

Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos

M. RIBES, M. BASCUÑANA y J. AVILLA

El estudio de la distribución espacial de una especie por métodos geoestadísticos se realiza mediante el conocimiento de la función semivariograma. Después de calcular el semivariograma se procede a la estimación de la variable regionalizada en cualquier punto de la zona de estudio. Esta estimación se realiza mediante técnicas de interpolación lineal llamadas «krigeado», en honor a Krige y Matheron, fundadores de la geoestadística. El «krigeado» se basa en la minimización de la varianza del error en cada punto de estudio, previamente localizado en el espacio por sus coordenadas de situación.

Cydia pomonella (L.) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) son dos tortrícidos plaga del manzano y del peral. La estimación de sus poblaciones se realiza mediante trampas de feromona y es posible disponer de una amplia base de datos.

El objetivo de este trabajo fue analizar la idoneidad de los métodos geoestadísticos para el estudio de poblaciones de insectos y aplicarlas al caso concreto de *C. pomonella* y *P. heparana*.

Se utilizaron las capturas en 55 estaciones con trampas de feromonas (difusor de origen Wageningen) colocadas en parcelas comerciales de manzano y peral en 1996 y 1997 en el término municipal de Torregrossa (Lleida).

La idoneidad de los métodos geoestadísticos quedó demostrada por el hecho de que la variable número acumulado de machos por trampa fue regionalizable. Una vez calculadas las funciones semivariograma para cada especie y año, se han dibujado los mapas de distribución mediante el uso de isolíneas. En el futuro, se plantea la posibilidad de ampliar la zona de estudio a toda la zona frutera de Lleida y analizar la influencia de variables independientes (climáticas ...) sobre la distribución espacial mediante métodos de «co-krigeado».

M. RIBES: Departamento de Ingeniería Agroforestal. E.T.S. Ingeniería Agraria. Rovira Roure, 177. 25198 - Lleida.

M. BASCUÑANA: ADV Torregrossa. Camí Giliblau s/n. 25141 - Torregrossa.

J. AVILLA: Área de Protección de Cultivos. Centro UdL-IRTA de R+D de Lleida. Rovira Roure, 177. 25198 - Lleida.

Palabras clave: Geoestadística, krigeado, distribución espacial, *Cydia pomonella*, *Pandemis heparana*, frutales de pepita.

INTRODUCCIÓN

Las poblaciones de insectos y ácaros se encuentran distribuidas espacialmente de forma heterogénea; en general, de forma agregada. La mayoría de los estudios de la distribución espacial de insectos y ácaros se ha realizado a nivel de parcela, para permitir

el desarrollo de métodos de muestreo. Las herramientas más utilizadas actualmente son los índices de dispersión (coeficientes de la Ley de Taylor, Índice de Lloyd, Índice de Iwao). Sin embargo, existen herramientas que permiten un estudio a mayor escala (términos municipales, regiones) y una de ellas es la Geoestadística.

La Geoestadística es un método de análisis estadístico que correlaciona una serie de datos en el espacio, utilizando programas específicos como el programa de dominio público GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software, ENGLUND y SPARKS, 1988).

En Geoestadística, el grado de variabilidad de un fenómeno natural está expresado por el semivariograma (que cuantifica y representa la correlación de la variable), y el proceso de estimación está realizado por un procedimiento llamado «krigeado».

Una variable regionalizada es simplemente una función $Z(x)$ que adopta un valor para cada punto en el espacio (SAMPER y CARRERA, 1991). La teoría de las variables regionalizadas (MATHERON, 1971) fue desarrollada originalmente con el propósito de la estimación espacial en evaluaciones mineras, pero puede utilizarse en el caso de otras variables, como la densidad poblacional de los insectos. De hecho, la aplicación de las técnicas geoestadísticas en el estudio de la distribución espacial de insectos es relativamente nueva y existen pocos trabajos publicados. Puede encontrarse una revisión en LIEBHOLD *et al.* (1993).

