

## Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)

### Spatial distribution of egg populations of *Bactericera cockerelli* Sulc. in the cultivation of tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.)

**Recibido:** 29 de mayo del 2017  
**Aceptado:** 11 de abril del 2018  
**Publicado:** 23 de octubre del 2018

Roberto Rivera-Martínez\*, José Francisco Ramírez-Dávila\*\*, Agustín David Acosta-Guadarrama\*

#### Cómo citar:

Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., & Acosta-Guadarrama, A. D. (2018). Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta Universitaria*, 28(5), 24-33. doi: 10.15174/au.2018.1944

\* Universidad Autónoma del Estado de México.

\*\* Laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnologías en Agricultura de Precisión; Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca - Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo. C.P. 50200; Toluca, Estado de México. Correo electrónico: jframirez@uaemex.mx

° Autor de correspondencia.

#### Palabras Clave:

Geoestadística; *Bactericera cockerelli*; Krigeado.

#### Keywords:

Geostatistics; *Bactericera cockerelli*; Krigeado.

## RESUMEN

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 atribuye al insecto *Bactericera cockerelli* Sulc. Las alternativas de control de este insecto han carecido de eficacia, por lo tanto, el objetivo del trabajo fue determinar la distribución espacial de las poblaciones de huevos de *B. cockerelli* en cuatro parcelas de tomate de cáscara, por medio de la geoestadística, en Luvianos, Estado de México en el año 2016-2017. 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 ordinario con el programa Surfer 9.0. Los resultados demostraron que las poblaciones de huevos 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 interesante para dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de infestación.

## ABSTRACT

The production of husk tomatoes has suffered economic losses that go from 70% to 80% due to the presence of yellowing and floral abortion. The causal agent is attributed to the insect *Bactericera cockerelli* Sulc. The control alternatives of this insect have lacked efficacy, therefore, this work aimed to determine the spatial distribution of the populations of eggs of *B. cockerelli* in four plots of husk tomato, by means of geo-statistics. The experimental semi-variogram for a theoretical model (spherical, exponential or Gaussian) was determined through the Variowin 2.2 programs. Its adjustment was validated with the cross-validation method and the plaque aggregation maps were obtained through the Ordinary Kriging with the Surfer 9.0 program. The results showed that the egg populations of *B. cockerelli* present an aggregate distribution, which was corroborated by density maps. Infestations were not present in 100% of the experimental plots, which is interesting for directing control measures on specific areas of infestation.

## INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) ocupa el cuarto lugar en cuanto a superficie cultivada en México, solo es superado por papa, jitomate y chile. 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 del 81% del tomate producido es bajo condiciones de riego, el resto 19% es de temporal. Los principales productores de tomate son: Sinaloa, Zacatecas, Puebla, Michoacán, Jalisco y México (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2016).

Uno de los principales problemas que enfrentan los productores de tomate son las patologías que se presentan cada ciclo, una de ellas se caracteriza por la presencia de plantas que envejecen antes de tiempo. Recientemente (Lieferting, Perez-Egusquiza, Clover & Anderson, 2008) determinaron que dichos síntomas están asociados con una nueva bacteria cuyo nombre propuesto es *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.). De acuerdo con los investigadores referidos, 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. Este psílido es responsable de que los rendimientos disminuyan hasta un 60% comparado con el rendimiento esperado, además que el control químico conlleva un alto gasto, ya que se realizan aplicaciones generalizadas. Por lo tanto, el monitoreo de las poblaciones de huevos de *B. cockerelli* es un procedimiento muy importante en el manejo de este problema, ya que con ello se puede tener un panorama de cómo se distribuirá la plaga 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 se podrá visualizar el comportamiento espacial de *B. cockerelli*. La infestación de este insecto-plaga hace importante implementar actividades que permitan conocer su ubicación dentro de las parcelas de tomate de cáscara; por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo 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, 2016), el cual se encuentra ubicado en la parte sur del Estado de México, está comprendido entre los paralelos 18° 55' 30" de latitud norte y 100° 18" de longitud oeste, del meridiano de Greenwich, se encuentra a una altura de 1300 msnm, con temperatura promedio de 25 ° y precipitación que va de 800 mm a 1500 mm.

Para el estudio del comportamiento espacial de las poblaciones de huevos de *B. cockerelli* se establecieron cuatro parcelas experimentales de una hectárea cada una, de la variedad Mahone, la cual presenta un buen rendimiento en la zona de estudio, el fruto alcanza los 35 mm de diámetro y de 40 mm a 43 mm de ancho, la altura de planta alcanza un promedio de 1.5 m. Las parcelas se ubicaron en diferentes lugares dentro del municipio, con un manejo agronómico similar, bajo condiciones climáticas similares y con un suelo de tipo regosol, en la cuales no se aplicaban insecticidas, utilizando únicamente el control cultural y mecánico.

