

Distribución Espacial de las Poblaciones de Adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el Cultivo de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)

Author(s): Roberto Rivera-Martínez, Agustín David Acosta-Guadarrama, José Francisco Ramírez-Dávila, Dulce Karen Figueroa-Figueroa, Fatima Irais Maldonado-Zamora y Ana Verónica Lara-Díaz

Source: Southwestern Entomologist, 42(4):1057-1068.

Published By: Society of Southwestern Entomologists

<https://doi.org/10.3958/059.042.0424>

URL: <http://www.bioone.org/doi/full/10.3958/059.042.0424>

BioOne (www.bioone.org) is a nonprofit, online aggregation of core research in the biological, ecological, and environmental sciences. BioOne provides a sustainable online platform for over 170 journals and books published by nonprofit societies, associations, museums, institutions, and presses.

Your use of this PDF, the BioOne Web site, and all posted and associated content indicates your acceptance of BioOne's Terms of Use, available at www.bioone.org/page/terms_of_use.

Usage of BioOne content is strictly limited to personal, educational, and non-commercial use. Commercial inquiries or rights and permissions requests should be directed to the individual publisher as copyright holder.

Distribución Espacial de las Poblaciones de Adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc.¹ en el Cultivo de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)**Spatial Distribution of Adult Populations of *Bactericera cockerelli* Sulc.¹, in the Cultivation in Tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.)**

Roberto Rivera-Martínez², Agustín David Acosta-Guadarrama³,
José Francisco Ramírez-Dávila^{3*}, Dulce Karen Figueroa-Figueroa²,
Fatima Irais Maldonado-Zamora², y Ana Verónica Lara-Díaz²

Resumen. El cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) se produce en casi todo México, parte de Estados Unidos, y Centro América. Recientemente la producción de tomate de cáscara ha sufrido pérdidas económicas del 70 al 80% por la presencia de amarillamiento y aborto floral cuyo agente causal se le ha atribuido a la presencia de fitoplasmas. Un vector de estos fitoplasmas es el insecto *Bactericera cockerelli* Sulc. Las alternativas de control de este psílido han carecido de eficacia, por lo que es importante realizar estudios que permitan hacer un mejor manejo de este problema fitosanitario. Este trabajo tuvo por objetivo determinar la distribución espacial de las poblaciones de adultos de *B. cockerelli* en cuatro parcelas de tomate de cáscara, la determinación de la distribución espacial se realizó por medio de la geoestadística. Se determinó el semivariograma experimental para ajustarse a un modelo teórico (esférico, exponencial, o gaussiano) a través de los programas Variowin 2.2, su ajuste se validó con el método de validación cruzada y se obtuvieron los mapas de agregación de la plaga a través del Krigeado con el programa Surfer 9.0. La estabilidad espacio temporal a corto plazo de la plaga se determinó con las pruebas de Crámer-von Mises y con el índice de asociación de SADIE. Los resultados mostraron que las poblaciones de *B. cockerelli* presentan una distribución de tipo agregada, que fue corroborada por los mapas de densidad. Las infestaciones no se presentaron en el 100% de la superficie de las parcelas experimentales, lo cual resulta importante, ya que así se pueden dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de infestación.

Abstract. Tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) is grown throughout Mexico, United States, and Central America. Recently the production of tomatillo has suffered economic losses of 70 to 80% due to floral abortion, and yellowing by the presence of phytoplasma transmitted by the insect *Bactericera cockerelli* Sulc. Alternative control of the psyllid lacked effectiveness because its spatial distribution in tomatillo

¹Hemiptera: Trioizidae

²Estudiante Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México CP 50200.

³D. Laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnologías en Agricultura de Precisión; Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca - Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo. C.P. 50200; Toluca, Estado de México.

*Autor para correspondencia e-mail: jframirez@uaemex.mx

fields was unknown. This study aimed to use geostatistics to determine the spatial distribution of adults in four plots of tomatillo. The experimental variogram was determined to conform to a theoretical model (spherical, exponential, or gaussian) through Variowin 2.2 programs. The adjustment was validated with the method of cross-validation and maps aggregation pest obtained through Kriging with Surfer 9.0 program. The short-term temporary space stability of the pest was determined by testing Crámer-von Mises and the index SADIE association. The results showed that populations of *B. cockerelli* have a distribution of aggregate type, which was corroborated by density maps. Infestations were not present in 100% of the surface of the experimental plots, which is important to know because control measures can be directed to specific areas of infestation.

