

Descripción geoestadística de la distribución espacial de los huevos del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergenin & Zanon) (Homoptera: Cicadellidae) en viñedo: modelización y mapeo

J. F. RAMÍREZ-DÁVILA^{1,2}, J. L. GONZÁLEZ-ANDÚJAR¹, R. OCETE², M. A. LÓPEZ MARTÍNEZ²

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos con técnicas geoestadísticas sobre la distribución espacial, en cinco diferentes fechas, de los huevos de *Jacobiasca lybica* (Bergenin & Zanon) (Homoptera, Cicadellidae) en viñedo del Marco del Jerez. El modelo esférico fue el que mejor se ajustó a los semivariogramas. Los resultados muestran que la distribución agregada fue la característica de las poblaciones de huevos del mosquito verde. Asimismo, se establecieron mapas de densidad de huevos mediante krigeado, encontrándose una estabilidad espacio-temporal de algunos de los puntos de puesta, que abre la posibilidad de su aplicación en tratamientos de precisión para el control de esta plaga.

¹ Departamento de Protección de Cultivos. Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC), Apdo. 4084. 14080 Córdoba.

² Departamento de Fisiología y Biología Animal. Laboratorio de Zoología Aplicada. Universidad de Sevilla. Avda. Reina Mercedes, 6. 41012 Sevilla.

Palabras clave: agricultura de precisión, distribución espacial, geoestadística, *Jacobiasca lybica*, mosquito verde, viñedo.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la distribución espacial de las poblaciones de insectos plaga es de gran importancia para la elaboración de programas de manejo integrado. Tal conocimiento permite el desarrollo exacto y eficiente de métodos de muestreo, de tácticas de control y de valoraciones de riesgo (por ejemplo: perfil de áreas que probablemente tengan poblaciones altas de insectos plaga y pérdidas económicas) (BOITEAU *et al.*, 1979; RUESINK, 1980; TAYLOR, 1984). Las relaciones espaciales de los insectos son a menudo manifestaciones de las características y necesidades biológicas inherentes de la especie, influidas por la planta

huésped y el medio ambiente (TAYLOR, *op. cit.*). La densidad de los insectos también puede jugar un papel importante en la determinación del tipo de relación en una cierta distribución espacial. En algunos insectos, un aumento de su densidad puede cambiar su distribución espacial (TRUMBLE *et al.*, 1983; NOWIERSKI y GUTIÉRREZ, 1986). El conocimiento de como las densidades de los insectos y sus distribuciones espaciales cambian en el tiempo, puede ser de gran importancia en el desarrollo de métodos precisos de muestreo en el campo y sus consiguientes beneficios.

La geoestadística es una rama de la estadística aplicada que se refiere a procedimientos estadísticos que analizan y modelan

Tabla 1.—Parámetros (efecto pepita, meseta y alcance) de los modelos esféricos ajustados a los semivariogramas del número de huevos de mosquito por planta

Fecha	Efecto Pepita	Meseta	Alcance	Pepita/Meseta (%)	Nivel de dependencia espacial
30 de julio	3,30	11,44	6,52	28,8	Moderada
6 de agosto	0,11	0,83	4,49	13,2	Fuerte
13 de agosto	28,24	46,57	6,98	60,6	Moderada
20 de agosto	15,81	28,48	6,63	55,5	Moderada
27 de agosto	2,32	12,85	6,49	18,0	Fuerte

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)

Fecha	Media muestral	Varianza muestral	MEE	ECM	ECMA
30 de julio	4.3	10.89	-0.081 ^{ns}	10.10	1.31
6 de agosto	0.35	0.59	-0.034 ^{ns}	0.50	1.40
13 de agosto	7.975	31.14	0.136 ^{ns}	27.20	1.28
20 de agosto	4.55	47.61	0.454 ^{ns}	42.78	1.22
27 de agosto	3.625	29.16	0.128 ^{ns}	27.24	1.29

$1 \pm 2 (2/N)^{0.5} = 1 \pm 0.45$. ns: diferencia no significativa al 5%.

zan la relación espacial de un fenómeno (ISAACS y SRIVASTAVA, 1989). A diferencia de otros métodos, que caracterizan el modelo espacial basándose en distribuciones estadísticas (e. j. Binomial Negativa) o en índices de dispersión (e. j. ratio media-varianza, índice de Morisista, etc.), la geoestadística tiene en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los insectos a través de su exacta localización espacial. Además, la geoestadística, a través del krigeado, puede proporcionar mapas de la distribución espacial de los organismos.