El muestreo que se utilizó fue el de transectos, en el cual se estableció una malla rectangular de 100 m y se muestreó a cada 10 m en ambas direcciones, de este modo se muestrearon 121 plantas en cada parcela. En cada planta muestreada se tomaron cinco hojas en los diferentes estratos y se contó la cantidad de huevos presentes en cada hoja. Cada planta fue debidamente etiquetada para conocer su posición exacta, con un navegador modelo eTrex Vista HC x 2007 (Ramírez, Porcayo & Sánchez, 2011). Los muestreos se realizaron cada mes, el primer muestreo se realizó cuando el cultivo se encontraba en etapa de floración y los siguientes se llevaron a cabo cuando el cultivo estaba en producción.

Se realizó un análisis estadístico de los datos originales de las poblaciones de huevos de *B. cockerelli* en los muestreos correspondientes a cada una de las parcelas, se calculó el estadístico de curtosis, el cual mide el grado en que las observaciones están agrupadas en los extremos de la curva de la distribución de datos, cabe señalar que para establecer normalidad los valores del coeficiente de curtosis deben estar en el rango de -3 y 3 (Ramírez & Porcayo, 2010).

Los datos recolectados estuvieron dentro de este rango, por lo que no fue necesario realizar una transformación logarítmica de los datos  $[\log_{10}(n + 1)]$  para normalizarlos.

### Análisis geoestadístico

Se obtuvo el semivariograma experimental a partir del valor promedio mensual de huevos de *B. cockerelli* contabilizados en cada muestreo utilizando el programa Variowin 2.2 (Software for spatial data analysis in 2D. Springer Verlag, New York USA). El valor experimental del semivariograma

fue calculado con la siguiente expresión (Isaaks & Srivastava, 1989; Journel & Huijbregts, 1978):

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

Donde:  $\gamma^*(h)$  es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia  $h$ ;  $n(h)$  es el número de pares de puntos muestrales 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  $x_i+h$ .

### 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.) (England, Sparks & Robinson, 1989) utilizando el programa Variowin versión 2.2.

### Validación del modelo teórico

Se sigue 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:

### Media de los Errores de Estimación (MEE)

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

Donde:  $z^*(x_i)$  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 muestrales 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

### Error Cuadrático Medio (ECM)

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

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

### Error Cuadrático Medio Adimensional (ECMA)

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

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 muestral.

### 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 insesgada 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. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401- 1866. USA).

### 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, esto consiste en la comparación de mapas, si en la comparación no hay diferencia significativa, existe estabilidad espacial.

## RESULTADOS

### Análisis geoestadístico

Con los datos obtenidos en los muestreos se generó la modelización espacial y el mapeo de las poblaciones de huevos de *B. cockerelli* dentro de las parcelas de tomate de cáscara. Todos los muestreos realizados se ajustaron al modelo esférico (tabla 1). La pepita tuvo valores iguales a cero en la mayoría de los casos, lo que nos indica que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo fue mínimo.

Se encontró un nivel de dependencia espacial alto en todas las parcelas lo que es indicativo de la existencia de una fuerte distribución agregada y una relación espacial entre las observaciones de cada punto de muestreo (tabla 1).

Los valores obtenidos en el rango fueron de 14.4 m y 15.36 m en la parcela uno, 14.3 m a 15.4 m en la dos, 31.2 m a 33.8 m para la tres y para la cuatro los valores fueron de 11.2 m a 12 m (tabla 1). Esta distancia entre los rangos de cada muestreo nos indica hasta donde existe dependencia espacial de los datos muestreados, ya que más allá del valor máximo de la distancia la dependencia espacial es nula, además a mayor rango se explica mejor el modelo y este tiene un mayor alcance.

El mes que presentó mayor grado de infestación fue diciembre con 4.18 huevos por planta y el mes con menor infestación fue enero con 0.78 huevos por planta para la parcela uno, en la parcela dos el mes que presentó mayor grado de infestación fue diciembre con una media de 5.8 y el mes con menor infestación fue enero con 1.14 huevos

por planta, para la parcela 3 febrero fue el mes en el que se obtuvo mayor infestación obteniendo un valor de 2.61 huevos y el mes más bajo fue diciembre con un valor de 1.29 huevos por planta y finalmente en la parcela cuatro el valor más alto fue de 2.99 huevos en el mes de febrero y 1.26 huevos por planta en el mes de diciembre (tabla 2). En las parcelas en las que hubo mayor incidencia en el mes de febrero se puede inferir que es debido a la temperatura, ya que esta presentó temperaturas más altas en ese mes de muestreo.

Los mapas de densidad obtenidos con el krigeado ordinario mostraron la ubicación de los diferentes centros de agregación, es decir, su localización se encuentra en puntos específicos (figura 1).