Introducción

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) pertenece a la familia Solanaceae y subfamilia solanoideae tribu solaneae y agrupa 18 géneros. Es una especie asociada a la vertiente del Pacífico, donde aún es posible hallarse en forma silvestre, en una franja que va desde Guatemala, hasta California (Pérez y Granados 2001).

Se ha estimado que existen 80 especies dentro del género *Physalis*, confinadas en su gran mayoría a zonas templadas y tropicales de América y muy pocas especies en el este de Asia, India, Australia, Europa, y África tropical. De todas las especies de este género, aproximadamente 70 se encuentran en México (Avilés 1983).

Entre las hortalizas, el tomate de cáscara ocupa el cuarto lugar en cuanto a superficie cultivada en México, solo es superado por papa, tomate y chile. Los principales productores son: Sinaloa, Michoacán, Puebla, Morelos, Jalisco, Hidalgo, Guanajuato, y Estado de México (SIAP 2014).

La producción de tomate verde de cáscara representa el 4.25% de la superficie total de hortalizas a nivel nacional, teniendo un crecimiento promedio anual de 4.4%. Alrededor de 81% del tomate producido es bajo condiciones de riego, el resto es de temporal. El estado con mayor superficie cosechada y volumen de producción es Sinaloa, seguido por Michoacán, Jalisco, Estado de México, Sonora, y Puebla (Valtierra y Ramos 2003).

Uno de los principales problemas que enfrentan los productores de tomate de cáscara son las patologías que se presentan cada ciclo. Una de ellas se caracteriza por la presencia de plantas que envejecen antes de tiempo cuyos rendimientos disminuyen hasta 60%. Liefing et al. (2008) determinaron que dichos síntomas están asociados con la bacteria *Candidatus liberibacter solanacearum*, la cual parece ser la misma bacteria que causa el amarillamiento de los psíidos en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y chile (*Capsicum annum* L.). Esta nueva bacteria es transmitida por el psílido *Bactericera cockerelli* Sulc., que es un insecto ampliamente distribuido en la mayoría de las zonas agrícolas de México.

El monitoreo de las poblaciones de las plagas es un procedimiento muy importante para poder llevar a cabo un manejo adecuado, ya que con ello se puede tener un panorama de cómo se encuentra distribuido dentro de las parcelas de estudio. Para poder utilizar adecuadamente la información derivada del monitoreo es necesario establecer puntos de muestreo que generen datos fehacientes con los cuales, en este caso, se podrá visualizar el comportamiento espacial de *B. cockerelli*. La infestación de esta plaga hace importante implementar actividades

que permitan conocer su ubicación dentro de las parcelas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento espacial de las poblaciones de adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc., en lotes de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.).

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Luvianos, principal productor de tomate de cáscara del Estado de México (SIAP 2014), ubicado en la parte sur del Estado de México, entre los paralelos 18° 55'30" de latitud norte y 100° 18" de longitud oeste, a una altura de 1,300 metros sobre el nivel del mar. Se establecieron 4 parcelas experimentales, y el muestreo se realizó con transectos con una malla rectangular de 100 metros, muestreando cada 10 metros. Se muestrearon 121 plantas en cada parcela, con cinco redazos contando los adultos capturados. Cada planta fue etiquetada y georeferenciada para conocer su posición. Los muestreos se realizaron cada mes, el primero cuando el cultivo se encontraba en etapa de floración.

Se realizó una exploración estadística de los datos originales de las poblaciones de adultos de *B. cockerelli* en los muestreos correspondientes a cada una de las parcelas. Utilizando la Prueba de Curtósis se determinó que existía normalidad en los datos recolectados, por lo que no fue necesario realizar una transformación logarítmica de los datos $[\log_{10}(n+1)]$ para normalizarlos.

SADIE (Spatial Analysis by Distance Indices). SADIE ha sido desarrollada por el Dr. Joe N. Perry del Dpto. de Entomología y Nematología de Rothamsted Experimental Station (Reino Unido). Esta herramienta identifica el modelo espacial para datos bidimensionales, con un índice asociado de la agregación y de una prueba para la desviación de la aleatoriedad basada en un algoritmo de atracción, el cual incorpora un modelo biológico para la dispersión de individuos de un origen en el que a cada individuo se le asigna un territorio dinámico. Perry (1995b) desarrolló y extendió el uso del índice de la distancia para la regularidad (I_a) para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones de insectos. Además, introdujo dos diagramas de diagnóstico como ayuda a la interpretación y un índice nuevo para estimar el número de focos de agrupamiento de una población, el índice J_a .

