

Fluctuación poblacional de *Anastrepha ludens* en la región de Santa Engracia, Tamaulipas, México*

Population fluctuation of *Anastrepha ludens* in the region of Santa Engracia, Tamaulipas, Mexico

Venancio Vanoye-Eligio[§], Roberto Pérez-Castañeda², Griselda Gaona-García¹, Manuel Lara-Villalón¹ y Ludivina Barrientos Lozano³

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas- Instituto de Ecología Aplicada. División del Golfo 356, Colonia Libertad, C. P. 87019, Cd. Victoria, Tamaulipas, México. (ggaona@uat.edu.mx; mlara@uat.edu.mx). ²Universidad Autónoma de Tamaulipas-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Victoria-Mante km 5, A. P. 263, Cd. Victoria C. P. 87000, Tamaulipas, México. (roperez@uat.edu.mx). ³Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil No. 1301, Cd. Victoria, C. P. 87010, Tamaulipas, México. (ludivinab@yahoo.com). [§]Autor por correspondencia: bennyvanoye@hotmail.com.

Resumen

La mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* (Loew), es una de las plagas de mayor impacto en la citricultura en Tamaulipas. Ataca hospederos de importancia comercial como la naranja, toronja y mandarinas restringiendo su movilidad comercial a mercados nacionales o internacionales. En este estudio a partir de la fluctuación poblacional durante los años 2008 a 2011 de *A. ludens* en el área de Santa Engracia se determinaron tres periodos con base a la presencia del insecto y su relación con la temperatura promedio: enero-abril, mayo-agosto y septiembre-diciembre. La estadística descriptiva destacó la variabilidad entre las observaciones, sugiriendo una heterogeneidad en las densidades del insecto. El MTD (mosca/trampa x día) promedio semanal se relacionó con diferentes variables climáticas mediante un análisis de regresión lineal y múltiple, observándose correlaciones débiles en general debido a la variación del MTD promedio. La temperatura mínima fue la variable más consistente y con mayor ajuste. La temperatura mínima y máxima en la regresión múltiple representaron las variables explicatorias para cada año, mientras que la precipitación no presentó una asociación clara con el MTD promedio quizás por actividades de riego dentro de las áreas comerciales o por una influencia desfasada. Se observó una asociación

Abstract

The Mexican fruit fly *Anastrepha ludens* (Loew) is a pest of great impact on citrus in Tamaulipas. Attacks host of commercial importance such as oranges, grapefruit and tangerines, restricting their business mobility to national or international markets. In this study from population fluctuation during the years 2008-2011 of *A. ludens* in Santa Engracia area, three periods based on presence of the insect and its relationship with average temperatures were determined: January-April, May-August and September to December. Descriptive statistics highlighted the variability between observations, suggesting heterogeneity in insect densities. The MTD (fly / trap x day) average weekly was associated with different climatic variables through a linear and multiple regression analysis observing weak correlations in general due to the variation of MTD average. The minimum temperature variable was the most consistent and with higher fitting. The minimum and maximum temperature in multiple regressions represented the explanatory variables for each year, while precipitation did not show a clear association with MTD average, perhaps for irrigation activities within commercial areas or an outdated influence. A close association between phenology of commercial fruits and population fluctuation was observed.

* Recibido: noviembre de 2014
Aceptado: marzo de 2015

cercana entre la fenología de los frutos comerciales y la fluctuación poblacional. Los resultados de este estudio tienen implicaciones prácticas para la toma de decisiones en el manejo integrado de esta plaga con enfoque de áreas grandes.

Palabras clave: análisis de regresión, cítricos, temperatura, mosca mexicana de la fruta.

Introducción

La mosca mexicana de la fruta, *Anastrepha ludens* (Loew), es una de las plagas más importantes de cítricos en México (Aluja, 1994), siendo reportada desde el sur de Texas hasta Costa Rica (Norrbom *et al.*, 2000). Se considera que esta es nativa de la Sierra Madre Oriental en el noreste de México debido a la presencia de su hospedero silvestre, el chapote amarillo, *Casimiroa greggi* (S. Wats.) Chiang, (Plummer *et al.*, 1941). El daño principal del insecto consiste en el agusanamiento de la fruta provocando un deterioro en calidad y una caída prematura del fruto, causando pérdidas económicas al productor.

El estado de Tamaulipas ocupa el tercer lugar nacional en citricultura después de Veracruz y San Luis Potosí con alrededor de 38 000 ha de cítricos ubicadas principalmente en la región centro en los municipios de Hidalgo, Padilla, Güemez, Victoria, y Llera. En el estado, el Programa Nacional Contra Moscas de la Fruta (PNCMF) mantiene información sobre la fluctuación de poblaciones de *A. ludens* durante el año basada en una red de trampeo con trampas McPhail (Steyskal, 1977) desde 1994.

El control de *A. ludens* en la región de Santa Engracia se complica por la presencia de su hospedero silvestre (*C. greggi*) localizado algunas veces cerca de los predios comerciales y a la disponibilidad de otro hospedero como la naranja agria (*Citrus aurantium* L.) en traspatios y en huertas. Esto ofrece un hábitat permanente y un constante foco de infestación. Esta situación y la escasa participación de productores en actividades fitosanitarias en sus huertas proveen condiciones de supervivencia para el insecto en cualquier estación del año que dificultan su manejo, en particular a una escala regional.

En el estado de Tamaulipas no se tiene clara la relación de *A. ludens* en áreas citricolas con factores climáticos y la disponibilidad de hospederos comerciales. El conocimiento

The results of this study have practical implications for decision making in integrated pest management with an approach to large areas.

Keywords: citrus, Mexican fruit fly, regression analysis, temperature.

Introduction

The Mexican fruit fly, *Anastrepha ludens* (Loew), is one of the most important pests of citrus in Mexico (Aluja, 1994), being reported from southern Texas to Costa Rica (Norrbom *et al.*, 2000). It is considered to be native from the Sierra Madre Oriental in northeastern Mexico due to the presence of its wild host, the yellow chapote, *Casimiroa greggi* (S. Wats.) Chiang (Plummer *et al.*, 1941). The main damage from this insect consists in worming fruit causing a deterioration in quality and premature drop of fruit, causing economic losses to producers.

Tamaulipas state ranks third nationally in citriculture after Veracruz and San Luis Potosí with close to 38 000 ha of citrus, located mainly in the central region, in the municipalities of Hidalgo, Padilla, Güemez, Victoria, and Llera. In the state, the National Program Against Fruit Flies (PNCMF) maintains information on population fluctuations of *A. ludens* during the year based on a McPhail trapping net (Steyskal, 1977) since 1994.

Control of *A. ludens* in the region of Santa Engracia is complicated by the presence of its wild host (*C. greggi*) sometimes located near commercial farms and to the availability of another host sour orange (*Citrus aurantium* L.) in backyards and gardens. This provides a permanent habitat and a constant source of infestation. This situation and the scarce participation of producers in phytosanitary activities in their orchards provide conditions for insect survival in any season that hinder its management, particularly on a regional scale.

