

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *Bactericera cockerelli* (Sulc) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* (Brot.))

SPATIAL DISTRIBUTION OF *Bactericera cockerelli* (Sulc) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) ON GREEN TOMATO (*Physalis ixocarpa* (Brot.))

Leonardo A. Crespo-Herrera¹, Jorge Vera-Graziano^{1*}, Hiram Bravo-Mojica¹, José López-Collado¹,
Roberto Reyna-Robles¹, Aureliano Peña-Lomeli², Víctor Manuel Pinto³, Ramón Garza-García⁴

¹Programa de Entomología y Acarología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. (graziano@colpos.mx) ²Departamento de Fitotecnia, Instituto de Horticultura; ³Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. ⁴Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 56230. Estado de México, México.

RESUMEN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es hospedero de varias plagas, entre ellas *Bactericera cockerelli* (Sulc) que causa hasta 45 % de pérdidas en rendimiento debido a la transmisión de un fitoplasma del grupo I. Sin embargo, no hay estimadores de los parámetros de los programas de muestreo para este insecto, los cuales son fundamentales para determinar tamaños de muestra de poblaciones. Por tanto, se estudió la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* en tres parcelas experimentales en Texcoco, Estado de México, con base en los estimadores de la varianza/media ($S^2/\bar{x}$) y la Ley de la Potencia de Taylor (LPT). Los datos fueron analizados con el programa SUPRA. Los huevos y ninfas presentaron una disposición agregada, $S^2/\bar{x}$ de 5 a 23.5 y 1.5 a 6.7; mientras que los adultos, altamente móviles en el campo, presentaron una distribución aleatoria ($S^2/\bar{x}$ entre 0.83 y 20.60). El método LPT concuerda con los patrones de distribución para los tres estados biológicos de la plaga.

Palabras clave: tomatillo, psílido del tomate, ley de la potencia Taylor, relación varianza/media.

INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es la cuarta especie hortícola más cultivada en México, antecedida por el jitomate (*Solanum lycopersicum*), la papa (*Solanum tuberosum*) y el chile (*Capsicum annuum*) (Anónimo, 2002). Además es

ABSTRACT

Green tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) is host to several pests, including *Bactericera cockerelli* (Sulc) that causes up to 45 % of yield losses due to transmission of a phytoplasma of group I. However, there are no estimates of the parameters of the sampling programs for this insect, which are crucial for determining sample size of populations. Therefore, we studied the spatial distribution of *Bactericera cockerelli* in three experimental plots in Texcoco, Estado de México, based on the estimates of the variance/mean ($S^2/\bar{x}$) and Taylor's Power Law (TPL). Data were analyzed with the SUPRA program. The eggs and nymphs showed an aggregated arrangement ($S^2/\bar{x}$) of 5 to 23.5 and 1.5 to 6.7, while adults that are highly mobile in the field showed a random distribution ($S^2/\bar{x}$ between 0.83 and 20.60). The TPL method agrees with the distribution patterns for the three biological stages of the pest.

Key words: green tomato, psyllid tomato, Taylor's power law, variance/mean ratio

INTRODUCTION

Green tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) is the fourth most widely grown vegetable species in México, preceded by tomato (*Solanum lycopersicum*), potato (*Solanum tuberosum*) and chilli (*Capsicum annuum*) (Anonymous, 2002). It is also host to various pests that limit their productive ability when these pests find favorable conditions for their reproduction; among them *Bactericera cockerelli* (Sulc) outstands, which also attacks other crop species such as tomato, chilli and potato (Almeyda

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2011. Aprobado: marzo, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 289-298. 2012.

hospedero de diversas plagas que limitan su capacidad productiva cuando éstas encuentran condiciones favorables para su reproducción; entre ellas destaca *Bactericera cockerelli* (Sulc), la cual ataca también a otras especies cultivadas como jitomate, chile y papa (Almeyda *et al.*, 2008). Este insecto se encuentra ampliamente distribuido en las principales regiones productoras de jitomate: Villa de Arista, San Luis Potosí, Yurécuaro, Michoacán, la región de La Laguna en los estados de Durango y Coahuila, San Quintín, Baja California, y en Morelos, Puebla, Guanajuato, Nayarit, Sinaloa y Estado de México (Vega *et al.*, 2008). *Bactericera cockerelli* provoca dos tipos de daño en sus plantas hospedantes: 1) durante sus estados ninfales inyecta una toxina que causa clorosis en la planta y 2) transmite un fitoplasma que origina la enfermedad permanente del tomate, la cual produce hasta 45 % de pérdidas en rendimiento en las 30 000 ha cultivadas en México (Almeyda *et al.*, 2008).

La distribución espacial se refiere a la ubicación que los individuos ocupan en un determinado tiempo y espacio (Vera *et al.*, 2002), como las superficies cultivadas. Los estudios de distribución espacial tienen importancia ecológica (Southwood, 1978; Dajoz, 2002). Además, de ésta depende la forma de realizar muestreos para determinar los tamaños de muestra y dinámicas poblacionales de los insectos en los cultivos. Esta información es fundamental para diseñar sistemas de control de plagas, porque la distribución de una plaga influye en la efectividad y el comportamiento de parasitoides (Southwood, 1978; Maron y Harrison, 1997; Tripet *et al.*, 2002).