Para analizar la aplicación de los métodos geoestadísticos en la descripción de la distribución espacial de plagas de manzano y peral, se han escogido dos especies de tortricidos: *Cydia pomonella* (L.) (carpocapsa de las manzanas y de las peras) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) (una de las orugas mordedoras de la piel del fruto). *C. pomonella* es una plaga-clave del manzano prácticamente en todas las zonas donde se cultiva. *P. heparana* se encuentra en toda la zona frutera de Lleida, donde puede convertirse en plaga en muchas ocasiones. La utilización de trampas de feromonas para el muestreo de los vuelos de adultos de estas dos especies está muy extendido, por lo que es posible disponer de bases de datos que abarquen varios años y grandes zonas. Las capturas en las trampas de feromonas no dependen exclusivamente de la población que se encuentre en el huerto, sino también de

otros factores como la climatología (temperatura, viento, lluvia), el difusor (marca comercial, carga del mismo, formulación de la feromona), el tipo de trampa y la colocación en el árbol. Por todo ello, es importante que la base de datos utilizada proceda de metodologías homogéneas.

El objetivo de este trabajo fue analizar la idoneidad de los métodos geoestadísticos para el estudio de la distribución espacial de poblaciones de insectos y aplicarlos al caso concreto de *C. pomonella* y *P. heparana*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Cálculos geoestadísticos

Geoestadísticamente, las variables regionalizadas presentan una variabilidad particular. Hacemos que $Z(x)$ sea una variable regionalizada; que es una función aleatoria que depende de la localización del parámetro « x ». Hacemos que $Z(x)$ y $Z(x+h)$ sean dos variables aleatorias correspondientes a la variable regionalizada $Z(x)$ en los puntos « x » y « $x+h$ », siendo h la distancia y orientación relativa entre ellos. Estas dos variables están correlacionadas y la variabilidad entre $Z(x)$ y $Z(x+h)$ está caracterizada por la función semivariograma $2\gamma(x,h)$. El semivariograma está definida como la esperanza de la variable aleatoria:

$$[Z(x) - Z(x+h)]^2$$

de este modo:

$$2\gamma(x,h) = [Z(x) - Z(x+h)]^2$$

En general, el semivariograma es función del punto x , y del vector h (JOURNEL y HUIJLREGTS, 1978).

Para obtener el semivariograma, es necesario sacar una muestra de la variable regionalizada en intervalos regulares y en una determinada dirección. Para procesar el semivariograma, se ha utilizado el siguiente estimador:

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

* N(h): número de pares de puntos Z(x), Z(x+h) a distancia h.

* Z(x_i): valor de la variable en el punto x_i.

Se puede afirmar que el semivariograma de variables aleatorias Z(x) y Z(x+h) está definido como:

$$\gamma(x, x+h) = \gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2$$

Para la realización de los cálculos se ha utilizado el programa GEO-EAS, con las siguientes fases:

PREVAR: Calcula la distancia y la dirección relativa entre pares de puntos en una área determinada (en nuestro caso, el conjunto de parcelas de Torregrossa). El número de pares de puntos calculado para cada plaga fue de 1225.

VARIO: Analiza y modela un semivariograma en dos dimensiones. Utiliza los pares anteriores para calcular la distancia media y los valores del semivariograma. Los parámetros que definen el semivariograma son:

Efecto pepita (Nugget): Se debe al error experimental cometido en la medición de la variable. En nuestro caso, se ha tomado un valor de 0,5, ya que el error experimental cometido al realizar los conteos en las trampas de feromonas debe ser muy pequeño.

Alcance (Range): Es la distancia a partir de la cual las variables aleatorias Z(x) y Z(x+h) no están correlacionadas. Las observaciones de la variable CAPT correlacionadas son las se encuentran a una distancia inferior al alcance.

Meseta (Sill): Es el valor de la semivarianza de la variable a validar. Este valor depende de los datos y por lo tanto es invariable durante los cálculos.

De los tres elementos a analizar, solamente el alcance y el efecto pepita pueden cambiar su valor a efectos de validar el semiva-

riograma. Del conjunto de semivariogramas teóricos se ha elegido el modelo esférico.