In the state of Tamaulipas there is no clear relation of *A. ludens* in citrus areas with climatic factors and the availability of commercial hosts. Knowledge of population fluctuation patterns may offer advantages to control activities regionally with strategies aimed to key periods in the dynamics of the pest.

There have been other studies on population fluctuation of fruit flies and their relationship with environmental variables in areas with fruit crop in tropical areas (Celedonio-Hurtado *et al.*, 1995; Aluja *et al.*, 1996; Martínez-Morales *et al.*, 2003; Tucuch-Cahuich *et al.*, 2008; Aluja *et al.*, 2012). In

de los patrones de fluctuación poblacional puede ofrecer ventajas a las actividades de supresión a escala regional con estrategias dirigidas a periodos clave en la dinámica de la plaga.

Se han realizado otros estudios sobre fluctuación poblacional de moscas de la fruta y su relación con variables ambientales en áreas de cultivos frutícolas en zonas tropicales (Celedonio-Hurtado *et al.*, 1995; Aluja *et al.*, 1996; Martínez-Morales *et al.*, 2003; Tucuch-Cahuich *et al.*, 2008, Aluja *et al.*, 2012). En el norte del país, Thomas (2012) estudió poblaciones de *A. ludens* asociadas a *C. greggi* en la SMO relacionándolas con factores climáticos. En general, la fluctuación poblacional de *Anastrepha* spp., puede estar correlacionado con factores ambientales y la disponibilidad de hospederos (Aluja, 1994).

El objetivo en este trabajo fue comparar a una escala regional la fluctuación poblacional de adultos de *A. ludens* en diferentes años en el área cítrica de Santa Engracia para determinar los periodos de densidad de adultos y su relación con la temporada de producción, los niveles de infestación y la temperatura promedio prevaleciente. Un segundo objetivo fue estudiar la relación de diferentes variables climáticas con la fluctuación poblacional de adultos de *A. ludens* en esa región.

Materiales y métodos

Área de estudio y muestreo

La región cítrica de Santa Engracia se encuentra localizada en el centro del estado de Tamaulipas entre 24° 03' y 23° 57' latitud norte y 99° 19' y 99° 07' longitud oeste. Forma parte de los municipios de Hidalgo y Güemez a 30 km al norte de la capital Ciudad Victoria (Figura 1). La precipitación se registró entre los 78 a 126 mm anuales y la altitud varía de los 200 a 290 msnm, considerándose una región con una topografía plana que colinda hacia el oeste con la Sierra Madre Oriental. La temperatura puede variar desde los 0 °C en invierno hasta los 40 °C en verano en la zona cítrica.

Cuenta con aproximadamente 5 800 ha de superficie cítrica (SAGARPA, 2013), siendo la principal variedad la naranja Valencia (*Citrus sinensis* L.), seguida por la toronja (*Citrus paradisi* Macfad.) y la mandarina (*Citrus reticulata* Blanco). También se observa la presencia de *C. gregii* a los márgenes del río Corona colindando con huertas comerciales.

the north of the country, Thomas (2012) studied populations of *A. ludens* associated with *C. greggi* in SMO relating them to climatic factors. Overall, population fluctuation of *Anastrepha* spp., can be correlated with environmental factors and the availability of hosts (Aluja, 1994).

The objective of this study was to compare at regional scale population fluctuations of *A. ludens* adults in different years in the citrus area of Santa Engracia to determine the periods of adult density and its relation to the production season, levels of infestation and prevailing average temperature. A second objective was to study the relationship of different climate variables in the population dynamics of *A. ludens* adults in that region.

Materials and methods

Study area and sampling

The citrus region of Santa Engracia is located in the center of Tamaulipas between 24° 03' and 23° 57' north latitude and 99° 19' and 99° 07' west longitude. Forms part of the municipalities of Hidalgo and Güemez 30 km north of the capital Ciudad Victoria (Figure 1). The rainfall was between 78-126 mm per year and the altitude varies from 200-290 masl, considered a region with flat topography which borders westward with the Sierra Madre Oriental. The temperature may range from 0 °C in winter to 40 °C in summer in the citrus area.

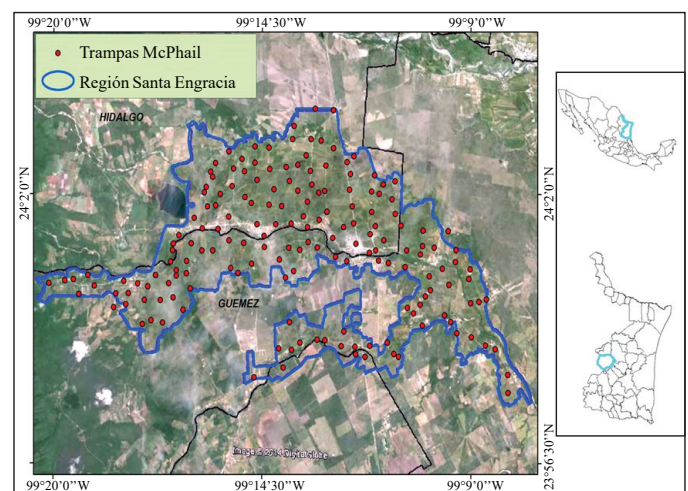


Figura 1. Ubicación geográfica de la región Santa Engracia en el estado de Tamaulipas, México, indicando los sitios de instalación de las trampas McPhail.

Figure 1. Geographical location of Santa Engracia region in the state of Tamaulipas, Mexico, indicating the sites of McPhail traps installation.

Los datos de las capturas de adultos de *A. ludens* de 174 trampas McPhail operadas por la PNCFM durante los años 2008 y 2011 fueron proporcionados por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Tamaulipas (CESAVETAM). Las trampas fueron cebadas con cuatro pellets de levadura en 250 ml de agua, posteriormente se revisaron y recibieron cada 7 días.

Las 174 trampas McPhail fueron distribuidas espacialmente de 2 a 3 trampas en una cuadrícula de celdas de 1 km², a una distancia de 100 a 150 m entre ellas, tratando lograr una adecuada distribución en las 5 800 ha de superficie comercial de la región.

El número de adultos capturados semanalmente por trampa fue transformado al índice MTD (NOM-023-FITO-1995), definido por la fórmula:

$$\frac{M}{T \times D}$$

Donde: M= al número de moscas capturadas; T= el número de trampas; y D= el número de días de exposición en campo de la trampa.

Este valor indica condiciones fitosanitarias semanales a nivel de huerto o región con respecto a moscas de la fruta. Se expresa con cuatro dígitos después del punto, siendo el más bajo 0.0000 que significa ausencia de poblaciones. De esta manera, se promedió semanalmente el MTD de las trampas instaladas y se obtuvo el valor semanal de la región. Normalmente, una captura de un adulto de *A. ludens* en una trampa involucra un MTD de 0.1430 que requiere inmediatas medidas de control en el lugar.

En base a lo anterior los periodos de mayor captura de adultos de *A. ludens* se caracterizaron por las diferencias en las densidades de población de *A. ludens* y las variedades cítricas prevalentes, además de la temperatura promedio para cada uno. Se realizó un análisis estadístico descriptivo del MTD promedio semanal (MTDp) de las 174 trampas y se obtuvo el promedio de la temperatura de cada periodo identificado en cada año de estudio.