En Chapingo, Estado de México, este insecto causa daños directos al succionar la savia de varias especies de solanáceas de importancia económica, así como daños indirectos al transmitir fitoplasmas (Vega *et al.*, 2008). Por tanto, el objetivo de la presente investigación fue estudiar el patrón de distribución espacial de adultos, huevos y ninfas de *B. cockerelli* en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), que permita contribuir a la planeación de programas de muestreo y sistemas de control de insectos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El 22 y 23 de marzo de 2007 se trasplantaron plántulas de tomate de cáscara del cultivar CHF1-Chapingo, y el cultivo se

et al., 2008). This insect is widely distributed in the major tomato-producing regions: Villa de Arista, San Luis Potosí, Yurécuaro, Michoacán, the region of La Laguna in the states of Durango and Coahuila, San Quintín, Baja California, and Morelos, Puebla, Guanajuato, Nayarit, Sinaloa and Estado de México (Vega *et al.*, 2008). *Bactericera cockerelli* causes two types of damage to its host plants: 1) during its nymphal stages injects a toxin causing chlorosis in the plant and 2) transmits a phytoplasma that causes permanent yellowing disease, which produces up to 45 % loss in performance in the 30 000 ha cultivated in México (Almeyda *et al.*, 2008).

The spatial distribution refers to the location that individuals occupy in a given time and space (Vera *et al.*, 2002), as cultivated areas. The spatial distribution studies are of great ecological importance (Southwood, 1978; Dajoz, 2002). Also, of this distribution depends how to conduct samplings to determine on crops the sample sizes and population dynamics of insects. This information is essential to design systems of pest control, since the distribution of a pest influences the effectiveness and behavior of parasitoids (Southwood, 1978, Maron and Harrison, 1997, Tripet *et al.*, 2002).

In Chapingo, Estado de México, this insect causes direct damage by sucking the sap of several solanaceous species that are economically important as well as indirect damage by transmitting phytoplasmas (Vega *et al.*, 2008). Therefore, the aim of this research was to study the spatial distribution pattern of adults, eggs and nymphs of *B. cockerelli* in growing green tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) that allows us to contribute to the planning of sampling programs and insect control systems.

MATERIALS AND METHODS

On March 22 and 23, 2007 green tomato seedlings of the cultivar CHF1-Chapingo were transplanted and cultivation was conducted using drip irrigation and without applying insecticides. The observations of the presence of insects were conducted from March 30 to June 11, 2007 in three experimental plots of Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México (19° 29' 05" N and 98° 53' 11" W), and at an approximate distance of 1600 m between them. The lots were Xaltepa-3 (X-3) with 324 m², San Martín (Sn. M-11) with 1036 m², and Chapingo Weather Station (Ch) with 384 m². The weather conditions during the period were: average daily relative humidity 53 %

condujo mediante riego por goteo y sin aplicar insecticidas. Las observaciones de la presencia de insectos se realizaron del 30 de marzo al 11 de junio de 2007 en tres lotes experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México (19° 29' 05" N y 98° 53' 11" O), y a una distancia aproximada de 1600 m entre sí. Los lotes fueron: Xaltepa-3 (X-3) con 324 m², San. Martín (Sn. M-11) con 1036 m², y Estación meteorológica-Chapingo (Ch) con 384 m². Las condiciones meteorológicas durante el periodo fueron: humedad relativa media diaria 53 % (de 7 a 90 %), temperatura media diaria 16.7 °C (mínima 16.2 °C y máxima 29 °C), velocidad media del viento 2.1 km h⁻¹ y 191 mm de precipitación.

Registro y análisis de datos

Semanalmente se contabilizaron adultos, huevos y ninfas de *B. cockerelli* en brotes de *P. ixocarpa* entre las 9 h y 12 h aproximadamente. El registro de datos se realizó en dos días consecutivos: en el primero se examinaron los dos primeros lotes, y en el segundo se registraron los datos del último lote. En cada caso se realizó un muestreo sistemático para elegir al azar una planta en los primeros 3 m del primer surco seleccionado. Las observaciones se realizaron cada 3 m a lo largo del surco para elegir la planta más cercana a este punto, y así sucesivamente hasta llegar al extremo del surco. Para minimizar efectos de factores ambientales diurnos, el tiempo de muestreo se limitó a 90 min por parcela experimental y fecha de muestreo y, por tanto, el número de observaciones varió de acuerdo al desarrollo del cultivo y las condiciones físicas de los lotes experimentales. El conteo se realizó desde la primera hoja completamente desarrollada de cada brote hasta la hoja más pequeña del mismo. Esta metodología se aplicó en los tres lotes experimentales. En el lote San Martín, el de mayor extensión, el número de observaciones en las últimas fechas fue menor que en las primeras.