Con este semivariograma se puede proceder a la estimación del valor de la variable en cualquier punto del dominio estudiado. La técnica utilizada en geoestadística para realizar valores estimados de la variable CAPT, se llama «krigeado». Consiste en estimar el valor de la variable CAPT en un punto determinado a partir de la combinación lineal de los valores medidos ZCAPT a su alrededor y sus coeficientes (λ_i) respectivos:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_{CAPT}$$

Una vez ejecutado el desarrollo gráfico de los valores estimados por «krigeado» (que constituye los mapas de distribución de cada plaga en los años 1996 y 1997) conviene demostrar analíticamente la bondad de todos los datos conjuntos del semivariograma. Para ello se validan todos los datos mediante el método denominado Validación Cruzada. Con este método se intenta interpolar el valor de la variable en cada uno de los puntos medidos sin tener en cuenta su valor. Mediante la comparación entre los valores estimados y los observados se elabora una serie de estadísticos que evalúan la bondad del semivariograma elegido. En los cuadros de Validación semivariograma, el estadístico Z tiene que ser igual a la unidad, para que la validación sea correcta.

Base de datos

La base de datos utilizada estaba formada por las capturas totales de *P. heparana* y *C. pomonella* en trampas de feromonas colocadas desde el 13 de mayo al 15 de julio en 1996 y 1997 en 55 parcelas de Torregrossa (Lleida), cuyos propietarios pertenecían a la Agrupació de Defensa Vegetal. En todos los casos, se utilizaron trampas tipo Delta ceba-

das con difusores procedentes de la Universidad de Wageningen y colocadas a la altura de la vista. Las coordenadas U.T.M. de las parcelas y las capturas para cada especie y año se encuentran en el Cuadro 1.

Se escogieron al azar 5 parcelas, cuyos datos no fueron incluidos en el análisis, para poder comparar las capturas observadas con las estimadas. Estas parcelas fueron las n.º

4, 30, 38, 41 y 53; que resultaron localizadas todas ellas en la parte externa de la zona de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2 muestra la relación entre los diferentes pares de números agrupados a una

Cuadro 1.—Coordenadas U.T.M. de las parcelas en las que estaban colocadas las trampas de feromonas y número de capturas de *P. heparana* y *C. pomonella* del 13 de mayo hasta el 15 de julio en 1996 y 1997 en Torregrossa

Coordenadas (Huso 31T)			Número de capturas			
			<i>P. heparana</i>		<i>C. pomonella</i>	
X (U.T.M.)	Y (U.T.M.)	1996	1997	1996	1997	
1	320420	4607640	16	5	1	1
2	317700	4607730	20	7	7	5
3	316630	4605260	5	4	9	4
4	321920	4605396	4	2	0	0
5	320460	4605716	3	18	5	2
6	319780	4607580	7	71	2	3
7	319780	4607500	17	93	8	3
8	322380	4605856	1	8	5	5
9	322480	4605926	1	2	1	6
10	322960	4606570	1	5	1	1
11	323010	4606480	0	3	2	1
12	315640	4605610	6	2	3	2
13	315680	4605620	1	0	0	0
14	321710	4607250	4	7	2	1
15	321750	4607150	3	13	0	2
16	316760	4606770	4	24	0	2
17	316810	4606740	11	26	0	0
18	318430	4604920	19	53	7	3
19	318070	4605556	2	7	11	4
20	319940	4604840	7	67	0	1
21	321930	4606280	28	1	0	1
22	321910	4606190	30	8	3	1
23	319400	4608320	64	20	3	0
24	319500	4608290	69	8	1	0
25	320770	4607530	4	13	6	1
26	320780	4607410	84	11	1	0
27	319890	4607390	25	9	33	4
28	318800	4606500	25	3	13	27
29	316640	4607270	109	175	1	2
30	314880	4605880	7	0	1	0
31	315000	4605800	1	2	2	0
32	314940	4606000	5	4	2	0
33	318120	4605816	10	18	17	6

Cuadro 1 (Cont.).—Coordenadas U.T.M. de las parcelas en las que estaban colocadas las trampas de feromonas y número de capturas de *P. heparana* y *C. pomonella* del 13 de mayo hasta el 15 de julio en 1996 y 1997 en Torregrossa

