



**REVISTA  
MEXICANA DE  
FITOSANIDAD**

Sección  
Artículo científico.  
1(3): Pp: 18–29  
Fecha de publicación:  
31-diciembre-2017.

Recibido:  
31-10-2017  
Aceptado:  
26-12-2017

Correos electrónicos  
<sup>2,1</sup>[alvarez.marcelino@inifap.gob.mx](mailto:alvarez.marcelino@inifap.gob.mx)  
<sup>2,2</sup>[garcia.concepcion@inifap.gob.mx](mailto:garcia.concepcion@inifap.gob.mx)  
<sup>1,1</sup>[rrcarreto@gmail.com](mailto:rrcarreto@gmail.com)  
<sup>1,2</sup>[fgodinezj@gmail.com](mailto:fgodinezj@gmail.com)

ISSN: 2448-9093

Edita  
Sociedad Mexicana de  
Fitosanidad.  
Calle Amado Nervo  
s/n, Tepatepec.  
Francisco I. Madero,  
Hidalgo. C. P. 42660.

Índice, resúmenes,  
abstracts, vols., en:  
[www.revimexfito.com.mx](http://www.revimexfito.com.mx)

© 2017 - Revista  
Mexicana de Fitosanidad

## MODELACIÓN DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL DE MOSCA PINTA (*Aeneolamia* spp.) EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)

MARCELINO ÁLVAREZ-CILVA<sup>2,1</sup>, MARÍA GUZMÁN-MARTÍNEZ<sup>1\*</sup>, JOSÉ C. GARCÍA-  
PRECIADO<sup>2,2</sup>, RAMÓN REYES-CARRETO<sup>1,1</sup> Y FLAVIANO GODÍNEZ-JAIMES<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Guerrero.  
Av. Lázaro Cárdenas, S/N, CU, C. P. 39087, Chilpancingo, Guerrero.  
<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,  
Campo Experimental Tecomán,  
km 35 Carretera Colima-Manzanillo, Tecomán, Colima, México.

\*Autor de correspondencia: [manguzgm@gmail.com](mailto:manguzgm@gmail.com).

### RESUMEN:

En el diseño de estrategias para el manejo y control eficiente de un insecto plaga, y reducir sus daños al cultivo, es de vital importancia conocer su dinámica poblacional y los factores ambientales que inciden en la misma. Por lo que en este trabajo se utilizó la distribución Binomial Negativa y los modelos lineales generalizados para estudiar el efecto de 27 factores ambientales en el crecimiento poblacional de adultos y ninfas de la mosca pinta (*Aeneolamia* spp.) en una variedad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) durante el ciclo resoca. De acuerdo a los resultados del estudio, el crecimiento poblacional de adultos está relacionado con la temperatura del suelo a los 10 y 15 cm de profundidad, la humedad gravimétrica del suelo a los 5 cm, la temperatura y la evaporación potencial; mientras que la población de ninfas está relacionada con la humedad gravimétrica a los 15 y 30 cm de profundidad del suelo, la precipitación acumulada y humedad relativa promedio.

**Palabras clave:** Distribución Binomial Negativa, Factores ambientales, Plagas agrícolas.

### Modeling population growth of pint fly (*Aeneolamia* spp.) in sugar cane (*Saccharum* spp.)

### ABSTRACT:

In the design of strategies for efficient management and control of a pest insect, and reduce its damage to the crop, it is vital to know its population dynamics and the environmental factors that affect it. So in this work the Negative Binomial distribution and the generalized linear models were used to study the effect of 27 environmental factors on the population growth of adults and nymphs of the pint fly (*Aeneolamia* spp.) in a variety of sugar cane (*Saccharum* spp.) during the cycle resoca. According to the results of the study, adult population growth is related to soil temperature at 10 and 15 cm depth, the gravimetric humidity of the soil at 5 cm, temperature and potential evaporation; while the population of nymphs is related to the gravimetric humidity at 15 and 30 cm of depth of the soil, the accumulated precipitation and the average relative humidity.

**Keys works:** Agricultural pests, Environmental factors, Negative Binomial distribution.

## INTRODUCCIÓN

La mosca pinta *Aeneolamia* spp., conocida también como salivazo, es una de las limitantes bióticas más importantes para el cultivo de la caña de azúcar en México, tanto por su amplia distribución, como por el nivel de daño que propicia. Su distribución abarca 12 de los 15 estados cañeros del país (López-Collado y Pérez, 2012; Flores-Cáceres, 1994). El salivazo se alimenta de las raíces superficiales del cultivo, así como de la savia foliar y tejido parenquimatoso, donde inyecta enzimas (amilasas u oxidasas) y aminoácidos que destruyen los cloroplastos, causando obstrucción de elementos vasculares del floema y necrosis gradual (Sáenz *et al.*, 1999). Lo que reduce el proceso fotosintético, e interfiere en el proceso de maduración acortando los internudos y el aumento en contenido de fibra.

La mosca pinta presenta metamorfosis paurometábola que se caracteriza por presentar los estados de huevo, ninfa y adulto en su ciclo biológico, y las ninfas tienen una forma similar al insecto adulto (Castillo-Zeno, 2006). Su dinámica poblacional está influenciada principalmente por condiciones climáticas, los primeros insectos aparecen pocos días después del inicio de las lluvias y se prolongan durante todo el periodo lluvioso, apareciendo picos poblacionales de ninfas y adultos de manera escalonada y superpuestas. De esta manera se presentan varias generaciones por año si existen condiciones de alta humedad en el suelo, o mal drenaje, siendo la humedad uno de los factores que más favorece a la plaga (Fontes *et al.*, 1995; Guagliumi, 1972; Martin *et al.*, 1995; Vargas-Picado, 1970).

En México a pesar de solo manifestarse durante la época de lluvias, la mosca pinta genera importantes pérdidas económicas en los cultivos de caña de azúcar, reduciendo hasta el 65 % el rendimiento, aun cuando se realizan actividades de control. Por lo que ha tomado importancia las acciones encaminadas a un mayor conocimiento del comportamiento de la plaga, en relación con los factores climáticos de las zonas donde se presenta, y cuyos resultados han evidenciado la intervención e interacción de algunos de ellos. Por ejemplo, la humedad relativa (Valle-Ramírez, 2015), la precipitación y la temperatura ambiental,

además de la humedad del suelo (Fernández-Marín, 2013; Ortiz-Laurel *et al.*, 2014; Olán-Laurel *et al.*, 2016; Pantaleón-Paulino y Gómez, 2016; Wallner, 1987). Así mismo, Zalom y Wilson (1982), encontraron que tanto en este como en otros organismos ectotérmicos, la temperatura influye directamente en su actividad y tasa de desarrollo al igual que otros organismos vivos. Pero los insectos son capaces de sobrevivir únicamente dentro de ciertos límites marcados por factores ambientales, y que dentro de este intervalo influyen a su vez el nivel de respuesta a la alimentación, la dispersión, la puesta o el desarrollo (Marco, 2001).