Los registros semanales de las variables climáticas se obtuvieron de dos estaciones meteorológicas operadas por la Comisión Nacional del Agua (CNA): El Barretal y de Ciudad Victoria, en esta última se obtuvieron solo los registros de presión atmosférica y humedad relativa.

It has with approximately 5 800 ha of citrus (SAGARPA, 2013), being the main variety Valencia orange (*Citrus sinensis* L.), followed by grapefruit (*Citrus paradisi* Macfad) and tangerine (*Citrus reticulata* Blanco). The presence of *C. gregii* is observed in the riverbanks of Corona River neighboring with commercial orchards.

The data on catches of adult *A. ludens* from 174 McPhail traps operated by PNCFM during 2008 and 2011 were provided by the State Committee on Plant Health from Tamaulipas (CESAVETAM). Traps were baited with four yeast pellets in 250 ml of water, and subsequently monitoring and baited again every 7 days.

174 McPhail traps were spatially distributed 2 to 3 traps in a grid of cells of 1 km², at a distance of 100 to 150 m between them, trying to achieve an adequate distribution in 5 800 ha of commercial area in the region.

The weekly number of adults captured per trap was transformed to MTD index (NOM-023-FITO-1995), defined by the formula:

$$\frac{M}{T \times D}$$

Where: M=the number of flies captured; T=the number of traps; and D= the number of days of exposure of the trap in the field.

This value indicates weekly phytosanitary condition at orchard level or region regarding to fruit flies. It is expressed in four digits after dot, being the lowest 0.0000 which means absence of populations. Thus, weekly MTD from installed traps was averaged and the weekly value of the region was obtained. Typically, a catch of an adult of *A. ludens* in a trap involves a MTD of 0.1430 which requires immediate control measures in the place.

Based on the above, periods of higher capture of adults of *A. ludens* were characterized by differences in population densities of *A. ludens* and the prevailing citrus varieties, plus average temperature of each. Descriptive statistics of average weekly MTD (MTDp) from the 174 traps was performed and the average temperature of each period, identified in each year of study was obtained.

Weekly records of climatic variables were obtained from two weather stations managed by the National Water Commission (CNA): El Barretal and Ciudad Victoria, in the latter, only atmospheric pressure and relative humidity records were obtained.

Análisis de regresión

Los datos promedio semanales de las variables de temperatura media, mínima, máxima, y ambiental que se refiere a la temperatura en las primeras horas de la mañana, así como de la humedad relativa, precipitación, y presión atmosférica fueron considerados para determinar el grado de relación con el MTDp por año. Otra variable de análisis fue el resultado de la transformación logarítmica de los datos de precipitación (preclog), donde a los valores de 0 se le agregó una constante de +1.

El MTDp y cada variable explicativa potencial se observaron con gráficos de dispersión y por un análisis de regresión lineal simple para el ajuste de datos.

$$y = a + bX$$

Donde: y fue la variable dependiente (MTDp); a al valor del intercepto; b la pendiente; y X la variable independiente, en este caso las variables ambientales.

El coeficiente de determinación (r^2) se usó para interpretar la adecuación de la regresión y la significancia estadística de la pendiente ($p \leq 0.05$). Se ejecutaron modelos de regresión no lineal para la identificación de alguna correlación entre las diferentes variables.

Cada una de las variables fue ajustada con las demás realizando una regresión múltiple por cada año. La selección de variables se realizó por procedimientos automáticos escalonados (stepwise), bondad de ajuste y por criterio de selección de variables que pudieran explicar en términos de MTDp la fluctuación de *A. ludens* en la región.

Para los diferentes análisis de regresión se utilizó el software Statistica 6.1 (StatSoft, Inc. 2004).

Resultados y discusión

Periodos de captura de adultos

Durante el estudio la temperatura osciló por lo general desde los 0 °C en invierno hasta los 40 °C en la estación de verano. A diferencia de áreas tropicales, la temperatura promedio en el noreste de México presenta una variación definida por las estaciones del año (Figura 1). En base a lo

Regression analysis

Weekly average of variables, average temperature, minimum, maximum and environmental data refers to the temperature in the early hours of the morning as well as relative humidity, rainfall, and atmospheric pressure were considered to determine the relationship degree with MTDp per year. Another variable of analysis was the result of the logarithmic transformation of rainfall data (preclog), where the values of 0 were added a constant +1.

The MTDp and each potential explanatory variable were observed through scatter plots and by a simple linear regression analysis to fit data.

$$y = a + bX$$

Where: y was the dependent variable (MTDp); a to the value of the intercept; b the slope; and X the independent variable, in this case the environmental variables.

The coefficient of determination (r^2) was used to interpret the adequacy of regression and statistical significance of the slope ($p \leq 0.05$). Nonlinear regression models to identify any correlation between different variables were performed.

Each variable was fit with the others in a multiple regression per year. The selection of variables was made by stepwise regression, goodness of fit and selection criteria of variables that could be explain in terms of MTDp fluctuation of *A. ludens* in the region.

Statistica 6.1 (StatSoft, Inc. 2004) software was used for the different regression analysis.

Results and discussion

Adults capture periods

During the study, temperature ranged from 0 °C in winter to 40 °C in summer season. Unlike tropical areas, the average temperature in northeastern Mexico presents a variation defined by the seasons (Figure 1). Based on the above and levels of average weekly MTD (MTDp) three periods of adult capture density of *A. ludens* (Figure 2) were determined.

Cuadro 2. Temperatura promedio y estadística descriptiva del MTD promedio del primer periodo (enero-abril) de los años 2008- 2011 en la región de Santa Engracia, Tamaulipas.

Table 2. Average Temperature and descriptive statistics of average MTD for the first period (January-April) during 2008 - 2011 in Santa Engracia, Tamaulipas.

Año	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza	Error Estandar	Sesgo	T° C Promedio
2008	0.1944	0.2151	0.0608	0.3155	0.0081	0.0218	-0.1977	21
2009	0.3689	0.3275	0.0642	1.1977	0.0715	0.0648	2.1006	22
2010	0.1132	0.0923	0.0103	0.2620	0.0054	0.0179	0.4937	19
2011	0.1295	0.1152	0.0166	0.4357	0.0126	0.0272	1.6770	22

De acuerdo a la Figura 3, en las semanas 7 a 13 (febrero-abril) se presentaron los más altos niveles de MTDp, y a partir de la semana 15 (abril) estos valores decrecieron aun cuando todavía existió naranja Valencia en la zona. Lo anterior, marcó el término del primer periodo, en donde destacó el año 2009 que exhibió el MTDp más alto en la región durante los cuatro años (Cuadro 2). Esto probablemente por la ausencia de aspersiones aéreas de cebo tóxico a finales del año 2008 por parte del PNCMF. Ese año en particular mostró una continuidad poblacional con MTDp altos desde el mes de diciembre 2008 a enero de 2009 (Figura 3).

orange in the area. This marked the end of the first period, where 2009 stood out since it exhibited the highest MTDp in the region during the four years (Table 2). This is probably due to the absence of aerial spraying of toxic bait at the end of 2008 by the PNCMF. This year in particular showed population continuity with high MTDp from December 2008 to January 2009 (Figure 3).