	Coordenadas (Huso 31T)		Número de capturas			
			<i>P. heparana</i>		<i>C. pomonella</i>	
	X (U.T.M.)	Y (U.T.M.)	1996	1997	1996	1997
34	321880	4605726	11	10	1	1
35	321860	4605616	13	12	3	6
36	321820	4605756	7	2	0	2
37	317580	4604780	14	16	3	2
38	317560	4604600	14	8	9	8
39	317620	4607070	135	70	28	7
40	319920	4603920	30	22	5	3
41	320080	4608780	5	0	1	0
42	320100	4608990	5	5	1	0
43	319260	4608960	9	4	6	0
44	316740	4606036	21	19	0	0
45	316780	4605980	11	18	0	2
46	322380	4605666	18	20	13	3
47	322430	4605616	13	17	12	2
48	316450	4605930	2	30	0	2
49	315520	4605020	39	20	0	7
50	316680	4606620	38	93	2	0
51	317700	4608340	12	12	1	1
52	320280	4603490	23	49	8	6
53	319670	4604700	18	23	30	23
54	314480	4607080	2	7	2	1
55	316820	4604760	17	25	19	10

cierta distancia y los resultados del cálculo de la función semivariograma (modelo esférico) para cada especie y año. Estos resultados son los utilizados para dibujar la función semivariograma para cada especie y año (Figuras 1 y 2).

Los valores del estadístico Z obtenidos fueron muy próximos a 1 (Cuadro 2), lo que permitió la validación del modelo adoptado en todos los casos. Se observa también que los valores de la desviación típica de la variable CAPT son mayores que la diferencia entre los valores estimados y los valores reales (Cuadro 2).

Los valores del alcance observados fueron similares entre los dos años para la misma especie, pero diferentes entre especies (sobre 600 m en el caso de pandemis y 1500 en el caso de carpocapsa). Es decir, se

puede extrapolar a una distancia mayor en el caso de carpocapsa que en el caso de pandemis, y ello es debido a la mayor semivarianza (meseta) observada en el caso de pandemis (Cuadro 2).

Las figuras 3 a 6 muestran las isolíneas de la variable número total de capturas por trampa de feromonas (ISOCAPS) para cada especie y año representadas sobre los mapas escala 1:50.000 del Institut Cartogràfic de Catalunya (INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA, 1988). En el caso de pandemis la equidistancia de las isocaps es de 10 capturas (Figuras 3 y 4), mientras que en el caso de carpocapsa, es de 5 capturas (Figuras 5 y 6). También se encuentra representada la localización de las parcelas. Aunque los niveles poblacionales fueron diferentes, se observan los mismos núcleos de densidades

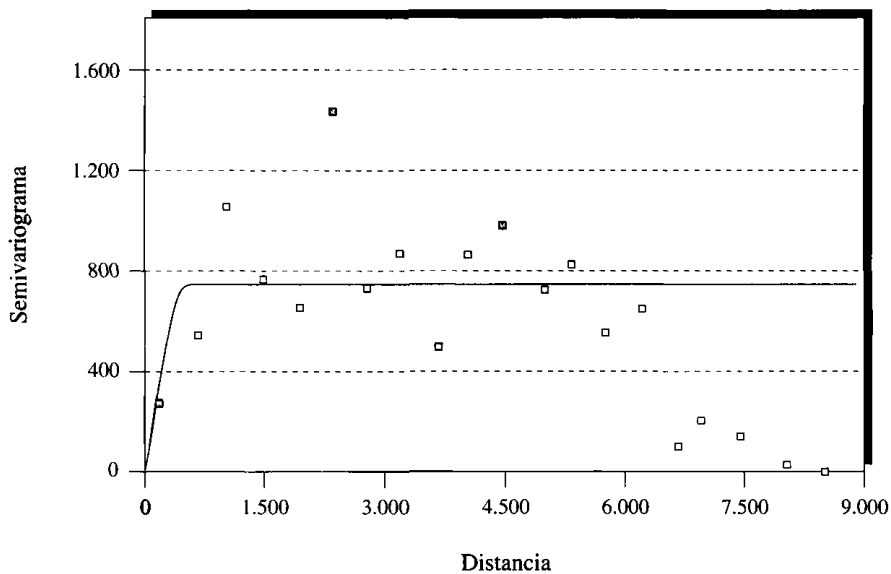
Cuadro 2.—Resultados del cálculo de la función semivariograma (modelo esférico) para cada *P. heparana* y *C. pomonella* en 1996 y 1997