Análisis Geoestadístico. Se obtuvo el semivariograma experimental a partir del valor promedio mensual de *Bactericera* capturados en cada muestreo utilizando el programa Variowin 2.2 (Software for spatial data analysis in 2D. Springer Verlag, NY). El valor experimental del semivariograma fue calculado con la siguiente expresión (Journel y Huijbregts 1978, Isaaks y Srivastava 1989):

$$\gamma^*(\mathbf{h}) = \frac{1}{2\mathbf{N}(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{\mathbf{N}(\mathbf{h})} [z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h}) - z(\mathbf{x}_i)]^2$$

Dónde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $n(h)$ es el número de pares de puntos muestreados separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i y $z(x_i+h)$ es valor de la variable de interés en el punto muestra $x+h$.

Estimación de los Parámetros del Modelo de Semivariograma. Una vez obtenido el semivariograma experimental, se realizó su ajuste a algún

semivariograma teórico (esférico, exponencial, gaussiano, etc.) (Englund y Sparks 1988) utilizando el programa Variowin versión 2.2.

Validación del Modelo Teórico. Se siguió un procedimiento de validación cruzada, en el cual los parámetros del modelo Co (efecto de pepita), C + Co (meseta) y a (rango o alcance) se van ajustando de forma interactiva (prueba y error) hasta los mejores valores de los estadísticos:

a. Media de los errores de estimación (MEE):

$$\text{MEE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]$$

Dónde: $z^*(x_i)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ es el valor medido de la variable de interés en el punto x_i y n es el número de puntos muestreados utilizado en la interpolación. La MEE no debe ser significativamente distinta de 0 (Prueba de t), en cuyo caso, indicaría que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimadores no sesgados

b. Error cuadrático medio (ECM):

$$\text{ECM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2$$

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el valor del estadístico es cercano a cero (Hevesi et al. 1992).

c. Error cuadrático medio adimensional (ECMA):

$$\text{ECMA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[z^*(x_i) - z(x_i)]^2}{\sigma_k}$$

Donde k es la desviación estándar del error esperado en la estimación con el krigeado. La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores $12(2/N) 0.5$. d. Otro estadístico para validar el ajuste del modelo consiste en que el valor de la varianza de los errores sea menor a la varianza muestreada.

Nivel de Dependencia Espacial. La determinación del grado de relación entre los datos o nivel de dependencia espacial se obtuvo al dividir el efecto pepita entre la meseta y expresando en porcentaje su resultado. Si el resultado es menor de 25% el nivel de dependencia espacial es alta, si se encuentra entre 26 y 75% el nivel de dependencia espacial es moderado y si es mayor del 76% el nivel de dependencia es bajo (Cambardella et al. 1994).

Elaboración de Mapas. Se realizó la interpolación de valores a través del krigeado ordinario que permite la estimación sin sesgos de valores asociados a puntos que no fueron muestreados, las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada fecha de muestreo mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc., Golden, CO).

Estabilidad Espacial y Temporal. La comparación se realizó utilizando la modificación propuesta por Syrjala (1996) a la prueba estadística no paramétrica de Cramér-von Mises, cuando los resultados se obtuvieron con la prueba de krigeado; mientras que para el caso de los resultados obtenidos mediante el método SADIE, la comparación para establecer la estabilidad espacio temporal se llevó a cabo

mediante el índice de asociación del SADIE (I_m) (Perry y Klukowsky 1997) considerando que si $I_m > 0$, es indicativo de que existe una asociación o una estabilidad espacio-temporal entre los mapas. La determinación de la estabilidad se realizó con el programa SADIE 1.22.

Resultados y Discusión

Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE). Los resultados obtenidos con el índice del SADIE (Tabla 1) mostraron que los valores del índice I_a fueron significativamente mayores a 1 lo que indica una distribución espacial agregada de *B. cockerelli* en el cultivo de tomate en los 3 muestreos realizados para las 4 parcelas de estudio. El valor del índice J_a nos reafirma la agregación detectada por el índice I_a , además, nos va indicar la cantidad de centros de agregación presentes en cada muestreo. Obtener valores que no son significativamente diferentes a la unidad nos da como resultado que las poblaciones de adultos se distribuyeron en la parcela en más de un centro de agregación. Se puede observar que en todos los casos el índice I_a fue significativamente mayor a 1, lo que nos indica una agregación. El índice J_a en todas las parcelas no fue significativamente mayor a 1, lo que nos indica que hay más de un foco de agregación.

Tabla 1. Valor de los índices I_a y J_a y sus Respectivas Probabilidades P_a y Q_a en *Bactericera cockerelli* Sulc.

Table 1. Value of indexes I_a and J_a and their Respective Probabilities P_a and Q_a in *Bactericera cockerelli* Sulc.