En entomología aplicada se han aplicado dichos métodos geoestadísticos para analizar la distribución espacial de insectos y para elaborar mapas de dicha distribución (SCHOTZKO y O'KEEFFE, 1989, KEMP *et al.*, 1989, LIEBHOLD *et al.*, 1991; CRIST, 1998).

En la actualidad se conoce poco sobre la distribución espacial de *Jacobiasca lybica* (Bergenin & Zanon) (Homoptera, Cicadellidae), sin embargo, este insecto se está convirtiendo en un serio problema sanitario para las regiones vitícolas del país (LÓPEZ *et al.*, 1998; OCETE *et al.*, 1999), por lo que conocer con mayor detalle su comportamiento

espacial en el campo resulta de gran importancia. La aplicación de las técnicas geoestadísticas nos permiten establecer la distribución de este insecto en base a toda la información espacial disponible y elaborar mapas que nos permiten obtener estimas no sesgadas de los puntos no muestreados. Dichos mapas pueden ser de una gran utilidad para establecer tácticas de control dirigidas hacia los focos específicos de infestación con el consiguiente ahorro económico y medioambiental.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos en la aplicación de la geoestadística para analizar la distribución espacial y la elaboración de mapas de las poblaciones de huevos del mosquito verde *Jacobiasca lybica* en viñedo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Marco del Jerez (Cádiz) durante cinco fechas (30 de julio, 6 de agosto, 13 de agosto, 20 de agosto y 27 de agosto del 2000), sobre una parcela vinícola de 120 cepas. Se muestrearon 40 cepas por fecha, contando el número de huevos de *J.*