Intervalo	Pares	Distancia	<i>P. heparana</i>		<i>C. pomonella</i>	
			1996	1997	1996	1997
1	28	176,90	271,70	399,23	10,77	1,98
2	63	662,07	543,71	837,02	25,55	4,76
3	63	1.038,02	1.052,34	867,40	52,62	13,64
4	101	1.498,07	764,31	891,11	58,17	20,96
5	98	1.953,75	651,40	1.424,15	80,79	46,22
6	95	2.374,15	1.429,22	1.424,75	74,80	26,20
7	77	2.789,62	733,42	1.135,42	57,57	18,77
8	115	3.206,18	872,70	1.181,87	76,70	29,25
9	100	3.679,12	501,52	745,02	45,21	20,10
10	98	4.061,35	860,87	1.013,75	46,78	15,19
11	68	4.489,90	976,96	691,77	54,02	11,29
12	91	5.002,74	726,22	829,41	29,84	6,65
13	71	5.354,94	822,92	1.631,58	35,67	7,07
14	51	5.785,83	554,00	1.192,74	29,42	6,28
15	40	6.243,90	645,03	1.322,11	12,55	4,71
16	20	6.686,42	101,88	132,75	17,28	7,98
17	17	6.965,23	204,32	28,06	11,00	3,00
18	19	7.465,34	142,42	44,32	12,92	6,58
19	8	8.043,34	26,31	19,19	14,56	3,13
20	2	8.523,20	1,25	5,00	0,25	0,00
PARÁMETROS	PEPITA		0,50	0,50	0,50	0,50
SEMIVARIOGRAMA	MESETA		743,80	989,50	48,24	17,12
ESFÉRICO	ALCANCE		545	698	1.425	1.485
VALIDACIÓN	ESTADÍSTICO Z		1,000	1,000	1,003	1,000
DEL	DESV. TÍPICA		27,55	31,78	7,02	4,18
SEMIVARIOGRAMA	DIFERENCIA		25,23	28,63	5,36	3,66

Cuadro 3.—Número de capturas de machos de *P. heparana* y *C. pomonella* en trampas de feromonas en 1996 y 1997 y número de capturas estimado mediante las isocaps

N.º de parcela	<i>P. heparana</i>				<i>C. pomonella</i>			
	1996		1997		1996		1997	
	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Observado	Estimado
53	18	10-20	21	30-40	30	0-5	23	0-5
4	4	0-10	2	10-20	0	0-5	0	0-5
30	7	0-10	13	0-10	1	0-5	0	0-5
38	14	10-20	18	20-30	9	5-10	8	0-5
41	5	0-10	2	0-10	1	0-5	0	0-5