**Tabla 1** Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de huevos de *B. cockerelli*

Parcela	Fecha	Modelo	Pepita	Meseta	Rango (m)	Pepita/Meseta	Nivel de dependencia espacial
1	17-dic-15	Esférico	0	22.94	15.3	0	Alta
	14-ene-16	Esférico	0	1.95	14.4	0	Alta
	18-feb-16	Esférico	0	2.964	14.4	0	Alta
2	17-dic-15	Esférico	0	45.57	15.3	0	Alta
	14-ene-16	Esférico	0.126	4.725	15.4	2.66	Alta
	18-feb-16	Esférico	0	9.35	14.3	0	Alta
3	17-dic-15	Esférico	0	3.51	33.8	0	Alta
	14-ene-16	Esférico	0	5.8477	31.2	0	Alta
	18-feb-16	Esférico	0	8.554	33.8	0	Alta
4	17-dic-15	Esférico	0	6.12	12	0	Alta
	14-ene-16	Esférico	0	8.03	11.2	0	Alta
	18-feb-16	Esférico	0.76	6.36	12	11.94	Alta

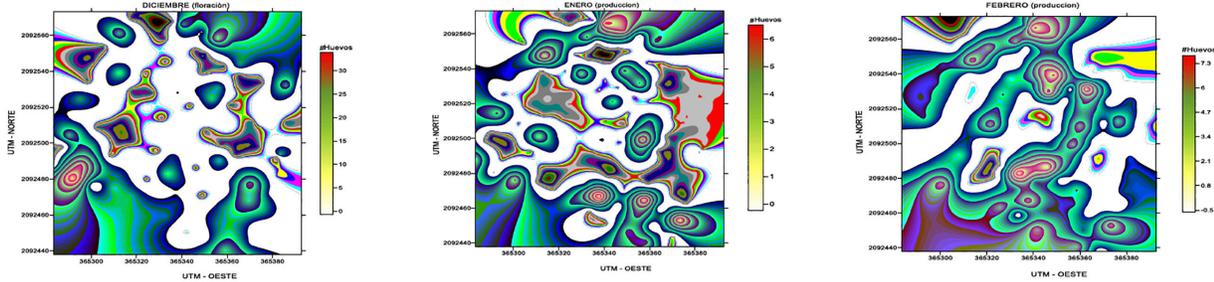
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2** 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 los huevos de *B. cockerelli*

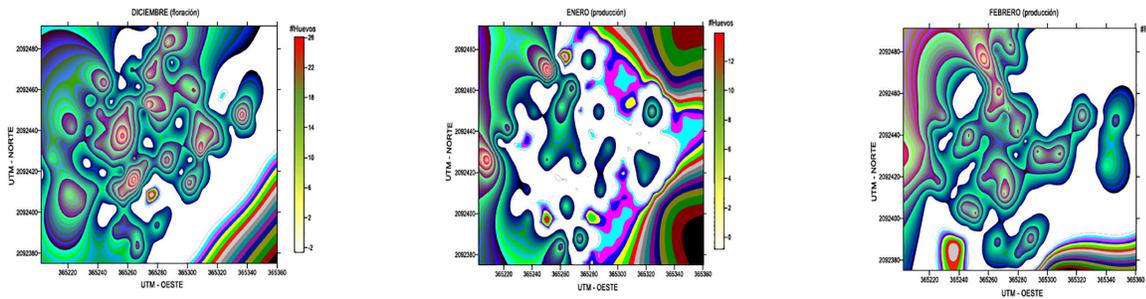
Parcela	Fecha	Tamaño de muestra	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los errores	ECM	ECMA
1	17-Dic-15	121	4.1818	30.4	0.11 <sup>ns</sup>	22.54	0.12	1.11
	14-Ene-16	121	0.7851	2.5034	0.11 <sup>ns</sup>	1.37	0.10	1.10
	18-Feb-16	121	1.4462	3.8825	0.12 <sup>ns</sup>	1.99	0.07	1.12
2	17-Dic-15	121	5.8429	48.6168	0.10 <sup>ns</sup>	40.51	0.11	1.09
	14-Ene-16	121	1.1404	6.2550	0.12 <sup>ns</sup>	4.37	0.09	1.11
	18-Feb-16	121	2.4095	10.8096	0.09 <sup>ns</sup>	8.61	0.13	1.13
3	17-Dic-15	121	1.2975	3.9274	0.12 <sup>ns</sup>	2.93	0.13	1.12
	14-Ene-16	121	1.8429	6.8501	0.13 <sup>ns</sup>	4.65	0.10	1.10
	18-Feb-16	121	2.6198	9.4209	0.11 <sup>ns</sup>	8.29	0.12	1.07
4	17-Dic-15	121	1.2644	9.0461	0.11 <sup>ns</sup>	7.03	0.11	1.10
	14-Ene-16	121	2.1570	10.7001	0.12 <sup>ns</sup>	8.21	0.08	1.06
	18-Feb-16	121	2.9917	11.5749	0.11 <sup>ns</sup>	9.35	0.11	1.11

Fuente: Elaboración propia.