Parcela	Fecha	I_a	P_a	J_a	Q_a
1	17-Dic-15	1.53	0.009 ^s	1.14	0.329 ^{ns}
	14-Ene-16	1.61	0.011 ^s	1.16	0.219 ^{ns}
	18-Feb-16	1.72	0.010 ^s	1.19	0.334 ^{ns}
2	17-Dic-15	1.37	0.010 ^s	1.11	0.306 ^{ns}
	14-Ene-16	1.67	0.007 ^s	1.20	0.213 ^{ns}
	18-Feb-16	1.78	0.008 ^s	1.15	0.341 ^{ns}
3	17-Dic-15	1.42	0.010 ^s	1.19	0.331 ^{ns}
	14-Ene-16	1.60	0.008 ^s	1.22	0.236 ^{ns}
	18-Feb-16	1.74	0.012 ^s	1.14	0.305 ^{ns}
4	17-Dic-15	1.44	0.009 ^s	1.17	0.366 ^{ns}
	14-Ene-16	1.66	0.012 ^s	1.24	0.229 ^{ns}
	18-Feb-16	1.69	0.016 ^s	1.28	0.302 ^{ns}

Análisis Geoestadístico. La distribución espacial que se obtuvo en las poblaciones de *B. cockerelli* fue de tipo agregada, en todos los muestreos y modelos ajustados se presentó un efecto pepita igual a 0, a excepción de la fecha del 10 de enero de la parcela uno en la que se obtuvo un efecto pepita de 0.435 y en la parcela 3 en la fecha del 17 de diciembre que fue de 0.7 (Tabla 2). El bajo valor de la pepita encontrada en todos los casos indica que el error de muestreo fue mínimo y que la escala de muestreo utilizada en el presente trabajo fue la adecuada. La distribución espacial ajustada al modelo esférico es indicativa que dentro de la parcela analizada existen zonas en que hay más *B. cockerelli* respecto

al resto de puntos muestreados, es decir, existen focos de infestación de la plaga que avanzan desde un punto específico. Ramírez y Figueroa (2013) encontraron que las poblaciones de *Bactericera cockerelli* en el cultivo de papa presentaron en su mayoría un efecto pepita igual cero, ajustándose a los modelos esférico y exponencial, respectivamente.

Para todos los modelos se presentó una dependencia espacial alta, a excepción de la fecha del 17 de diciembre en la parcela uno, en la cual se obtuvo una dependencia espacial media. Los valores obtenidos en el rango fueron de 13.4 y 30.7 m para la parcela uno, 14.3 y 15.4m en la parcela dos, mientras que en la tres y cuatro los valores fluctuaron entre 26 y 36.4m y 10.4 y 12m respectivamente (Tabla 1). Esta distancia entre los rangos de cada muestreo nos indica hasta dónde existe dependencia espacial, entre más fuerte sea la dependencia espacial es más posible que los centros se mantengan más fuertes, por lo tanto posiblemente el insecto va a formar nichos ecológicos que sean estables a través del tiempo.

Tabla 2. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta, y Rango) de los Modelos Ajustados a los Semivariogramas de Adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc.

Table 2. Parameters (Effect Nugget, Plateau, and Range) Models Adjusted to the Adults Semivariograms of *Bactericera cockerelli* Sulc.

Parcela	Fecha	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Nivel de dependencia espacial	
						Pepita/ Meseta	
1	17-Dic-15	Esférico	0.435	0.91495	30.716	47.54	Media
	14-Ene-16	Esférico	0	28.47	14.4	0	Alta
	18-Feb-16	Esférico	0	35.72	13.436	0	Alta
2	17-Dic-15	Esférico	0	1.875	14.3	0	Alta
	14-Ene-16	Esférico	0	12.80	15.4	0	Alta
	18-Feb-16	Esférico	0	14.40	15.4	0	Alta
3	17-Dic-15	Esférico	0.7	8.1	36.4	8.64	Alta
	14-Ene-16	Esférico	0	19.09	26.0	0	Alta
	18-Feb-16	Esférico	0	22.68	31.2	0	Alta
4	17-Dic-15	Esférico	0	4.899	10.4	0	Alta
	14-Ene-16	Esférico	0	9.92	12.0	0	Alta
	18-Feb-16	Esférico	0	21.9	12.0	0	Alta