Los muestreos se iniciaron el 16 de abril de 2007 y en las primeras semanas se registraron densidades bajas de la plaga y únicamente en estado adulto. La densidad de todos los estados biológicos aumentó gradualmente y el análisis de la distribución espacial se realizó con los registros obtenidos el 14, 21 y 28 de mayo y 4 y 11 de junio de 2007, para los lotes X-3 y San Martín; 15, 22 y 29 de mayo y 5 y 12 de junio de 2007 para el lote Chapingo. Estas fechas coincidieron con las etapas fenológicas de plena floración e inicio de fructificación del cultivo, a 53 d después del trasplante. En el modelo de la prueba de agregación se relacionan la varianza y la media por medio de la expresión $s^2 = ax^b$, donde a es un factor de muestreo y b es la pendiente de la línea $\text{Log}(S^2) = \text{Log}(a) + b \text{Log}(x)$ (Southwood, 1978). Los datos se analizaron con el programa SUPRA (López, 2004) y se obtuvo la relación varianza/media ($S^2/\bar{x}$) para cada fecha y a

(from 7 to 90 %), mean daily temperature 16.7 °C (minimum 16.2 °C and maximum 29 °C), average wind speed 2.1 km h⁻¹ and 191 mm precipitation.

Record and data analysis

Every week adults, eggs and nymphs of *B. cockerelli* were counted in outbreaks of *P. ixocarpa* between 9 h and 12 h approximately. Data recording was performed on two consecutive days: in the first day the two first plots were examined, and in the second one, data from the last plot were recorded. In each case a systematic sampling was conducted to randomly choose a plant in the first 3 m of the first selected row. Observations were made every 3 m along the row to select the nearest plant to this point, and so on until the end of the row. To minimize effects of diurnal environmental factors, the sampling time was limited to 90 min per experimental plot and sampling date; therefore the number of observations varied according to the crop growth and physical conditions of the experimental plots. The count was done from the first fully developed leaf of each outbreak to the smallest leaf of it. This methodology was applied in the three experimental plots. In the plot San Martín, the largest, the number of observations in the last dates was lower than in the former.

Samplings began on April 16, 2007 and in the first weeks low densities of the pest and only in adult stage were recorded. The density of all biological states gradually increased and the spatial distribution analysis was performed using the records obtained on May 14, 21 and 28 and June 4 and 11, 2007, for plots X-3 and San Martín, May 15, 22 and 29 and June 5 and 12, 2007 for Chapingo plot. These dates that coincided with the phenological stages of full flowering and beginning of fruiting of the crop, at 53 d after transplant. In the test model of aggregation the variance and the mean are related by the expression $s^2 = ax^b$, where a is a sampling factor and b is the slope of the line $\text{Log}(S^2) = \text{Log}(a) + b \text{Log}(x)$ (Southwood, 1978). Data were analyzed using the SUPRA program (López, 2004) and relationship between the variance and mean ($S^2/\bar{x}$) was obtained for each date and across sampling dates estimators of parameters a and b were obtained, as an indicator of aggregation in the Taylor's power law (TPL). The test statistics to evaluate the results were the chi-square ($H_0: S^2/\bar{x} = 1$) and the t test ($H_0: b = 1$).

RESULTS AND DISCUSSION

Variance/adult mean relationship

Adults of lot X-3 showed disposition of infection on May 28 and June 11 with values of the ratio

través de las fechas de muestreo, se obtuvieron los estimadores de los parámetros a y b , como indicador de la agregación en la Ley de la potencia de Taylor (LPT). Las estadísticas de prueba para evaluar los resultados fueron la ji-cuadrada ($H_0: S^2/\tilde{x}=1$) y la prueba de t ($H_0: b=1$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación varianza/media de adultos

Los adultos del lote X-3 mostraron disposición de contagio el 28 de mayo y 11 de junio con valores de la relación $S^2/\tilde{x}$ de 1.48 a 1.83 (Cuadro 1). Lo mismo ocurrió el 15 de mayo y 12 de junio en el lote Chapingo con valores de la relación $S^2/\tilde{x}$ de 1.43 a 20.6 que señalan agregación. En las otras fechas se observó un patrón aleatorio, y en el lote San Martín el patrón de disposición fue aleatorio en todos los casos (Cuadro 1).

Taylor (1984) señala que todas las formas de comportamiento de los individuos interactúan para formar verdadero contagio iniciando con la presencia de un individuo en el campo hasta que la densidad de la población aumenta de modo que afecta la presencia de otros individuos, por lo cual bajas densidades de población producen disposición aleatoria. Sin

$S^2/\tilde{x}$ of 1.48 to 1.83 (Table 1). The same happened on May 15 and June 12 in the plot Chapingo with values of the ratio ($S^2/\tilde{x}$) of 1.43 to 20.6 indicating aggregation. At other dates, a random pattern was observed, and in the plot San Martín the arrangement pattern was random in all cases (Table 1).

Taylor (1984) suggests that all forms of behavior of individuals interact to form true infection starting with the presence of an individual in the field until the population density increases so that affects the presence of other individuals, thereby low population densities produce random arrangement. However, in this study, some of the lower densities did not produce results of randomness; for example, on May 28, 2007, of the plot X-3 and on May 15, of the plot Chapingo, arrangements in aggregates were observed (Table 1).

