

LIBERACIÓN DE *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) Y MANEJO PARA EL CONTROL DE *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) EN CULTIVO DE SORGO

RELEASE OF *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) AND MANAGEMENT TO CONTROL *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) IN SORGHUM

Martín Palomares-Pérez*, Manuel Bravo-Núñez, Hugo C. Arredondo-Bernal

Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, Km 1.5 Carretera Tecomán-Estación
FFCC, Colonia Tepeyac, Colima México. C.P. 28110. (mpalomares@colpos.mx), (menobra-
vo81@gmail.com), (hcesar_64@yahoo.com.mx)

RESUMEN

Melanaphis sacchari es una plaga de reciente introducción en México y puede causar hasta 100% de pérdidas al cultivo de sorgo (*Sorghum vulgare*). La estrategia del manejo integrado de este pulgón incluye el uso de enemigos naturales, por tal motivo, para colaborar en la problemática ocasionada por este insecto, se planteó el objetivo de evaluar el efecto de la liberación de *Chrysoperla externa* sobre la población de *M. sacchari* en el cultivo de sorgo en ambiente natural de cultivo e invernadero. La hipótesis es que la densidad poblacional de *M. sacchari* y el número de plantas de sorgo infestadas es menor al liberar a *C. externa*. La liberación de *C. externa* se evaluó en el cultivo de sorgo en condiciones naturales (campo) y condiciones semicontroladas (invernadero). La densidad inicial en campo fue 20 y la final 153.29 ± 44.52 y 568.26 ± 151.87 pulgones por planta en el tratamiento con *C. externa* y en el tratamiento sin liberación. La diferencia entre los tratamientos fue significativa ($p \leq 0.012$ y $p = 0.023$). El promedio de plantas infestadas en campo fue menor al testigo 8.71 ± 2.28 y 19.35 ± 4.65 . La densidad poblacional en invernadero inició con 15 pulgones por planta y aumentó exponencialmente hasta $10\,716 \pm 3961$, $16\,136 \pm 1092$, $11\,819 \pm 496$, y $20\,612 \pm 520$ en los tratamientos con *C. externa* y $2\,290\,680 \pm 1693$, y $3\,632\,040 \pm 3179$ en los tratamientos sin *C. externa*. El número de plantas infestadas fue menor en los tratamientos con *C. externa* (139, 221, 128 y 156) que en los tratamientos sin *C. externa* (3240 ambos tratamientos). Hubo diferencia significativa entre las densidades poblacionales ($p \leq 0.001$) y entre el número de plantas infestadas ($p = 0.0001$). Por lo tanto, *C. externa* controla

ABSTRACT

Melanaphis sacchari is a pest recently introduced in Mexico and can cause up to 100% of losses to the sorghum crop (*Sorghum vulgare*). The integrated management strategy of this aphid includes the use of natural enemies, for this reason, in order to contribute to solve the problems caused by this insect, the objective was to evaluate the effect of the release of *Chrysoperla externa* on the population of *M. sacchari* in the cultivation of sorghum under natural environments of cultivation and greenhouse. The hypothesis is that the population density of *M. sacchari* and the number of infested sorghum plants is lower when *C. externa* is released. The release of *C. externa* was evaluated in sorghum cultivation under natural conditions (field) and semi-controlled conditions (greenhouse). The initial field density was 20 and final density was 153.29 ± 44.52 and 568.26 ± 151.87 aphids per plant in the treatment with *C. externa* and in the treatment without release. The difference between the treatments was significant ($p \leq 0.012$ and $p = 0.023$). The average number of infested plants in the field was less than the control 8.71 ± 2.28 and 19.35 ± 4.65 . Greenhouse population density started with 15 aphids per plant and increased exponentially to $10\,716 \pm 3961$, $16\,136 \pm 1092$, $11\,819 \pm 496$, and $20\,612 \pm 520$ in the treatments with *C. externa* and $2\,290\,680 \pm 1693$, and $3\,632\,040 \pm 3179$ in the treatments without *C. externa*. The number of infested plants was lower in the treatments with *C. externa* (139, 221, 128 and 156) than in the treatments without *C. externa* (3240 both treatments). There was a significant difference between the population densities ($p \leq 0.001$) and between the number of infested plants ($p = 0.0001$). Therefore, *C. externa* controls *M. sacchari* only when combined with crop management. These results provide information for the integrated management of this pest and establish the problem of its control due to its great reproductive capacity.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: noviembre, 2018. Aprobado: febrero, 2019.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 54: 435-444. 2020.

a *M. sacchari* sólo cuando se combina con el manejo del cultivo. Estos resultados aportan información para el manejo integrado de esta plaga y establecen la problemática de su control debido a su gran capacidad reproductiva.

Palabras clave: pulgón amarillo, control biológico, sorgo, manejo del cultivo, crisópido depredador, *Chrysoperla externa*.

INTRODUCCIÓN

El pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* (Zehntner 1897) (Hemiptera: Aphididae) del sorgo (*Sorghum vulgare* L.) es una especie que se introdujo a México en el 2013 (SENASICA, 2014). El problema del pulgón se debe principalmente a la reducción de la calidad de sorgo en cultivo (Peña-Martínez *et al.*, 2015), y afecta el rendimiento entre 78 y 100% (López-Gutiérrez *et al.*, 2016). Esta especie puede desarrollar resistencia a diferentes productos químicos como Imidacloprid, Sulfoxaflor, Spirotetramat, Thiametoxam y Metamidofos, por lo cual el control biológico es una alternativa viable contra el pulgón (Hernández-Bautista *et al.*, 2016).

