

## Modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en papa en el estado de México

### Modeling and mapping of the spatial distribution of *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) in potato. in Mexico state

José Francisco Ramírez Dávila y Dulce Karen Figueroa Figueroa

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnologías en Agricultura de Precisión. Cerrillo piedras blancas s/n km 15 Carr. Toluca - Ixtlahuaca, entronque al cerrillo, C.P. 50200; Toluca, Estado de México, México.

E-mail: [jframirez@uaemex.mx](mailto:jframirez@uaemex.mx); [dk\\_figueroa@hotmail.com](mailto:dk_figueroa@hotmail.com)

**RESUMEN.** La producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) del Estado de México ha sufrido fuertes pérdidas económicas por la presencia de *Bactericera cockerelli* Sulc. al asociarse con las enfermedades punta morada y “Zebra chip”. Las diferentes alternativas de control han carecido de eficacia debido al desconocimiento del comportamiento espacial del insecto dentro de la parcela. Dicho comportamiento permitiría focalizar las alternativas de control a puntos específicos. Este trabajo tuvo por objetivo modelizar la distribución espacial de los estadios de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* obtenidos con el muestreo en transectos y cuadrantes en un cultivo de papa utilizando herramientas de estadística clásica y geoestadísticas que permitan visualizar su distribución espacial en campo a través de la generación de mapas por medio del kriging; los resultados encontrados indicaron que el índice de dispersión, índice de Green, Poisson y binomial negativa de la estadística clásica fueron inconsistentes para determinar la agregación del insecto mientras que las técnicas geoestadísticas permitieron determinar la agregación de las poblaciones de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* en las tres fechas analizadas tanto en el muestreo por transectos como en el de cuadrantes, en ambos se logró modelizar su distribución espacial. La validación cruzada de los semivariogramas obtenidos corrobora la distribución agregada en las poblaciones de *B. cockerelli*. Los mapas permitieron observar la estructura agregada de las poblaciones del insecto, el cual no invadió el 100% de la superficie de la parcela de papa, permitiendo identificar áreas infestadas y libres de infestación.

**Palabras clave:** *Bactericera cockerelli*, geoestadística, kriging, modelización, , punta morada, *Solanum tuberosum*.

**ABSTRACT.** The productions of potato (*Solanum tuberosum* L.) have gotten main economic losses due to the presence of *Bactericera cockerelli* Sulc., which is related to the purple top and “zebra chip”. Control alternatives have been inefficient because none of them has considered the spatial behavior of the insect inside the plot. Such behavior would allow us to focus the control alternatives in specific points. The purpose on this work was to model the spatial distribution of the eggs, nymphs and adults stages of *B. cockerelli* which were obtained in potato field by transects and quadrants sampling, using geostatistics and statistics tools that allow us to visualize their spatial distribution on the field through the creation of maps by kriging. The obtained results indicated that the dispersion index, the green index, Poisson and negative binomial of statistics showed inconsistency in determining the aggregation of the insect stadia detecting strong deficiencies and limitations, whereas the geostatistics techniques allowed to determine that the spatial distribution of eggs, nymphs and adult stages of *B. cockerelli* was aggregated in each of the three dates as in the sampling by transect as in the sampling by quadrants. Also, it was possible to model *B. cockerelli* spatial distribution in both methods. The crossed validation of the obtained semivariograms corroborates the aggregated distribution of eggs, nymphs and adults of *B. cockerelli*. The generated maps in the sampling by quadrants as by transects allowed to observe the aggregated structure of the insect population, which did not invade the potato plot in 100%, letting to identify the infested areas and the free areas of infestation.

**Key words:** *Bactericera cockerelli*, geostatistics, kriging, modeling, purple top, *Solanum tuberosum* L.

## INTRODUCCIÓN

Una de las plagas agrícolas que mayor atención ha recibido en los últimos cinco años es *Bactericera cockerelli* (*B. cockerelli*) comúnmente conocido

como “pulgón saltador o salerillo” el cual se alimenta de la savia de papa (*Solanum tuberosum* L.), jitomate (*Solanum lycopersicum* Mill.), tomate de

cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y chile (*Capsicum annum* L.) debido a las enormes pérdidas económicas que le ha causado a la producción de papa en México. Los daños que ocasionan se deben a la transmisión de la enfermedad punta morada de la papa (Garzón, 2004) aunque recientemente sus infestaciones se han asociado con la enfermedad del manchado interno del tubérculo o “Zebra chip” en papa (Munyanza et al. 2007a y Munyanza et al. 2007b) al transmitir la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Secor et al., 2009) causante de dicha enfermedad.

Reportes del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México indican que *B. cockerelli* se encuentra ampliamente distribuida en los diferentes municipios del Valle de Toluca (Anónimo, 2007), afectando al cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L.), se estima que en el municipio de Tenango del Valle causa pérdidas económicas de hasta el 80%; para su control se invierten una gran cantidad de recursos económicos, aunque en la mayoría de los casos con poca eficacia, ya sea por desconocer la distribución espacial, la biología y los hábitos de la plaga, mecanismos de acción de los insecticidas o bien, por una deficiente técnica de aplicación, lo que ha traído como consecuencia que los productores dedicados a esta actividad disminuyan considerablemente la superficie sembrada.

La distribución espacial de los organismos se ha estudiado considerando las distribuciones estadísticas e índices de dispersión, pero no consideran la exacta localización espacial de la muestra originando fallas en la diferenciación de los patrones espaciales que forman, y las descripciones de dichos patrones espaciales son altamente dependientes del tamaño de las unidades de muestreo y de la relación entre la media y la varianza (Sawyer, 1989 y Hurlbert, 1990). Por otro lado, los métodos geoestadísticos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial, además, permite elaborar mapas de gran utilidad (Isaaks y Srivastava, 1988; Oliver y Webster, 1991; Rossi et al., 1992; Speight et al., 1998; Sciarretta et al., 2001 y Blom y Fleischer, 2001) lo que permite conocer la distribución espacial de los insectos, dichos mapas permiten establecer los grados de

infestación que requieran un control inmediato, así como también detectar posibles preferencias en su estructura de agregación y detectar zonas que no presenten infestación; ante tal consideración, el objetivo de este trabajo fue comparar la distribución espacial de los estadíos preimaginales y adultos de *B. cockerelli* obtenidos con el muestreo por transectos y cuadrantes en el cultivo de papa en el municipio de Tenango del Valle por medio de la estadística clásica y geoestadística.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó durante tres meses en el año 2011, evaluando dos métodos de muestreo sobre una parcela comercial de papa ubicada en el municipio de Tenango del Valle, en el primero se utilizó transectos de 100 metros considerando como unidad de muestreo a la planta de papa, entre plantas se tuvo una separación de 10 metros en ambas direcciones, para un total de 121 plantas muestreadas; el segundo tipo de muestreo se realizó usando cuadrantes en donde se estableció una malla regular dividida en 100 cuadrantes, cada cuadrante de 10x10m, cubriendo una hectárea, considerando 40 cuadrantes tomados al azar y de cada uno se consideraron 3 plantas tomadas en forma arbitraria para un total de 120 plantas en donde se cuantificaron los diferentes estadios de la plaga. En ambos, se contabilizó los huevos y las ninfas de *B. cockerelli* seleccionando cinco hojas del estrato superior, medio e inferior de cada planta; para el caso del estadio de adultos, se realizaron cinco redazos por cada planta, contabilizando la cantidad de adultos capturados en la red entomológica. Cada unidad de muestreo se georeferenció utilizando un DGPS para obtener su ubicación espacial. Se realizaron tres muestreos, abarcando el inicio, fase intermedia y final del ciclo del cultivo de papa. Se realizó una exploración estadística de los datos originales de las poblaciones de preimaginales y adultos de *B. cockerelli* para determinar su normalidad.