This first period suggests that extending the harvest season to the months of May and June would mean an improvement in producer prices and reduction in damage by *A. ludens*

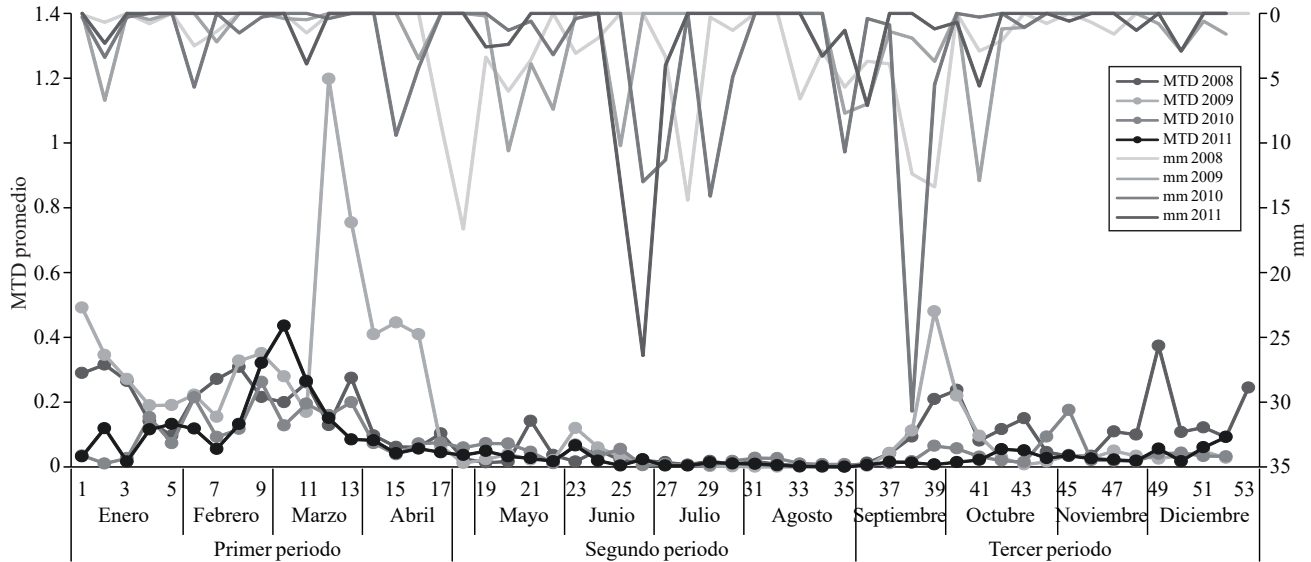


Figura 3. Precipitación semanal (mm) registrada del 2008 a 2011 y el comportamiento del MTD promedio de *A. ludens* en Santa Engracia, Tamaulipas.

Figure 3. Weekly Precipitation (mm) recorded from 2008 to 2011 and behavior of average MTD of *A. ludens* in Santa Engracia, Tamaulipas.

Este primer periodo sugiere que la prolongación de la temporada de cosecha hasta los meses de mayo y junio significaría una mejora en precios para el productor y un menor daño de *A. ludens* por la baja en la saturación del mercado y un menor MTDp. Esta situación puede ser

by lower market saturation and lower MTDp. This can be considered as an alternative like that reported in Veracruz by Aluja *et al.* (2011) with the use of gibberellic acid (GA₃) in Valencia orange and its effect on delaying fruit senescence leading to a prolongation of the harvest of up to six weeks.

tomada en cuenta para la exploración de alternativas como la reportada en Veracruz por Aluja *et al.* (2011) con el uso del ácido giberélico (AG₃) en cultivos de naranja Valencia y su efecto en el retraso de la senescencia del fruto conduciendo a una prolongación de la cosecha de hasta seis semanas.

El segundo periodo abarcó de mayo-agosto (semanas 18-35) y se caracterizó por una disminución en el MTD_p que puede llegar a 0.0000, causado por la menor disponibilidad de hospederos. Se presentaron temperaturas promedio entre los 27 y 30 °C (Cuadro 3) y niveles de precipitación importantes en los cuatro años que no coincidieron con los dos principales picos poblacionales de la plaga (Figura 3). Esto fue notado por Ronchi-Teles y Da Silva (2005) que reportaron picos poblacionales del género *Anastrepha* spp., independientes de la distribución de las lluvias.

Cuadro 3. Temperatura promedio y estadística descriptiva del MTD promedio del segundo periodo (mayo-agosto) de los años 2008-2011 en la región de Santa Engracia, Tamaulipas.

Table 3. Average Temperature and descriptive statistics of average MTD of the second period (May-August) from 2008 - 2011 in Santa Engracia, Tamaulipas.

Año	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza	Error Estandar	Sesgo	T° C Promedio
2008	0.0234	0.0166	0.0000	0.1421	0.0010	0.0076	3.2824	28
2009	0.0202	0.0098	0.0000	0.1202	0.0009	0.0071	2.4810	30
2010	0.0301	0.0225	0.0047	0.0726	0.0006	0.0060	0.6300	29
2011	0.0178	0.0120	0.0000	0.0655	0.0003	0.0043	1.3119	27

Sin embargo, entre las semanas 18 y 23 (mayo-junio) se observó un pequeño incremento poblacional en los años 2008 y 2010 (Figura 2), quizás por fruta no comercializada y la fructificación de *C. greggi* cerca de áreas comerciales que pueden reintroducir poblaciones de *A. ludens* a las huertas, ya que de acuerdo a Pecina *et al.* (2009) no hay evolución en el aislamiento reproductivo entre las poblaciones de *A. ludens* en *C. greggi* y cítricos. Esto coincide con la etapa de mayor presencia de adultos de *A. ludens* asociados a *C. greggi* reportado de mayo a junio en el noreste de México (Thomas, 2003 y 2012). Aluja y Mangan (2008) señalan que las moscas de la fruta multivoltinas pueden cerrar las brechas de fructificación de su huésped principal mediante la explotación de hospederos alternativos, como sucede con la naranja agria o “cucha” presente todo el año en la región (Cuadro 1).

The second period was from May to August (weeks 18-35) and was characterized by a decrease in MTD_p that can reach 0.0000, caused by lower availability of hosts. Average temperatures between 27 and 30 °C (Table 3) and significant levels of rainfall in the four years that did not coincide with the two main population peaks of the pest (Figure 3) were present. This was noticed by Ronchi-Teles and Da Silva (2005) who reported population peaks of *Anastrepha* spp., independent of rainfall distribution.

However, between weeks 18 and 23 (May-June) a small population increase was observed in 2008 and 2010 (Figure 2), perhaps due to not marketed fruit and fruiting of *C. greggi* near commercial areas that may reintroduce populations of *A. ludens* to the orchards, since according to Pecina *et al.* (2009) there is no evolution in reproductive isolation

between populations of *A. ludens* in *C. greggi* and citrus. This match with the stage of higher presence of adults of *A. ludens* associated to *C. greggi* reported from May to June in northeastern Mexico (Thomas, 2003 and 2012). Aluja and Mangan (2008) point out that multivoltine fruit fly can close fruiting gaps of its main host by exploiting alternative hosts, as happens with sour orange present throughout the year in the region (Table 1).