En el 2015 en Colima, México, se confirmó la presencia del pulgón *M. sacchari* sobre los cultivos de sorgo y, además, la actividad del insecto *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) (Hagen, 1861). Este insecto es un depredador con amplia distribución, presencia de adultos todo el año, potencial para adaptarse a varios ambientes de cultivo, resistencia a numerosos plaguicidas y fácil de criar en cautiverio (Medina *et al.*, 2003); presenta voracidad en estado larval y consume una amplia variedad de insectos de cuerpo blando, especialmente áfidos (Soto e Iannacone, 2008). *C. externa* en sus estadios larva 3 y larva 2, tiene la capacidad de consumir en promedio cerca de 80 individuos de *M. sacchari* en 24 h y completar su ciclo biológico al alimentarse únicamente con este pulgón (Palomares-Pérez *et al.*, 2019).

Las estrategias del manejo integrado de *M. sacchari*, incluyen el uso de enemigos naturales y, por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la liberación de *C. externa* sobre la población de *M. sacchari* en el cultivo de sorgo en ambiente natural de cultivo e invernadero. La hipótesis fue que la densidad poblacional de *M. sacchari*, y el número de plantas de sorgo (*Sorghum vulgare* L.) infestadas disminuye al liberar a *C. externa*.

Key words: sugarcane aphid, biologic control, sorghum, crop management, predator chrysopid, *Chrysoperla externa*.

INTRODUCTION

The sugarcane aphid *Melanaphis sacchari* (Zehntner 1897) (Hemiptera: Aphididae) of sorghum (*Sorghum vulgare* L.) is a species that was introduced to Mexico in 2013 (SENASICA, 2014). The problem of the aphid is mainly due to the reduction in the quality of sorghum in cultivation (Peña-Martínez *et al.*, 2015), and affects yields between 78 and 100% (López-Gutiérrez *et al.*, 2016). This species can develop resistance to different chemical products such as Imidacloprid, Sulfoxaflor, Spirotetramat, Thiametoxam and Methamidophos, so biological control is a viable alternative against the aphid (Hernández-Bautista *et al.*, 2016).

In 2015 in Colima, Mexico, the presence of the *M. sacchari* aphid was confirmed on sorghum crops and, in addition, the activity of the *Chrysoperla externa* insect (Neuroptera: Chrysopidae) (Hagen, 1861). This insect is a predator with a wide distribution, presence of adults all year round, potential to adapt to several cultivation environments, resistance to numerous pesticides and easy to breed in captivity (Medina *et al.*, 2003). It has voracity in the larval stage and consumes a wide variety of soft-bodied insects, especially aphids (Soto and Iannacone, 2008). *C. externa* in stages larva 3 and larva 2 has the capacity to consume an average of about 80 individuals of *M. sacchari* in 24 h and complete their life cycle by feeding only on this aphid (Palomares-Pérez *et al.*, 2019).

Integrated management strategies for *M. sacchari* include the use of natural enemies and, therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the release of *C. externa* on the population of *M. sacchari* in the cultivation of sorghum in a natural growing environment and greenhouse. The hypothesis was that the population density of *M. sacchari*, and the number of infested sorghum plants (*Sorghum vulgare* L.) decreases when *C. externa* is released.

MATERIALS AND METHODS

The collection of *C. externa* and *M. sacchari* was carried out in sorghum plots located in the community of Tecuanillo,

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolecta de *C. externa* y *M. sacchari* se efectuó en parcelas de sorgo localizadas en la comunidad de Tecuanillo, municipio de Tecomán, Colima, México (18° 51' 30.37" N, 103° 52' 52.03" O y 15 m de altitud). Por medio de caracteres morfológicos externos e internos se identificó a *C. externa* usando las claves dicotómicas correspondientes (Brooks y Barnard, 1990; Brooks, 1994). La identificación de *M. sacchari* se realizó con el análisis molecular por medio de la extracción de ADN genómico con el kit DNeasy® Blood Tissue (QIAGEN®, CA, USA). Los insectos identificados se depositaron en la Colección de Insectos Entomófagos del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CIE-CNRCB). Ya confirmada la especie, se estableció la colonia de *C. externa* con la metodología implementada en el departamento de Insectos Entomófagos (IE) del CNRCB (Palomares-Pérez *et al.*, 2017).

El estudio se realizó con dos pruebas; la primera en condiciones naturales (campo) y la segunda en condiciones semicontroladas (invernadero). Los pulgones utilizados en condiciones semicontroladas se criaron en plantas de *S. vulgare* sembradas en macetas de 5 L ubicadas en los invernaderos del CNRCB.

Condiciones naturales

La evaluación de campo se realizó del 21 de enero al 12 de mayo del 2016 en un terreno recién sembrado de *S. vulgare* ubicado en el municipio Tecomán, Colima, México (18° 46' 14.92" N, 103° 47' 01.98" O y 6 m de altitud). El terreno presentó una barrera natural de bugambillas (*Bougainvillea* sp.) de 1.5m de altura que lo divide en dos superficies de 0.25 ha cada una. La primera se utilizó para el tratamiento con liberación de larvas del segundo instar de *C. externa* (Palomares-Pérez *et al.*, 2016) y la segunda, como tratamiento sin liberación.

El monitoreo poblacional de *M. sacchari* se realizó en 100 plantas seleccionadas al azar. El monitoreo fue cada 8 d durante todo el ciclo del cultivo, con datos de la Dirección General de Sanidad Vegetal, que estableció el umbral económico en 50 pulgones por planta (Calero-Hortelano, 2018). Al considerar el potencial reproductivo de *M. sacchari* (Rensburg, 1973) se decidió evaluar el umbral siguiente: contabilizar $\geq 5\%$ plantas infestadas con > 10 pulgones por planta. Por lo tanto, las liberaciones de los crisópidos se hicieron por semana con 1000 larvas del segundo instar de *C. externa* en el foco de infestación (Palomares-Pérez *et al.*, 2016).