Los modelos de la distribución espacial de *B. cockerelli* en las parcelas estudiadas se validaron con los parámetros estadísticos al ubicarse dentro del rango permisible. En cuanto a la media de población de *B. cockerelli* el mes que presentó mayor grado de infestación fue febrero con 6.14 adultos por planta y el mes con menor infestación fue diciembre con 0.87 adultos por planta para la parcela uno, en la parcela dos el mes que presentó mayor grado de infestación fue febrero con una media de 4.25 y el mes con menor infestación fue diciembre ya que tuvo una media de 1.14 adultos por planta, para la parcela 3 febrero fue el mes en el que se obtuvo mayor infestación obteniendo un valor de 5.16 adultos y el mes más bajo fue diciembre con un valor de 2.54 individuos por planta y finalmente en la parcela cuatro el valor más alto fue de 5.67 adultos en el mes de febrero y 1.73 adultos por planta en el mes de diciembre (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de los Estadísticos de la Validación Cruzada: Media de los Errores de Estimación (MEE), Error Cuadrático Medio (ECM), y Error Cuadrático Medio Adimensional (ECMA), de Adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc.

Table 3. Values of Cross-validation Statistics: Average Estimation Errors (MEE), Root Mean Square Error (RMSE), and Mean Square Error Dimensionless (ECMA), Adults of *Bactericera cockerelli* Sulc.

Parcela	Fecha	Tamaño		Varianza muestral	MEE	Varianza de los errores		
		muestra	Media muestral			ECM	ECMA	
1	17-Dic-15	121	0.8760	1.4428	0.12 ^{ns}	1.13	0.09	1.10
	14-Ene-16	121	4.4462	38.6325	0.10 ^{ns}	29.64	0.08	1.06
	18-Feb-16	121	6.1487	47.0443	0.12 ^{ns}	43.93	0.11	1.13
2	17-Dic-15	121	1.1404	2.4217	0.10 ^{ns}	1.94	0.10	1.12
	14-Ene-16	121	3.2231	15.5081	0.11 ^{ns}	12.38	0.11	1.11
	18-Feb-16	121	4.2561	19.3754	0.08 ^{ns}	16.72	0.12	1.10
3	17-Dic-15	121	2.5454	10.0666	0.11 ^{ns}	8.06	0.09	1.10
	14-Ene-16	121	4.3223	22.4869	0.09 ^{ns}	19.33	0.12	1.12
	18-Feb-16	121	5.1652	26.5391	0.11 ^{ns}	23.87	0.10	1.11
4	17-Dic-15	121	1.7355	7.1128	0.10 ^{ns}	5.24	0.12	1.11
	14-Ene-16	121	3.3140	15.5172	0.12 ^{ns}	12.36	0.09	1.13
	18-Feb-16	121	5.6776	29.3555	0.13 ^{ns}	25.78	0.11	1.07

Se encontró que la distribución espacial de los adultos fue de tipo agregada para todas las fechas de muestreo en cada una de las parcelas y el efecto pepita en su mayoría tuvo valores cercanos a 0. Una vez localizadas las áreas de infestación se pueden aplicar técnicas de control dirigidas a las áreas específicas que requieran un control inmediato, si bien este estudio realizado a nivel parcela nos arroja buenos resultados utilizando estas técnicas, el aplicar medidas de control dirigidas a dichas áreas de infestación en el cultivo de rendirá mayores frutos si se hace desde un contexto regional o nivel asociación de productores del cultivo de tomate de cáscara, ya que bajaría los costos de producción, disminuiría el impacto al medio ambiente por el uso irracional de agroquímicos. De esta forma sería rentable la aplicación de estas geo tecnologías.

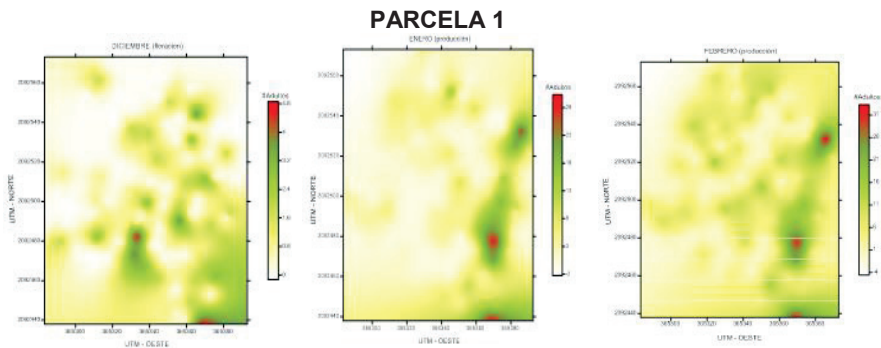
Ramírez et al. (2011) establecieron la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc., en *Solanum tuberosum* L. en Donato Guerra, México, donde utilizaron el muestreo por cuadrantes y el de transectos, en ambos muestreos encontraron que la distribución espacial fue de tipo agregada y los mapas tanto en el muestreo de cuadrantes como de transectos reflejaron la estructura agregada de las poblaciones del insecto, el cual no invadió el 100% de la superficie de la parcela, permitiendo identificar áreas infestadas y libres de infestación.