Semivariograma Capturas Pandemis 1996



Semivariograma Capturas Carpocapsa 1996

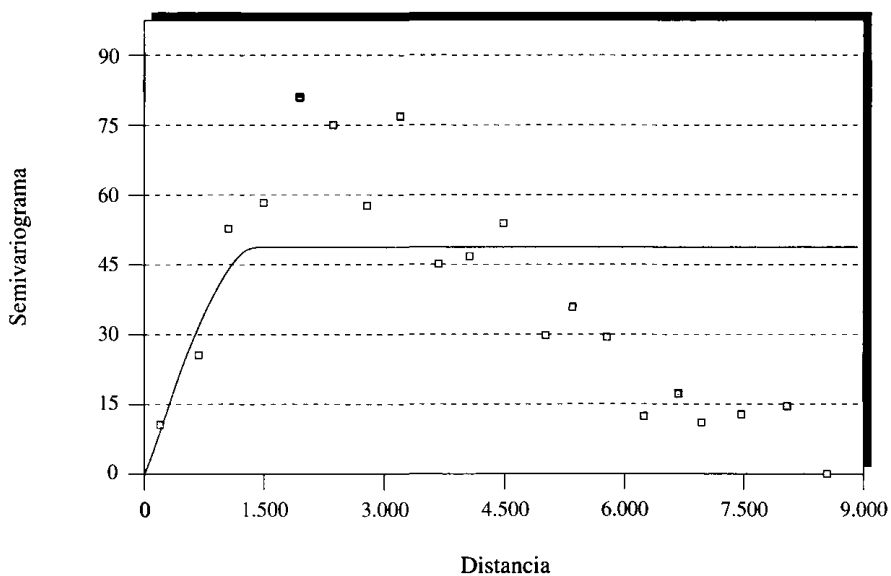
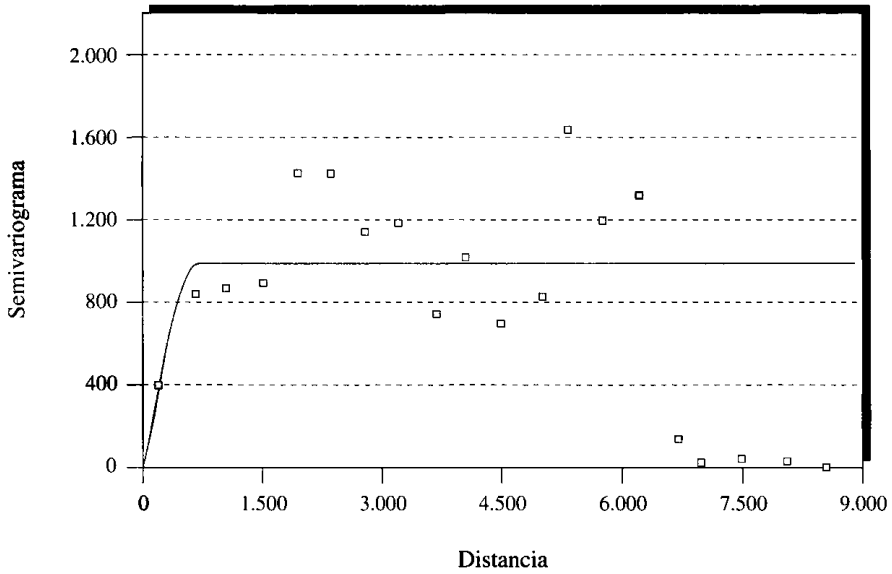


Fig. 1.—Semivariograma del número de capturas en 1996 de *P. heparana* (arriba) y *C. pomonella* (abajo).

Semivariograma Capturas Pandemis 1997



Semivariograma Capturas Carpocapsa 1997

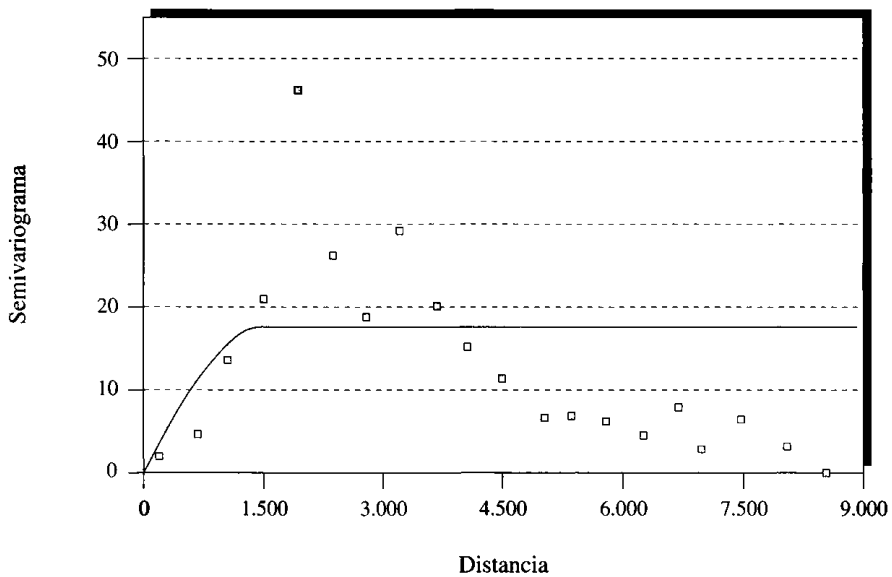


Fig. 2.-Semivariograma del número de capturas en 1997 de *P. heparana* (arriba) y *C. pomonella* (abajo).