La liberación se realizó durante todo el ciclo del cultivo hasta completarse el llenado del grano. Las larvas se distribuyeron en forma radial a razón de 20 individuos cada 4 m (Palomares-Pérez *et al.*, 2016), hacia los cuatro puntos cardinales. La densidad de

municipality of Tecomán, Colima, Mexico (18° 51' 30.37" N, 103° 52' 52.03" W and 15 m altitude). By means of external and internal morphological characters, *C. externa* was identified using the corresponding dichotomous keys (Brooks and Barnard, 1990; Brooks, 1994). The identification of *M. sacchari* was performed by molecular analysis through genomic DNA extraction with the DNeasy® Blood Tissue Kit (QIAGEN®, CA, USA). The identified insects were deposited in the entomophagous insect collection (CIE) under the Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB). Once the species was confirmed, the colony of *C. externa* was established with the methodology implemented in the department of Entomophagous Insects (IE) under the CNRCB (Palomares-Pérez *et al.*, 2017).

The study was carried out with two tests: the first in natural conditions (field) and the second in semi-controlled conditions (greenhouse). Aphids used in semi-controlled conditions were raised in *S. vulgare* plants planted in 5 L pots located in the CNRCB greenhouses.

Natural conditions

The field evaluation was conducted from January 21 to May 12, 2016, in a newly planted *S. vulgare* field located in the municipality of Tecomán, Colima, Mexico (18° 46' 14.92" N, 103° 47' 01.98" W and 6 m altitude). The terrain presented a natural barrier of bougainvillea (*Bougainvillea* sp.) of 1.5m high that divides the whole in two surfaces each of 0.25 ha. The first one was used for the treatment with larvae release of the second instar of *C. externa* (Palomares-Pérez *et al.*, 2016) and the second one, as a treatment without release.

Population monitoring of *M. sacchari* was carried out on 100 plants selected randomly. Monitoring was done every 8 d during the whole crop cycle, with data from the Dirección General de Sanidad Vegetal, which operates plant health regulation in Mexico, and established the economic threshold at 50 aphids per plant (Calero-Hortelano, 2018). After considering the reproductive potential of *M. sacchari* (Rensburg, 1973) it was decided to evaluate the following threshold: count $\geq 5\%$ infested plants with > 10 aphids per plant. Therefore, the releases of chrysopids were made per week with 1000 larvae of the second instar of *C. externa* in the infestation focus (Palomares-Pérez *et al.*, 2016).

Release was made during the whole crop cycle until grain filling was completed. The larvae were distributed in a radial pattern at a rate of 20 individuals every 4 m (Palomares-Pérez *et al.*, 2016), towards the four cardinal points. The density of aphids was recorded before each release using the scale proposed by Bowling *et al.* (2015).

pulgones se registró antes de cada liberación con el uso de la escala propuesta por Bowling *et al.* (2015).

El manejo del cultivo fue adelantar 15 d la fecha de siembra, eliminar residuos anteriores de cosecha, una aplicación de productos químicos (Diazinon, Permetrina e Imidacloprid) contra el pulgón amarillo y registrar la presencia de los enemigos naturales de *M. sacchari*.

El estadístico Shapiro-Wilk ($p \leq 0.0029$) indicó que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad; por lo tanto, el análisis estadístico para determinar diferencia entre los tratamientos incluyó la prueba de Wilcoxon y la prueba de comparación de medias.

Condiciones semicontroladas

El estudio se realizó del 1 de agosto al 20 de septiembre del 2017, en un invernadero del CNRCB Tecmán, Colima México. El invernadero se dividió en seis parcelas por igual de 36 m². Cuatro se usaron como tratamiento con liberación de *C. externa* y dos sin liberación. En cada área se sembraron 3240 plantas de *S. vulgare*. Cuando las plantas tenían 30 cm de altura, se infestó una planta por área con 15 individuos del primero al cuarto instar de *M. sacchari*, y 24 h después se liberaron en el foco de infestación 30 larvas del segundo instar distribuidas en un arreglo cinco de oros. La distancia entre cada punto fue 1 m con seis larvas en cada punto. Las liberaciones se realizaron cada 8 d. La densidad de pulgones por planta y el número de plantas infestadas se registró con la escala antes mencionada.

Desde la siembra, hasta el llenado de grano, se liberaron 10 adultos cada 8 d. Para evitar la emigración, se colocó dieta artificial (miel, levadura de cerveza, polen, ácido ascórbico y espirulina) (Palomares-Pérez *et al.*, 2017) sobre una cartulina de papel bond de 25 cm² en la parte superior de una estaca de 40 cm de altura y ubicada en la orilla de un surco.

Las labores culturales fueron adelantar la fecha de siembra, dos riegos superficiales por semana, aplicación de urea como fertilizante y dos aplicaciones de Previcur-N®.

El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro tratamientos y dos testigos. La variable respuesta fue la densidad población de *M. sacchari* y el número de plantas infestadas.

El estadístico Shapiro-Wilk ($p \leq 0.0001$) indicó que los datos no se ajustaron a la condición de normalidad, por lo cual se usó el

The crop management was to set the planting date 15 d in advance, to eliminate previous harvest residues, an application of commercial chemicals (Diazinon, Permethrin and Imidacloprid) against the sugarcane aphid and to record the presence of the natural enemies of *M. sacchari*.

The statistic Shapiro-Wilk ($p \leq 0.0029$) indicated that the data did not meet the assumptions of normality; therefore, statistical analysis to determine difference between treatments included the Wilcoxon test and the mean comparison test.