Los mapas de la superficie infestada mostraron que las poblaciones de adultos de *B. cockerelli* se ubicaron en centros de agregación, es decir, su localización se encuentra en puntos específicos, para la parcela uno los centros de agregación se hallaron distribuidos a lo largo de toda la parcela, sin embargo, las áreas con mayor densidad se hallaron principalmente en la zona derecha de los mapas para los tres muestreos, en la segunda parcela los centros con mayor densidad se encontraron de forma marcada en la parte central de los mapas en los 3 muestreos realizados, para el caso de la parcela tres los centros de agregación con mayor densidad se encuentran en la parte superior de los mapas así como en

la parte izquierda y en la parcela cuatro hubo centros de agregación en toda la parcela siendo más notorios en la parte inferior del mapa para el primer muestreo y en la parte superior izquierda para el segundo y tercer muestreo (Fig. 1). Las infestaciones que se presentan hacia los bordes de las parcelas, sugieren que la invasión del insecto viene de parcelas vecinas y a partir de ahí el insecto avanza hacia el centro de la parcela, ubicando las plantas más aptas para poder realizar su reproducción, por lo mismo se crean centros de agregación marcados.

La relación existente entre la densidad media de los insectos y la cantidad de centros de agregación se puede apreciar en los mapas de densidad elaborados mediante la técnica del krigeado. Un estudio similar realizado por Ramírez et al. (2013), estudiaron la distribución espacial de los estadios preimaginales de *Bactericera cockerelli* Sulc., en papa, estableciendo mapas de densidad de esas poblaciones donde se observaron los centros de agregación de dichas poblaciones y la amplitud de los mismos.

Superficie Infestada. En la parcela 1 los porcentajes libres de infestación se hallaron entre 57 y 30% con un promedio de 45.66%. La mayor superficie libre del ataque del insecto se registró en el segundo muestreo mientras que la superficie con mayor infestación fue en el tercer muestreo, en el caso de la parcela 2 la zona sin infestación en las diferentes fechas de muestreo fluctuó entre 41 y 18% de la superficie total con un valor medio de 30.33%. Es importante mencionar que fue el tercer muestreo donde se observó el mayor porcentaje de superficie libre de infestación, mientras que fue el primer muestreo el que registró el porcentaje más alto de infestación, en la parcela 3 los porcentajes libres de infestación se hallaron entre 26 y 19% con un promedio de 22.66%. La mayor superficie libre del ataque del insecto se halló en el segundo muestreo, por otro lado, el primer muestreo fue el que presentó el mayor grado de infestación y por último en la parcela 4 la zona sin infestación para los diferentes muestreos fluctuó entre 52 y 29% de la superficie total con un valor medio de 43.66%. Es importante mencionar que fue en el primer muestreo en el que se registró la mayor superficie libre de infestación, por el contrario, el tercer muestreo que fue donde presentó la mayor superficie infestada. El tener mayor grado de infestación de la plaga indica que el insecto se estableció en mayor espacio dentro de la parcela, esto debido al comportamiento natural de la plaga, ya que al llegar su ciclo de reproducción requiere de un mayor espacio y por ende se encuentra distribuido en un área mayor. La incidencia poblacional no fue proporcional en las parcelas, ya que es posible que las condiciones propias de cada parcela como temperatura, humedad o enemigos naturales regularan las poblaciones del insecto.