Estadística clásica. Se estimó el comportamiento espacial del insecto utilizando los índices de dispersión y de green. Además, se determinaron las distribuciones estadísticas de Poisson y binomial negativa.

Geoestadística. El semivariograma experimental se estimó en base a los datos obtenidos en los muestreos

de la población de huevos, ninfas y adultos del insecto plaga. Los semivariogramas experimentales se obtuvieron con los programas Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York, USA.) y WinGslib 2002.

Estimación de los parámetros del modelo de semivariograma. Una vez obtenido el semivariograma experimental, se realizó su ajuste a algún semivariograma teórico (Englund y Sparks, 1988) utilizando el programa ArcGis 9 por medio de la extensión Geoestadística.

Validación del modelo teórico: Se realizó de forma interactiva, variando los valores  $C_0$  (efecto de pepita),  $C + C_0$  (meseta) y  $a$  (alcance), hasta coincidir con el mejor ajuste, una vez determinado se validó a través de la determinación de los parámetros estadísticos de validación cruzada (Samper y Carrera, 1996) como son:

a) Media de los errores

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

(MEE): 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 estimativos no sesgados.

b) 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 *et al.*, 1992).

c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA)

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

donde:  $\sigma_k$  es la desviación estandar del error esperado en la estimación con el krigado. La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores  $1 \pm 2 (2/N)^{0.5}$ .

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 su resultado en porcentaje. 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 krigado ordinario que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados, las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada fecha de muestreo de huevos, ninfas y adultos del *B. cockerelli* mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14<sup>th</sup> Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadística clásica: En transectos, la densidad de huevos del insecto fluctuó entre 1.39 y 1.88; en ninfas se encontró una densidad media de su población de 0.15 a 0.21 mientras que en adultos su densidad se ubicó entre 0.10 y 0.13. La distribución espacial determinada con el índice de dispersión para el estadio de huevos mostró agregación para las tres fechas de muestreo; en ninfas se presentó agregación para primera y tercera fecha mientras que para adultos se presentó para la primera y segunda fecha. El índice de green indicó agregación para huevos, ninfas y adultos en las tres fechas de muestreo (Tabla 1) pero por sus valores cercanos a cero se consideraría de tipo débil. Con el modelo de distribución de Poisson, únicamente se presentó aleatoriedad para el estadio de ninfas en la segunda fecha de muestreo. Finalmente, el modelo de distribución de binomial negativa se presentó agregación en los estadios de huevos y ninfas para las tres fechas de muestreo y en adultos para la primera y segunda fecha (Tabla 1), aunque dicha agregación es débil debido a los elevados valores que se presentaron en el factor K.

**Tabla 1. Incidencia de punta morada de la papa, Índices de dispersión y distribuciones estadísticas en huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* obtenidos en el muestreo por transectos en tres fechas de muestreo en Tenango del Valle, Estado de México**

Fecha	Incidencia (%) <sup>a</sup>	$\bar{X}$	Índice de Dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial Negativa	K
Huevos							
21/07/11	40	1.83	3.06 <sup>S</sup>	0.005	NS	S	26.17
18/08/11		1.88	2.81 <sup>S</sup>	0.014	NS	S	9.04
20/09/11		1.39	1.64 <sup>S</sup>	0.007	NS	S	15.21
Ninfas							
21/07/11	49	0.15	2.17 <sup>S</sup>	0.011	NS	S	17.38
18/08/11		0.17	1.05 <sup>NS</sup>	0.006	S	S	58.34
20/09/11		0.21	2.29 <sup>S</sup>	0.020	NS	S	10.61
Adultos							
21/07/11	38	0.10	2.42 <sup>S</sup>	0.017	NS	S	12.73
18/08/11		0.13	1.44 <sup>S</sup>	0.008	NS	S	14.77
20/09/11		0.12	1.17 <sup>NS</sup>	0.019	NA	NA	-

a: estimada en 121 plantas muestreadas.

S: significativo; NS: No significativo; nivel de significancia al 5%. NA: No ajustada.

En el muestreo con cuadrante, la densidad de huevos fluctuó de 4.29 a 6.03; en ninfas, la densidad de ejemplares varios de 1.15 a 1.27 y en adultos de 0.16 a 0.26, dichos valores están por arriba de lo determinado con el muestreo por transectos. El análisis con el índice de dispersión mostró que las poblaciones de huevos y ninfas presentaron agregación en la tres fechas de muestreo, mientras que en adultos se presentó en la primera y segunda; con el índice de green se presentó agregación para las poblaciones de los tres estadios en las tres fechas de muestreo, aunque por el valor cercano a cero se

puede considerar como de tipo débil (Tabla 2), en el caso del modelo de distribución de Poisson no se presentó aleatoridad en ninguna fecha para los tres estadios y en algunos casos no logró ajustarse. Finalmente, las poblaciones de huevos *B. cockerelli* en la primera y segunda fecha de muestreo con la distribución binomial negativa mostraron un ajuste al modelo, indicativo de su agregación; en los estadios de ninfas y adultos se presentó agregación para la primera y tercer fecha de muestro, pero debido a que los valores de K fueron mayores de uno, su estructura de agregación se considera débil.

**Tabla 2. Índices de dispersión y distribuciones estadísticas en huevos, ninfas y adultos of *B. cockerelli* en el muestreo por cuadrantes en el cultivo de Papa en Tenango del Valle, Estado de México**

Fecha	Incidencia (%) <sup>a</sup>	$\bar{X}$	Índice de Dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial Negativa	K
Huevos							
21/07/11	44	6.03	3.26 <sup>S</sup>	0.011	NS	S	18.37
18/08/11		5.53	1.87 <sup>S</sup>	0.004	NS	S	11.26
20/09/11		4.29	2.19 <sup>S</sup>	0.008	NA	NA	-
Ninfas							
21/07/11	47	1.18	2.06 <sup>S</sup>	0.016	NS	S	9.40
18/08/11		1.27	2.33 <sup>S</sup>	0.010	NA	NA	-
20/09/11		1.15	2.71 <sup>S</sup>	0.009	NS	S	7.19
Adultos							
21/07/11	41	0.26	2.87 <sup>S</sup>	0.019	NS	S	13.92
18/08/11		0.26	1.73 <sup>S</sup>	0.026	NA	NA	-
20/09/11		0.16	1.13 <sup>NS</sup>	0.007	NS	S	16.29

a: Estimada en 120 plantas muestreadas.