Semi-controlled conditions

The study was conducted from August 1 to September 20, 2017, in a greenhouse belonging to the CNRCB Tecmán, Colima Mexico. The greenhouse was divided into six equal plots of 36 m². Four were used as treatment with *C. externa* release and two without release. In each area 3240 plants of *S. vulgare* were planted. When plants were 30 cm high, one plant per area was infested with 15 individuals from the first to the fourth instar of *M. sacchari*, and 24 h later 30 larvae of the second instar were released in the infestation focus distributed in a quincuncial arrangement. The distance between each point was 1 m with six larvae at each point. The releases were made every 8 d. The density of aphids per plant and the number of infested plants was recorded with the above-mentioned scale.

From planting to grain filling, 10 adults were released every 8 d. In order to avoid migration, artificial diet (honey, beer yeast, pollen, ascorbic acid and spirulina) (Palomares-Pérez *et al.*, 2017) was placed on a 25 cm² bond paper cardboard on top of a 40 cm high stake placed at the edge of a furrow.

Cultivation practices were to set the planting date in advance, two surface irrigations per week, application of urea as fertilizer and two applications of Previcur-N®.

The experimental design was based on randomized blocks with four treatments and two controls. The response variable was the population density of *M. sacchari* and the number of infested plants.

The statistic Shapiro-Wilk ($p \leq 0.0001$) indicated that the data did not adjust to the condition of normality, so the Friedman non-parametric statistical analysis was used, with an error probability $\alpha=0.05$ and, according to significant difference, the mean value separation test ($p \leq 0.05$) was used.

análisis estadístico no paramétrico de Friedman, con una probabilidad de error $\alpha=0.05$ y, de acuerdo con diferencia significativa, se utilizó la prueba de separación de valores medios ($p\leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones naturales

Los insectos identificados como enemigos naturales de *M. sacchari* se presentaron de forma natural en los tratamientos. Esto coincidió con lo documentado por Rodríguez-Vélez *et al.* (2016). Ellos registraron la presencia de *Chrysoperla externa*, *Ceraeochrysa valida* (Banks, 1895) (Neuroptera: Chrysopidae), *Cycloneda sanguinea* L. 1763, *Coleomegilla maculata* (De Geen, 1775) y *Diomus* sp. (Coleoptera: Coccinellidae).

Chrysoperla externa se presenta de manera natural en la zona de estudio, por tal motivo y con la intención de que su progenie ejerciera depredación sobre la población de *M. sacchari*, la población adulta de *C. externa* se conservó desde la fecha de siembra (21 enero) hasta el llenado de grano (28 abril); para la evaluación de ≥ 30 adultos de *C. externa* en el tratamiento con liberación, la cantidad se ajustó con adultos criados en la colonia establecida.

El primer brote de *M. sacchari* se presentó el 11 de febrero en el tratamiento con liberación y 14 d después en el tratamiento sin liberación. La liberación de las larvas de *C. externa* inició desde el 25 de febrero hasta el llenado de grano, el 28 abril (Cuadro 1).

Un aumento de la población de *M. sacchari* ocurrió entre el 17 y 24 de marzo en ambos tratamientos (Cuadro 1), y 21 d después la población comenzó a decrecer. Entre el 28 de abril y 5 de mayo (después del llenado de grano), la densidad aumentó de nuevo, y el tratamiento con liberación presentó cantidad menor de individuos por planta y cantidad menor de plantas infestadas.

Este comportamiento se presentó de manera similar en ambos tratamientos (Figura 1) y también lo documentaron Vázquez-Navarro *et al.* (2017), quienes mencionaron dos aumentos de la población de *M. sacchari* con intervalos de 5 semanas uno del otro y con un decremento entre ellos. Esta conducta puede ser característica de los áfidos (Barrios-Díaz *et al.*, 2004) porque la temperatura y el incremento del área foliar de las plantas son factores que favorecen el desarrollo del pulgón amarillo (Salas-Araiza *et al.*, 2017), y es probable que el hacinamiento, las condi-

RESULTS AND DISCUSSION

Natural conditions

The insects identified as natural enemies of *M. sacchari* occurred naturally in the treatments. This coincided with that documented by Rodríguez-Vélez *et al.* (2016). They recorded the presence of *Chrysoperla externa*, *Ceraeochrysa valida* (Banks, 1895) (Neuroptera: Chrysopidae), *Cycloneda sanguinea* L. 1763, *Coleomegilla maculata* (De Geen, 1775) and *Diomus* sp. (Coleoptera: Coccinellidae).

Chrysoperla externa occurs naturally in the study area, for this reason and with the intention that its progeny would prey on the population of *M. sacchari*, the adult population of *C. externa* was conserved from the date of planting (January 21) until grain filling (April 28); for the evaluation of ≥ 30 adults of *C. externa* in the release treatment, the quantity was adjusted by the adults raised in the established colony.

The first outbreak of *M. sacchari* occurred on February 11 in the treatment with release and 14 d later in the treatment without release. The release of *C. externa* larvae started from February 25 until grain filling on April 28 (Table 1).

An increase in the population of *M. sacchari* occurred between March 17 and 24 in both treatments (Table 1), and 21 d after the population started to decrease. Between April 28 and May 5 (after grain filling), population density increased again, and the treatment with release showed lower number of individuals per plant and lower number of infested plants.