The third period was considered from September to December (weeks 36-52), with average temperatures between 22 and 23 °C (Table 4) which are similar to those of the first period. Early varieties of orange, tangerine and mainly grapefruit reach its maturity creating conditions for the second population peak.

El tercer periodo se consideró de septiembre a diciembre (semanas 36-52), con temperaturas promedio en estos meses entre los 22 y 23 °C (Cuadro 4) que son similares a las del primer periodo. Las variedades tempranas de naranja, mandarina, y principalmente de toronja llegan a su estado de madurez creando condiciones para el segundo pico poblacional.

Grapefruit has high levels of infestation in Tamaulipas since it represents one of the preferred hosts of *A. ludens* (Baker *et al.*, 1944; Robacker and Fraser, 2002; Birke *et al.*, 2006). The acreage of these varieties are estimated around 500 ha mostly grapefruit, against 5,300 ha of Valencia orange (SAGARPA, 2013), where the MTDp level decreased compared to the beginning of the year.

Cuadro 4. Temperatura promedio y estadística descriptiva del MTD promedio del tercer periodo (septiembre-diciembre) de los años 2008-2011 en la región de Santa Engracia, Tamaulipas.

Table 4. Average Temperature and descriptive statistics of average MTD of the third period (September to December) during 2008-2011 in Santa Engracia, Tamaulipas.

Año	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza	Error Estandar	Sesgo	T° C Promedio
2008	0.1223	0.1036	0.0126	0.3733	0.0085	0.0217	1.3582	22
2009	0.0759	0.0355	0.0028	0.4799	0.0135	0.0282	3.0343	22
2010	0.0410	0.0316	0.0055	0.1753	0.0017	0.0100	2.4740	22
2011	0.0316	0.0220	0.0057	0.0922	0.0006	0.0057	1.2418	23

La toronja presenta altos niveles de infestación en Tamaulipas dado que representa uno de los hospederos preferentes de *A. ludens* (Baker *et al.*, 1944; Robacker y Fraser, 2002; Birke *et al.*, 2006). La superficie cultivada de estas variedades se calcula alrededor de 500 ha en su mayoría de toronja, contra 5 300 ha de naranja valencia (SAGARPA, 2013), por lo cual el nivel MTDp disminuyó en comparación con el de inicio de año. Sin embargo, la presencia de variedades intercaladas o las huertas mixtas (Aluja, 1994) contribuyen al sostenimiento de poblaciones en toda la región en esta época del año.

Según Thomas (2003), la oviposición en toronja en los meses de octubre y noviembre da lugar a la emergencia de adultos en enero y febrero, lo cual coincide con las primeras detecciones anuales en el estado de Texas. Birke *et al.* (2006) mencionaron la importancia de las infestaciones tardías debido al elevado número de oviposiciones de hembras en esta época del año, lo cual se ha observado en las diferentes variedades de toronja de la región. Otra característica en estos meses del año, de acuerdo a Ordano *et al.* (2013) es la posibilidad de reducir el impacto de insecticidas sintéticos en poblaciones de insectos no objetivo (benéficos, polinizadores, parasitoides, etc.) en huertas de toronja debido al desfase entre los picos poblacionales del insecto plaga y los insectos no objetivo.

However, the presence of intercalated varieties or mixed orchards (Aluja, 1994) contributes to sustain populations throughout the region at this time of year.

According to Thomas (2003) oviposition in grapefruit in the months of October and November leads to the emergence of adults in January and February which coincides with the first annual detections in Texas State. Birke *et al.* (2006) mentioned the importance of late infestations due to the high number of oviposition from females at this time of year, which has been observed in the different grapefruit varieties in the region. Another characteristic in these months of the year, according to Ordano *et al.* (2013) is the ability to reduce the impact of synthetic insecticides in populations of non-target insects (beneficial, pollinators, parasitoids, etc.) in grapefruit orchards due to the gap between the population peaks of insect pest and non-target insects.

The conditions for this period play an important role in the integrated pest management and are key to reduce insect damage at the beginning of the year.

According to statistical analysis the minimum and maximum values of MTDp from the three periods have wide ranges of variation expressed in a bias. The differences between

Las condiciones de este periodo juegan un rol importante dentro del manejo integrado de la plaga y son clave para reducir el daño del insecto a inicios de año.

De acuerdo al análisis estadístico los valores de mínimo y máximo del MTDp en los tres periodos tienen amplios rangos de variación expresados en un sesgo. Las diferencias entre la media y mediana indican una distribución que no se ajusta a la normal. Esto indica una variabilidad entre las observaciones y que el MTDp no fue homogéneo en la región. Las diferencias de capturas entre trampas en esta región puede estar ocasionado por diversos factores a nivel local como el exposición de la trampa directo al sol o a vientos, condiciones climáticas locales, áreas cercanas con infestaciones de fruta (Martínez-Ferrer *et al.*, 2010), y a las aspersiones de cebo tóxico por parte del productor y del PNCMF.

Análisis de regresión

A diferencia de lo señalado por Celedonio-Hurtado *et al.* (1995), para los climas tropicales y la regularidad de las temperaturas a lo largo del año, la región noreste de México presenta condiciones climáticas contrastantes con aquellas zonas, particularmente la temperatura que puede variar desde los 0 °C hasta los 40 °C en las regiones cítrícolas.

En los resultados no se observó una correlación entre el MTDp y las variables climáticas en modelos no lineales. La regresión lineal simple mostró en las relaciones significativas ($p < 0.05$), un coeficiente de regresión (r) negativo en todos los casos. La temperatura mínima semanal (T_m) fue la variable explicativa de mayor valor ($r^2 = 0.47$) en el año 2008, seguida por la temperatura promedio semanal ($r^2 = 0.42$) en el mismo año. La temperatura promedio (TP), la temperatura promedio ambiente (TPA), y la temperatura máxima semanal (TM) también tuvieron significancia ($p < 0.05$) con el MTDp en los años 2010 y 2011, pero con una débil correlación (Cuadro 5).

La T_m en los años 2009, 2010 y 2011 fue la variable más consistente en los modelos de regresión. Contrariamente, Thomas y Loera Gallardo (1998) en estudios con *A. ludens* estériles en Nuevo León y norte de Tamaulipas, no encontraron relación entre las temperaturas mínimas y las capturas de moscas estériles de *A. ludens*, señalando que quizás se debió a las características de los datos provenientes de las trampas McPhail. Otro factor, probablemente fue la liberación en campo del insecto en áreas más frías y otras condiciones agroecológicas que las de la zona centro de Tamaulipas.

mean and median indicate a distribution that does not fit to normal. This indicates variability between observations and that MTDp was not homogeneous in the region. The differences in capture between traps in this region may be caused by multiple local factors as direct exposure of the trap to sun or wind, local weather conditions, nearby areas with fruit infestations (Martínez-Ferrer *et al.*, 2010) and to toxic bait sprays by the producer and PNCMF.