Se tiene conocimiento de que el crecimiento de una población puede ser estudiada a partir de los modelos para datos de conteo (Anscombe, 1949; Hilbe, 2011). En estudios de crecimiento poblacional de insectos plaga, se usan distribuciones como la Binomial, Binomial Negativa o Poisson, ya que permiten estudiar el número de individuos presentes en el tiempo o en el espacio. Varios trabajos sobre poblaciones biológicas de conteo utilizan la distribución Binomial Negativa, ya que esta toma en cuenta la sobre dispersión de los datos cuando la varianza de los datos es más grande que su media (Bliss y Fisher, 1953; Lawless, 1987; White y Bennetts, 1996). Hall *et al.* (1997), modelaron la dinámica poblacional de *Phyllocoptruta oleivora* en el cultivo de naranja mediante el uso la distribución Binomial Negativa. En otro contexto, García *et al.* (2006) propusieron un modelo de prevención de riesgo para mosca pinta, aplicando la metodología de árboles de fallas en el sistema, considerando variables climáticas y de manejo, y así determinar las variables que conducen al mayor daño propiciado por dicha plaga.

Con base a lo anterior, y con el fin de identificar las variables ambientales de mayor efecto sobre la aparición y el aumento de dichas poblaciones plaga en sus diferentes fases de desarrollo, en el trópico subhúmedo de Jalisco. Se utilizó la distribución Binomial Negativa para modelar y correlacionar el crecimiento poblacional de la mosca pinta (*Aeneolamia* spp.) en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con 27 factores ambientales ocurridos en la zona de estudio. Los resultados permitirán apoyar y orientar las actividades para un mejor manejo de la plaga en el campo cañero.

## MATERIALES Y MÉTODO

**Sitio de muestreo.** Se utilizó una parcela con una superficie de cuatro hectáreas, sembrada de caña de azúcar, con la variedad Mex 79-431 de ciclo resoca, ubicada en el trópico subhúmedo del estado de Jalisco a 300 msnm, en el municipio de Casimiro Castillo, Jalisco México. El suelo es franco arcilloso, con pH ligeramente ácido, características propicias para el desarrollo de la mosca pinta (Flores, 1994). En el interior del sitio de estudio (parcela) se seleccionaron ocho puntos mediante la técnica de muestreo directo continuo. En cada punto se marcaron cuatro cepas (plantas) y en cada una de ellas un cuadrante de 0.90 m<sup>2</sup>, en las que se contabilizó el número de adultos y ninfas de los estadios 2, 3, 4 y 5; obteniendo un total de 60 observaciones.

**Periodo de muestreo.** Los datos fueron tomados y registrados durante los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre del año 2010. El monitoreo de la plaga y de los factores climáticos se inició en la segunda quincena de julio y concluyó en la primera semana de noviembre, ya que durante dicho periodo prevalece la presencia de adultos y ninfas de mosca pinta, en la región antes mencionada. Durante el manejo agronómico y fitosanitario de la parcela se presentaron altas poblaciones de la plaga, por lo cual fue necesario realizar dos aplicaciones de insecticida (productos químicos): la primera el 2 de septiembre vía aérea y la segunda el 11 del mismo mes de forma manual.

**Factores ambientales.** Para explicar el crecimiento poblacional de la mosca pinta se consideraron 27 factores ambientales durante el muestreo: temperatura del suelo a los 5, 10, 15 y 30 cm de profundidad (TS5, TS10, TS15, TS30); humedad gravimétrica del suelo a los 5, 10, 15 y 30 cm de profundidad (HG5, HG10, HG15, HG30); precipitación pluvial diaria (Precipit) y acumulada en mm (PrecipitAcum); temperatura máxima (TMax), máxima promedio (TMaxProm), mínima (TMin), mínima promedio (TMinProm), media (TMed) y media promedio (TMedProm) en °C; humedad relativa (HR), promedio (HRProm) y acumulada (HRAcum) en %; evapotranspiración de referencia (ET), promedio (ETProm) y acumulada (ETAcum) en mm; evaporación

potencial (EP), promedio (EPProm) y acumulada (EPAcum) en mm; unidades calor (UC) no acumuladas y acumuladas (UCAcum) en °C. Los datos climáticos se obtuvieron de una estación climatológica perteneciente a la Red de Estaciones Agroclimáticas Automatizadas en Zonas Cañeras del INIFAP (Estación: Rembales, 19° 35' 18.2" N. longitud: 104° 30' 22.7 W a 316 msnm.) (Cuadro 1).

**Distribución binomial negativa y modelo lineal generalizado.** La probabilidad de encontrar un determinado número de individuos,  $y$ , en una muestra de una población con parámetros  $k$  y  $\mu$ , está dado por:

$$P(Y = y) = \binom{y+k-1}{k-1} \left(\frac{k}{k+\mu}\right)^k \left(\frac{\mu}{k+\mu}\right)^y$$

donde  $y = 0, 1, 2, \dots$ ,  $\mu$  es la media aritmética, el valor esperado de  $Y$ ; y  $k$  el parámetro de dispersión de la distribución. La distribución Binomial Negativa (BN) se aproxima a la distribución Poisson cuando  $k \rightarrow \infty$ .

Para determinar la probabilidad de encontrar un determinado número de individuos en función de  $p$  factores ambientales  $(X_1, \dots, X_p) = \mathbf{X}$ ; primero se parametriza la distribución BN en términos de la familia exponencial (McCullagh y Nelder, 1989), es decir:

$$p(y; \mu, k) = \exp\left(y \log\left(\frac{\mu}{k+\mu}\right) - k \log\left(\frac{k+\mu}{k}\right) + \log\left(\frac{y+k-1}{k-1}\right)\right) \quad (1)$$

Las distribuciones de la familia exponencial tienen media  $E(Y) = \mu$ . Suponiendo que la respuesta observada está sujeta a  $p$  predictores,  $X_1, \dots, X_p$ , entonces se tiene que el predictor lineal está dado por  $\eta = g(\mu) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p$ . De acuerdo con la expresión (1), se tiene que, el predictor lineal está dado por

$$\eta = \log\left(\frac{\mu}{k+\mu}\right)$$

De donde despejando para  $\mu$  se tiene

Cuadro 1. Descripción y generación de las variables ambientales.