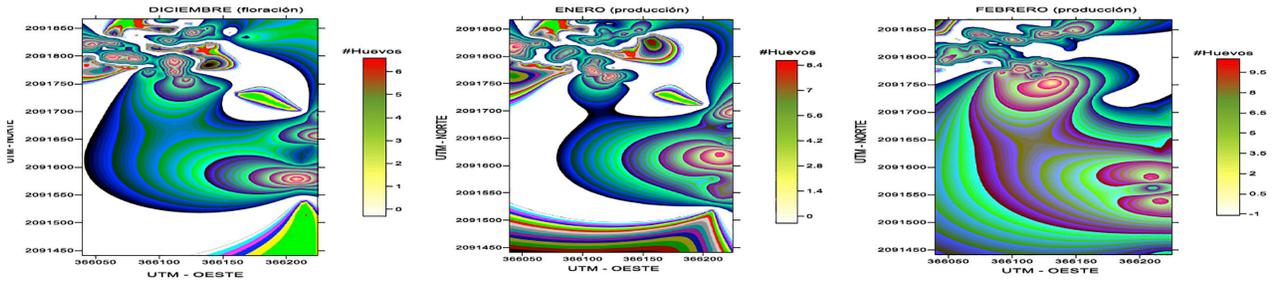
### Parcela 1



### Parcela 2



### Parcela 3



### Parcela 4

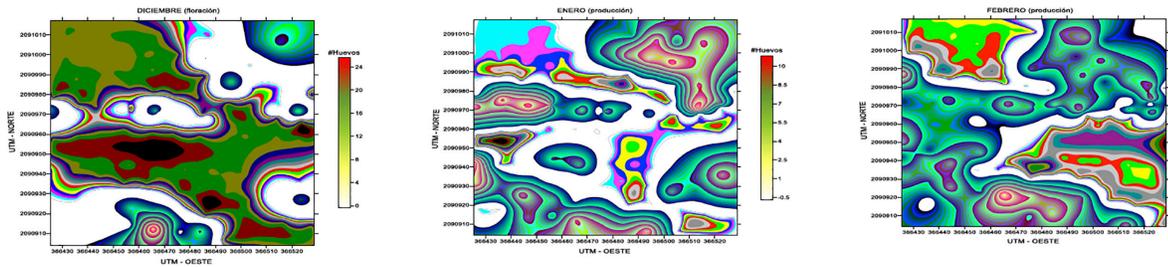


Figura 1

Mapas de densidad de las poblaciones de huevos de *B. cockerelli* obtenidos en las cuatro parcelas de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Para la parcela uno los centros de agregación se encontraron distribuidos por toda la superficie experimental en los tres muestreos, sin embargo, los centros de densidad media más alta se encontraron en la parte izquierda y parte superior del mapa, en la segunda parcela los centros de densidad media más alta los encontramos en la parte centro y superior de los mapas, mientras que en la tres encontramos centros de agregación distribuidos en la parte centro-superior e inferior-izquierda de los mapas y finalmente para la parcela cuatro en general se distribuyó en toda la parcela, sin embargo, cabe señalar que para el segundo y tercer muestreo los centros de agregación con mayor densidad se distribuyeron en la parte inferior-izquierda de los mapas. La ubicación en diferentes puntos dentro de la parcela se debe a que por lo regular ningún insecto presenta una distribución total al interior de la parcela y se agrupan en torno a las áreas donde encuentran condiciones favorables para su supervivencia, generando pequeños nichos ecológicos de desarrollo.

La información sobre la dispersión de huevos dentro de la parcela, al combinarlas con información de la plaga y modelos de predicción, permitirán optimizar las actividades de monitoreo y orientar las actividades de manejo en tiempo y espacio

### Superficie infestada

Fue evidente la existencia de variabilidad espacial en la ubicación de los centros de agregación de huevos dentro de las parcelas. En ninguna fecha de muestreo se distribuyó en el 100% del área de la parcela, siempre se observaron espacios donde hubo ausencia de la plaga. Esto permite suponer que la plaga crea refugios y que en los centros de agregación donde se ubicó había condiciones favorables para su reproducción. El mayor porcentaje de infestación se presentó en la parcela en el tercer muestreo con un 76% de infestación, mientras que en la parcela cuatro en el primer muestreo se presentó el menor con un 22% de infestación (tabla 3).

### 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, como la de aplicar algún tipo de control dirigido hacia las áreas específicas de infestación dentro de la parcela.

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 cuatro parcelas, es decir, existió estabilidad espacial y temporal en las poblaciones de *B. cockerelli* en todos los muestreos analizados (tabla 4).