S: significativo; NS: No significativo; nivel de significancia al 5%. NA: No ajustado.

Los índices de dispersión y las distribuciones estadísticas utilizadas permitieron determinar la estructura agregada de las poblaciones de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* para ciertas fechas de muestreo así como también determinó distribuciones de tipo aleatorio; o bien, no lograron ajustarse a alguna población para las restantes fechas, e incluso muestran resultados contradictorios en los resultados de agregación del insecto, posiblemente ocasionado por los niveles de la densidad de la población de la plaga presente en dichas fechas lo cual impide obtener una adecuada determinación de su distribución espacial, por lo que dichos resultados no permiten focalizar las medidas de control, pero sugiere realizar una aplicación total o completa de la medida de control sobre toda la superficie de la parcela de papa. Una limitante adicional es que no considera la naturaleza bidimensional de las poblaciones del insecto ya que no toma en cuenta la localización geográfica exacta de los individuos muestreados por lo que no permite generar mapas de la distribución del insecto en la parcela estudiada. Contrariamente, el uso de técnicas geoestadísticas permitió determinar la distribución espacial de *B. cockerelli* bajo una estructura agregada tanto en el muestreo realizado por transectos como con cuadrantes en los estadios de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* para las tres fechas de muestreo en la parcela de papa analizada a pesar de las diferentes densidades del insecto encontradas, dicha modelización concuerda con lo encontrado por Sciarretta, et al. (2008)

quienes determinaron la distribución espacial de *Lobesia botrana* en predios de uva y con lo encontrado por Bressan, et al. (2010) con *Pentastiridius leporinus* L., en campos de trigo. La agregación de *B. cockerelli* determinada en el presente trabajo y observada a través de los mapas obtenidos, nos permite sugerir que las medidas de control deben ser focalizadas hacia los puntos de la parcela en donde se ubican los centros de agregación de los tres estadios del insecto dentro del cultivo de papa, concordando con lo propuesto por Rong, et al. (2006) quienes indican que el manejo de *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) debe ser hacia los puntos específicos de agregación.

Geoestadística: La distribución espacial obtenida en las poblaciones de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* fue de tipo agregada tanto en el muestreo realizado por transectos como de cuadrantes para cada una de las tres fechas de muestreo, contrario a los variables resultados de agregación obtenidos con la estadística clásica. Con los dos tipos de muestreo se logró modelizar la distribución espacial que presentaron las poblaciones de *B. cockerelli*. (Tabla 3 y 5)

Respecto al muestreo realizado por transectos, el semivariograma experimental para el estadio huevos y ninfas se ajustó al modelo teórico de tipo esférico para las tres fechas de muestreo, ajuste similar se presentó en la población de adultos para la segunda y tercera fechas de muestreo (Tabla 3 y Figura 1). Únicamente la población del tercer muestreo del estadio de

adultos se ajustó al modelo exponencial. En todos los modelos ajustados se presento un efecto pepita igual a cero, dicho valor es indicativo de que la escala de muestreo utilizada en el presente trabajo fue la adecuada. Los valores de la meseta se ubicaron en el intervalo de 3.94 a 6.83 en el estadio de huevos; de 0.25 a 0.28 para ninfas y de 0.10 a 0.16 para adultos. Para los tres estadios se presentó alto nivel de dependencia espacial en las tres fechas de muestreo (Tabla 3).

**Tabla 3. Parámetros (Efecto pepita, meseta y rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo por transectos para huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* en el cultivo de Papa en Tenango del Valle, Estado de México**

Fecha	Modelo	Meseta	Rango	Nivel de dependencia espacial
<b>Huevos</b>				
21/07/11	Esférico	5.68	15.13	Alta
18/08/11	Esférico	6.83	15.27	Alta
20/09/11	Esférico	3.94	16.91	Alta
<b>Ninfas</b>				
21/07/11	Esférico	0.25	17.42	Alta
18/08/11	Esférico	0.71	22.25	Alta
20/09/11	Esférico	0.28	15.13	Alta
<b>Adultos</b>				
21/07/11	Esférico	0.10	18.05	Alta
18/08/11	Esférico	0.16	32.04	Alta
20/09/11	Exponencial	0.13	16.91	Alta

Todos los modelos se lograron validar con los parámetros media de los errores de estimación, error cuadrático medio y error cuadrático medio adimensional dentro del rango permisible. (Tabla 4)

**Tabla 4. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en el muestreo por transectos: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA)**

Fecha	Media muestral	Varianza muestral	MEE*	Varianza de los errores	ECM	ECMA
<b>Huevo</b>						
21/07/11	1.83	6.446	0.10 <sup>ns</sup>	5.751	0.10	1.11
18/08/11	1.88	7.342	0.12 <sup>ns</sup>	6.974	0.11	1.08
20/09/11	1.39	4.443	0.10 <sup>ns</sup>	4.019	0.12	1.13
<b>Ninfa</b>						
21/07/11	0.15	0.299	0.11 <sup>ns</sup>	0.273	0.11	1.10
18/08/11	0.17	0.260	0.11 <sup>ns</sup>	0.311	0.13	1.09
20/09/11	0.21	0.303	0.12 <sup>ns</sup>	0.286	0.05	1.07
<b>Adulto</b>						
21/07/11	0.10	0.108	0.10 <sup>ns</sup>	0.087	0.13	1.08
18/08/11	0.13	0.185	0.13 <sup>ns</sup>	0.134	0.11	1.11
20/09/11	0.12	0.139	0.11 <sup>ns</sup>	0.085	0.07	1.12

\* $1 \pm 2(2/N)^{0.5} = 1 \pm 0.45$ , ns: no significativo al  $F \leq 0.05$

El análisis geoestadístico realizado a las poblaciones de *B. cockerelli* obtenidas en el muestreo por cuadrantes indicó un ajuste al modelo teórico de tipo exponencial para la segunda y tercer fecha de muestreo para el estadio de huevos y mientras que para el estadio de ninfas se ajustó en las tres fechas de muestreo, únicamente las poblaciones de adultos obtenidas en la tercera fecha se ajustaron a dicho modelo. El ajuste a un modelo esférico se presentó con la densidad de población huevos determinada en la primera fecha de muestreo, así como en la

primera y segunda fecha de muestreo para el estadio de adultos. Para todos los modelos, el efecto pepita fue cero (Tabla 5 y Figura 2) excepto en el modelo esférico de la primera fecha de muestreo del estadio de adultos en donde el efecto pepita tuvo un valor de 0.04. La meseta presentó valores ubicados en el rango de 13.13 a 27.85 para huevos, de 2.27 a 3.77 para ninfas y de 0.16 a 0.33 para adultos. El nivel de dependencia espacial fue alto para todos los modelos obtenidos en las tres fechas de muestreo en tres estadios estudiados.