The infection observed may be due to pest behavior in response to environmental factors such as temperature and precipitation, and even defoliation caused by insect *Lema trilineata* (Olivier) observed during data collection in all plots. The densities of the X-3 plot on May 28 and Chapingo plot on June 5 were similar, but variance was higher at the date cited firstly of the X-3 plot where there

Cuadro 1. Disposición espacial de adultos de *Bactericera cockerelli* (Sulc) con base en la relación $S^2/\tilde{x}$ y los componentes del análisis de la prueba.

Table 1. Spatial arrangement of adults of *Bactericera cockerelli* (Sulc) based on the ratio $S^2/\tilde{x}$ and components of the test analysis.

Lote	Fecha	n	Total	$\tilde{x}$	S^2	$S^2/\tilde{x}$	X^2	P	Disposición
X-3	14 mayo 2007	45	14	0.31	0.30	0.99	43.8	0.44	Aleatoria
	21 mayo 2007	42	5	0.11	0.10	0.90	36.8	0.64	Aleatoria
	28 mayo 2007	45	13	0.28	0.52	1.83	80.6	<0.001	Contagio
	04 junio 2007	42	30	0.71	0.64	0.91	37.2	0.64	Aleatoria
	11 junio 2007	39	38	0.97	1.44	1.48	56.4	0.03	Contagio
Chapingo	15 mayo 2007	51	10	0.19	0.28	1.43	71.4	0.02	Contagio
	22 mayo 2007	49	12	0.24	0.31	1.28	61.5	0.09	Aleatoria
	29 mayo 2007	45	6	0.13	0.11	0.89	39.6	0.68	Aleatoria
	05 junio 2007	48	13	0.27	0.24	0.90	42.4	0.66	Aleatoria
	12 junio 2007	43	62	1.44	29.63	20.56	863.6	<0.001	Contagio
San Martín	14 mayo 2007	84	17	0.20	0.21	1.04	86.6	0.36	Aleatoria
	21 mayo 2007	75	8	0.10	0.12	1.16	85.8	0.16	Aleatoria
	28 mayo 2007	76	33	0.43	0.48	1.12	84.3	0.21	Aleatoria
	04 junio 2007	64	18	0.28	0.23	0.84	53.1	0.80	Aleatoria
	11 junio 2007	42	14	0.33	0.27	0.83	33.9	0.77	Aleatoria

n=número de observaciones; P=probabilidad $S^2/\tilde{x}=1$; Total=total de individuos observados durante el muestreo ♦ n=number of observations; P=probability $S^2/\tilde{x}=1$; Total=total of individuals observed during sampling.

embargo, en el presente estudio, algunas de las densidades menores no produjeron resultados de aleatoriedad; por ejemplo, el 28 de mayo de 2007, del lote X-3, y el 15 de mayo, del lote Chapingo, se observaron disposiciones en agregado (Cuadro 1).

El contagio observado pudo deberse al comportamiento de la plaga en respuesta a factores del ambiente, como temperatura y precipitación, e incluso la defoliación causada por el insecto *Lema trilineata* (Olivier), observada durante la toma de datos en todos los lotes. Las densidades registradas el 28 de mayo del lote X-3 y la fecha 5 de junio del lote Chapingo fueron similares, pero la varianza fue superior en la fecha primeramente citada del lote X-3 donde hubo una disposición de contagio, pero en las otras fechas fueron aleatorias.

En este caso los patrones de disposición en agregado pudieron originarse porque los individuos de la plaga lograron ocupar los sitios de oviposición y apareamiento, ya que el agrupamiento de individuos se puede generar por una característica de su comportamiento, por la presencia de gradientes en la densidad de la plaga, o por un ambiente heterogéneo que propicia el agrupamiento de individuos para explotar los sitios óptimos para su supervivencia (Southwood, 1978; Soberón y Leovinsohn, 1987; Perry, 1998). Aparentemente en los lotes X-3 y Chapingo el contagio fue producido por adultos apareándose, lo cual sugiere la existencia de un mecanismo de agregación sexual.

Relación varianza/media de huevecillos y ninfas

En el caso de huevos y ninfas, las varianzas de los muestreos fueron mayores que la media, la relación $S^2/\bar{x}$ fue 5 a 23.5 para huevos y 1.5 a 6.7 para ninfas, con alta significancia en todos los casos (Cuadros 2 y 3). Esto se observó en poblaciones de insectos (Vera *et al.*, 2002) y la misma situación ocurrió en el presente estudio (Cuadros 2 y 3), porque al aumentar el número de individuos por sitio de observación, es decir la media, también aumenta la varianza. Un ejemplo, en el caso de huevos (Cuadro 2) para el lote X-3 la media fue 2.35 con una varianza de 28.52 y otra media de 11.56 con varianza de 272.30 el 21 de mayo y 11 de junio. Esta situación fue similar para las ninfas en todos los lotes, lo cual denota la existencia de un verdadero contagio en estos estados biológicos de la plaga, debido a la nula y reducida movilidad de

was an arrangement of infection, but on the other dates were random.