**Tabla 3** Porcentaje de superficie infestada y no infestada (%)

Parcela	No de Muestreo	% Infestado	% No infestado
1	1	55	45
	2	38	62
	3	36	64
2	1	38	62
	2	73	27
	3	36	64
3	1	65	35
	2	47	53
	3	76	24
4	1	22	78
	2	46	54
	3	52	48

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4** Comparación de mapas (Krigedado) con la prueba bivariable de Cramér-von Mises ( $\Psi$ )

Parcela	Muestreos comparados	$\Psi$	Valor de P	Diferencia (5%)
1	1 vs 2	0.34	0.40	No Significativa
	2 vs 3	0.25	0.52	No Significativa
2	1 vs 2	0.26	0.45	No Significativa
	2 vs 3	0.32	0.50	No Significativa
3	1 vs 2	0.30	0.39	No Significativa
	2 vs 3	0.29	0.47	No Significativa
4	1 vs 2	0.35	0.49	No Significativa
	2 vs 3	0.28	0.52	No Significativa

Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

La observación de la estructura agregada en la distribución espacial de huevos de *B. cockerelli* en el cultivo de tomate de cáscara se hizo con el uso de la geoestadística. Crespo-Herrera *et al.* (2012), utilizando la ley de la potencia de Taylor con estadística clásica, encontraron una estructura agregada de huevos y ninfas en el cultivo de tomate, mientras que los adultos presentaron una distribución aleatoria. En comparación con la estimación de la distribución espacial que realiza la estadística clásica, los modelos geoestadísticos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, ya que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial, además de ser independiente de la relación entre la media y la varianza (Samper & Carrera, 1996). La geoestadística además permite elaborar mapas de densidad de la distribución espacial de un organismo (Ribes, Bascuñana & Avilla, 1998; Rossi, Mulla, Journel & Franz, 1992). Moral (2004) utilizó la geoestadística para estudiar la distribución espacial del lepidóptero *Helicoverpa armigera* Hübner, en una parcela de tomate, con el empleo de la función variograma, obteniendo más representaciones gráficas diarias de dichas distribuciones. Estos mapas se basan en la técnica de estimación geoestadística conocida como "krigeado", particularmente el ordinario en bloques. Contreras *et al.* (2016) realizaron un estudio de distribución espacial de la enfermedad *Candidatus liberibacter solanacearum* y de su vector *Bactericera cockerelli* Sulc.; en papa, en el cual pudieron obtener mapas de densidad de *B. cockerelli* tanto en huevos, ninfas y adultos, usando el krigeado.

El uso de las técnicas para modelizar la distribución espacial de insectos ha mostrado ser una herramienta muy eficiente para determinar la distribución espacial de diversos insectos plaga en cultivos de importancia económica. Diferentes trabajos como el de Jiménez, Cortiñas & López (2000) revelan la distribución temporal y agregada de *thrips palmi* Karny en la papa en Cuba. Por otra parte, Sciarretta, Zinni, Mazzocchetti & Trematerra (2008) encontraron una distribución agregada con ajuste al modelo esférico en *Lobesia botrana* en parcelas de uva. En cuanto a, Bressan, Moral, Sémetey & Boudon (2010) determinaron la distribución espacial de *Pentastiridius leporinus* L., en campos de trigo, Ramírez *et al.* (2011) la distribución agregada de *Bactericera cockerelli* en papa y Jiménez, Ramírez, Sánchez, Salgado & Laguna (2013) las de poblaciones de trips en tomate de cáscara con distribución agregada con varios centros de agregación visualizados en los mapas obtenidos y sus semivariogramas de la distribución espacial se ajustaron a los modelos esférico y gaussiano, de la misma forma que Quiñonez *et al.* (2015) en todo el ciclo fenológico del cultivo del gladiolo, generando mapas que reflejaron la estructura agregada de la plaga en puntos específicos

dentro de la parcela. Contrario a esto Carrillo, Pape, Neira & Balocchi (2004) realizaron un estudio de la distribución espacial de larvas de escarabajos en plantas cultivadas y sus resultados mostraron que las larvas estudiadas no tenían una distribución agregada, esto pudo haber estado relacionado con la amplia polifagia de las larvas. Estas técnicas también se han aplicado en enfermedades como: el carbón de la espiga del maíz (Sánchez, Ramírez, González & de León, 2011) y han permitido describir la distribución en agregados de los insectos plaga y enfermedades mencionados, determinando dicha agregación en puntos específicos en las parcelas y regiones estudiadas.

El comportamiento espacial de las poblaciones de huevos de forma agregada en las parcelas de tomate, permite sugerir que se pueden manejar y, por lo tanto, reducir las aplicaciones de control hacia los centros de agregación o puntos específicos en los que se encuentra la plaga, evitando aplicaciones generalizadas o de cobertura total, lo cual nos lleva a un ahorro en los insumos, visualizando los focos de infestación a través de los mapas generados. Lo anterior concuerda con Rong, Dian, Bao, Zhe & Dong (2006) y Esquivel & Jasso (2014) quienes, respectivamente propusieron el manejo de *Locusta migratoria manilensis* Linnaeus y del gusano soldado en el cultivo de maíz en puntos específicos de presencia de la plaga.