This behavior was similar in both treatments (Figure 1) and was also documented by Vázquez-Navarro *et al.* (2017), who mentioned two increases in the population of *M. sacchari* with intervals of 5 weeks from each other and with a decrease between them. This behavior may be characteristic of aphids (Barrios-Díaz *et al.*, 2004) because temperature and the increase in leaf area of the plants are factors promoting the development of sugarcane aphid (Salas-Araiza *et al.*, 2017); it is likely that overpopulation, natural conditions and the activity of natural enemies cause the decrease in population. Wilcoxon's statistical test, $\alpha=0.05$, showed a difference in *M. sacchari* population density between both treatments ($p=0.012$ and 0.024), which indicates that the

Cuadro 1. Densidad poblacional de *Melanaphis sacchari* por planta y cantidad de plantas infestadas en los tratamientos con y sin liberación de *Chrysoperla externa* en condiciones naturales en el cultivo de sorgo en el municipio Tecomán, Colima, México.

Table 1. Population density of *Melanaphis sacchari* per plant and quantity of infested plants in treatments with and without release of *Chrysoperla externa* under natural conditions in sorghum at the municipality of Tecomán, Colima, Mexico.

Fecha de evaluación	No. de pulgones		Plantas infestadas	
	Con liberación	Sin liberación	Con liberación	Sin liberación
21/01/2016	0	0	0	0
28/01/2016	0	0	0	0
04/02/16	0	0	0	0
11/02/16	3	0	1	0
18/02/16	7	0	1	0
25/02/16	23	15	7	1
03/03/16	22	24	5	3
10/03/16	34	28	7	5
17/03/16	120	40	6	8
24/03/16	223	50	7	9
31/03/16	425	1022	9	15
07/04/16	421	1378	7	40
14/04/16	141	1478	8	40
21/04/16	27	1122	5	35
28/04/16	50	707	8	30
05/05/16	200	807	15	35
12/05/16	450	850	36	50
Promedio	153.29 ± 44.52	537.21 ± 151.87	8.71 ± 2.28	19.35 ± 4.65

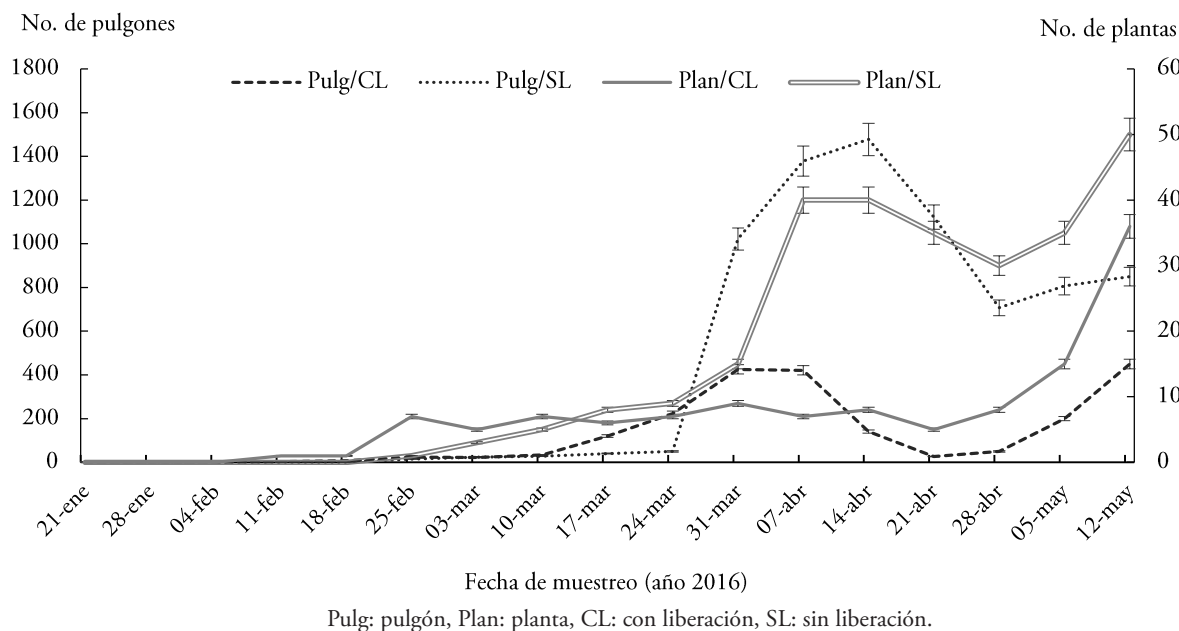


Figura 1. Densidad poblacional de *Melanaphis sacchari* con y sin liberación de *Chrysoperla externa* en el cultivo de sorgo en condiciones naturales.

Figure 1. Population density of *Melanaphis sacchari* with and without release of *Chrysoperla externa* in sorghum under natural conditions.

ciones naturales y la actividad de los enemigos naturales originen la disminución de la población.

La prueba estadística de Wilcoxon con $\alpha=0.05$ indicó diferencia en la densidad de la población de *M. sacchari* entre ambos tratamientos ($p=0.012$ y 0.024), lo cual indica que la liberación semanal de 1000 larvas del segundo instar de manera directa en el foco de infestación, así como mantener 30 adultos de *C. externa* durante todo el ciclo del cultivo, redujeron la población de *M. sacchari*, en un efecto combinado de los enemigos naturales registrados y las labores realizadas. White *et al.* (2001) mencionaron que *M. sacchari* en la caña de azúcar está sujeto al control biológico por patógenos, depredadores y parasitoides y, junto con los factores ambientales, a menudo pueden ser los responsables de la disminución inicial de la población.

Además, Lastra y Gómez (1997) citaron que la caña de azúcar posee una numerosa fauna benéfica que evita que las poblaciones de este pulgón en alcancen niveles de daño económico. Sin embargo, ya que las poblaciones de *M. sacchari* en la caña de azúcar son menos abundantes (López-Gutiérrez *et al.*, 2016), Cortez-Mondaca (2016) señaló que la diversidad y abundancia elevada de enemigos naturales en el cultivo del sorgo, no reducen la población de este pulgón ni evitan el daño que provoca, y sugirió desarrollar estudios enfocados en implementar el control biológico por aumento, de alguna o varias especies de sus enemigos naturales, tal como se realizó en el presente estudio.