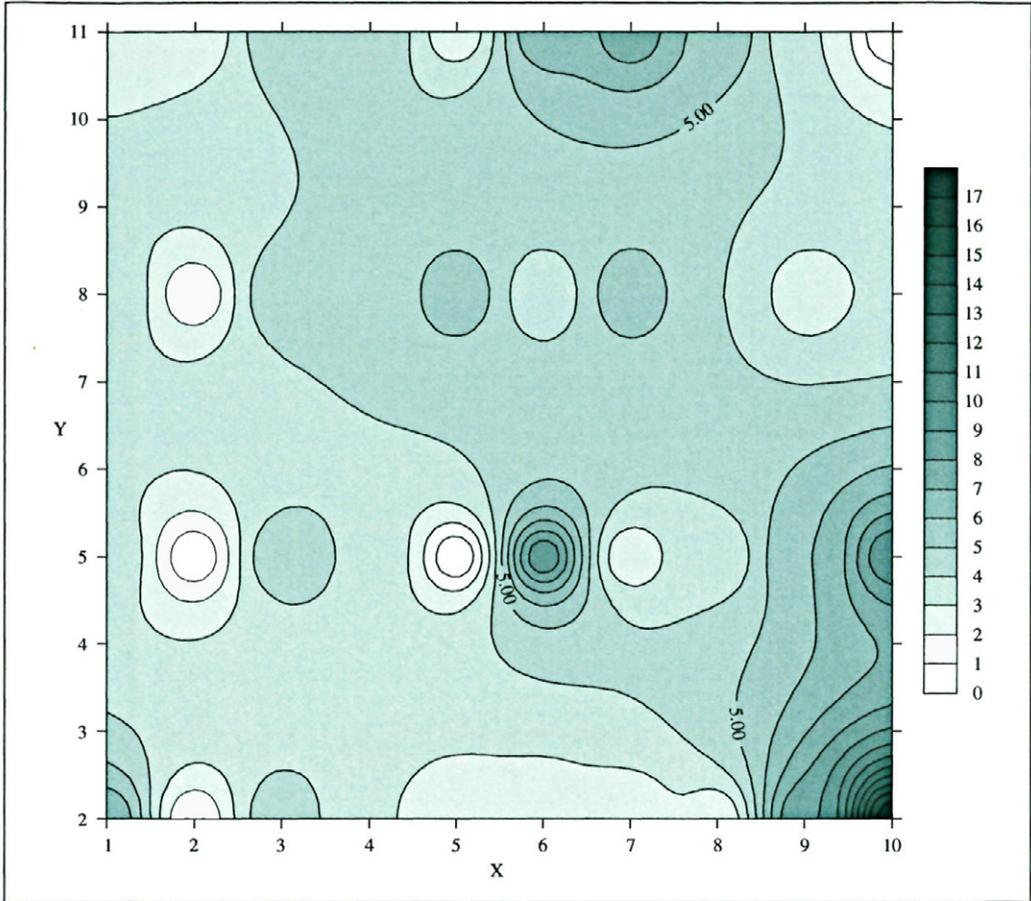


Fig. 1.—Distribución espacial de los huevos el 30 de julio.

lybica presentes en 10 hojas por cepa y estableciendo su localización espacial a través de sus coordenadas espaciales (x,y) medidas en metros.

La variabilidad espacial de la variable número de huevos de mosquito por planta se describió y modelizó mediante la herramienta geoestadística del semivariograma (JOURNEL y HUIJBREGTS, 1978).

En cada fecha de estudio se calculó un semivariograma experimental a partir de los valores registrados de número de huevos de mosquito por planta. El valor experimental del semivariograma se calculó con la siguiente expresión (JOURNEL y HUIJBREGTS, *op. cit.*; ISAACS y SRIVASTAVA, *op. cit.*):

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

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 el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h .

Cualquier función matemática puede ser usada para modelizar un semivariograma, siempre que reúna las condiciones de ser positiva y definida (ARMSTRONG y JABIN, 1981).