Los valores de cero encontrados en el efecto pepita en la mayoría de los modelos ajustados permite afirmar que la escala de muestreo utilizada fue la adecuada y el error de muestreo fue mínimo (Oliver & Webster, 1998), esto sugiere que los modelos ajustados tienen un 98% de confiabilidad. En consecuencia es válido deducir que más del 90% de la variación total es debido a la dependencia espacial en la escala de muestreo utilizada; dicho de otra manera, más del 90% de la variación de la distribución de las poblaciones de huevos se logró explicar por la estructura espacial establecida con los semivariogramas (Liebhold & Sharov, 1998; Ramírez & Porcayo, 2008). Ramírez *et al.* (2011) encontraron valores de pepita igual a cero en un estudio de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* en papa. Valores de pepita iguales fueron obtenidos por Solares, Ramírez & Sánchez (2011) en la distribución espacial de trips en plantaciones comerciales de aguacate.

La distribución espacial ajustada al modelo esférico es indicativo que dentro de la parcela analizada existen zonas en que se manifiesta más la plaga respecto al resto de puntos considerados en el muestreo y que se desplaza de un punto específico hacia otros puntos dentro de la parcela, estos puntos de agregación presentan un crecimiento rápido cerca de su origen pero los incrementos van decreciendo conforme aumenta la distancia, los focos de infestación se observan en los mapas obtenidos. Moral (2003) al realizar la distribución espacial de *H. armigera*

y sus variogramas teóricos encontró que se ajustaron a modelos esféricos o exponenciales, con un efecto pepita. Contreras *et al.* (2016) encontraron que los semivariogramas para huevos y ninfas de *B. cockerelli* se ajustaron al modelo esférico, lo que indicó la agregación de la plaga en ciertas zonas de la parcela.

La distribución de los huevos presentó un alto nivel de dependencia espacial en todos los modelos ajustados, esto es indicativo de la existencia de una fuerte relación espacial de los huevos en los puntos muestreados y por lo tanto, sugiere una estabilidad de los centros de agregación que puede permanecer un largo período de tiempo (Maldonado, Ramírez, Arriaga, Némiga & Lara, 2016; Ramírez, Solares, Figueroa & Sánchez, 2013). El alto nivel de dependencia espacial resultó de dividir el efecto pepita entre la meseta que fue menor a 25% para todos los semivariogramas. Asimismo, lo anterior se corrobora con los valores del efecto pepita que indicaron también la existencia de una alta dependencia espacial, lo cual sugiere que las poblaciones de huevos dependen entre sí y que el nivel de agregación es alto (Rossi *et al.*, 1992). Esquivel & Jasso (2014) en un estudio de la distribución espacial de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, utilizando las técnicas de la geoestadística, mostraron la existencia de una estructura espacial agregada, con un nivel de dependencia espacial alto para las seis localidades en estudio.

En los mapas de densidad que se obtuvieron mediante la técnica del krigeado se observan los centros de agregación de los huevos dentro de la parcela, lo cual a la hora de proteger el cultivo contra la plaga nos permite dirigir de forma precisa las medidas de control (Acosta-Guadarrama *et al.*, 2017; Esquivel & Jasso, 2014; Fleischer, Blom & Weisz, 1997; Moral, 2004; Ribes *et al.*, 1998; Rong *et al.*, 2006; Weisz, Fleischer & Smilowitz, 1996). Esto ayudará a que los insectos no generen resistencia a los plaguicidas debido a la creación de refugios temporales dinámicos, al no tratar toda la superficie del cultivo (Moral, Terron & Rebollo, 2011). Con estas acciones se evitará un mayor incremento poblacional del insecto y que puedan causar daños económicos mayores. El comportamiento de los focos de infestación dentro de la parcela permite suponer que los huevos se originan de una fuente puntual (Hoddle, 2002). Los mapas permitieron identificar las áreas de infestación, encontrando que los huevos de *B. cockerelli* se distribuyeron en diferentes puntos dentro de la parcela, esto concuerda con Jiménez, López, González, Ocete & Soria (2008), quienes determinaron la distribución espacial y mapeo de *Curculio elephas* Gyllenhal en *Quercus ilex* Linneo, ellos elaboraron cuatro mapas de densidad, uno por cada año, utilizando el método de la distancia inversa como interpolador del programa Surfer 7; estos mapas indican que el insecto se localizó en diferentes puntos en toda la parcela con una distribución espacial agregada.