| Variable (s)                 | Descripción  | Cálculo u obtención de las variables  |
|------------------------------|--|---|
| TS5, TS10, TS15, TS30        | Es la temperatura del suelo a diferentes profundidades en °C.  | Se utilizó un termómetro análogo para suelo, el cual fue insertado en las diferentes profundidades a una distancia de $\pm$ 20 centímetros de donde se contabilizaron las poblaciones de ninfas.  |
| HG5, HG10, HG15, HG30        | Es la masa de agua contenida en una muestra determinada de suelo, el cual fue secado a una temperatura entre 100 y 110 °C, y se calcula en porcentaje.             | Se extrajo suelo del lomo del surco en un solo orificio, en las profundidades antes señaladas.<br>El cálculo es el siguiente:<br>$W = Mt - Ms / (Ms)$<br>W = humedad gravimétrica de suelo.<br>Mt = Pesaje de la muestra húmeda.<br>Ms = Pesado de la muestra seca. |
| Precipit                     | La precipitación registrada cada 15 minutos durante un periodo de 24 horas. Solo se contempló la precipitación del día en que se monitoreo la plaga.               | Dicha variable se obtuvo de los datos históricos de la estación Rembales, recuperados del sitio web: <a href="http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/">http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/</a> .  |
| PrecipitAcum                 | La suma acumulada de la precipitación conforme transcurrió el monitoreo de adultos y ninfas (16 de julio hasta el 5 de noviembre del 2010).                        | Formula:<br>PrecipitAcum = Suma(D1:D <sub>n</sub> )<br>PrecipitAcum = precipitación acumulada<br>D1 = Día que inició en monitoreo.<br>D <sub>n</sub> = Día que se registró el monitoreo de la plaga (incluye los días que no se contabilizó la plaga).              |
| TMax, TMin, TMed             | Es el registro de las temperaturas máxima, mínima y media de cada 15 minutos durante un periodo de 24 horas (estrictamente los días que se muestreo).              | Dichas variables se obtuvieron directamente de los datos históricos de la estación Rembales, recuperados del sitio web: <a href="http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/">http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/</a> .   |
| TMaxProm, TMinProm, TMedProm | El promedio de las temperaturas máxima, mínima y media, registradas cada 15 minutos durante un periodo de 24 horas (incluye los días que no se muestreo la plaga). | Ejemplo de fórmula para TMaxProm:<br>TMaxProm = Promedio(D1:D <sub>n</sub> )<br>D1 = Día que inició en monitoreo.<br>D <sub>n</sub> = Día que se registró el monitoreo de la plaga (incluye días que no se contabilizó la plaga).                                   |
| HR                           | La media de la HR registrada durante 24 horas, presentada solo en el día que se realizó el muestreo.   | Dicha variable se obtuvo de los datos históricos de la estación Rembales, recuperados del sitio web: <a href="http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/">http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/</a> .  |
| HRProm                       | Es el promedio de la HR (variable anterior) conforme transcurrió el muestreo, considerándose los días que no se muestreo la plaga.                                 | Fórmula:<br>HRProm = Promedio(D1:D <sub>n</sub> )<br>D1 = Día que inició en monitoreo.<br>D <sub>n</sub> = Día que se registró el monitoreo de la plaga (incluye días que no se contabilizó la plaga).  |
| HRAcum                       | La suma de la HR conforme transcurrió el muestreo, considerándose el acumulado en días que hubo y no, muestreo de la plaga.  | Fórmula:<br>HRAcum = Suma(D1:D <sub>n</sub> )<br>D1 = Día que inició en monitoreo.<br>D <sub>n</sub> = Día que se registró el monitoreo de la plaga (incluye días que no se contabilizó la plaga).  |
| ET                           | Es la suma de las cantidades de agua evaporada desde el suelo y transpirada por las plantas.   | Dicho valor es otorgado por la estación climática automatizada, considerándose solo el día del monitoreo.   |
| ETProm                       | Es el promedio de ET registrado conforme transcurrió el muestreo (incluyendo los días que no se muestreo la plaga).  | Fórmula:<br>ETProm = Promedio(D1:D <sub>n</sub> )<br>D1 = Día que inició en monitoreo.<br>D <sub>n</sub> = Día que se registró el monitoreo de la plaga (incluye días que no se contabilizó la plaga).  |
| ETAcum                       | La suma acumulada de la ET registrada conforme transcurrió el muestreo (incluyendo los días que no se muestreo la plaga).  | Fórmula:<br>ETAcum = Suma(D1:D <sub>n</sub> )<br>D1 = Día que inició en monitoreo.<br>D <sub>n</sub> = Día que se registró el monitoreo de la plaga (incluye días que no se contabilizó la plaga).  |
| EP                           | Es la cantidad de vapor de agua que puede ser emitida desde una superficie libre con agua.   | Dicho valor es otorgado por la estación climática automatizada, considerándose solo el del día del monitoreo.   |

Cuadro 1. Continuación.

| Variable (s) | Descripción  | Cálculo u obtención de las variables  |
|--------------|--|---|
| EPProm       | Es el promedio de EP registrado conforme transcurrió el muestreo (incluyendo los días que no se muestreo).   | Fórmula:<br>EPProm = Promedio(D1:D <sub>n</sub> )<br>D1 = Día que inició en monitoreo.<br>D <sub>n</sub> = Día que se registró el monitoreo de la plaga (incluye los días que no se contabilizó la plaga).  |
| EPAcum       | La suma acumulada de la EP registrada conforme transcurrió el muestreo (incluyendo los días que no se muestreo la plaga).  | Fórmula:<br>EPAcum = Suma(D1:D <sub>n</sub> )<br>D1 = Día que inició en monitoreo.<br>D <sub>n</sub> = Día que se registró el monitoreo de la plaga (incluye días que no se contabilizó la plaga).  |
| UC           | La cantidad de calor especificada desde el inicio el monitoreo hasta la terminación del mismo. Solo considerando los días que se realizó el monitoreo de la plaga. | Fórmula:<br>UC = (TMax+TMin)/2<br>UC = Unidades calor (método directo).<br>TMax = El registro de la temperatura máxima durante un periodo de 24 horas (solo los días que se muestreo).<br>TMin = El registro de la temperatura mínima durante un periodo de 24 horas (solo los días que se muestreo). |
| UCAcum       | El acumulado de las UC registradas conforme transcurrió el muestreo (incluyendo los días que no se muestreo la plaga).   | Fórmula:<br>UCAcum = Suma(UCD1:UCD <sub>n</sub> )<br>UCD1 = Unidades calor del día que inició en monitoreo.<br>UCD <sub>n</sub> = Unidades calor del día que se registró el monitoreo de la plaga (incluye días que no se contabilizó la plaga).  |

$$E(Y|X) = \mu = \frac{ke^{X\beta}}{1 - e^{X\beta}} \quad (2)$$

La expresión (2) permite estudiar la relación que existe entre la población de mosca pinta, en cualquiera de sus estadios ninfales o adultos, y los 27 factores ambientales.