**Tabla 5. Parámetros (Efecto pepita, meseta y rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo por cuadrantes para huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* en el cultivo de Papa en Tenango del Valle, Estado de México**

Fecha	Modelo	Efecto Pepita	Meseta	Rango	Pepita/Rango (%)	Nivel de dependencia espacial
<b>Huevo</b>						
21/07/11	Esférico	0	27.85	15.36	0	Alta
18/08/11	Exponencial	0	15.73	16.32	0	Alta
20/09/11	Exponencial	0	13.13	18.00	0	Alta
<b>Ninfa</b>						
21/07/11	Exponencial	0	3.06	36.26	0	Alta
18/08/11	Exponencial	0	3.77	25.50	0	Alta
20/09/11	Exponencial	0	2.77	45.60	0	Alta
<b>Adulto</b>						
21/07/11	Esférico	0.04	0.27	30.00	14.81	Alta
18/08/11	Esférico	0	0.33	21.60	0	Alta
20/09/11	Exponencial	0	0.16	51.94	0	Alta

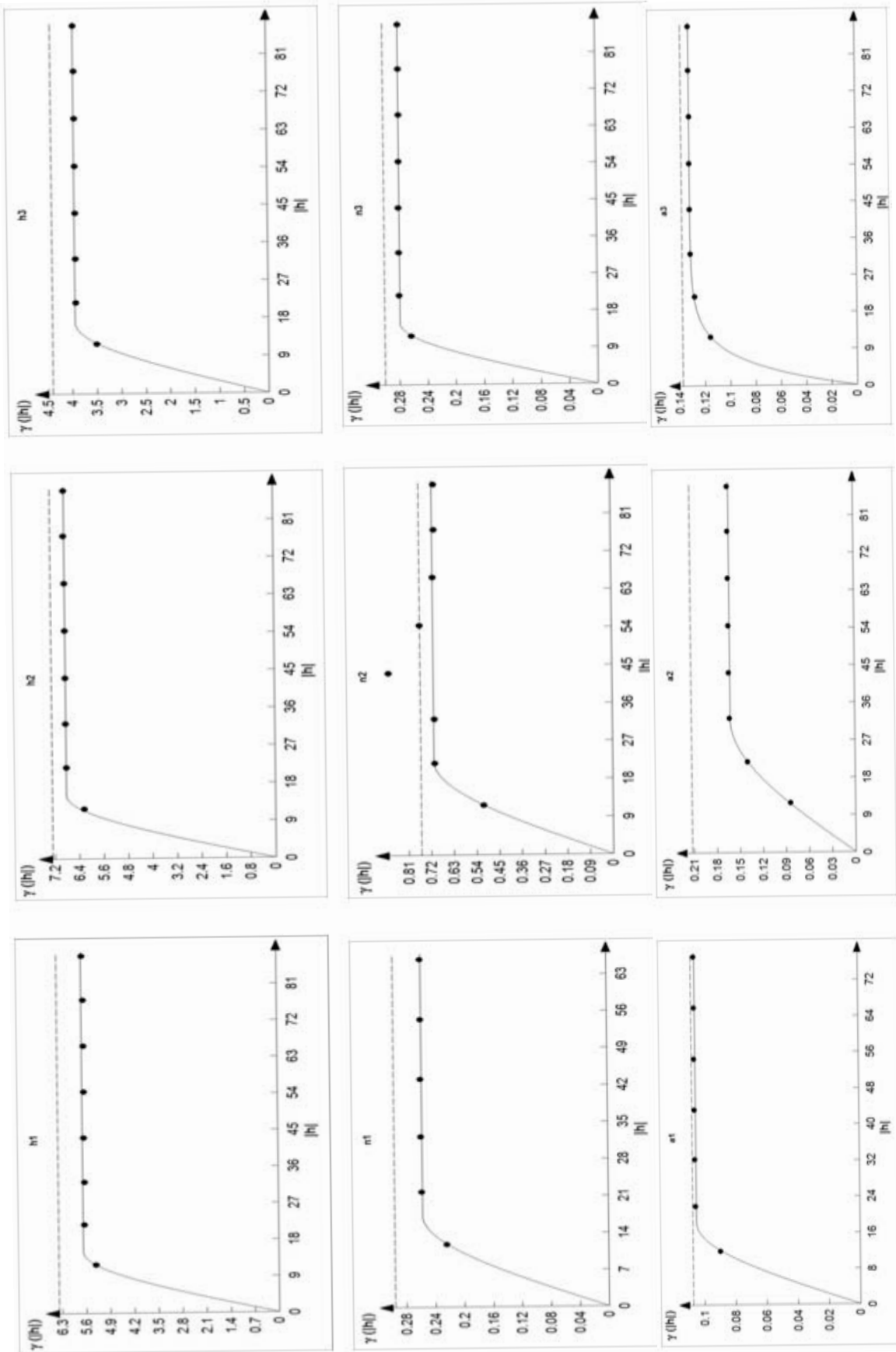


Figura 1. Semivariogramas de huevos (h), ninfas (n) y adultos (a) of *B. cockerelli* Sulc. obtenidos en el muestreo por el método de transectos en tres fechas de muestreo en el cultivo de Papa; 1) corresponde a 21/07/2011, (2) corresponde a 18/08/2011 y (3) corresponde a 20/09/2011