Regression analysis

Unlike that pointed out by Celedonio-Hurtado *et al.* (1995) for tropical climates and regular temperatures throughout the year, the northeastern region of Mexico presents contrasting climatic conditions in those areas, particularly the temperature ranging from 0 °C to 40 °C in the citrus regions.

Results showed no correlation between MTDp and climatic variables in nonlinear models. Simple linear regression showed significant relationships ($p < 0.05$), a regression coefficient (r) negative in all cases. The minimum weekly temperature (T_m) was the most explanatory variable of higher value ($r^2 = 0.47$) in 2008, followed by the weekly average temperature ($r^2 = 0.42$) in the same year. The average temperature (TP), the environmental average temperature (TPA) and weekly maximum temperature (TM) were also significant ($p < 0.05$) with MTDp in 2010 and 2011, but with a weak correlation (Table 5).

T_m in 2009, 2010 and 2011 was the most consistent variable in the regression models. Unlike, Thomas and Loera Gallardo (1998) in studies with sterile *A. ludens* in Nuevo Leon and northern Tamaulipas did not find relationship between minimum temperatures and catches of sterile flies of *A. ludens*, noting that perhaps was due to the characteristics of data from McPhail traps. Another factor was probably the release in field of the insect in colder areas and other agro-ecological conditions than those from the center of Tamaulipas.

During winter season in January can reach temperatures of 0 °C, which are not maintained for long periods of time that could impact the populations of *A. ludens* in the citrus area. However, an increased trend in MTDp by maturation and availability of hosts was observed, in contrast to popular belief in the state of a high mortality of the pest under cold condition.

Durante la estación de invierno en el mes de enero se pueden alcanzar temperaturas de 0 °C, las cuales no se mantienen por largos periodos de tiempo que podrían impactar las poblaciones de *A. ludens* en la zona citrícola. En cambio, se observó una tendencia del incremento del MTDp por la maduración y disponibilidad de hospederos, contrastando la creencia popular en el estado de una alta mortalidad de la plaga bajo esta condición de frío.

En observaciones de campo por el autor en la Sierra Madre Oriental (SMO) se ha constatado que las poblaciones de *A. ludens* prosperan en localidades con altitudes superiores a los 1 900 msnm en Tamaulipas, con temperaturas mínimas inferiores a las del área de estudio, demostrándose la plasticidad genética para la adaptación a diferentes condiciones ambientales (Pecina *et al.*, 2009).

La precipitación no parece influir de manera directa en las poblaciones de *A. ludens* en zonas comerciales en el noreste del país. Esto debido a que durante los meses con más presencia de lluvia (mayo, junio, julio, septiembre y octubre) y la poca o nula disponibilidad de hospederos comerciales el MTDp fue menor (Figura 3). Esto es similar a lo registrado para *Anastrepha* spp., en regiones tropicales del continente americano (Hedtström, 1993; Celedonio-Hurtado *et al.*, 1995; Ronchi-Teles y Da Silva, 2005).

Sin embargo, en áreas no perturbadas por acciones antrópicas en la SMO, Thomas (2012) reportó una alta correlación de la población del insecto con la precipitación. Esto puede ser atribuido a que la estación lluviosa comprende la etapa de fructificación y maduración de su hospedero silvestre, *C. greggi*.

Los datos de precipitación sometidos a la transformación logarítmica (preclog) mostraron una débil correlación con el MTDp en el año 2008 ($r^2= 0.08$). Este resultado quizá se relacione con el registro de la mayor precipitación acumulada anual (126 mm) en el año 2008, mientras que, en el año 2011 fue la más baja en los cuatro años (78 mm). De igual manera, Thomas y Loera-Gallardo (1998) señalaron inconsistencias entre datos de precipitación y la captura de moscas estériles de *A. ludens* en el norte del estado.

Cabe señalar que en la mayoría de las regiones citrícolas en Tamaulipas existe un régimen de riego por microaspersión y tradicional (por gravedad) que proporcionan humedad al suelo durante varios días para el mantenimiento de la fruta en el árbol. Esta actividad podría sustituir el efecto de la

Cuadro 5. Resultados de la regresión lineal simple del MTD promedio con las diferentes variables climáticas con significancia estadística ($p < 0.05$) en los años 2008-2011 en la región de Santa Engracia, Tamaulipas.

Table 5. Results from simple linear regression of average MTD with different climatic variables with statistical significance ($p < 0.05$) during 2008-2011 in the region of Santa Engracia, Tamaulipas.

2008				
Factor	r^2	r	valor p	
Temperatura promedio	0.42	-0.65	<0.05	
Temperatura mínima	0.47	-0.68	<0.05	
Temperatura máxima	0.29	-0.54	<0.05	
Preclog	0.08	-0.29	<0.05	
Humedad relativa	0.11	-0.34	<0.05	
2009				
Factor	r^2	r	valor p	
Temperatura mínima	0.09	-0.30	<0.05	
2010				
Factor	r^2	r	valor p	
Temperatura promedio	0.19	-0.43	<0.05	
Temperatura mínima	0.23	-0.48	<0.05	
Temperatura máxima	0.11	-0.34	<0.05	
2011				
Factor	r^2	r	valor p	
Temperatura promedio	0.11	-0.34	<0.05	
Temperatura promedio ambiente	0.16	-0.40	<0.05	
Temperatura mínima	0.16	-0.40	<0.05	

In field observations by the author in the Sierra Madre Oriental (SMO) has been found that populations of *A. ludens* thrive in areas with altitudes higher than 1900 masl in Tamaulipas, with below-minimum temperatures from the study area, demonstrating the genetic plasticity to adapt to different environmental conditions (Pecina *et al.*, 2009).

Rain does not seem to have a direct influence on the populations of *A. ludens* in commercial areas in the northeast. This is because during the months with more presence of rain (May, June, July, September and October) and little or scarce availability of commercial hosts, MTDp was lower (Figure 3). This is similar to that recorded for *Anastrepha* spp in tropical regions from the Americas (Hedtström, 1993; Celedonio-Hurtado *et al.*, 1995; Ronchi-Teles and Da Silva, 2005).

precipitación y la humedad relativa a escala local (huerta) en las poblaciones promoviendo la emergencia de adultos en la etapa de maduración de la fruta. Otra consideración, es que este factor pudiera tener una influencia desfasada en la dinámica poblacional de *A. ludens* (Aluja *et al.*, 2012) y que pudiera estar relacionado con el segundo pico poblacional que se presentó posterior a la temporada de lluvias durante los años de estudio. Montoya *et al.* (2008) señalaron que la humedad del suelo a un punto de saturación inflige el mayor efecto negativo en la emergencia de adultos, lo cual en la naturaleza solo puede ser observado bajo largos periodos de lluvia continua o fuertes precipitaciones, lo cual no sucedió durante los cuatro años de este trabajo.

En zonas tropicales del país la relación con la precipitación no ha sido claramente dilucidada (Celedonio-Hurtado *et al.*, 1995; Aluja *et al.*, 1996). Sin embargo, Tucuch-Cahuich *et al.* (2008) mencionaron una correlación altamente positiva en el estado de Campeche entre la precipitación y poblaciones de *A. ludens*. En otros tephritidos, Appiah *et al.* (2009) demostraron una correlación positiva de la precipitación con el número de moscas capturadas de *Ceratitis capitata* (Wiedemman) en huertas de naranja Valencia en Ghana.