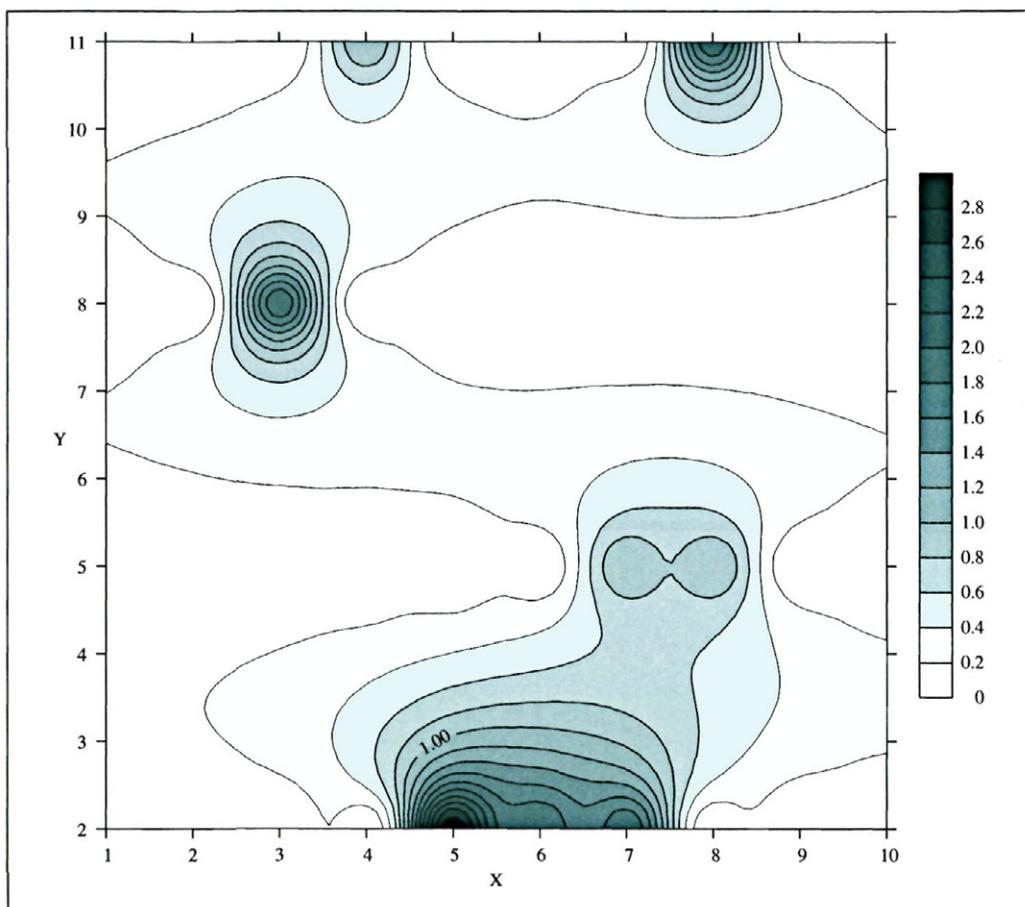


Fig. 2.—Distribución espacial de los huevos el 6 de agosto.

En la práctica, se escoge como modelo una de las pocas funciones para las que se sabe que dichas condiciones se cumplen (ISAACS y SRIVASTAVA, *op. cit.*). Un procedimiento habitual es la selección visual de una función que parezca ajustarse a los valores experimentales del semivariograma y realizar posteriormente una validación de la misma (ENGLUND y SPARKS, 1988). En este trabajo, se eligió un modelo esférico que se define con la siguiente expresión (ISAACS y SRIVASTAVA, *op. cit.*):

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad \text{si}$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad \text{si}$$

donde: C_0 es el efecto pepita; $C_0 + C$ es la meseta y a representa el alcance.

La validación de los diferentes modelos esféricos ajustados a los semivariogramas experimentales de cada uno de las cinco fechas estudiadas se realizó con el procedimiento denominado validación cruzada (ISAACS y SRIVASTAVA, *op. cit.*). Con este procedimiento, se elimina un valor muestral y se emplea el método de interpolación geoestadístico denominado krigado, junto con el modelo de semivariograma a validar, para estimar el valor de la variable de interés en dicho punto muestral a partir de los restantes valores muestrales. Este proceso se efectúa sucesivamente en todos los puntos muestra-