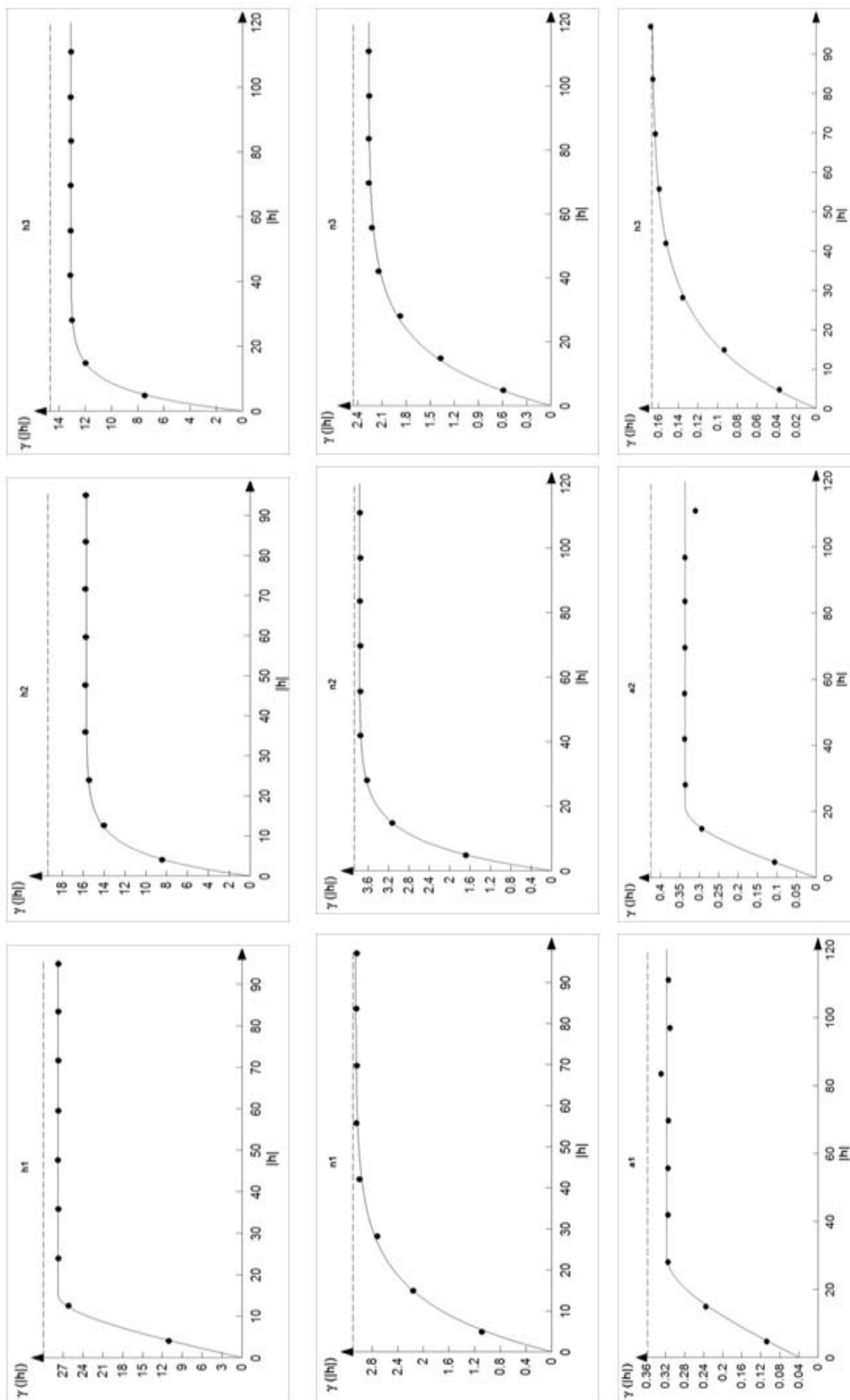


Figura 2. Semivariogramas de huevos (h), ninfas (n) y adultos (a) of *B. cockerelli* Sulc. obtenidos en el muestreo por el método de cuadrantes en tres fechas de muestreo en el cultivo de Papa; 1) corresponde a 21/07/2011, (2) corresponde a 18/08/2011 y (3) corresponde a 20/09/2011.



**Tabla 6. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en el muestreo por cuadrantes: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA)**

Fecha	Media Muestral	Varianza muestral	MEE*	Varianza de los errores	ECM	ECMA
<b>Huevos</b>						
21/07/11	6.03	30.243	0.13 <sup>ns</sup>	23.868	0.04	1.07
18/08/11	5.53	19.579	0.11 <sup>ns</sup>	17.142	0.07	1.11
20/09/11	4.29	14.797	0.11 <sup>ns</sup>	11.963	0.08	1.10
<b>Ninfas</b>						
21/07/11	1.18	3.126	0.12 <sup>ns</sup>	2.867	0.11	1.06
18/08/11	1.27	3.899	0.10 <sup>ns</sup>	2.942	0.13	1.13
20/09/11	1.15	2.482	0.11 <sup>ns</sup>	2.179	0.10	1.10
<b>Adultos</b>						
21/07/11	0.26	0.361	0.12 <sup>ns</sup>	0.327	0.11	1.06
18/08/11	0.26	0.429	0.10 <sup>ns</sup>	0.359	0.12	1.12
20/09/11	0.16	0.169	0.11 <sup>ns</sup>	0.131	0.05	1.09

\* $1 \pm 2 (2/N)^{0.5} = 1 \pm 0.45$ , ns: no significativo al  $F \leq 0.05$

Todos los modelos fueron validados con los parámetros estadísticos al ubicarse dentro de los rangos permisibles (Tabla 6). Los valores de cero en el efecto pepita en los semivariogramas obtenidos de los diferentes modelos ajustados permiten afirmar que la escala de muestreo fue la correcta y los modelos ajustados tienen un 98% de credibilidad (Liebhold y Sharob, 1998) lo cual nos permite asegurar que la escala de muestreo utilizada en el presente estudio fue la adecuada mientras que el error de muestreo no fue importante (Oliver y Webster, 1991), además los parámetros estadísticos de validación cruzada nos permitieron validar tanto los modelos esféricos y exponencial ajustados a los respectivos estadios analizados en cada fecha de muestreo.

Biológicamente, el modelo esférico sugiere que las poblaciones de huevo, ninfas y adultos de la plaga se presenta en ciertas zonas o puntos de la parcela respecto al resto de los puntos considerados en el muestreo, es decir, los centros de agregación del insecto muestran una distribución irregular dentro de la parcela de papa. Por otro lado, el modelo exponencial indica que la población de huevos y ninfas presentan una distribución de su agregación en zonas específicas de la parcela de papa. El modelo esférico en las poblaciones de huevos y ninfas del insecto obtenidas en el muestreo por transectos da una mejor idea sobre el tipo de comportamiento de las poblaciones del insecto al

estar distribuidas en toda la parcela aunque de forma irregular y no en zonas específicas como lo sugiere el modelo exponencial, dicho comportamiento de la plaga es muy similar a lo que comúnmente se observa en las plantaciones comerciales de papa del Valle de Toluca, y en especial a las que se ubican dentro del área de influencia de municipio de Tenango del Valle. El estadio de adultos en ambos métodos de muestreo reflejó una distribución de sus centros de agregación en forma irregular durante las dos primeras fechas de muestreo pero en la tercera fecha mostró la tendencia de ubicar sus centros de agregación en zonas específicas, tal comportamiento puede explicarse por hábito migratorio del insecto al momento de salir de la parcela hacia parcelas vecinas.