In this case the patterns of arrangement in aggregates may have been originated because pest individuals managed to occupy oviposition and mating sites, as the grouping of individuals can be generated by a feature of their behavior, by the presence of gradients in the density of the pest, or a heterogeneous environment that facilitates the grouping of individuals to exploit optimal sites for survival (Southwood, 1978; Soberón and Leovinsohn, 1987; Perry, 1998). Apparently, in plots X-3 and Chapingo, adult mating was observed, suggesting the existence of a sexual aggregation mechanism.

Variance/mean of eggs and nymphs relationship

In the case of eggs and nymphs, the variances of the samples were higher than mean, the ratio $S^2/\bar{x}$ was 5 to 23.5 for eggs and 1.5 to 6.7 for nymphs, with high significance in all cases (Tables 2 and 3). This has been observed in insect populations (Vera *et al.*, 2002) and the same situation occurred in the present study (Tables 2 and 3), because increasing the number of individuals per site of observation, *i.e.* the mean, also increases the variance. For example, in the case of eggs (Table 2) for plot X-3 a mean of 2.35 with a variance of 28.52 was obtained and other mean of 11.56 with a variance of 272.30 on May 21 and June 11. This situation was similar for the nymphs in all plots, indicating the existence of a real infection in these biological states of the pest, due to the null and reduced mobility of eggs and nymphs, respectively. According to the results of the ratio $S^2/\bar{x}$, eggs and nymphs of *B. cockerelli* have an arrangement of transmission at all times and in all plots.

The arrangement in aggregates of eggs and nymphs is due to the habits of oviposition of female, which lays eggs in groups along the edge of the leaves or on their underside. Thus, when collecting data over 30 individuals were counted per sampling site, giving as result higher values of the variance compared to the mean being the relationship between variance/mean higher than 1 (Vera *et al.*, 2002; Castillo, 2005).

Taylor's Power Law (TPL) for adults

Results from the TPL indicated a random spatial pattern of adults in the plots X-3 and San Martín,

Cuadro 2. Disposición espacial de huevos de *Bactericera cockerelli* (Sulc) con base a la relación $S^2/\tilde{x}$ y los componentes del análisis de la prueba.**Table 2. Spatial arrangement of eggs of *Bactericera cockerelli* (Sulc) based on the ratio $S^2/\tilde{x}$ and components of the test analysis.**

Lote	Fecha	n	Total	$\tilde{x}$	S^2	$S^2/\tilde{x}$	X^2	p	Disposición
X-3	14 mayo 2007	45	97	2.15	33.08	15.3	675.5	<0.001	Contagio
	21 mayo 2007	42	99	2.35	28.52	12.1	496.2	<0.001	Contagio
	28 mayo 2007	45	153	3.40	37.10	10.9	43.6	<0.001	Contagio
	04 junio 2007	42	254	6.04	93.14	15.4	631.5	<0.001	Contagio
	11 junio 2007	39	451	11.56	272.3	23.5	894.7	<0.001	Contagio
Chapingo	15 mayo 2007	51	49	0.96	7.07	7.3	365.9	<0.001	Contagio
	22 mayo 2007	49	71	1.44	7.25	5.0	240.3	<0.001	Contagio
	29 mayo 2007	45	134	2.97	34.56	11.6	510.8	<0.001	Contagio
	05 junio 2007	48	125	2.60	27.90	10.7	503.6	<0.001	Contagio
	12 junio 2007	43	85	1.97	24.68	12.5	524.7	<0.001	Contagio
San Martín	14 mayo 2007	84	31	0.36	2.91	7.8	654.5	<0.001	Contagio
	21 mayo 2007	75	327	4.36	54.50	12.5	925	<0.001	Contagio
	28 mayo 2007	76	281	3.69	55.69	15.1	1130	<0.001	Contagio
	04 junio 2007	64	355	5.54	117.29	21.1	1332.4	<0.001	Contagio
	11 junio 2007	42	203	4.83	94.28	19.5	799.8	<0.001	Contagio

n=número de observaciones; P=probabilidad $S^2/\tilde{x}=1$; Total=total de individuos observados durante el muestreo ♦ n=number of observations; P=probability $S^2/\tilde{x}=1$; Total=total of individuals observed during sampling.

Cuadro 3. Disposición espacial de ninfas de *Bactericera cockerelli* (Sulc) con base a la relación $S^2/\tilde{x}$ y los componentes del análisis de la prueba.**Table 3. Spatial arrangement of nymphs of *Bactericera cockerelli* (Sulc) based on the ratio $S^2/\tilde{x}$ and components of the test analysis.**