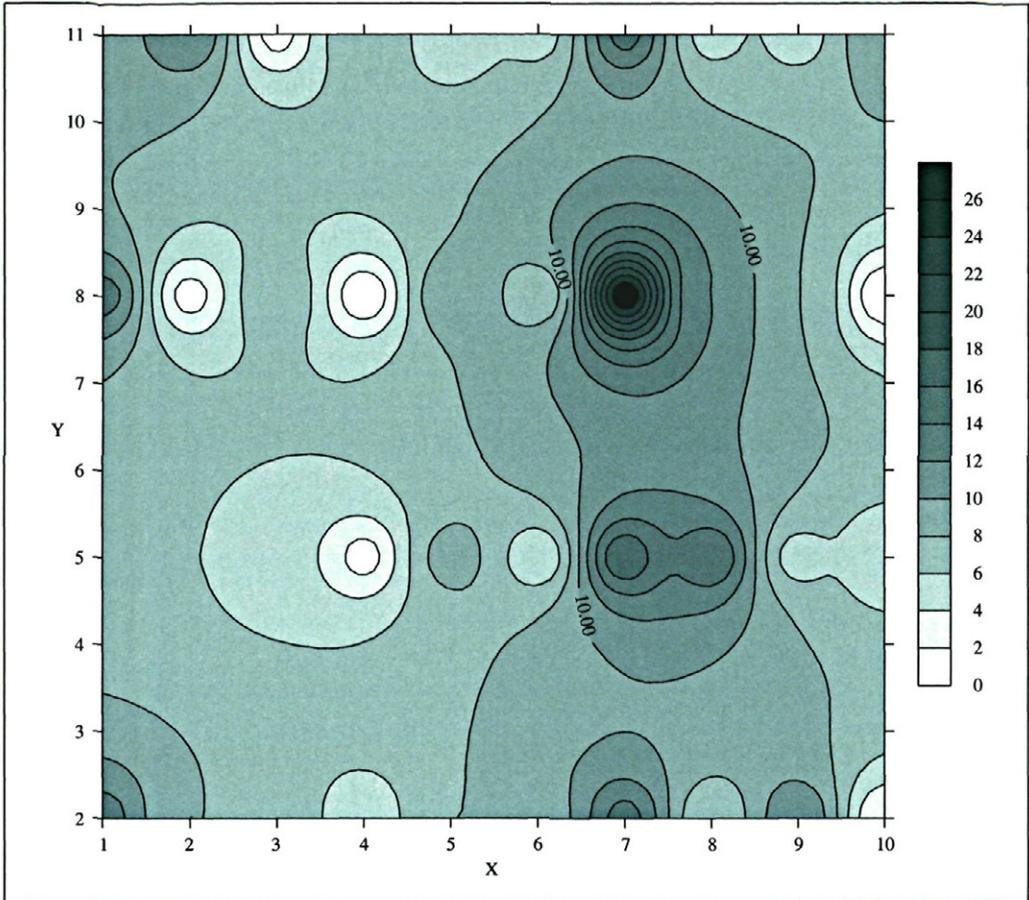


Fig. 3.—Distribución espacial de los huevos el 13 de agosto.

les y las diferencias entre los valores experimentales y los estimados se resumen mediante los denominados estadísticos de validación cruzada (ISAAKS y SRIVASTAVA, *op. cit.*; HEVESI *et al.*, 1992). Los parámetros del modelo a validar (C_ρ , C y a) se van modificando en un procedimiento de prueba y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados. Estos estadísticos son los siguientes:

a) 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.

El MEE no debe ser significativamente distinto de 0 (test t), en cuyo caso, indicaría que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimas no sesgadas.