La validación cruzada de los semivariogramas corrobora la distribución agregada de las poblaciones de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli*. En los tres estadios, sus densidades medias fueron muy similares para las tres fechas del muestreo por el método de transectos, lo que posiblemente ocasionó tipos de agregación muy similares que fueron explicados principalmente por el ajuste al modelo esférico, resultados similares fueron obtenidos por Shano-Kui, et al. (2005) con bajas poblaciones de huevos de *Helicoverpa armigera*. Por otro lado, una mayor densidad de la población de *B. cockerelli* determinada en el muestreo por cuadrantes originó que su agregación

se ajustara a los modelos exponencial y esférico. De tal manera que en el estadio de huevos, el comportamiento de su población en la primera fue explicado por el modelo esférico, es decir, su agregación se presentó en forma uniforme dentro de la parcela; la segunda y tercer fecha se ajustó al modelo exponencial, indicativo de que la agregación se presenta en zonas específicas dentro de la parcela; similar efecto se presentó con el tipo de agregación del estadio de ninfas en las tres fechas de muestreo dentro de la parcela de papa así como en el comportamiento de agregación obtenida en la tercera fecha de muestreo del estadio de adultos, por lo que los comportamientos de agregación obtenidos con el método de muestreo por cuadrantes no parecen reflejar lo que sucede en campo, ya que la expresión de la enfermedad no se da en zonas específicas de la parcela ante la presencia del insecto, si no que se observa en manchones de plantas enfermas distribuidas sobre toda la superficie de la parcela. Los niveles de densidades de población de los tres estadios de *B. cockerelli* obtenidas con ambos métodos de muestreo originaron que el comportamiento de la agregación se explicara con diversos modelos, lo cual es un claro ejemplo de que el tipo de muestreo influye directamente en el comportamiento de la agregación (Lohr, 1999), más que en la determinación de la misma agregación, por lo que las poblaciones determinadas se ajustaron a diferentes modelos geoestadísticos. (Goovaerts, 1997)

El alto nivel de dependencia espacial se debió a el resultado de dividir el valor del efecto pepita entre el valor de la meseta del semivariograma, dicho valor fue menor a 25% para todos los semivariogramas analizados. La alta dependencia espacial permite suponer que las poblaciones de huevos, ninfas y adultos dependen entre si y su nivel de agregación es alto. (Rossi et al., 1992)

El análisis geoestadístico demostró ser una herramienta apropiada para el estudio de la distribución espacial de huevos, ninfas y adultos de *B. cockerelli* presentes en el cultivo de papa cuando el muestreo se realizó con el método de transectos, dichos resultados son similares a los encontrados en otros trabajos por Schotzko y O'Keefe (1989), Liebhold, et al. (1991); Sciarretta, et al. (2001); Blom y Fleischer (2001); Sciarretta y Trematerra

(2006) y Ramírez y Porcayo (2008).

Obtención de mapas. Con la estadística clásica no fue posible obtener mapas de la distribución espacial de los estadios de *B. cockerelli*. Con el análisis geoestadístico se generaron mapas de la superficie infestada obtenida en el muestreo por transectos, en donde se demuestran que las poblaciones de *B. cockerelli* se ubican en diversos centros de agregación, es decir, su distribución se ubica en puntos específicos en donde se encuentran las mayores poblaciones de huevos, ninfas y adultos para las tres fechas de muestreo.

Para el estadio de huevos, sus poblaciones se distribuyen sobre la parte central del mapa en el primer y segundo muestreo, con una ligera tendencia hacia la región inferior derecha para el tercer muestreo, además de que sus poblaciones aparentan seguir una orientación hacia las parcelas vecinas que se ubican en dicha zona, la superficie total infestada estimada vario de 83 al 89% para el estadio de huevos por este método de muestreo durante las tres fechas de muestreo (Tabla 7). Respecto al estadio de ninfas, los mapas indican la presencia de una menor cantidad de centros de agregación, mostrando una orientación de su distribución muy similar a la observada con el estadio de huevos, por otro lado, la interpolación geoestadística determinó una superficie infestada estimada que vario del 68 al 82% entre las tres fechas de muestreo. (Tabla 7)

Los mapas de las poblaciones de adultos en las tres fechas de muestreo reflejan que *B. cockerelli* se agrupa en centros específicos de agregación dentro de la parcela de papa estudiada, a pesar de su hábito migratorio. La ubicación de dichos centros reflejan la tendencia de localizarse en la zona central del mapa hacia la región superior izquierda en la segunda y tercer fechas de muestreo con un aparente incremento en la cantidad de centros de agregación para la tercer fecha de muestreo, lo cual se reflejó en una superficie infestada estimada que vario del 75 al 79%. La menor superficie infestada estimada por adultos se presentó en la tercera fecha de muestreo (Tabla 7) a pesar de observarse una mayor cantidad de centros de agregación (Figura 2). Respecto al muestreo realizado con la técnica de cuadrantes, los mapas obtenidos reflejan una estructura agregada en las poblaciones de huevos

para las tres fechas de muestreo analizadas, con una tendencia de sus poblaciones de localizarse de la zona centro del mapa con una ligera tendencia hacia la región izquierda del mapa para la tercera fecha de muestreo (Figura 4), determinando una superficie infestada estimada del 86 al 90% (Tabla 7) pero nunca logró infestar el 100% de la parcela. En el estadio de ninfas, los centros de agregación se localizaron en la región central del mapa para el primer muestreo, mostrando una tendencia hacia la región inferior izquierda de la parcela en la tercera fecha; la superficie infestada estimada en la parcela de papa con este estadio vario del 65 al 71 % (Tabla 7). En adultos, los centros de agregación de las poblaciones se visualizaron de la región central del mapa en la primera fecha de muestreo hacia la región inferior derecha para la segunda y tercera fecha de muestreo; presentando una superficie infestada estimada entre el 61 al 73% (Tabla 7).

**Tabla 7. Superficie infestada y no infestada estimada (%) obtenida en el muestreo por transectos y cuadrantes en el cultivo de papa en Tenango del Valle, Estado de México**

Fecha	Transecto		Cuadrantes	
	Infestada	No infestada	Infestada	No infestada
<b>Huevo</b>				
21/07/11	90	10	89	11
18/08/11	86	14	81	19
20/09/11	89	11	83	17
<b>Ninfa</b>				
21/07/11	65	35	68	32
18/08/11	74	26	70	30
20/09/11	71	29	82	18
<b>Adulto</b>				
21/07/11	73	27	77	23
18/08/11	67	33	79	21
20/09/11	61	39	75	25

En los mapas de densidad obtenidos con la técnica de krigado se observan los centros de agregación de las poblaciones de huevo, ninfa y adulto *B. cockerelli*, las densidades medias encontradas en las poblaciones en las tres fechas de muestreo, permitió encontrar diversos tipos de comportamientos de los centros de agregación, lo cual concuerda con Fleischer, *et al.* (1998) quienes indicaron la relación existente entre la densidad media de los insectos y la cantidad de centros de agregación observada a través de los mapas de densidad generados, que desde el punto de vista de protección de cultivos tal información permite dirigir de forma precisa las diferentes medidas de control del insecto (Fleischer *et al.*, 1997 y