Quiñonez *et al.* (2015) encontraron que las poblaciones de trips en el cultivo del gladiolo no infestaron el 100% de la parcela y estos se encontraban en forma agregada en puntos específicos de infestación. Esquivel & Jasso (2014) realizaron un estudio de distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades en el Estado de México en maíz y encontraron que en ninguna de las localidades se presentó un área de infestación del 100% y el porcentaje máximo alcanzado fue del 94%. Jiménez *et al.* (2013) reportaron que las poblaciones de *F. occidentalis* en tomate de cáscara no se distribuyen en la totalidad de las parcelas. Ramírez *et al.* (2013) encontraron que los mapas de infestación de *B. cockerelli* Sulc. sobre papa reflejaron una estructura agregada del insecto el cual no invadió el 100% de la superficie de la parcela, permitiendo identificar áreas libres de infestación. Ramírez & Porcayo (2008) reportaron que las ninfas de *Jacobiasca lybica* Bergenin y Zanon no invadieron el 100% de las parcelas de vid en estudio, por lo tanto la infestación no fue uniforme.

## CONCLUSIONES

La utilización de métodos geoestadísticos en investigaciones al respecto del comportamiento espacial de insectos plaga permite determinar la fluctuación poblacional de dichos insectos en el total de las parcelas de estudio basándose en muestreos realizados en plantas específicas. Lo anterior, puede coadyuvar en la implementación de programas de manejo integrado de la plaga estudiada con el objeto de dirigir las medidas de control, ya sea químicas o alternativas, hacia sitios donde realmente se encuentra el insecto, ayudando este hecho a la disminución de productos químicos contaminantes del medio ambiente. Esta optimización de insumos proporcionará a los productores el plus de un mayor beneficio económico.

## REFERENCIAS

- Acosta-Guadarrama, A. D., Ramírez-Dávila, J. F., Rivera-Martínez, R., Figueroa-Figueroa, D. K., Lara-Díaz, A. V., Maldonado-Zamora, F. I., & Tapia-Rodríguez, A. (2017). Distribución espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y evaluación de su control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en el cultivo de aguacate en México. *Southwestern Entomologist*, 42(2), 435-446. doi: <https://doi.org/10.3958/059.042.0214>
- Bressan, A., Moral, J. F., Sémétey, O., & Boudon, P. E. (2010). Spatio-temporal pattern of *Pentastiridius leporinus* migration in an ephemeral cropping system. *Agricultural and Forest Entomology*, 12(1), 59-68. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00450.x>
- Cambardella, C., Moorman, T., Novak, J., Parkin, T., Karlen, D., Turco, R., & Konopka, A. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America Journal*, 58(5), 1501-1511. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