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

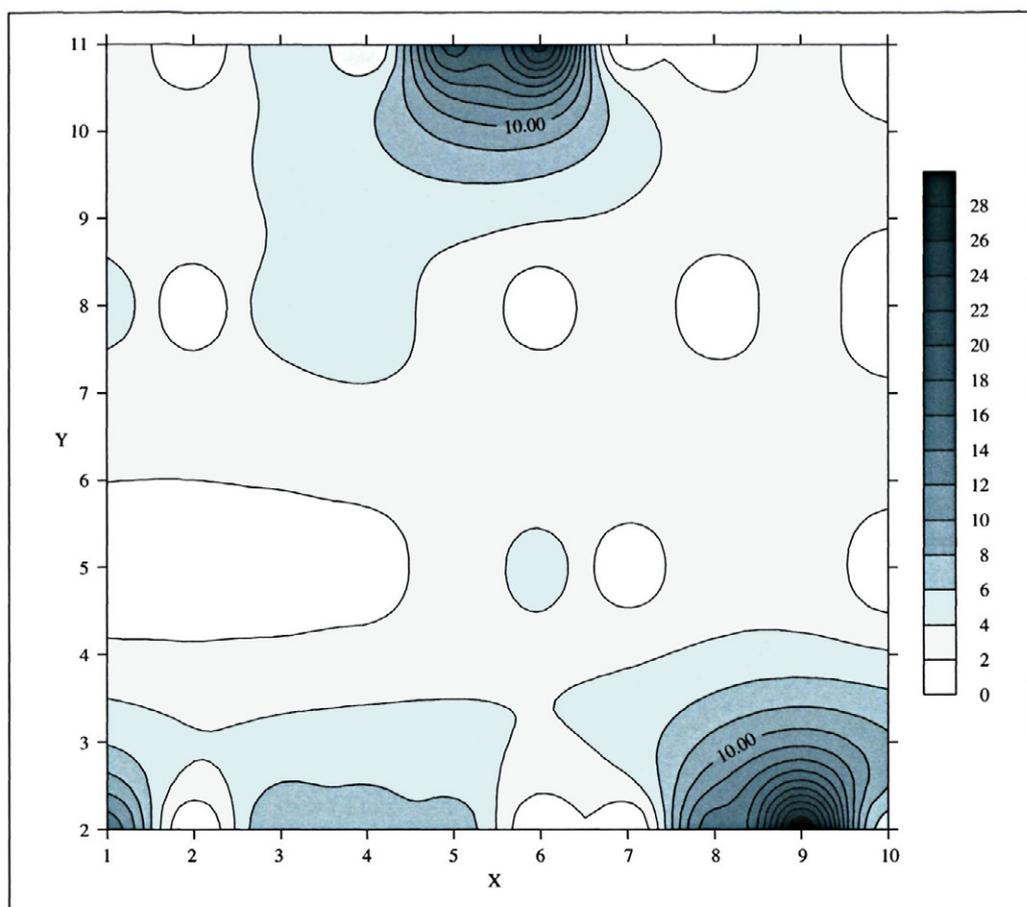


Fig. 4.—Distribución espacial de los huevos el 20 de agosto.

ECM es menor que la varianza de los valores muestrales (HEVESI *et al.*, *op. cit.*).

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: σ_k es la desviación standar del error esperado en la estimación con el krigado.

La validez del modelo se satisface si ECMA esta comprendido entre los valores $1 \pm 2 (2/N)^{0.5}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los modelos de semivariograma ajustados para cada fecha, mientras que en la Tabla 2 aparecen los resultados de los estadísticos de validación cruzada. En todos los casos, y de acuerdo con los resultados de la validación cruzada, se ajustó un modelo esférico con efecto pepita. Como ya se comentó en la sección anterior, el efecto pepita representa la incertidumbre asociada a los datos experimentales y/o a la variabilidad espacial que pueda existir a una escala de muestreo menor que la efectuada.