En el caso de la humedad relativa y la presión atmosférica no se encontró alguna asociación representativa con el MTDp, excepto en 2008 que se tuvo el mayor registro de precipitación acumulada de 126 mm, la humedad relativa tuvo una varianza explicada baja de 0.11. En el sur del país, se ha registrado la asociación de *Anastrepha* spp., con el aumento en la humedad relativa (Martínez-Morales *et al.*, 2003).

El modelo final de la regresión lineal múltiple en los cuatro años contiene tres variables significativas explicatorias del total de siete: la Tm, la TM y la presión atmosférica. Este modelo explicó en el año 2008; 46% del total de la variación, incluyendo solo la Tm, mientras que en el año 2009 representó 35% con las tres variables asociadas (Cuadro 6). La Tm y TM fueron los factores climáticos más presentes en los modelos coincidiendo con lo derivado de la regresión lineal simple.

La alta variabilidad del MTDp en las observaciones fue determinante en el bajo ajuste de los datos en los modelos lineales. No obstante, estos valores extremos fueron incluidos en el análisis dado su importancia en los incrementos poblacionales en cortos periodos de tiempo y representan momentos clave en el manejo integrado de la plaga en una escala regional.

However, in undisturbed areas by human actions in SMO, Thomas (2012) reported a high correlation of insect population with precipitation. This can be attributed to rainy season comprises the fruiting and ripening stage of its wild host, *C. greggi*.

Precipitation data underwent logarithmic transformation (prelog) showed a weak correlation with MTDp in 2008 ($r^2= 0.08$). This result may be related with the record of the largest annual accumulated rainfall (126 mm) in 2008 while 2011 was the lowest in four years (78 mm). Similarly, Thomas and Loera-Gallardo (1998) noted inconsistencies between precipitation data and capture of sterile flies of *A. ludens* upstate.

Note that in most citrus regions in Tamaulipas there is an irrigation system by micro-aspersion and traditional (flooding) which provides moisture to the soil for several days to maintain fruit on the tree. This activity could replace the effect of precipitation and relative humidity locally (orchard) in populations, promoting the emergence of adults at fruit ripening stage. Another consideration is that this factor could have a delayed influence in the population dynamics of *A. ludens* (Aluja *et al.*, 2012) and could be related to the second population peak that was presented after the rainy season during the years of study. Montoya *et al.* (2008) reported that soil moisture at saturation point inflicts the highest negative effect on adult emergence, which in nature can only be observed under long periods of continuous rain or heavy rainfall, which did not happen during the four years of this work.

In tropical areas of the country the relationship with precipitation has not been clearly elucidated (Celedonio-Hurtado *et al.*, 1995; Aluja *et al.*, 1996). However, Tucuch-Cahuich *et al.* (2008) reported a highly positive correlation in the state of Campeche between precipitation and populations of *A. ludens*. In other tephritidae, Appiah *et al.* (2009) demonstrated a positive correlation of precipitation with the number of captured flies of *Ceratitis capitata* (Wiedemman) in orchards of Valencia orange in Ghana.

For relative humidity and atmospheric pressure there was representative association with MTDp, except in 2008 that had the greatest record of accumulated rainfall of 126 mm, relative humidity had a low explained variance of 0.11. In the south, it has been recorded the association of *Anastrepha* spp., with the increase in relative humidity (Martínez-Morales *et al.*, 2003).

Cuadro 6. Resultados de la regresión lineal múltiple del efecto de factores climáticos ($p < 0.05$) sobre el MTD promedio de *A. ludens* de los años 2008-2011 en Santa Engracia, Tamaulipas.**Table 6. Results of multiple linear regression from the effect of climatic factors ($p < 0.05$) on average MTD of *A. ludens* during 2008-2011, in Santa Engracia, Tamaulipas.**

Variable	Año	Coefficiente de regresión	Error estándar	valor p	r^2 ajustado
Temperatura mínima	2008	-0.689	0.105	0.000	0.464
Temperatura mínima	2009	-1.326	0.252	0.000	0.353
Presión atmosférica		-0.554	0.160	0.001	
Temperatura máxima		0.758	0.238	0.003	
Temperatura mínima	2010	-0.483	0.124	0.000	0.218
Temperatura mínima	2011	-0.995	0.325	0.004	
Temperatura máxima		0.808	0.325	0.016	0.135

La producción citrícola y el patrón de la temperatura durante el año crean una combinación favorable para los principales picos poblacionales de *A. ludens*. De igual manera, la escasa producción citrícola durante el periodo de mayo-agosto y las temperaturas altas promueven poblaciones bajas de la plaga, apoyando una asociación estacional entre estas dos variables.

Conclusiones

La contribución de las variables ambientales en la dinámica de la plaga no se esclareció en los modelos de regresión. Estos resultados apoyan la asociación estacional entre la disponibilidad de hospederos y la temperatura. La precipitación no presentó relaciones consistentes en los modelos lineales y con los principales picos poblacionales sugiriendo estudios a escala local que involucren la influencia antrópica (riegos) y la variabilidad climática global a una escala regional.

La fluctuación poblacional de *A. ludens* en la región de Santa Engracia se dividió en tres etapas de captura de adultos. Estos periodos se caracterizaron por el nivel MTD, variedad y abundancia de hospederos, y la temperatura promedio. Esta clasificación sienta las bases para la prevención de crecimientos exponenciales, ya que los altos niveles de MTD se restringen a 7 meses continuos del año (septiembre-marzo) y de forma heterogénea en la región. Esto plantea esquemas de utilización de métodos de control como la técnica del insecto estéril y el control biológico bajo un enfoque de área grande.

The final model of multiple linear regressions in the four years contains three significant explanatory variables of all seven: Tm, TM and atmospheric pressure. This model explained in 2008; 46% of the total variation, including just Tm, whereas in 2009 it represented 35% with the three associated variables (Table 6). Tm and TM were the most present climatic factors in the models coinciding with that derived from simple linear regression.

The high variability from MTDp in the observations was determinant on low data fit in linear models. However, these extreme values were included in the analysis given their importance in population increases in short periods of time and represent key moments in integrated pest management on a regional scale.

Citrus production and temperature pattern throughout the year create a favorable combination for the main population peaks of *A. ludens*. Similarly, poor citrus production during the period from May to August and high temperatures promote low pest populations, supporting a seasonal association between these two variables.

Conclusions

The contribution of environmental variables on the dynamics of the pest was not clarified in the regression models. These results support the seasonal association between availability

Finalmente, este trabajo es la primera contribución en el análisis de poblaciones de mosca mexicana de la fruta en áreas citrícolas extensas en Tamaulipas. La aplicación de estos resultados en estrategias de control, supresión, y monitoreo en una escala regional contribuyen a la elaboración de acciones dirigidas al estado fenológico del insecto optimizando y precisando recursos humanos y financieros.