- Carrillo, R., Pape, H., Neira, M., & Balocchi, O. (2004). Distribución espacial de larvas de dos especies de escarabeidos nativos en respuesta a plantas cultivadas. *Sociedad Chilena de Entomología*, 30(1), 59-64.
- Contreras-Rendón, A., Gutiérrez-Ibañez, A. T., Silva-Rojas, H. V., Sánchez-Pale, J. R., Laguna-Cerda, A., & Ramírez-Dávila, J. F. (2016). Distribución espacial de *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Southwestern Entomologist*, 41(1), 105-114. doi: <https://doi.org/10.3958/059.041.0112>
- Crespo-Herrera, L. A., Vera-Graziano, J., Bravo-Mojica, H., López-Collado, J., Reyna-Robles, R., Peña-Lomelí A., Manuel-Pinto, V., & Garza-García, R. (2012). Distribución espacial de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* (Brot.)). *Agrociencia*, 46(3), 289-298.
- England, E. J., Sparks, A., & Robinson, M. D. (1989). Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software). *Environmental Software*, 4(2), 70-75. doi: [https://doi.org/10.1016/0266-9838\(89\)90033-6](https://doi.org/10.1016/0266-9838(89)90033-6)
- Esquivel, H. V., & Jasso, G. Y. (2014). Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 923-935.
- Fleischer, J., Blom, E., & Weisz, R. (1997). Sampling in Precision IPM: When the objective is a map. *The American Phytopathological Society*, 89(11), 115-118. doi: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1999.89.11.1112>
- Hevesi, J., Istok, J., & Flint, A. (1992). Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part. I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 31(7), 661-676. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1992\)031<0661:PEIMTU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1992)031<0661:PEIMTU>2.0.CO;2)
- Hoddle, M. S. (2002). Developmental and reproductive biology of *Scirtothrips perseae* (Thysanoptera: Thripidae): a new avocado pest in California. *Bulletin of Entomological Research*, 92(4), 279-285. doi: <https://doi.org/10.1079/BER2002169>
- Isaaks, E., & Srivastava, M. (1988). Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology*, 20(4), 313-341.
- Jiménez, J., Cortiñas, J., & López, D. (2000). Distribución temporal y espacial y consideraciones para el monitoreo de *Thrips palmi* en papa en Cuba. *Manejo Integrado de Plagas*, 57, 54-57.
- Jiménez, A., López, M., González, A. J., Ocete, M., & Soria, F. (2008). Distribución espacial y mapeo de *Curculio elephas* Gyllenhal en encina (*Quercus ilex* L.). *Agrociencia*, 12(1), 35-43.
- Jiménez, R. D. L. A., Ramírez, D. J. F., Sánchez, P. J. R., Salgado, S. M. L., & Laguna, C. A. (2013). Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(2), 183-192.
- Journel, A., & Huijbregts, C. J. (1978). *Mining geostatistics*. London, Reino Unido: Academic Press.
- Liebhold, A. M., & Sharov, A. (1998). Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data. pp. 111-117. En: J. Baumgartner, P. Brandmayr, & B. Manly. (Eds.). *Population and community Ecology for insect management and conservation*. (pp. 111-117) Rotterdam: A. A. Balkema Publishers. Balkema.
- Liefting, L. W., Perez-Egusquiza, Z. C., Clover, G. R. G., & Anderson, J. A. D. (2008). A new *Candidatus Liberibacter* species in *Solanum tuberosum* in New Zealand. *Plant Disease*, 92(10), 1474. doi: <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-92-10-1474A>
- Maldonado, Z. F. I., Ramírez, D. J. F., Arriaga, M. R., Némiga, X. A., & Lara, D. A. V. (2016). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 845-856. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.259>
- Moral, F. J., Terrón, J. M., & Rebollo, F. J. (2011). Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(2), 223-230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.10.014>
- Moral F. J. (2003). Analysis of the Spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a tomato Field using a Stochastic Approach. *Biosystems Engineering*, 93(3), 253-259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.12.011>
- Moral, F. J. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(1), 78-86.
- Oliver, M., & Webster, R. (1998). How geostatistics can help you. *Soil Use and Management*, 7(4), 206-217. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1991.tb00876.x>
- Quiñones, V. R., Sánchez, P. J. R., Pedraza, E. A. K., Castañeda, V. A., Gutiérrez, I. A. T., & Ramírez, D. J. F. (2015). Análisis Espacial de Thrips spp. (Thysanoptera) en el Cultivo de Gladiolo en la Región Sureste del Estado de México, México. *Southwestern Entomologist*, 40(2), 397-408. doi: <https://doi.org/10.3958/059.040.0213>
- Ramírez, D. J. F., & Porcayo, C. E. (2008). Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Entomología*, 34(2), 169-175.
- Ramírez, D. J. F., & Porcayo C. E. (2010). Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *Bosque (Valdivia)*, 31(1), 28-38. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000100004>
- Ramírez, D. J. F., Porcayo, C. E., & Sánchez, P. J. R. (2011). Análisis de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (hemiptera: trio-zidae) en *Solanum tuberosum* L. en Donato Guerra, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 12(1), 12-24.
- Ramírez, D. J. F., Solares, A. V. M., Figueroa, F. D. K., & Sánchez, P. J. R. (2013). Comportamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(3), 545-562.

- Ribes, D. M., Bascuñana, C. M., & Avilla, H. J. (1998). Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 24(4), 935-948.
- Rong, J., Dian, M. L., Bao, Y. X., Zhe, L., & Dong, L. (2006) Spatial distribution of Oriental migratory locust (Orthoptera: Acrididae) egg pod populations: Implications for site-specific pest management. *Environmental Entomology*, 35(5), 1244-1248. doi: <https://doi.org/10.1093/ee/35.5.1244>
- Rossi, R. E., Mulla, D., Journel, A.G., & Franz, E. H. (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological monographs*, 62(2), 277-314. doi: <https://doi.org/10.2307/2937096>
- Sánchez, P. J. R., Ramírez, D. J. F., González, H. A., & de León, C. (2011). Modelization of the spatial distribution of corn head smut (*Sporisorium reilianum* Langdon and Fullerton) in Mexico. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(3), 882-893.
- Samper, F. J., & Carrera, J. (1996). *Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología*. España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Sciarretta, A., Zinni, A., Mazzocchetti, A., & Trematerra, P. (2008). Spatial Analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) Male Population in a Mediterranean Agricultural Landscape in Central Italy. *Environmental Entomology*, 37(2), 382-390. doi: <https://doi.org/10.1093/ee/37.2.382>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). Recuperado el 2 de febrero del 2017 de <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Solares, V., Ramírez, J., & Sánchez, J. (2011). Distribución espacial de trips (*Insecta: Thysanoptera*) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 12(2), 1-12.
- Syrjala, E. (1996). A statistical test for a difference between the spatial distributions of two populations. *Ecology*, 77(1), 75-80. doi: <https://doi.org/10.2307/2265656>
- Weisz, R., Fleischer, J., & Smilowitz, Z. (1996). Site specific integrated pest management for high value crops: Impact on potato pest management. *Journal of Economic Entomology*, 89(2), 501-509. doi: <https://doi.org/10.1093/jee/89.2.501>