El análisis estadístico se realizó con ayuda del software estadístico R (R Core Team, 2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estadísticas descriptivas de los 27 factores ambientales se muestran en el Cuadro 2. Los factores ambientales con mayor variabilidad es la precipitación (Precipit) con un coeficiente de variación de 1.786. Resultados similares se encontraron por Figueredo *et al.* (2012) en estudio sobre la distribución temporal de ninfas de *Aeneolamia* varia F. Los promedios de las temperaturas del suelo a diferente profundidad son muy similares (TS5, TS10, TS15, TS30); al igual que los promedios de la humedad gravimétrica del suelo a 10, 15 y 30 de profundidad, ya que al establecerse el temporal de lluvias el suelo se humedece rápidamente en el perfil de la capa arable, además por el tipo de textura (franco arcilloso) fue mayor la retención de humedad.

La distribución de las poblaciones de adultos y total de ninfas se muestra en la Fig. 1. El crecimiento poblacional de los adultos comienza con tamaños menores a 500 individuos en cada muestreo, al cabo de unos días, la población se dispara al doble. En cuanto al total de ninfas de los estadios 2, 3, 4 y 5, su crecimiento se incrementa mucho antes que los adultos, esto es, cuando se acumularon 341 mm de precipitación y 572 unidades calor. De acuerdo con los datos del monitoreo la máxima población de mosca pinta (ninfas y adultos), se presentó en agosto, disminuyendo un poco en el mes de septiembre y nuevamente se incrementó en octubre (Fig. 1). Lo anterior presenta similitud con los resultados encontrados por Olán-Hernández *et al.* (2016) para poblaciones de mosca pinta. Valle (2015) señala que la humedad relativa entre 88 y 90 % se asocia mejor al aumento poblacional del salivazo o mosca pinta. Sin embargo, los meses con mayor crecimiento de la población (agosto-septiembre), se presentó una media mensual de 89.41 y 78.94 % respectivamente en la humedad relativa.

La Fig. 2 muestra la relación que existe entre las poblaciones de adultos y total de ninfas (Total Ninfas: suma de los estadios 2, 3, 4 y 5) de mosca pinta con los 27 factores ambientales; se observa que existe una alta correlación lineal positiva y negativa, entre las poblaciones de la plaga y

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de los factores ambientales en el periodo 16/07/2010 al 05/11/2010.

| Factores ambientales | Valor mínimo | Promedio | Valor máximo | Coefficiente de variación |
|----------------------|--------------|----------|--------------|---------------------------|
| TS5                  | 14.0         | 19.58    | 26.25        | 0.210                     |
| TS10                 | 14.38        | 20.26    | 26.0         | 0.213                     |
| TS15                 | 0            | 20.10    | 26.5         | 0.257                     |
| TS30                 | 14           | 21.41    | 27.75        | 0.237                     |
| HG5                  | 36.50        | 75.54    | 87           | 0.103                     |
| HG10                 | 8.2          | 76.73    | 89.50        | 0.148                     |
| HG15                 | 3.2          | 75.53    | 89           | 0.166                     |
| HG30                 | 35.40        | 78.59    | 88.50        | 0.092                     |
| Precipit             | 0            | 12.15    | 141.6        | 1.786                     |
| PrecipitAcum         | 1.0          | 702.9    | 1330.0       | 0.612                     |
| TMax                 | 23.9         | 31.94    | 36.20        | 0.077                     |
| TMin                 | 11.3         | 21.55    | 24.30        | 0.101                     |
| TMed                 | 22.06        | 25.29    | 27.78        | 0.043                     |
| TMaxProm             | 31.21        | 31.99    | 35.0         | 0.022                     |
| TMinProm             | 18.9         | 22.26    | 22.63        | 0.023                     |
| TMedProm             | 25.32        | 25.52    | 25.66        | 0.002                     |
| HR                   | 61.95        | 87.05    | 98.50        | 0.084                     |
| HRProm               | 79.79        | 88.93    | 90.16        | 0.018                     |
| HRAcum               | 79.79        | 4542.55  | 9557.72      | 0.653                     |
| ET                   | 0.30         | 3.448    | 5.5          | 0.357                     |
| ETProm               | 3.21         | 3.501    | 5.0          | 0.068                     |
| ETAcum               | 5.0          | 176.17   | 406.2        | 0.667                     |
| EP                   | 0.290        | 2.629    | 6.960        | 0.544                     |
| EPProm               | 1.90         | 2.191    | 3.0          | 0.131                     |
| EPAcum               | 3.0          | 116.45   | 311.16       | 0.771                     |
| UC                   | 33.07        | 156.59   | 523.41       | 0.477                     |
| UCAcum               | 82.17        | 8423.64  | 16803.14     | 0.664                     |

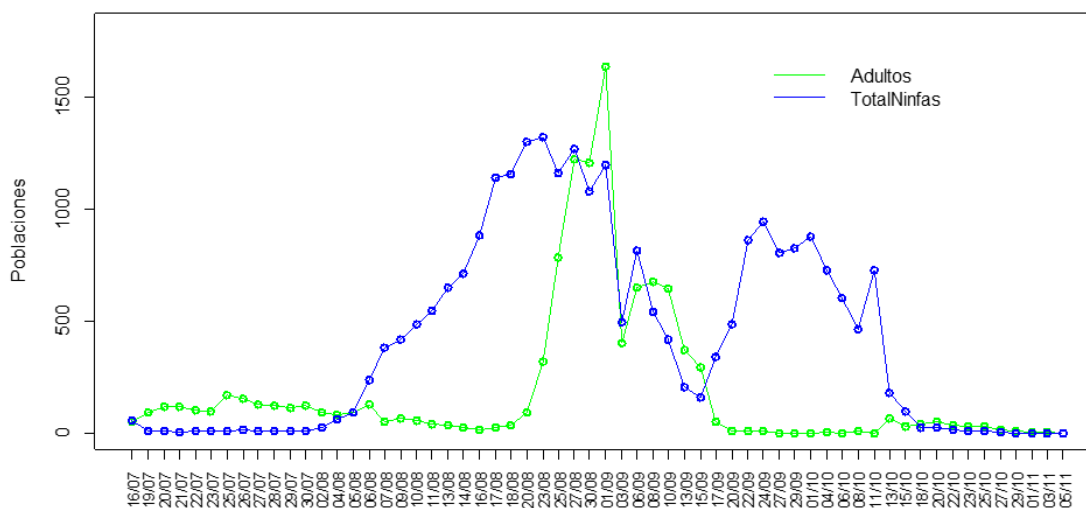


Figura 1. Distribución de adultos (Adultos) y total de ninfas (TotalNinfas).

las variables climáticas. Los factores del segundo cuadrante, TMinProm, HRProm, HR y TMin, presentan alta correlación lineal positiva con las poblaciones del insecto.