Condiciones semicontroladas

En los tratamientos con liberación se observa que la densidad poblacional de *M. sacchari* se concentra en los focos de infestación. En los tratamientos sin liberación, la infestación se distribuye en toda la superficie. Entonces, el confinamiento de los pulgones por parte de los crisópidos permite usar métodos de control complementarios al control biológico.

A los 21 d de evaluación, la densidad de *M. sacchari* creció de manera exponencial, hubo diferencias estadísticas en la densidad poblacional ($p\leq 0.05$) y en el número de plantas infestadas ($p\leq 0.05$); los tratamientos con *C. externa* presentaron las cantidades más bajas en ambas evaluaciones (Cuadro 2).

Aunque el análisis estadístico mostró diferencias, se debe considerar que los tratamientos con y sin

weekly release of 1000 larvae from the second instar directly at the infestation focus as well as maintaining 30 adults of *C. externa* throughout the crop cycle, reduced the *M. sacchari* population, in a combined effect of the natural enemies present and cultivation practices. White *et al.* (2001) mentioned that *M. sacchari* in sugarcane is subject to biological control by pathogens, predators and parasitoids and, along with environmental factors, those organisms can often be responsible for the initial population decline.

In addition, Lastra and Gómez (1997) cited that sugarcane has numerous beneficial fauna that prevents this aphid populations from reaching levels of economic damage. However, since the populations of *M. sacchari* in sugarcane are less abundant (López-Gutiérrez *et al.*, 2016), Cortez-Mondaca (2016) pointed out that the diversity and high abundance of natural enemies in the cultivation of sorghum do not reduce the population of this aphid nor avoid the damage it causes, and suggested developing studies focused on implementing biological control by increasing, one or some species of its natural enemies, as it was done in this study.

Semi-controlled conditions

In the treatments with release it is observed that the population density of *M. sacchari* is concentrated in the infestation foci. In treatments without release, the infestation is distributed over the entire surface. Thus, the confinement of aphids by chrysopids allows the use of other control methods in addition to biological control.

At 21 d of evaluation, the density of *M. sacchari* grew exponentially, there were statistical differences in population density ($p\leq 0.05$) and in the number of infested plants ($p\leq 0.05$); treatments with *C. externa* presented the lowest quantities in both evaluations (Table 2).

Although statistical analysis showed differences, it should be considered that treatments with and without release are above the economic threshold (Calero-Hortelano, 2018), due to the high reproductive capacity of *M. sacchari* that can reach up to 30 thousand individuals per plant (López-Gutiérrez, *et al.*, 2016). According to Rodríguez and Terán (2015), natural enemies do not reduce the population of *M. sacchari* below this threshold, but Hernández-Arenas *et al.* (2016) indicated that

Cuadro 2. Poblacional total de *Melanaphis sacchari* y cantidad de plantas infestadas en los tratamientos con y sin liberación de *Chrysoperla externa* en condiciones semicontroladas en los invernaderos del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico.

Table 2. Total population of *Melanaphis sacchari* and quantity of infested plants in treatments with and without release of *Chrysoperla externa* under semi-controlled conditions in the greenhouses of Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB).

Tratamiento	Densidad de pulgones	Plantas infestadas
R1	10 716 ± 3 961	139 ± 59.80
R2	16 136 ± 1 092	221 ± 95.63
R3	11 819 ± 496	128 ± 55.26
R4	20 612 ± 520	156 ± 67.81
T1	2 290 680 ± 1 693	3 240 ± 1 443.92
T2	3 632 040 ± 3 179	3 240 ± 1 441.40

R = tratamiento con liberación de *C. externa*, T = tratamiento sin liberación de *C. externa*. ± desviación estándar ♦ R = treatment with release of *C. externa*, T = treatment without release of *C. externa*. ± standard deviation.

liberación están sobre el umbral económico (Calero-Hortelano, 2018), debido a la alta capacidad de reproducción de *M. sacchari* que puede alcanzar hasta 30 000 individuos por planta (López-Gutiérrez, *et al.*, 2016). De acuerdo con Rodríguez y Terán (2015), los enemigos naturales no disminuyen la población de *M. sacchari* por debajo de este umbral, pero Hernández-Arenas *et al.* (2016) indicaron que el control biológico, con el uso de enemigos naturales, es un método menos eficiente contra *M. sacchari*, pero que puede reducir su población, tal como se registró en nuestro estudio. Los tratamientos con liberación presentaron la densidad poblacional menor del áfido y la cantidad menor de plantas infestadas (Figura 2).

CONCLUSIONES

En condiciones naturales, la población del pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) en sorgo puede regularse por los enemigos naturales. Esto se debe ejercer con cuidado porque, según las condiciones del ambiente y el manejo del cultivo, las poblaciones del patógeno pueden no afectarse en época temprana, y en su lugar afectar el cultivo.

La reproducción alta del pulgón evita que el crisópido depredador (*Chrysoperla externa*) lo controle cuando actúa de manera aislada. Por tal razón se recomienda el control biológico y el manejo del cultivo.

biological control, with the use of natural enemies, is a less efficient method against *M. sacchari*, but it can reduce its population, as it was recorded in our study. Treatments with release presented the lowest population density of the aphid and the lowest quantity of infested plants (Figure 2).