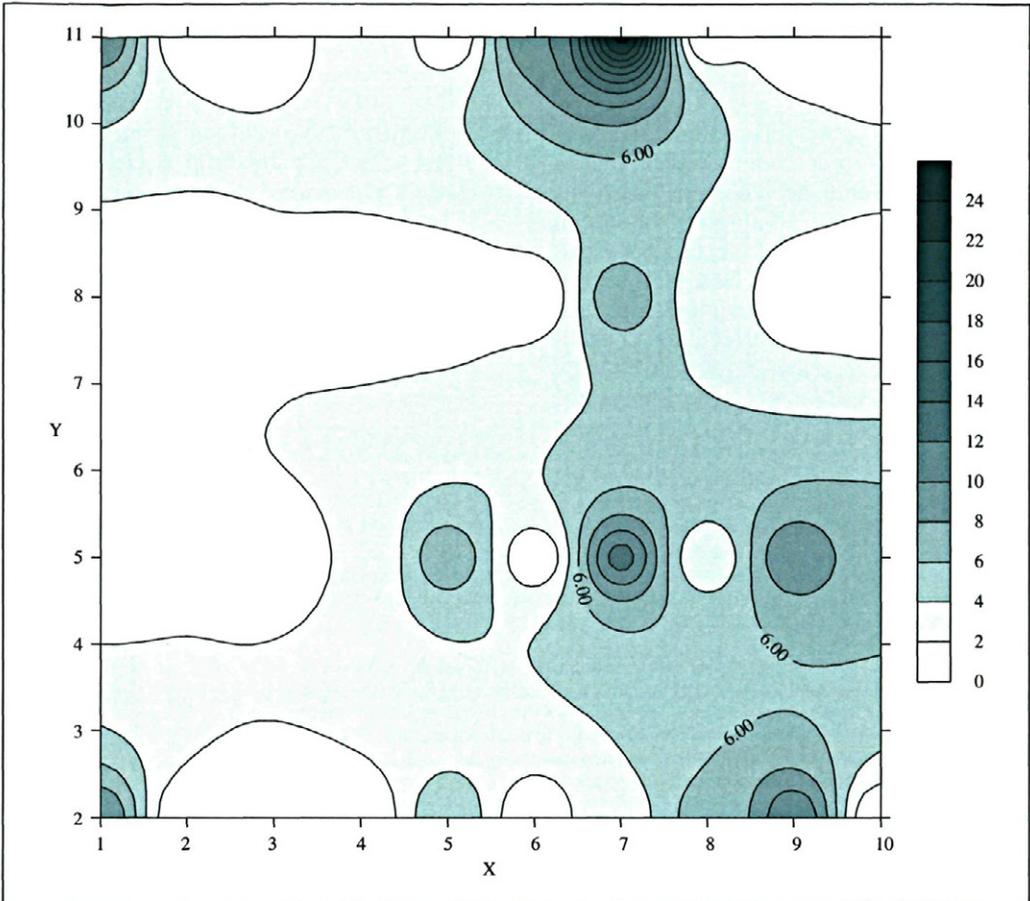


Fig. 5.—Distribución espacial de los huevos el 27 de agosto.

Se observa que los efectos pepita y meseta fueron muy variables entre fechas. Se puede ver en la Tabla 1 que en la fecha del 13 de agosto se presentan los mayores efectos pepita y meseta y, por el contrario, el 6 de agosto presenta los valores menores. Ambas fechas se asocian directamente con la mayor y menor densidades respectivamente (Tabla 2).

Estos resultados indican que las poblaciones de huevos del mosquito verde depositados sobre el viñedo presentaban una distribución espacial agregada en todas las fechas estudiadas. Sin embargo, el nivel de dependencia espacial fue muy variable, con una fuerte agregación el 6 y 27 de agosto y una

moderada agregación para el resto de las fechas (Tabla 1). La explicación de este hecho podría estar en la densidad de huevos encontrada en las diferentes fechas. Los días 6 y 27 de agosto presentaron las densidades medias más bajas (Tabla 2), pero se encuentran más agregadas, como se puede ver en las Figs. 2 y 5. En las mismas se pueden ver amplias zonas sin infestación. Por el contrario, en las fechas con mayores densidades medias (Tabla 2), las poblaciones se mostraban más dispersas en toda la parcela de estudio (Fig. 3 y 4).

Una vez validados los modelos fueron empleados para obtener las estimaciones de huevos en puntos no muestreados, mediante

la técnica del kriging, que permitió elaborar los mapas de puesta (Fig. 1-5). En éstos se muestra con mayor detalle esa distribución espacial agregada.

El 6 de agosto se observó una disminución significativa de la densidad de huevos del mosquito verde, debido a que los huevos detectados en la fecha anterior ya habían eclosionado, y a que en esa fecha se observaron pocas puestas. El 13 de agosto se observó el mayor nivel de ovoposición, que, seguidamente, comenzó a decrecer. En la citada fecha aparece una mayor cantidad de centros de agregación, que son menores que

en aquellos casos en los cuales se registra la menor densidad de puesta.

La comprobación de que existe una estabilidad espacial y temporal en la puesta es de sumo interés para establecer el control integrado de la plaga, ya que permite dirigir los tratamientos ovicidas y larvicidas sobre esas zonas.

En las Figs. 1-5 se muestran dos posibles zonas de estabilidad alrededor de los puntos ($x=6, y=5$ y $x=7, y=11$), que restringen los blancos de las aplicaciones y, por tanto, corroboraría la posibilidad de uso de las metodologías de la agricultura de precisión para el control de plagas de insectos.

ABSTRACT

RAMÍREZ-DÁVILA J. F., J. L. GONZÁLEZ-ANDÚJAR, R. OCETE, M. A. LÓPEZ MARTÍNEZ. 2002. Descripción geostatística de la distribución espacial de los huevos del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergenin & Zanon) (Homoptera: Cicadellidae) en viñedo: modelización y mapeo). *Bol. San. Veg.*, 28: 87-95.