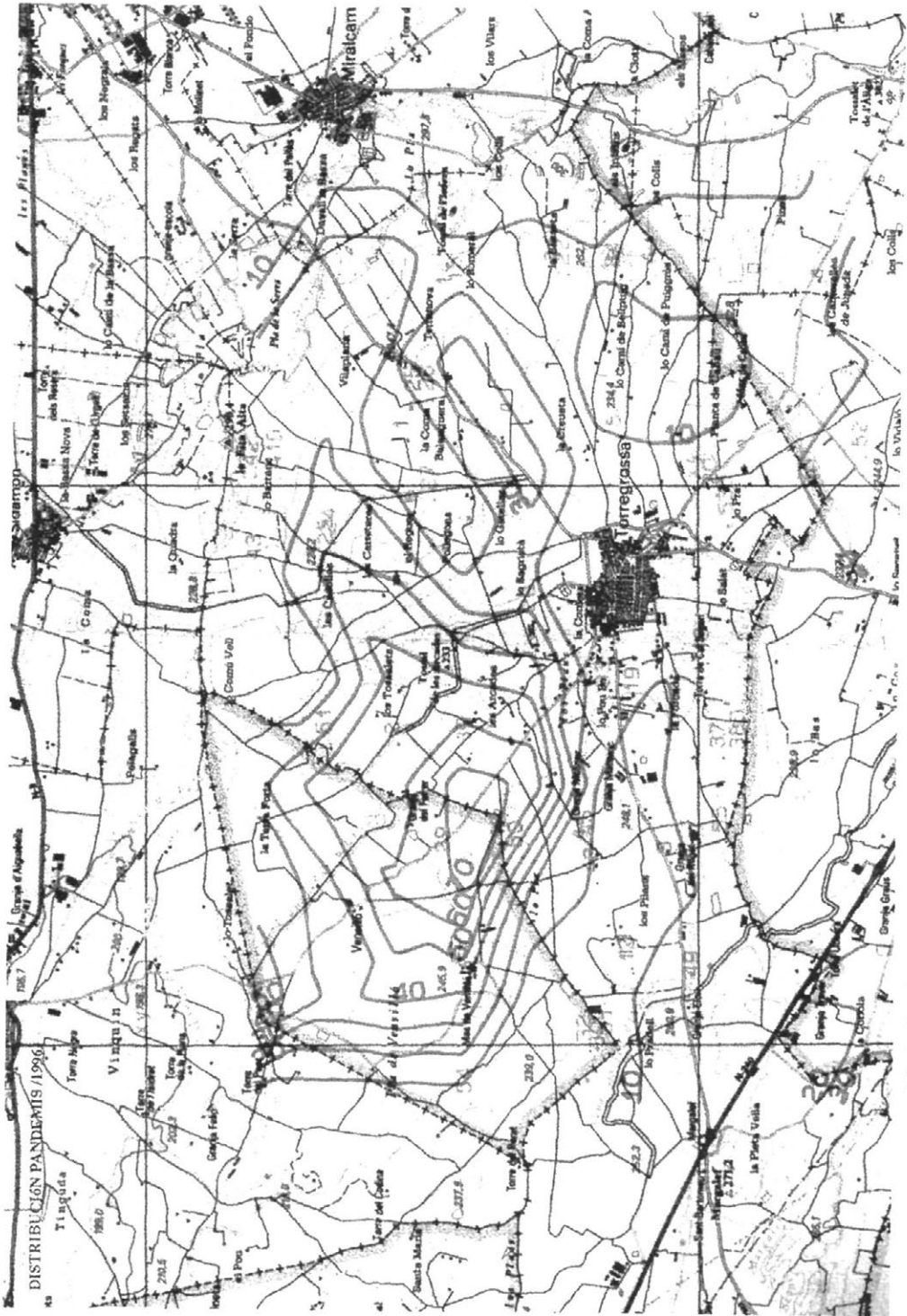


Fig. 3.-Localización de las parcelas e isocaps del número de capturas de *P. heparana* en Torregrossa en 1996.