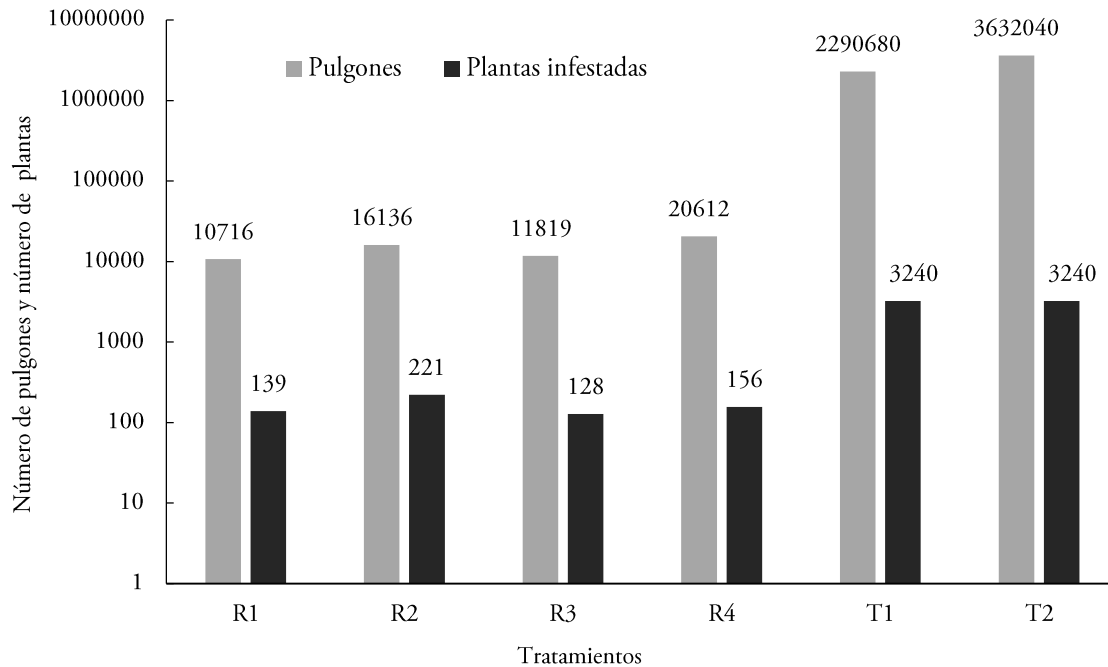
CONCLUSIONS

Under natural conditions, the population of the sugarcane aphid (*Melanaphis sacchari*) in sorghum can be regulated by natural enemies. This should be practiced with care because, depending on environmental conditions and crop management, populations of the pathogen may not be affected at early stages, but affect the crop instead.

Aphids high reproduction prevents the predatory chrysopid (*Chrysoperla externa*) from controlling them when chrysopid acts in isolation. This is the reason why biological control and crop management is recommended.

Release of the second instar of the chrysopid in the infestation foci stops the population growth of the aphid; so this biological instar is preferential for the release.

If the predator-prey relationship, the release schedule and the adequate release proportion are established on each agricultural area, *C. externa* can



R = tratamiento con liberación de *C. externa*, T = tratamiento sin liberación de *C. externa*.

§ Gráfico en escala logarítmica, base 10.

Figura 2. Estructura poblacional total de *Melanaphis sacchari* y cantidad de plantas infestadas en los tratamientos con y sin liberación de *Chrysoperla externa* en condiciones semicontroladas en los invernaderos del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico.

Figure 2. Total population structure of *Melanaphis sacchari* and quantity of infested plants in treatments with and without release of *Chrysoperla externa* under semi-controlled conditions in the greenhouses of Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB).

La liberación del segundo ínstar del crisópido en los focos de infestación detiene el crecimiento poblacional del pulgón; de modo que este ínstar biológico es el preferente para su liberación.

Si la relación depredador-presa, el calendario de liberaciones y la proporción adecuada de liberación se establecen en cada zona agrícola, *C. externa* puede actuar como agente reductor de la población de *M. Sacchari*; y eso permitirá usar otro método complementario de control.

LITERATURA CITADA

- Barrios-Díaz, B., R. Alatorre-Rosas, H. G. Calyecac-Cortero, y N. Bautista-Martínez. 2004. Identificación y fluctuación poblacional de plagas de col (*Brassica oleracea* var. capitata) y sus enemigos naturales en Acatzingo, Puebla. Agrociencia 38: 239 - 248.
- Bowling, R., M. Brewer, A. Knutson, S. Biles, M. Way, y D. Sekula-Ortiz. 2015. Monitoreo del pulgón Amarillo en sorgo en el sur, centro y oeste de Texas. Texas A & M Agrilife. NTO-043S. 2/16.

act as a reducing agent on *M. Sacchari* population; and that will allow using another complementary control method.

—End of the English version—



- Brooks, S. J. 1994. A taxonomic review of the common green lacewing genus *Chrysoperla* (Neuroptera: Chrysopidae). The Bulletin of the British Museum Natural History (Entomology) 63: 137 - 210.
- Brooks, S. J., and P. Barnard C. 1990. The green lacewings of the world: a generic review (Neuroptera: Chrysopidae). The Bulletin of the British Museum Natural History (Entomology) 59: 117 - 286.
- Calero-Hortelano, M. E. 2018. Manejo integrado de plagas del sorgo. Comité Estatal de Sanidad Vegetal en el Estado de Guanajuato (CESAVEG). <http://www.cesaveg.org.mx/new/presentaciones/PlaticasCBJul15/Manejo%20Integrado%20de%20Plagas%20del%20Sorgo.pdf> (Consulta: octubre 2018)