Dado que el objetivo del trabajo es estudiar el efecto de los 27 factores ambientales en las etapas de ninfa y adulto de la mosca pinta, se omitieron los monitoreos efectuados a partir del primer

control químico (realizado el 2 de septiembre). De esta forma, ahora los tamaños de las poblaciones analizadas comprenden hasta el 1 de septiembre (Fig. 3). Se observa que los factores ambientales que presentan alta correlación lineal positiva con las dos poblaciones (ninfas y adultos) son los que se encuentran en el primer cuadrante (TS5, TS10, ETAcum, EPAcum, UCAcum, HRAcum y PrecipitAcum) (Fig. 4). Así mismo Valle (2015) encontró que el factor climático que más se asoció a las variaciones poblacionales del salivazo o mosca pinta fue la humedad relativa con valores

entre 88 y 90 %. Para el caso de las UCAcum, muchas de las decisiones que van a ser tomadas en los sistemas de manejo integrado de la plaga dependen del estado de sus poblaciones. Por tanto, será clave conocer los factores ambientales de mayor incidencia, para aumentar las posibilidades de acierto en la toma de decisiones.

Los análisis descriptivos de las Figs. 2 y 4 cambian en cuanto a los factores ambientales que están más relacionados con la población de adultos y total de ninfas; esto posiblemente al efecto de los controles químicos.

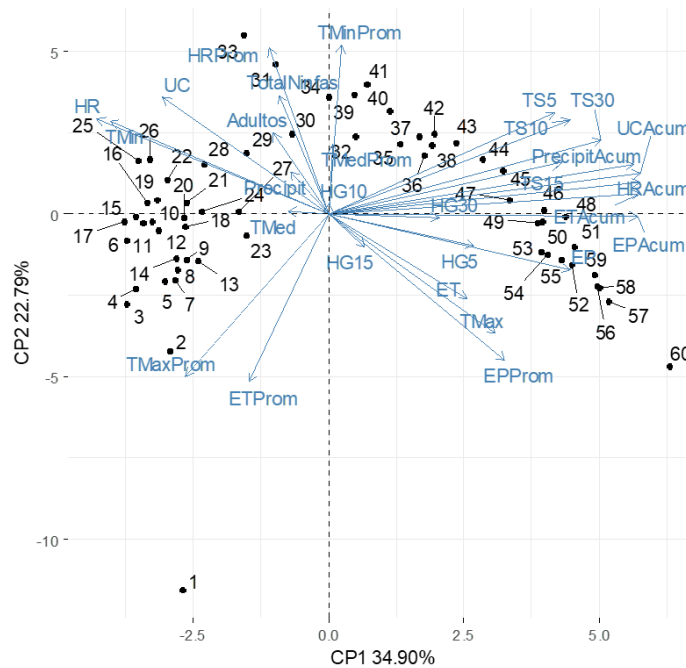


Figura 2. Correlaciones de los factores ambientales con las poblaciones ninfales y adultos de mosca pinta durante el estudio.

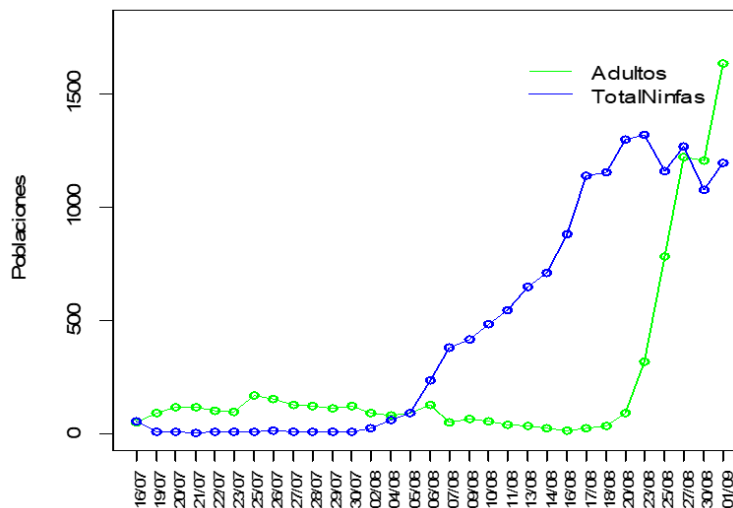


Figura 3. Población de adultos y total de ninfas de los estadios 2, 3, 4 y 5; sin controles químicos.

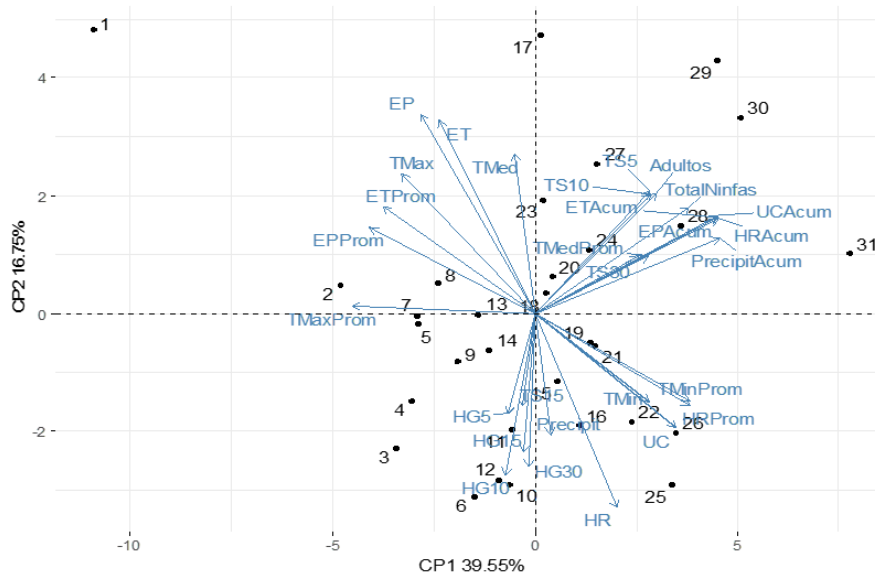


Figura 4. Correlaciones entre los factores ambientales y las poblaciones ninfales y adulto de mosca pinta sin controles químicos.