Lote	Fecha	n	Total	$\tilde{x}$	S^2	$S^2/\tilde{x}$	X^2	P	Disposición
X-3	14 mayo 2007	45	11	0.24	1.32	5.4	238.9	<0.001	Contagio
	21 mayo 2007	42	12	0.28	0.69	2.4	100.1	<0.001	Contagio
	28 mayo 2007	45	80	1.77	11.91	6.6	295	<0.001	Contagio
	04 junio 2007	42	30	0.71	1.13	1.5	65.1	<0.001	Contagio
	11 junio 2007	39	69	1.76	6.44	3.6	138.4	<0.001	Contagio
Chapingo	15 mayo 2007	50	16	0.32	2.30	7.1	359.8	<0.001	Contagio
	22 mayo 2007	49	29	0.59	2.70	4.5	219.6	<0.001	Contagio
	29 mayo 2007	45	67	1.48	5.66	3.8	167.4	<0.001	Contagio
	05 junio 2007	48	77	1.60	5.22	3.2	153	<0.001	Contagio
	12 junio 2007	43	96	2.23	7.27	3.2	136.9	<0.001	Contagio
San Martín	14 mayo 2007	84	3	0.03	0.05	1.6	137.5	<0.001	Contagio
	21 mayo 2007	75	25	0.33	1.17	3.5	260.2	<0.001	Contagio
	28 mayo 2007	76	94	1.23	4.95	4.0	300.7	<0.001	Contagio
	04 junio 2007	64	54	0.84	2.16	2.5	161.7	<0.001	Contagio
	11 junio 2007	42	105	2.50	16.98	6.7	278.5	<0.001	Contagio

n=número de observaciones; P=probabilidad $S^2/\tilde{x}=1$; Total=total de individuos observados durante el muestreo ♦ n=number of observations; P=probability $S^2/\tilde{x}=1$; Total=total of individuals observed during sampling.

huevos y ninfas, respectivamente. De acuerdo con los resultados de la relación $S^2/\bar{x}$, los huevos y ninfas de *B. cockerelli* presentan una disposición de contagio en todas las fechas y en todos los lotes.

La disposición en agregado de huevos y ninfas se debe a los hábitos de oviposición de la hembra, la cual coloca huevos en grupos a lo largo del borde de las hojas o en envés. Así, al tomar los datos se contabilizaron más de 30 individuos por sitio de muestreo, y el resultado fue valores superiores de la varianza en comparación con la media, siendo la relación varianza/media mayor de 1 (Vera *et al.*, 2002; Castillo, 2005).

Ley de la Potencia de Taylor (LPT) para adultos

Los resultados de la LPT, señalaron un patrón espacial tipo aleatorio de los adultos en los lotes X-3 y San Martín, con un valor b igual a 1.1 y 0.89 (Ho: $b=1$, $t=-0.698$, $gl=4$, $p=0.535$), mientras que en el lote Chapingo la disposición observada fue de contagio con b igual a 2.3 (Ho: $b=1$, $t=5.519$, $gl=4$ y $p=0.011$) (Cuadro 4).

El grado alto de agregación ocurrido en la fecha cinco del lote Chapingo ($S^2/\bar{x}=20.56$), propició gran disparidad de la varianza respecto de la media de esa misma fecha. Esta diferencia originó que el procedimiento de la LPT, en el lote Chapingo, haya detectado agregación.

Ley de la Potencia de Taylor para huevos y ninfas

Los parámetros de la LPT para huevos y ninfas señalaron diferencias en la disposición espacial de estos últimos, de acuerdo con la prueba de t donde la hipótesis nula es $b=1$ (Cuadro 5). Las diferencias

with a b value equal to 1.1 and 0.89 (Ho: $b=1$, $t=-0.698$, $gl=4$, $p=0.535$), whereas in the plot Chapingo the observed arrangement was of infection with b value equal to 2.3 (Ho: $b=1$, $t=5.519$, $gl=4$ and $p=0.011$) (Table 4).

The high degree of aggregation occurred on the date five of the plot Chapingo ($S^2/\bar{x}=20.56$), led to great disparity in the variance respect to the mean of the same date. This difference caused that the TPL, in the plot Chapingo, detected aggregation.

Taylor's Power Law for eggs and nymphs

The TPL parameters for eggs and nymphs showed differences in the spatial arrangement of the latter, according to the t test where the null hypothesis is $b=1$ (Table 5). The observed differences may be related to weather variations during the investigation, since the maximum daily thermal fluctuation during the study was 20.1 °C.

This variation in temperature might influence the development of individuals, since according to Marín (2002) the cycle of pest is completed in 17 d at 29 °C daily average, while at 16 °C daily average, the cycle ends in 35 days, which is very close to the average temperature during the research (16.7 °C). There were also gusts of wind that might have influenced the arrangement of adults, which in turn was involved in oviposition sites. Additionally, the rainfall was very intense (191 mm) during the data record, affecting especially the presence of eggs and nymphs on the observation sites, same as when exposed in outbreaks may have been scattered by raindrops. The apparent discordance of estimation in the spatial arrangement between the Taylor's power law and the relationship variance / mean is

Cuadro 4. Parámetros de la Ley de la Potencia de Taylor para adultos de *Bactericera cockerelli* (Sulc).
Table 4. Parameters of the Taylor's Power Law for adults of *Bactericera cockerelli* (Sulc).

Parámetro	Lote					
	X-3	Patrón	Chapingo	Patrón	San Martín	Patrón
Adultos						
b	1.1	A	2.38	C	0.898	A
a	1.3		10.36		0.916	
R^2	0.895		0.967		0.926	
Probabilidad ($b=1$)	0.681		0.011		0.535	

A=aleatorio; C=contagio; b =índice de agregación de la Ley de la Potencia de Taylor; a =ordenada al origen ✧
A=random; C=aggregation; b =aggregation index of Taylor's Power Law; a =intercept value.

observadas pueden estar relacionadas con las variaciones meteorológicas durante la investigación, ya que la máxima oscilación térmica diaria durante el estudio fue 20.1 °C.