Agradecimientos

A las autoridades del CESAVETAM por las facilidades en la realización de este trabajo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a Venancio Vanoye en sus estudios doctorales. A Luis Ángel Guardiola Alcocer y Guillermo Gerónimo Reyes del PNCMF en Tamaulipas por su apoyo en el trabajo de laboratorio y campo, así como a los revisores(as) del manuscrito que contribuyeron sustancialmente en la mejora de esta contribución.

Literatura citada

- Aluja, M. 1994. Bionomics and management of *Anastrepha*. Ann. Review Entomol. 39:155-178.
- Aluja, M.; Celedonio-Hurtado, H.; Liedo, P.; Cabrera, M.; Castillo, F.; Guillen, J. y Ríos, E. 1996. Seasonal population fluctuations and ecological implications for management *Anastrepha* fruit flies (Diptera: Tephritidae) in commercial mango orchards in southern Mexico. J. Econ. Entomol. 89:654-667.
- Aluja, M. and Mangan, R. 2008. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) host status determination: critical conceptual, methodological and regulatory considerations. Ann. Review Entomol. 53:473-502.
- Aluja, M.; Bigurra, E.; Birke, A.; Greany, P. and McDonald, R. 2011. Delaying senescence of 'Ruby Red' grapefruit and 'Valencia' oranges by gibberellic acid applications. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 2(1):41-55.
- Aluja, M.; Ordano, M.; Guillen, L. and Rull, J. 2012. Understanding long-term fruit fly (Diptera: Tephritidae) population dynamics: implications for areawide management. J. Econ. Entomol. 105(3):823-836.
- Appiah, F. E.; Afreh-Nuamah, K. and Obeng-Ofori, D. 2009. Abundance and distribution of the Mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae), in late Valencia citrus orchards in Ghana. Int. J. Trop. Insect Sci. 29(1):11-16.
- Baker, W.; Stone, E.; Plummer, C. C. y McPhail, M. 1944. A review of studies on the Mexican fruit fly and related Mexican species. USDA Miscellaneous Publication 531.

of hosts and temperature. Rainfall did not show consistent relationships in linear models and with the main population peaks, suggesting local studies involving human influence (irrigation) and global climate variability on a regional scale.

The population fluctuation of *A. ludens* in the region of Santa Engracia was divided into three stages of adults capture. These periods were characterized by the MTD level, variety and abundance of hosts, and average temperature. This classification provides the basis for the prevention of exponential growth, since high levels of MTD are restricted to 7 continuous months (September to March) and heterogeneously in the region. This raises the use of control methods such as sterile insect technique and biological control with a focus on large areas.

Finally, this paper is the first contribution in the analysis of Mexican fruit fly populations in large citrus areas from Tamaulipas. The application of these results in control, suppression, and monitoring strategies at a regional level contribute to the development of actions aimed at phenological stage of the insect by optimizing and requiring human and financial resources.

End of the English version



- Birke, A.; Aluja, M.; Greany, P.; Bigurra, E.; Pérez- Staples, D. and McDonald, R. 2006. Long aculeus and behavior of *Anastrepha ludens* render gibberellic acid ineffective as an agent to reduce "ruby red" grapefruit susceptibility to the attack of this pestiferous fruit fly in commercial groves. J. Econ. Entomol. 99(4):1184-1193.
- Hedström, I. 1993. Population dynamics and host relationships of neotropical flies (Diptera: Tephritidae) in seasonal and non-seasonal environments. Inter. J. Pest Managem. 39(4):400-410.
- Martínez-Ferrer, M. T.; Navarro, C.; Campos, J. M.; Marzal, C.; Fibla, J. M.; Bagues, L. and García, M. F. 2010. Seasonal and annual trends in field populations of Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata*, in Mediterranean citrus groves: comparison of two geographic areas in eastern Spain. Spanish J. Agric. Res. 8(3):757-765.
- Martínez-Morales, A.; Alia-Tejacal, I. y Hernández-Hernández, U. L. 2003. Fluctuación poblacional de moscas de la fruta, género *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae), en una huerta de zapote mamey en Jalpa de Méndez, Tabasco, México. Centro Agrícola Núm. 4:54-59.
- Montoya, P.; Flores, S. and Toledo, J. 2008. Effect of rainfall and soil moisture on survival of adults and immature stages of *Anastrepha ludens* and *A. obliqua* (Diptera: Tephritidae) under semi-field conditions. Florida Entomologist. 91(4):643-650.

- Norrbom, A. L.; Zucchi, R. A. and Hernández-Ortíz, V. 2000. Phylogeny of the genera *Anastrepha* and *Toxotrypana* (Trypetinae: Toxotrypanini) based in morphology. *In: fruit flies (Tephritidae): phylogeny and evolution of behavior.* Aluja, M. and Norrbom, A. (Eds.). CRC, Press, Boca Raton, FI. 299-342 pp.
- Ordano, M.; Guillén, L.; Rull, J.; Lasa, R. and Aluja, M. 2013. Temporal dynamics of diversity in a tropical fruit fly (Tephritidae) ensemble and their implications on pest management and biodiversity conservation. *Bio. Conserv.* 22:1557-1575.
- Pecina, Q. V.; López, A. I. J.; Loera, G. J.; Rull, J.; Rosales, R. E.; Mondaca, C. M. E.; Hernández, D. S.; Mayek, P. N. and Aluja, M. S. 2009. Genetic differences between *Anastrepha ludens* (Loew) populations stemming from a native and an exotic host in NE Mexico. *Agric. Téc. Méx.* 35(3):323-331.
- Plummer, C. C.; McPhail, M. and Monk, W. J. 1941. The yellow chapote, a native host of the Mexican fruit fly. *USDA. Technique Bulletin.* 775:12.
- Robacker, D. C. and Fraser, I. 2002. Do Mexican fruit flies (Diptera: Tephritidae) prefer grapefruit to yellow chapote, a native host? *Florida Entomologist.* 85(3):481-487.
- Ronchi-Teles, B. e Da Silva, N. M. 2005. Flutuação populacional de espécies de *Anastrepha* Schiner (Diptera:Tephritidae) na Região de Manaus, AM. *Neotropical Entomol.* 34(5):733-741.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. Padrón de productores de cítricos georeferenciados 2010-2012 Tamaulipas. Sistema Nacional para el Desarrollo Rural Sustentable, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Gobierno del estado de Tamaulipas. Estadística Agropecuaria. Cd. Victoria, Tamaulipas, México, D. F. http://www.sagarpa.gob.mx/delegaciones/tamaulipas/documents/padron_citricos%202010-2012.pdf.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2004. SAS user's guide. Statistics. Version 6. SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 19:749-756.
- Steyskal, G. C. 1977. History and use of the McPhail trap. *Florida Entomologist.* 60(1):11-16.
- Thomas, D. B. 2012. Mexican fruit fly (Diptera: Tephritidae) and the phenology of its native host plant yellow chapote (Rutaceae) in Mexico.
- Tucuch-Cahuich, F.; Chi, Q. G. y Orona-Castro, F. 2008. Dinámica poblacional de adultos de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha* sp. (Diptera: Tephritidae) en Campeche, México. *Agric. Téc. Méx.* 34(3):341-347.