The characterization of the spatial and temporal distribution of the eggs of *Jacobiasca lybica* (Bergenin & Zanon) (Homoptera, Cicadellidae) in Sherry vineyards (Spain) using geostatistical methods were carried out in the present paper. For the studied dates, a spherical model was fitted to the experimental semivariogram. The results revealed an aggregated distribution of the eggs populations of this leafhopper. Kriged estimates were used to draw contour maps of the populations. Visual map comparisons showing spatio-temporal stability in some of the spatial areas within the field open a door to the use of precision treatments to control this pest.

Key words: farming precision, geostatistics, *Jacobiasca lybica*, leafhopper, spatial distribution, vineyard.

REFERENCIAS

- ARMSTRONG, M. y JABIN, R., 1981: Variogram models must be positive-definite. *Mathematical Geology*, 13 (5): 455-459.
- BOITEAU, G., BRADLEY, J. R., VAN DUYN, J. W. y STINNER, R. E., 1979: Bean leaf beetle: micro-spatial patterns and sequential sampling of field populations. *Environ. Entomol.* 8: 1139-1144.
- CRIST, T. O., 1998: The spatial distribution of termites in shortgrass steppe: a geostatistical approach. *Oecologia*, 114: 410-416.
- ENGLUND, E. y SPARKS, A., 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, U.S.A.
- HEVESI, J. A., ISTOK, J. D. y FLINT, A. L., 1992: Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 31 (7): 661-676.
- ISAAKS, E. H. y SRIVASTAVA, R. M., 1989: *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, USA. 561 pp.
- JOURNEL, A. G. y HUIJBREGTS, C. J., 1978: *Mining Geostatistics*. Academic Press, London, Reino Unido. 600 pp.
- KEMP, W. P., KALARIS, T. M. y QUIMBY, W. F., 1989: Rangeland Grasshopper (Orthoptera: Acrididae) spatial variability: macroscale population assessment. *J. Econ. Entomol.*, 82(5): 1270-1276.
- LIEBHOLD, A. M., ZHANG, X., HOHN, M. E., ELKINTON, J. S., TICEHURST, M., BENZON, G. L. y CAMPBELL, R. W., 1991: Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. *Environ. Entomol.*, 20(5): 1407-1417.

- LÓPEZ, M. A., OCETE, R., OCETE, M. E., PÉREZ, M. A., KAJATI, I., DANCSHÁZY, S., RÜLL, G., SZENDREY, G. y KAPTAS, T., 1998: Ensayos de técnicas blandas sobre *Jacobysca lybica* De Berg. (Homoptera: Cicadellidae) y *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en el Marco del Jerez. *Bol. San. Veg. Plagas*, **24** (1):127-142.
- NOWIERSKI, R. M. y GUTIÉRREZ, A. P., 1986: Microhabitat distribution and spatial dispersion pattern of the walnut aphid, *Chromaphis juglandicola* (Homoptera: Aphididae), in California. *Environ. Entomol.*, **15**: 555-561.
- OCETE, R., LÓPEZ MARTÍNEZ, M. A., QUARTAO, J. A. y PÉREZ IZQUIERDO, M. A., 1999: La problemática de los mosquitos verdes (Homóptera, Cicadellidae) en diversas zonas vitícolas españolas. *Viticultura y Enología Profesional*, **63**:16-21.
- RUESINK, W. C., 1980: Introduction to sampling theory, pp. 61-78. In M. Kogan & D. C. Herzo (eds.), *Sampling methods in soybean entomology*. Springer-Verlag, New York.
- SCHOTZKO, D. J. y O'KEEFFE, L. E., 1989: Geostatistical description of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in lentils. *J. Econ. Entomol.*, **82**(5): 1277-1288.
- TAYLOR, L. R. 1984: Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.*, **29**: 321-357.
- TRUMBLE, J. T., OATMAN, E. R. y VOTH, V. 1983: Temporal variation in the spatial dispersion patterns of aphids (Homoptera: Aphididae) infesting strawberries. *Environ. Entomol.*, **12**: 595-598.

(Recepción: 20 diciembre 2001)

(Aceptación: 27 diciembre 2001)