRC. New York. 480 pp.
- Mantel, N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research (Gran Bretaña)*. 2(27):209-220.
- Marcos, Y. S.; Pacheco, R. P.; Pérez, G. E. G.; Manzanero, G. I. y Medina, G. R. O. 2015. Conocimiento tradicional y valor cultural de *Sphenarium* spp. en valles centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 2(2):75-86.
- Mariño, R.; Fontana P. y Buzzetti, F. M. 2011. Taxonomía y bioecología. *In*: García C. y Lozano J. (coords.). Control biológico de plagas de chapulín en el norte ~ centro de México. Primera edición. Universidad autónoma de Zacatecas. México. 13-56 pp.

- McAleece, N. 1997. Bio Diversity Professional version 2. <http://www.sams.ac.uk/peter-lamont/biodiversity-pro>.
- Monzón, A. 2001. Producción, uso y control de calidad de hongos entomopatógenos en Nicaragua. *Manejo Integrado de Plagas*. 63:95-109.
- Nicholls, C. I. 2008. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. *Agroecología*. 1:37-48.
- Nicholls, C. I. y Altieri, M. A. 2006. Manejo de la fertilidad de suelo e insectos plaga: armonizando la salud del suelo y la salud de las plantas en los agroecosistemas. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. 77:8-16.
- Pinheiro, J. C.; Bates, D. M. 2000. *Mixed-effects models in S and S-Plus*. Springer. 3-56 pp.
- Pinheiro, J.; Bates, D.; DebRoy, S. y the R Core team. 2007. *Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3. 1-83.
- Rodríguez, H. C. y D. Nieto. 1997. Anonáceas con propiedades insecticidas. *In: Rebouças, S. J.; A. I. Vilas Boas.; O. Magalhaes y Hojo R. (eds.)*. En Anonáceas, produção e mercado (pinha, graviola, atemóia e cherimólia). Primeira edição. Nobel. Bahía Brasil. 15-35 pp.
- SAGARPA. 2010. Retos y oportunidades del sistema agroalimentario de México en los próximos 20 años. <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/pablo/retosyopportunidades.pdf>.
- Samson, R. A.; Evans, H. C. y Latgé, J. P. 1988. *Atlas of entomopathogenic Fungi*. Primer edición: Springer Science y Business Media. New York. 5-17 pp.
- Sánchez, S. E. M.; Humber, R. A. y Freitas, A. L. 2011. El complejo *Entomophaga grylli* (Fresenius 1856) Batko (Zygomycetes: Entomophthorales) infectando saltamontes (Orthoptera: Acrididae) en Ilhéus (Bahia). *Entomotropica (Brasil)*. 24(2):71-81.
- Su, J. C.; Debinski, D. M.; Jakubauskas, M. E. y Kindscher, K. 2004. Beyond species richness: Community similarity as a measure of cross-taxon congruence for coarse-filter conservation. *Conservation Biology (United States)*. 1(18):167-173.
- Tamayo-Mejía, F. 2009. Control biológico de *Sphenairum purpurascens* (Charpentier) y *Melanoplus differentiales* (Thomas) (Orthoptera: acrididae) con *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin. Guanajuato, México. *Vedalia (México)*. 13(2):85-90.
- Toledo, V. 2010. La biodiversidad de México: Inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural. Primera edición. FCE CONACULTA. México. 356 p.
- Uribe-González, E., y Santiago-Basilio, M. Á. 2012. Contribución al conocimiento de enemigos naturales del chapulín (Orthoptera: Acridoidea) en el estado de Querétaro, México. *Acta Zoológica Mexicana (México)*. 1(28):133-144.
- Van Huis, A. 1997. Manipulating crop diversity to control pest. *Entomology*. 26th International Course on Integrated Pest Management. Wageningen, the Netherlands. 21-22 pp.
- Vidal, J., Carbajal, A., Sisniegas, M., y Bobadilla, M. 2008. Efecto tóxico de *Argemone subfusiformis* Ownb. y *Tagetes patula* Link sobre larvas del IV estadio y pupas de *Aedes aegypti* L. *Revista Peruana de Biología (Perú)*. 2(15):103-110.