Esta variación en temperatura pudo influir en el desarrollo de los individuos, pues de acuerdo con Marín (2002) el ciclo de la plaga se completa en 17 d a 29 °C promedio diario, mientras que a 16 °C promedio diario, el ciclo se concluye en 35 d, lo cual es muy cercano a la temperatura media durante la investigación (16.7 °C). También hubo rachas de viento que posiblemente influyeron en la disposición de los adultos, lo que a su vez intervino en los sitios de oviposición. Además, la precipitación fue muy intensa (191 mm) durante el registro de datos, lo que afectó especialmente la presencia de huevos y ninfas en los sitios de observación, que al estar expuestos en los brotes pudieron haber sido esparcidos por las gotas de lluvia. La aparente discordancia de la estimación en la disposición espacial entre la ley de potencia de Taylor y la relación varianza/media se debe a que, generalmente, se interpreta únicamente el parámetro b del modelo de Taylor (Taylor, 1961; Taylor *et al.*, 1978). Sin embargo, de manera particular la agregación de individuos ocurre siempre que $a > 0$ y $b \geq 1$, lo que ocurrió en huevos y ninfas, excepto para ninfas en la parcela Chapingo. Se puede considerar el caso general de agregación si la varianza es mayor que la media ($a\bar{X}^b > \bar{X}$), es decir, cualquier combinación de a y b que estime una varianza mayor que la media. Por tanto, en todas las parcelas donde se hicieron

that, generally, only the parameter b of the Taylor's model is interpreted (Taylor, 1961; Taylor *et al.*, 1978). However, particularly the aggregation of individuals occurs whenever $a > 0$ and $b \geq 1$, which occurred in eggs and nymphs, except for nymphs in the plot Chapingo. The general case of aggregation can be considered if the variance is higher than the mean ($a\bar{X}^b > \bar{X}$), *i.e.*, any combination of a and b which estimates a variance higher than the mean. Therefore, in all plots where eggs and nymphs were sampled the Taylor's model, including both parameters, indicates aggregation.

Taylor and Woiwood (1982) point out that if $\sigma^2 > 4$ and $\mu > 2$ (referring to the parameters of this study), aggregation patterns are lost and are difficult to distinguish. Since, however, to the extent that the variance is higher than the mean, the relationship between the two will denote a high degree of aggregation, such as occurs with the eggs and nymphs.

According to Southwood (1978) Taylor's Power Law is a robust method, widely used and accepted for describing the spatial arrangement of species. In turn, Kuno (1991) notes that the law may be well used on a wide range of mean values.

The differences in the values of the parameter b suggest that ecological conditions were changing because even within the same locality indicated different patterns of spatial arrangement. Because there is no index to cover all possible ecological conditions (Perry *et al.*, 2002), is appropriate to complement the process of TPL with other indices,

Cuadro 5. Parámetros de la Ley de Potencia de Taylor para huevos y ninfas de *Bactericera cockerelli* (Sulc).
Table 5. Parameters of Taylor's Power Law for eggs and nymphs of *Bactericera cockerelli* (Sulc).

Estado biológico	Parámetro	Lotes					
		X-3	Patrón	San Martín	Patrón	Chapingo	Patrón
Huevos	b	1.32	A	1.31	C	1.57	A
	a	9.41		10.48		6.26	
	R ²	0.96		0.98		0.86	
	Probabilidad (b=1)	0.12		0.04		0.19	
Ninfas	b	1.13	A	1.27	C	0.60	R
	a	3.66		4.03		4.21	
	R ²	0.78		0.98		0.96	
	Probabilidad (b=1)	0.72		0.05		0.009	

A=aleatorio; C=contagio; b=índice de agregación de la Ley de la Potencia de Taylor; a=ordenada al origen ✧
A=random; C=Aggregation; b=aggregation index of Taylor's Power Law; a=intercept value.

muestreos de huevos y ninfas el modelo de Taylor, incluyendo ambos parámetros, indica agregación

Taylor y Woiwod (1982) señalan que si $\sigma^2 > 4$ y $\mu > 2$ (se refieren a los parámetros de este estudio), los patrones de agregación se pierden y son difícilmente distinguibles. Sin embargo, en la medida que la varianza sea mayor que la media, la relación entre ambas denotará un grado alto de agregación, como ocurre con los huevecillos y ninfas.

Según Southwood (1978) la Ley de la Potencia de Taylor es un método robusto, de amplia utilización y aceptación para la descripción de la disposición espacial de las especies. A su vez, Kuno (1991) señala que puede ser bien empleada sobre un rango amplio de valores de medias.

Las diferencias en los valores del parámetro b sugieren que las condiciones ecológicas fueron cambiantes, porque incluso dentro de una misma localidad indicó diferentes patrones de disposición espacial. Debido a que no existe un índice que cubra todas las condiciones ecológicas posibles (Perry *et al.*, 2002), es conveniente complementar el procedimiento de la LPT con otros índices, por ejemplo la relación varianza/media, para completar los resultados obtenidos, como se presentó en el presente estudio.