- Cortez-Mondaca, E., J. Pérez-Márquez, y F. A. Valenzuela-Escoboza. 2016. Relación de enemigos naturales del pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner) en el norte de Sinaloa. https://www.researchgate.net/publication/314793630_RELACION_DE_ENEMIGOS_NATURALES_DEL_PULGON_AMARILLO_DEL_SORGO_Melanaphis_sacchari_Zehntner_EN_EL_NORTE_SINALOA (Consulta: enero 2019).
- Hernández-Arenas, M., A. Trujillo-Campos, L. Hernández-Vázquez, E. J. Barrios-Gómez, y S. G. Ramírez-Rojas. 2016. Incidencia y densidad de población de pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari* Zehntner) en híbridos de sorgo en Morelos, México. *Investigación Agropec.* 13: 132 - 140.
- Hernández-Bautista, O., M.A. Arredondo-Pérez, E. Cerna-Chávez, Y. M. Ochoa-Fuentes, y F. E. Navarro-Campos. 2016. Cuantificación de enzimas detoxificativas en pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*) en Saltillo, México. *Rev. Ciencias Natur. Agropec.* 3: 5 - 12.
- Lastra, L. A., y L. A. Gómez. 1997. Observaciones del ciclo de vida de la escama blanca *Duplacionaspis divergens* (Green) (Homoptera: Diaspididae) y reconocimiento de enemigos naturales *In*: Bustillo-Pardey A. E. 2011. Parasitoides, depredadores y entomopatógenos que afectan las plagas de la caña de azúcar. Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar en Colombia (CENICANA). Santiago de Cali, Colombia. http://www.cenicana.org/pdf_privado/no_clasificacion/6481.pdf (Consulta: enero 2019).
- López-Gutiérrez, D. R., M. D. Salas-Araiza, O. A. Martínez-Jaime, y E. Salazar-Solís. 2016. Géneros de Aphididae (Hymenoptera) parasitando al pulgón amarillo de la caña de azúcar *Melanaphis sacchari* Zehntner, 1897 (Hemiptera: Aphididae) en Irapuato, Guanajuato, México. *Entomol. Mex.* 3: 365 - 368.
- Medina, P., F. Budia, P. Del Estal, and E. Viñuela. 2003. Effects of three modern insecticides, pyriproxifen, spinosad and tebufenozide, on survival and reproduction of *Chrysoperla carnea* adults. *Ann. Appl. Biol.* 142: 55 - 61.
- Palomares-Pérez, M., M. A. Ayala-Zermeño, B. Rodríguez-Vélez Belez, J. J. De la Cruz-Llanas, J. A. Sánchez-González, H. C. Arredondo-Bernal, y E. G. Córdoba-Urtiz. 2016. Abundancia y depredación de *Ceraeochrysa valida* (Neuroptera: Chrysopidae) sobre *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en Colima, México. *Chil. J. Agric. & Anim. Sci., ex Agro-Ciencia* 32: 234 - 243.
- Palomares-Pérez, M., M. I. Barajas-Romero, y H. C. Arredondo-Bernal. 2017. Producción masiva de *Ceraeochrysa valida* (Banks) (Neuroptera: Chrysopidae) a 30°C. *Chil. J. Agric. & Anim. Sci., ex Agro-Ciencia* 33: 187-191.
- Palomares-Pérez, M., M. Bravo-Núñez y H. C. Arredondo-Bernal. 2019. Functional Response of *Chrysoperla externa* (Hagen 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) Fed with *Melanaphis sacchari* (Zehntner 1897) (Hemiptera: Aphididae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 121(2): 256-264.
- Peña-Martínez, R., A. I. Muñoz-Viveros, Ma. G. Ramos-Espinoza, y R. Terrón-Sierra. 2015. Listado de plantas hospedantes del complejo *Melanaphis sacchari/sorghii* (Hemiptera: Aphididae), registros internacionales y potenciales en México. *Entomol. Mex.* 2: 582 - 587.
- Rensburg, N. J. V. 1973. Notes on the occurrence and biology of the sorghum aphid in South Africa. *J. Entomol. Soc. South. Afr.* 36: 293 - 298.
- Rodríguez-Vélez, J. M., B. Rodríguez-Vélez, M. A. Sarmiento-Cordero, M. Palomares-Pérez, y H. C. Arredondo-Bernal. 2016. Species of coccinellidae (Coleoptera: Cucujoidea) associated with *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) in Tamaulipas Mexico. *Entomol. News* 126: 97 - 105.
- Rodríguez, del B., L. A., and A. P. Terán. 2015. *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae): A new sorghum insect pest in Mexico. *Southw. Entomol.* 40: 433 - 434.
- Salas-Araiza, M. D., O. A. Martínez-Jaime, R. Guzmán-Mendoza, J. J. Guzmán-González, E. Salazar-Solís, y D. Sanzón-Gómez. 2017. Fluctuación poblacional del pulgón amarillo de la caña de azúcar *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae) en Irapuato, Guanajuato. *Entomol. Mex.* 4: 295 - 299.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2014. Pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* (Zehntner). Ficha técnica No. 43. SAGARPA. www.senasica.gob.mx/?doc=27915
- Soto, J., y J. Iannacone. 2008. Efecto de dietas artificiales en la biología de adultos de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Chrysopidae: Neuroptera). *Acta Zool. Mex. (nueva serie)* 24: 1 - 22.
- Vázquez-Navarro, J. M., B. Alicia Cisneros-Flores, y J. C. Carrillo-Aguilera, P. Román-Quiroz, y V. M. Almaráz-Valle. 2017. Estudio de seguimiento a una población de pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897) durante un año en un predio de la comarca lagunera, México. *Agrofaz* 17: 101-114.
- White, W. H., T. E. Reagan, and D. G. Hall. 2001. *Melanaphis sacchari* (Homoptera: Aphididae), a sugarcane pest new to Louisiana. *Fla. Entomol.* 84: 435 - 436.