Para determinar la relación que existe entre las poblaciones de mosca pinta y los factores ambientales se calculó el coeficiente de correlación lineal. A un  $\alpha = 0.05$  se tienen varias correlaciones lineales estadísticamente significativas (Fig. 5). La población de ninfas presenta correlaciones estadísticamente significativas con los factores: TS5, TS10, PrecipitAcum, TMax, TMaxProm, HRACum, ETProm, ETACum, EPProm, EPACum, UC y UCAcum. La población de adultos muestra correlaciones estadísticamente significativas con los factores TS5, TS10, TS30, PrecipitAcum, TMaxProm, HRACum, ETACum, EPACum y UCAcum.

Considerando también que el tiempo fisiológico de artrópodos y plantas generalmente se mide en términos de UCAcum o grados-día de desarrollo (GD), los cuales han probado ser una herramienta estrechamente correlacionada con el desarrollo de plagas (Ruiz *et al.*, 2013). En relación con la temperatura, cuando esta se encuentra fuera de los límites térmicos que establecen las temperaturas umbrales de desarrollo, el organismo entra en agobio por frío o calor y se pueden inducir mecanismos fisiológicos de protección ante este factor adverso. En insectos, inicialmente se puede presentar quiescencia, que se define como la interrupción de la actividad (incluso pudiendo en algunos casos parar el desarrollo y la reproducción) temporalmente hasta que terminan

las condiciones desfavorables de temperatura, sin que se manifieste regulación hormonal. La quiescencia también puede presentarse por la ocurrencia de otro tipo de condiciones desfavorables como la sequía y la falta de alimento (Ruiz *et al.*, 2013).

La poblacional de mosca pinta en estado adulto, presenta una varianza de 160604.2 y una media de 237.903 lo cual da lugar a un parámetro de dispersión de 675.082. En cuanto a la población total de ninfas, presenta una varianza de 188485 y media de 415.483, dando como resultado un parámetro de dispersión de 453.6525. De acuerdo con estos resultados, es factible utilizar la distribución BN para estudiar el crecimiento de ambas poblaciones. En el Cuadro 3 se muestran los factores ambientales que tienen un efecto significativo en la población de adultos y el total de ninfas. Dado que varios factores ambientales están altamente correlacionados, se calculó el factor de inflación de varianza (FIV) para identificar la presencia de multicolinealidad entre los regresores ya que esto podría afectar la precisión de las estimaciones de los parámetros del modelo. Generalmente se excluyen las variables cuyo FIV sea mayor a 10 (Montgomery *et al.*, 2001). Dado que el FIV de todos los regresores en los dos modelos ajustados es menor a 10 (a excepción de EP, que de acuerdo con la Fig. 5, presenta correlación lineal positiva entre



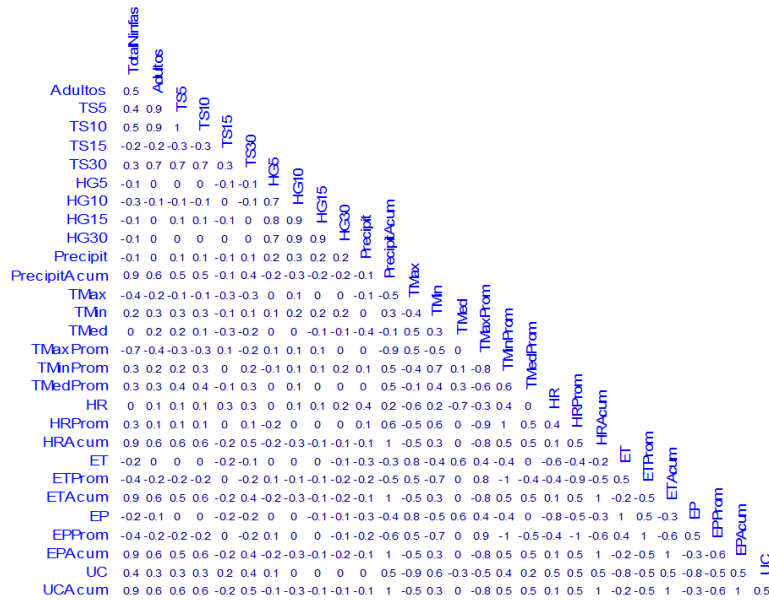


Figura 5. Correlaciones lineales de los 27 los factores ambientales y las poblaciones de adulto y total de ninfas de mosca pinta. Todas las correlaciones mayores a 0.35 en valor absoluto son significativas a un  $\alpha = 0.05$ .

las variables incluidas en el modelo), entonces los factores ambientales encontrados significativos, son los que mayor efecto tienen en la población de adultos y ninfas (Cuadro 3).

Cabe señalar que los factores ambientales que más relación tienen con las poblaciones de adultos y ninfas de mosca pinta no son los mismos. En la población de ninfas son la humedad gravimétrica del suelo a los 15 y 30 cm de profundidad, precipitación acumulada y la humedad relativa promedio. Mientras que en los adultos es la temperatura del suelo a los 10 y 15 cm, humedad gravimétrica del suelo a los 5 cm, las temperaturas máxima, mínima y media, la evaporación potencial. La temperatura del suelo entre 9 y 28 °C afecta la diapausa y la duración de la incubación de los huevos del salivazo (García, 2002; Nachappa, 2004). Ello es debido principalmente a su importante incidencia sobre los procesos bioquímicos, al ser organismos poiquilotermos, es decir, "de sangre fría" (Marco, 2001).

Muchos estudios coinciden en que la precipitación es un factor importante para el desarrollo de la plaga, por ejemplo, Peck *et al.* (2002), encontraron que las ninfas de la primera generación alcanzan su punto máximo de desarrollo entre tres y cuatro semanas después de inicio de las lluvias, también encontraron

evidencias de que la naturaleza de las lluvias influye en la abundancia y la sincronización de la población del salivazo, posteriormente Olán *et al.* (2016) encontraron una correlación positiva de 0.464 ( $p \leq 0.05$ ) entre la fluctuación poblacional de ninfas de mosca pinta y la precipitación. Castro (2005) en un estudio de dinámica poblacional de mosca pinta encontró que las mayores poblaciones de ninfas y adultos se presentaron durante la época de mayor precipitación y que estas disminuyeron dramáticamente en la época de sequía.

También se expone que la humedad del suelo favorece a la plaga, sin embargo no se menciona la cantidad y a que profundidad del suelo (Flores, 1994; García *et al.*, 2006; Ortiz *et al.*, 2014).