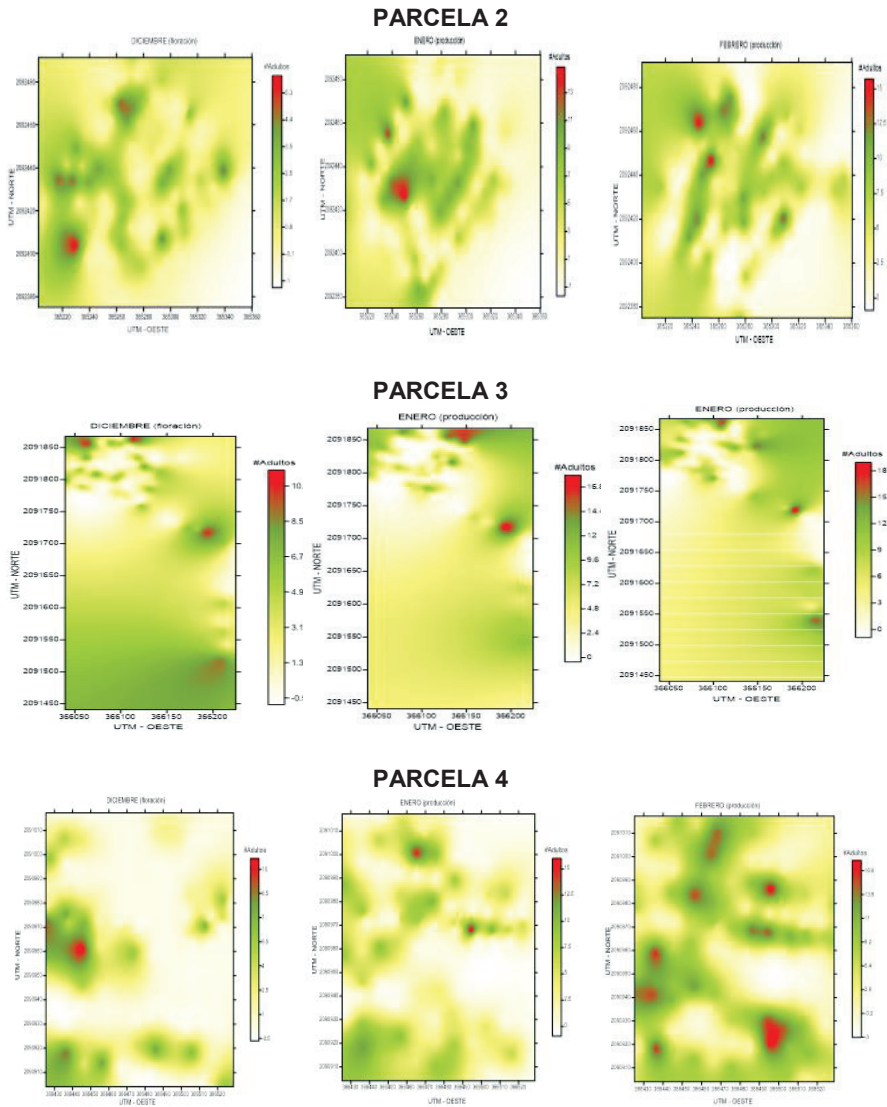


Fig. 1. Mapas de densidad de las poblaciones de adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc obtenidos en las cuatro parcelas de estudio.

Fig. 1. Density maps of adult populations of *Bactericera cockerelli* Sulc obtained in the four study plots.

En el Estado de México las aplicaciones enfocadas en el control de este insecto plaga son de forma general y a veces calendarizadas, por lo que se hace un uso irracional de los insecticidas, esto en gran parte debido a que los muestreos son mal realizados, o en otros casos, ni muestreos se realizan, por esta razón se sobreestiman las poblaciones de la plaga y se hacen aplicaciones generales y en ocasiones innecesarias. Es por eso que estas técnicas se pueden introducir a nivel región, aplicando de forma eficiente los métodos de la agricultura de precisión, ya que se pudo comprobar que *Bactericera cockerelli* no infesta por completo el área que invade, por lo que no es necesario realizar aplicaciones de insecticidas de forma general, más bien hacia los puntos específicos de distribución del insecto plaga. Para hacer atractivo el método tanto en eficiencia como en costos, es necesario que el problema del insecto plaga sea abordado en la medida de lo posible, por la mayor cantidad de productores de la región tomatera en cuestión, de esta forma se abaratan los costos de muestreo y los costos de aplicación del método espacial, lo cual, junto con la aplicación dirigida del método químico o algún método alternativo, le permitirá a los productores obtener ahorros económicos importantes y reducir los costos de contaminación ambiental ejercidos por el uso irracional y exagerado de los productos químicos, tal y como se lleva a cabo en la actualidad.

Estabilidad Espacial y Temporal. La comparación entre fechas de muestreo de los diferentes mapas obtenidos en cada una de las parcelas nos puede dar indicaciones de la dinámica espacio-temporal del insecto. Más concretamente de la posibilidad de encontrar una estabilidad numérica en el espacio y el tiempo que puede abrir las puertas para la utilización de las técnicas de la agricultura de precisión en este insecto.

Las comparaciones entre los muestreos 1 vs 2 y 2 vs 3 nos arrojó un índice I_m mayor a 0 en las 4 parcelas, indicando con esto que no existió diferencia significativa, es decir se detectó asociación espacial entre los mapas comparados por lo que fue posible detectar una estabilidad espacio temporal a corto plazo de las poblaciones del insecto entre las fechas comparadas, lo que trae como implicación que los centros de agregación persisten a través del tiempo en la parcela de tomate de cáscara, posiblemente por una constante presión del insecto en la zona, lo cual hace que forme nichos ecológicos estables y perdurables en el tiempo y provoque un daño más acusado sobre las plantas de tomate.