Debido a la variabilidad observada en los resultados se requieren más estudios para corroborar si esta variabilidad en los patrones de disposición es peculiar de *B. cockerelli* o se debió a los tamaños de muestra usados durante el estudio o a las densidades encontradas en el campo. Al respecto, Taylor (1984) señala que cuando en las observaciones se encuentran numerosos sitios sin individuos, las densidades son bajas o los tamaños de muestra son pequeños, la varianza tiende a ser igual a la media, por lo cual denotaría un patrón pseudoaleatorio y puede dificultar la interpretación de los valores de la LPT.

CONCLUSIONES

En las condiciones de Chapingo, México, el patrón de disposición espacial de *B. cockerelli* en el cultivo de tomate es variable. Mediante los valores estimados de la relación varianza/media se puede concluir que los individuos adultos de la plaga que tienen movilidad alta tienden a la aleatoriedad, mientras que los huevos y ninfas tienden a la agregación debido a los hábitos de oviposición de las hembras y al movimiento reducido de las ninfas.

for example, the ratio variance/mean, to complete the results obtained, as presented in this study.

Due to the variability observed in the results further studies are needed to confirm whether this variability in patterns of arrangement is peculiar to *B. cockerelli* or was due to the sample sizes used during the study or the densities found in the field. In this regard, Taylor (1984) notes that when in the observations many sites without individuals are found, densities are low or the sample sizes are small, variance tends to be equal to the mean, so this would denote a pseudorandom pattern and may hinder the interpretation of the values of the TPL.

CONCLUSIONS

Under the conditions of Chapingo, México, the spatial arrangement pattern of *B. cockerelli* in the cultivation of tomatoes is variable. Using the estimated values of the relationship between variance and mean it can be concluded that adults of the pest that have high mobility tend to randomness, while eggs and nymphs tend to aggregation due to the habits of oviposition of females and the reduced movement of nymphs.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- Almeyda, L. I. H., J. A. Sánchez, y J. A. Garzón T. 2008. Vectores causante de punta morada de la papa en Coahuila y Nuevo León, México. *Agric. Tec. Mex.* 34: 141-150.
- Anónimo. 2002. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. INEGI. Tomo I. D. F. México. 1476 p.
- Castillo, M. L. E. 2005. Elementos de Muestreo de Poblaciones. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 267 p.
- Dajoz, R. 2002. Tratado de Ecología (2ª edición). Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 600 p.
- Kuno, E. 1991. Sampling and analysis of insect populations. *Ann. Rev. Entomol.* 36: 285-304.
- López, C. J. 2004. Surface response program for the analysis of spatial data. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Veracruz, México. CONACYT. 15 p.
- Marín, J. A. 2002. Características morfológicas y aspectos biológicos del psílido del tomate *Bactericera cockerelli* (Sulc) (= *Paratrioza cockerelli*). In: Memoria del taller

- sobre *Paratrioza cockerelli* (Sulc), como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa. México. pp: 47-55.
- Maron, J. L., and S. Harrison. 1997. Spatial pattern formation in an insect host-parasitoid system. *Science* 278: 1619-1621.
- Perry, J. N. 1998. Measures of spatial pattern and spatial association for insect counts. *In*: Population and community ecology for insect management and conservation. Proceedings of the ecology and population dynamics section of the 20th international congress of entomology. Florence, Italy. pp: 21-33.
- Perry, J. N., A. M. Liebhold, M. S. Rosenberg, J. Dungan, M. Miriti, A. Jakomulski, and S. Citron-Pousty. 2002. Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. *Ecography* 25: 578-600.
- Soberón, M. J., and M. Loevinsohn. 1987. Patterns of variations in the numbers of animal populations and the biological foundations of Taylor's law of the mean. *Oikos* 48: 249-252.
- Southwood, T. R. E. 1978. *Ecological Methods*. Chapman and Hall. London, England. 391 p.
- Taylor, L. R. 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189: 732-735.
- Taylor, L. R. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Ann. Rev. Entomol.* 29: 321-357.
- Taylor, L. R., and I. P. Woiwood. 1982. Comparative synoptic dynamics. I. Relationships between inter and intra-specific spatial and temporal variance/mean population parameters. *J. Anim. Ecol.* 51: 879-906.
- Taylor, L. R., I. P. Woiwood, and J. N. Perry. 1978. The density-dependence of spatial behavior and the rarity of randomness. *J. Anim. Ecol.* 47: 383-406.
- Tripet, F., P. Christie, and A. P. Moller. 2002. The importance of host spatial distribution for parasite specialization and speciation: a comparative study of bird fleas (Siphonaptera: Ceratophyllidae). *J. Anim. Ecol.* 71: 735-748.
- Vega, G. M. T., J. C. Rodríguez M., O. Díaz G., R. Bujanos M., D. Mota S., J. L. Martínez C., A. Lagunes T., y A. Garzón, T. 2008. Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE). *Agrociencia* 42: 463-471.
- Vera, G. J., V. M. Pinto, J. López, C., y R. Reyna R. 2002. *Ecología de Poblaciones de Insectos* (Segunda edición). Colegio de Postgraduados. México. 156 p.