Rong *et al.*, 2006) generando beneficios económicos al realizar con menor frecuencia las aplicaciones de plaguicidas, menor uso de combustibles, menor impacto al medio ambiente, retardar el desarrollo de resistencia al no tratar toda la superficie del cultivo (Fleischer *et al.*, 1999), además de permitir visualizar la variabilidad poblacional e identificando áreas infestadas y libres de infestación. Las zonas con densidades variables del insecto observadas en los mapas refuerza la posibilidad de dirigir las medidas de control, utilizando una menor cantidad de plaguicidas y por lo tanto una reducción de costos; además los mapas obtenidos nos permitieron identificar áreas infestadas y libres de infestación, tal apreciación permite indicar que los tres estadios de *B. cockerelli* no invaden el 100% de la superficie de la parcela analizada por lo que considerar que su distribución es uniforme sería un grave error, dichos resultados concuerdan con lo reportado por Ramírez y Porcayo (2008) quienes obtuvieron mapas que

mostraban áreas libres de infestación de *Jacobiasca líbica* en viñedos. El conocimiento de las áreas infestadas de *B. cockerelli* permiten precisar el posible ahorro económico en las estrategias de control dirigidas a los centros de agregación (Sciarretta y Trematerra, 2006) sobre todo si consideramos las aplicaciones semanales que se realizan contra la plaga sobre toda la superficie del cultivo de papa.

La mayor cantidad de centros de agregación en los tres estadios de *B. cockerelli* se visualizaron cuando el muestreo se realizó por transectos, posiblemente debido a que dicho método de muestreo considera la toma de muestras de casi todos los puntos de la parcela y en forma equidistante, mientras que en el muestreo por cuadrantes existieron zonas dentro de la parcela en donde no se determino la presencia del insecto, originado por la naturaleza misma del método que establece realizar una aleatoriedad de los puntos de muestreo que implica no muestrear algunas zonas; similarmente en el muestreo por transecto se encontró que la población promedio del insecto en los tres estadios estudiados fue menor a la detectada

en el muestreo por cuadrantes, pesar de que los niveles de incidencia de la enfermedad de la punta morada de la papa fue muy similar con ambos métodos por lo que los niveles de infestación de *B. cockerelli* determinados en el presente trabajo, con ambos métodos de muestreo, no se relacionó con los niveles de incidencia de la enfermedad de la punta morada de la papa.

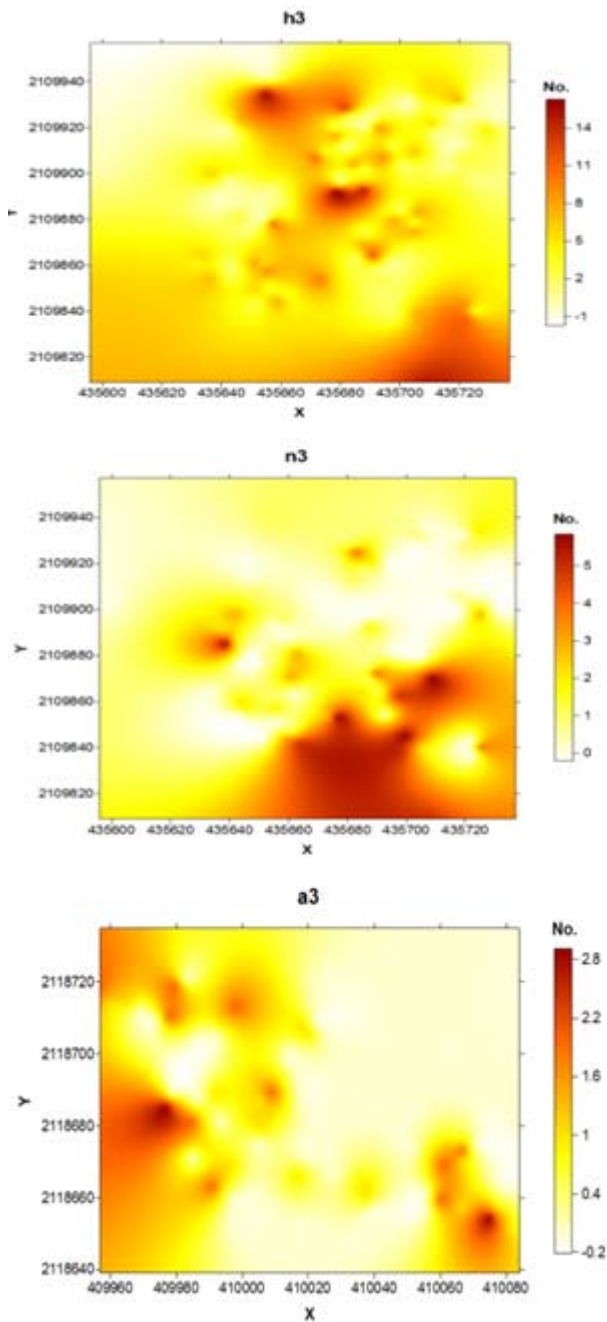


Figura 2. Mapas de densidad de huevos (h), ninfas (n) y adultos (a) de *B. cockerelli* Sulc. obtenidos en el muestreo por el método de transectos para las tres fechas de muestreo

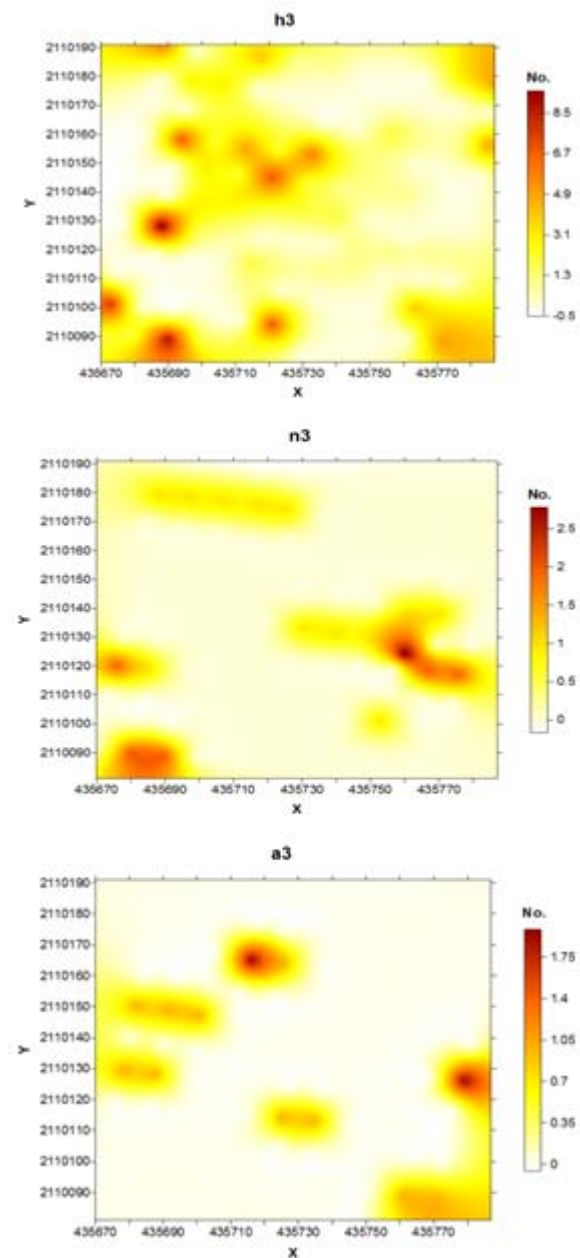


Figura 4. Mapas de densidad de huevos (h), ninfas (n) y adultos (a) de *B. cockerelli* Sulc. obtenidos en el muestreo por el método de cuadrantes para las tres fechas de muestreo ; ((3) corresponde a 20/09/2011.