Tabla 4. Comparación de Mapas (Krigado) con la Prueba Bivariable de Cramér-von Mises (Ψ)

Table 4. Comparison of Maps (Kriging) with the Bivariate Test Cramér-von Mises (Ψ)

Parcela	Muestreos comparados	Ψ	Valor de P	Diferencia (5%)	I_m
1	1 vs 2	0.32	0.57	No significativa	0.98
	2 vs 3	0.29	0.47	No significativa	1.45
2	1 vs 2	0.35	0.44	No significativa	1.39
	2 vs 3	0.27	0.51	No significativa	1.83
3	1 vs 2	0.27	0.53	No significativa	2.53
	2 vs 3	0.34	0.42	No significativa	1.28
4	1 vs 2	0.29	0.49	No significativa	2.50
	2 vs 3	0.33	0.47	No significativa	1.71

Valores de I_m , 0 indican asociación espacial

Los valores del I_m del SADIE fueron mayores que 0, indicando que existió una asociación espacial entre los mapas comparados de adultos de *B. cockerelli* por lo que fue posible detectar una estabilidad espacio temporal a corto plazo de las poblaciones del insecto entre las fechas comparadas de cada una de las parcelas.

Los resultados con la prueba estadística bivariable de Cramér-von Mises, indican diferencia no significativa en la estabilidad espacial y temporal de corto plazo entre las fechas de muestreo para las 4 parcelas, es decir, existió estabilidad espacial y temporal en las poblaciones de *B. cockerelli* en las 4 parcelas en cada muestreo analizado. Esta información nos permite deducir que las poblaciones del insecto plaga a lo largo del cultivo son bastante estables en términos espaciales, esto ayudará en la determinación futura de estrategias de manejo del insecto más adecuadas y pertinentes en el cultivo estudiado.

Referencias Citadas

- Avilés, J. 1983. Monografía sobre el Cultivo de Tomate de Cáscara *Physalis ixocarpa* L. Iguala Guerrero. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo.
- Cambardella, C., T. Moorman, J. Novak, T. Parkin, D. Karlen, R. Turco, and A. Konopka. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil. Sci. Soc. Am. J. 58: 1501-1511.
- Englund, E., and A. Sparks. 1988. GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) User's Guide. U.S. Environmental Protection Agency document EPA/600/4-88/033. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas, NV.
- Hevesi, J., J. Istok, and A. Flint. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part. I. Structural analysis. J. Appl. Meteorol. 31: 661-676.
- Isaaks, E., and M. Srivastava. 1989. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. Math. Geol. 20: 313-341.
- Journel, A., and C. J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, London, UK.
- Liefting, L., Z. Perez-Egusquiza, and G. Clover. 2008. A new '*Candidatus Liberibacter*' species in *Solanum tuberosum* in New Zealand. Plant Dis. 92: 1474.
- Pérez, M., y A. Granados. 2001. Fertilización nitro-fosfórica en tomate de cascara *Physalis ixocarpa* Brot. En riego, en Irapuato, Gto, México. Acta Universitaria 11: 19-25
- Perry, J. 1995. Spatial analysis by distance indices. J. Anim. Ecol. 64: 303-314.
- Perry, N., and Z. Klukowsky. 1997. Spatial distributions of counts at the edges of sample areas. VI Conferencia de la Sociedad de Biometría, Córdoba, España.
- Ramírez, J. F., y F. D. K. Figueroa. 2013. Modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Trioziidae) en papa en el Estado de México. Centro Agrícola 40: 57-70.
- Ramírez, D. J. F., C. E. Porcayo, y P. J. R. Sánchez. 2011. Análisis de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Trioziidae) en *Solanum tuberosum* L. en Donato Guerra, México. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 12: 12-24.

- Ramírez, J. F., C. E. Porcayo, and J. R. Sánchez. 2013. Modeling of the spatial distribution of *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae), in *Solanum tuberosum* L. (Solanales: Solanaceae). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo* 45: 11-20.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 7 Nnviembre 2014).
- Syrjala, E. 1996. A statistical test for a difference between the spatial distributions of two populations. *Ecol.* 77: 75-80.
- Valtierra, P., y S. Ramos. 2003. Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva de tomate verde en el estado de Puebla. Fundación Produce Puebla, Gobierno del Estado de Puebla.