Sobre el efecto de las temperaturas (Olán *et al.*, 2016), mencionan la falta de correlación significativa entre la fluctuación poblacional de adultos y ninfas de mosca pinta; sin embargo García *et al.* (2006) señalan que la temperatura en el intervalo 26 a 32 °C es un factor determinante para el desarrollo de ninfas y adultos de mosca pinta, cuando coinciden en el mes con mayor porcentaje en precipitación.

Es importante que técnicos y productores de caña de azúcar conozcan que el período de incubación del salivazo en la temporada de lluvias es de una a tres semanas, debido a que la eclosión

Cuadro 3. Factores ambientales que favorecen el crecimiento poblacional de adultos y ninfas de mosca pinta.

| Modelo  | Factores ambientales | Coefficiente Estimado | Error Estándar | p-valor | FIV   |
|---|----------------------|-----------------------|----------------|---------|-------|
| Población de adultos<br>AIC = 339.53<br>$R^2 = 0.92$          | Intercepto           | 202.124               | 31.943         | < 0.001 | 0     |
|   | TS10                 | 0.372                 | 0.026          | < 0.001 | 1.53  |
|   | TS15                 | 0.133                 | 0.023          | < 0.001 | 1.67  |
|   | HG5                  | 0.0428                | 0.009          | < 0.001 | 1.23  |
|   | TMax                 | 0.375                 | 0.075          | < 0.001 | 5.21  |
|   | TMin                 | -0.413                | 0.155          | < 0.01  | 5.57  |
|   | TMed                 | 1.240                 | 0.224          | < 0.001 | 7.70  |
|   | EP                   | -2.370                | 0.452          | < 0.001 | 11.46 |
|   | TMaxProm             | -0.697                | 0.150          | < 0.001 | 2.87  |
| Población del total de ninfas<br>AIC = 370.57<br>$R^2 = 0.85$ | TMedProm             | -8.453                | 1.205          | < 0.001 | 2.20  |
|   | Intercepto           | 28.152                | 6.727          | < 0.001 | 0     |
|   | HG15                 | 0.071                 | 0.036          | < 0.05  | 6.63  |
|   | HG30                 | -0.095                | 0.034          | < 0.01  | 6.69  |
|   | PrecipitAcum         | 0.012                 | 0.001          | < 0.001 | 1.55  |
|   | HRProm               | -0.283                | 0.077          | < 0.001 | 1.55  |

$R^2$ : coeficiente de determinación del modelo ajustado; AIC: Criterio de información de Akaike (por sus siglas en ingles); FIV: factor de inflación de varianza.

de los huevos es notablemente favorecida por las condiciones meteorológicas del verano, fundamentalmente una alta humedad (> 70 %) y una alta temperatura del ambiente (> 25 °C), fotoperiodo mayor de 12 horas y una acumulación de al menos 150 mm de precipitación al inicio de la temporada de lluvias (Ruiz *et al.*, 2013). Tal parece que el aumento de las poblaciones de mosca pinta responde a factores extremos de temperaturas y humedad, citado ya por Garrett *et al.* (2013) y Guisan *et al.* (2013).

## CONCLUSIONES

Entre los factores ambientales que más influyen en el crecimiento poblacional de mosca pinta (*Aeneolamia* spp.) en estado adulto están la temperatura del suelo a 10 y 15 cm, la temperatura, la evaporación potencial y la humedad gravimétrica del suelo a las 5 cm. Para las ninfas fue la humedad gravimétrica del suelo a los 15 y 30 cm, la precipitación acumulada y la humedad relativa promedio. Es decir, en la población de adultos las variables de temperatura son las de mayor efecto y en las ninfas son las que tienen relación con la acumulación de humedad. Del análisis de correlación, ambas poblaciones presentan correlaciones estadísticamente significativas con varios de los factores

ambientales estudiados. Cabe señalar que solo la población adulta disminuye cuando se llevaron a cabo los dos controles químicos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece de manera especial a Raquel Álvarez Estrella† por su valioso apoyo al facilitar su parcela de caña de azúcar para los monitoreos de las poblaciones plaga y de las variables de suelo.

## LITERATURA CITADA

- ANSCOMBE, F. J. 1949. The statistical analysis of insect counts based on the negative binomial distribution. *Biometrics*, 5(2): 165–173.
- BLISS, C. I. AND R. A. FISHER. 1953. Fitting the negative binomial distribution to biological data. *Biometrics*, 9(2): 176–200.
- CASTILLO-ZENO, S. 2006. *Uso de Metarhizium anisopliae para el control biológico del salivazo (Aeneolamia spp. y Prosapia spp.) en pastizales de Brachiaria decumbens en El Petén, Guatemala*. Tesis de Postgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación Escuela de Postgrado. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 78 pp.
- CASTRO. U., MORALES, A. Y D. C. PECK. 2005. Dinámica poblacional y fenología del salivazo de los pastos *Zulia carbonaria* (Lallemand) (Homoptera:

- Cercopidae) en el valle geográfico del Río Cauca, Colombia. *Neotropical Entomology*, 34(3): 459–470.
- FERNÁNDEZ-MARÍN, M. J. 2013. *Manejo integrado de Cinche salivosa (Aeneolamia postica; Cercopidae) en caña de azúcar en el ingenio Pantaleón; Siquinalá, Escuintla*. Tesis de Licenciatura Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Universidad Rafael Landívar. Guatemala de la Asunción. Campus Central. Guatemala. 88 pp.
- FIGUEREDO, L., ANDRADE, O., COVA, J., MORA, O. Y G. AZA. 2012. Distribución espacio temporal de ninfas de *Aeneolamia varia* Fabricius (1787) (Hemiptera: Cercopidae) en caña de azúcar a través de un sistema de información geográfica. *Entomotropica*, 27(1): 7–18.
- FLORES-CÁCERES, S. 1994. *Las plagas de la caña de azúcar en México*. Ed. Silverio Flores Cáceres, México, D.F. 350 pp.
- FONTES, E. G., PIRES, C. S. S. AND E. R. SUJII. 1995. Mixed risk-spreading strategies and the population dynamics of a Brazilian pasture pest, *Deois flavopicta* (Homoptera: Cercopidae). *Journal of Economic Entomology*, 88(5): 1256–1262.
- GARCÍA, J. F. 2002. *Técnica de criação e tabela de vida de Mahanarva fimbriolata (Stal., 1854) (Hemiptera: Cercopidae)*. Teses de Maestria. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.
- GARCÍA, C., COLLADO, J. L., NAVA, M. E., VILLANUEVA, J. A. Y J. VERA. 2006. Modelo de predicción de riesgo de daño de la mosca pinta *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah (Hemiptera: Cercopidae). *Neotropical Entomology*, 35: 677–688.
- GARRETT, K. A., DOBSON, A. D. M., KROSCHER, J., NATARAJAN, B., ORLANDINI, S., TONNANG, H. E. AND C. VALDIVIA. 2013. The effects of climate variability and the color of weather time series on agricultural diseases and pests, and on decisions for their management. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 216–227.
- GUAGLIUMI, P. 1972/73. *Pragas da cana-de-açúcar*, Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, Brasil. Instituto do açúcar e do Alcool, Divisão administrativa. Coleção Canavieira. No. 10. 622 pp.
- GUISAN A., TINGLEY, R., BAUMGARTNER, J. B., NAUJOKAITIS-LEWIS, I., SUTCLIFFE, P. R., TULLOCH, A. I., REGAN, T. J., BROTONS, L., McDONALD-MADDEN, E. AND C. MANTYKA-PRINGLE. 2013. Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16: 1424–1435.
- HALL, D. G., CHILDERS, C. C., EGER, J. E. AND J.C. ALLEN. 1997. Citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) counts on fruit and the negative binomial distribution. *Florida Entomologist*, 1–10.
- HILBE, J. M. 2011. *Negative binomial regression*. Cambridge University Press. 541 pp.
- LAWLESS, J. F. 1987. Negative binomial and mixed Poisson regression. *Canadian Journal of Statistics*, 15(3): 209–225.
- LÓPEZ-COLLADO J. Y A. W. A. PÉREZ. 2012. Mosca pinta en caña de azúcar, Hoja técnica. Colegio de Postgraduados Campus Veracruz - Fundación Produce Veracruz. Veracruz. México. 12 pp.
- MCCULLAGH, P. AND J. A. NELDER. 1989. *Generalized Linear Models*. Second Edition. London: Chapman & Hall. 526 pp.
- MARCO V. 2001. *Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al Manejo Integrado de Plagas mediante el método de grados-día*. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa, 28: 147–150.
- MARTIN, R. M., COX, J. R., ALSTON, D. G. AND F. F. IBARRA. 1995. Spittlebugs (Homoptera: Cercopidae) life cycle on buffelgrass in northwestern Mexico. *Annals of the Entomological Society of America*, 88(4): 471–478.
- Martínez-Mayoral, J. A. y J. Morales. 2004. *Modelos Lineales Aplicados en R*. Depto. Estadística, Matemáticas e Informática. Centro de Investigación Operativa. Universidad Miguel Hernández. 229 pp.
- MONTGOMERY, D. C., DOUGLAS C., ELIZABETH A. P., Y G. GEOFFREY-VINING. 2001. *Introducción al análisis de regresión lineal*. Tercera reimpresión en español, Ed. Grupo Patria Cultural S. A. de C. V. 612 pp.
- NACHAPPA, P. 2004. *Biology and management of twolined spittlebug, Prosapia bicincta (Say) (Hemiptera: Cercopidae) in turfgrass*. Thesis of Master. University of Georgia, Athens, Georgia.
- OLÁN-HERNÁNDEZ, J. F., SÁNCHEZ-SOTO, S., BAUTISTA-MARTÍNEZ, N., ZALDIVAR-CRUZ, J. M. Y H. CORTEZ-MADRIGAL. 2016. Fluctuación poblacional de *Aeneolamia contigua* (Walker) en el cultivo de caña de (*Saccharum* spp.) en tabasco, México. *Agroproductividad*, 9(3): 10–14.
- ORTIZ-LAUREL, H., ROSAS-CALLEJA, D., RÖSSEL-KIPPING, D., Y J. A. HERRERA CORREDOR. 2014. Mecánica para la contención de eclosión de huevos de mosca pinta (*Aeneolamia* spp.) en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). *Agroproductividad*, 7(2): 27–34.

- PANTALEÓN-PAULINO, G. Y I, GÓMEZ-JUÁREZ. 2016. Distribución horizontal y vertical de huevecillos de mosca pinta (*Aeneolamia* spp.) en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la región central de Veracruz. *Agroproductividad*, 9(7): 51–55.
- PECK, C. D., PÉREZ, M. A., Medina, W. J. y J. M. Barrio-Rojas J. 1998. Fenología de la *Aeneolamia reducta* en Costa Caribe de Colombia. *Pasturas Tropicales*, 24(1): 39–55.
- R CORE TEAM. 2016. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- RUÍZ, C. J. A., BRAVO, E. M., RAMÍREZ, G. O., BÁEZ, G. A. D., ÁLVAREZ, M. C., RAMOS G. J. L., NAVA, C. U. Y K. F. M. BYERLY. 2013. *Plagas de importancia económica en México: aspectos de su biología y ecología*. Libro Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. 447 pp.
- SÁENZ, C., SALAZAR, D., RODRÍGUEZ, A., ALFARO, D. Y R. OVIEDO. 1999. Manejo integrado del salivazo, *Aeneolamia* sp y *Prosapia* sp (Hom: Cercopidae) en las regiones cañeras de Costa Rica. Pp. 155–159. In: Conferencia XI Congreso Nacional Agronómico V Congreso Nacional de Entomología Manejo integrado 63. Dirección de Investigación y Extensión de la caña de azúcar (DIECA-LAICA). San Carlos, Costa Rica.
- VALLE-RAMÍREZ, S. B. 2015. *Particularidades bioecológicas de Mahanarva andigena (Jacobi) como base para el manejo con Metarhizium anisopliae (Metschnikoff) Sorokin en la caña de azúcar Saccharum spp. híbrido en Pastaza, Ecuador*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrícolas Departamento de Ciencias Biológicas. Pastaza, Ecuador. 118 pp.
- VARGAS-PICADO, O. 1970. *Estudio sobre la baba de culebra Prosapia distanti (Homoptera: Cercopidae) y un ensayo sobre su combate en el pasto kikuyu (P. clandestinum Hochst.)*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. San José, Costa Rica. UCR, 75 pp.
- WALLNER, W. E. 1987. Factors affecting insect population dynamics: Differences between outbreak and non-outbreak species. *Annual Review of Entomology*, 32: 317–340.
- WHITE, G. C. AND R. E. BENNETTS. 1996. Analysis of frequency count data using the negative binomial distribution. *Ecology*, 77(8): 2549–2557.
- WILSON, L. AND W. BARNETT. 1983. Degree-days: an aid in crop and pest management. *California Agriculture*, 37: 4–7.
- ZALOM, F. AND T. WILSON. 1982. *Degree days in relation to an integrated pest management program*. Division of Agricultural Sciences, University of California, Davis, CA, USA. 2 pp.