## CONCLUSIONES

1. La Geoestadística resultó un método más eficiente, con respecto a los métodos de estadística clásica, para determinar el comportamiento espacial del insecto.
2. La distribución espacial del insecto plaga se logró explicar con los semivariogramas geoestadísticos que manifiestan el comportamiento agregado de las poblaciones, lo cual se corrobora con los mapas realizados con el Krigado.

1. Los mapas obtenidos constituyen una herramienta importante para dirigir las medidas de control hacia zonas específicas de infestación por parte del insecto plaga.

4. El método de muestreo por transectos resultó más apropiado para determinar el comportamiento espacial de las poblaciones del insecto plaga.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Blom, E. y S. Fleischer: Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 30:350-364, 2001.

2. Bressan, A.; J. Moral; O. Sémétey y E. Boudon-Padieu: Spatio-temporal pattern of *Pentastiridius leporinus* migration in an ephemeral cropping system. *Agricultural and Forest Entomology* 12:59-68, 2010.

3. Cambardella C.; T. Moorman; J. Novak; T. Parkin; D. Karlen; R. Turco; A. Konopka: Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of American Journal* 58:1501-1511, 1994.

4. Englund, E. y A. Sparks: *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. USA, 1988.

5. Fleischer, S.; R. Weisz; Z. Smilowitz y D. Midgarden: Spatial variation in insect populations and site-specific integrated pest management. p. 101-130. In: *The state of Site-Specific Management for Agriculture* (F.J. Pierce & E.J. Sadler, eds.) ASA Miscellaneous Publication. Madison, WI, 1997.

6. Fleischer, S.; P. Blom; D. Emmen y A. Hower: Dynamics in the spatial continuity of insect density, p 133-144. In: *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture* (P. Robert, R. H. Rust, W. E. Larson, eds). St. Paul, MN. American Society of Agronomy, Madison, WI, 1998.

7. Fleischer, J.; E. Blom y R. Weisz: Sampling in Precision IPM : When The Objective Is a Map. *Phytopathology* 89: 115-118, 1999.

8. Garzón, T.: El "Pulgón Saltador" o la Paratrioza, una amenaza para la horticultura de Sinaloa. Memoria de Taller sobre *Paratrioza cockerelli* Sulc. como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa, México, 2004.

9. Goovaerts, P.: *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford university press, Nueva York, 1997.

10. Hevesi, J.; J. Istok y A. Flint: Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 31 (7): 661-676, 1992.

11. Hulbert, S.: Spatial distribution of the montane unicorn. *Oikos* 58: 257-271, 1990.

12. Isaaks, E. y R. Srivastava: Spatial distribution of the montane unicorn. *Oikos* 58:257-271, 1988.

13. Liebhold, A. Y A. Sharov: Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data. p. 1-17. *Population and community Ecology for insect management and conservation*. In J. Baumgartner, P. Brandmayr & B.F.J. Manly (eds). Balkema, Rotterdam, 1998.

14. Liebhold, A.; X. Zhang; M. Hohn; J. Elkinton; M. Ticehurst; G. Benzony R. Campbell: Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. *Environmental Entomology* 20: 1407-1417, 1991.

15. Lohr, S.: *Muestreo: diseño y análisis*. International Thomson Editores. México, 1999.

16. Munyaneza, J.; J. Crosslin y J. Upton: Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with "Zebra Chip", a new potato disease in southwestern United States and Mexico. *Journal of Economic Entomology* 100: 656-663, 2007a.

17. Munyaneza, J.; A. Goolsby; J. Crosslin y J. Upton: Further Evidence that Zebra Chip Potato Disease in the Lower Rio Grande Valley of Texas is Associated with *Bactericera cockerelli*. *Subtropical Plant Science* 59:30-37, 2007b.

18. Oliver, M. y R. Webster: How geostatistics can help you. *Soil use and Management* 7(4): 206-217, 1991.

19. Ramírez, J, Elvia. Porcayo: Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca líbica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Entomología* 34:169-175, 2008.

20. Rong, J.; L. Dian-Mo; X. Bao-Yu; L. Zhe y M. Dong-Li: Spatial Distribution of Oriental Migratory Locust (Orthoptera: Acrididae) Egg Pod Populations:

- Implications for Site-specific Pest Management. *Environmental Entomology* 35:1244-1248, 2006.
21. Rossi, R.; J. Mulla; G. Journe y H. Franz: Geostatistical Tools for Modeling and interpreting Ecological Spatial Dependence. *Ecological Monographs* 62: 277-314, 1992.
22. Samper, F. y J. Carrera: *Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología subterránea*. 2nd ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona, España, 1996.
23. Sawyer, J.: Inconstancy of Taylor's b: simulated sampling with different quadrat sizes and spatial distributions. *Researches on Population Ecology*, 31: 11-24, 1989.
24. Schotzko, D. y L. O'keeffe: Geostatistical description of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in Lentils. *Journal of Economic Entomology* 82: 1277-1288, 1989.
25. Sciarretta, A.; P. Trematerra y J. Baumgärtner: Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist* 47:174-184, 2001.
26. Sciarretta, A. y P. Trematerra: Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Grapholita molesta* and *Anarsia ineatella* males in an agricultural landscape. *J. Appl. Entomol.* 130:73-83, 2006.
27. Sciarretta, A.; A. Znni; A. Mazzocchetti y P. Trematerra: Spatial Analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) Male Population in a Mediterranean Agricultural Landscape in Central Italy. *Environmental Entomology* 37:382-390, 2008.
28. Secor, G.; A. Rivera; J. Abad; I. Lee; G. Clover; L. Liefiting; X. Li y S. De Boer: Association of "Candidatus liberibacter solanacearum" with zebra chip disease of potato established by graft and Psyllid transmission, electron microscopy, and PCR. *Plant Disease* 93:574-583, 2009.
29. Shao-kui, G; I. Carruthers; M. Zu-Fei; X. Guang Zhang y M. Dian: Spatial heterogeneity and population risk analysis of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in china. *Insect science* 12:255-262, 2005.
30. Speight, M.; R. Hails; M. Gilbert y A. Foggo: Horse chestnut scale (*Pulvinaria Regalis*) (Homoptera: Coccidae) and urban host tree environment. *Ecology* 79:1503-1513, 1998.

Recibido: 18/01/2013

Aceptado: 22/05/2013