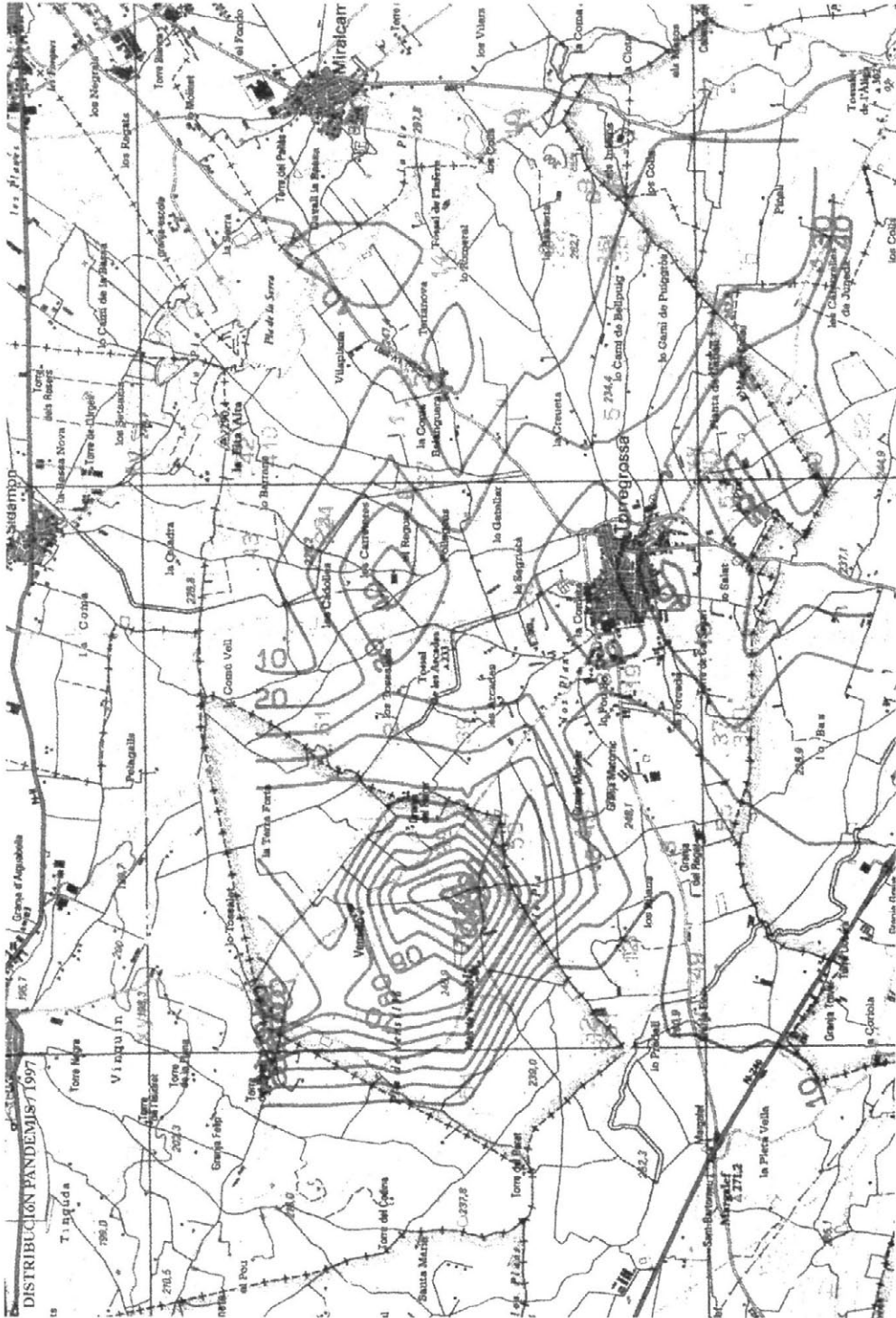


Fig. 4.-Localización de las parcelas e isocaps del número de capturas de *P. heparana* en Torregrossa en 1997.

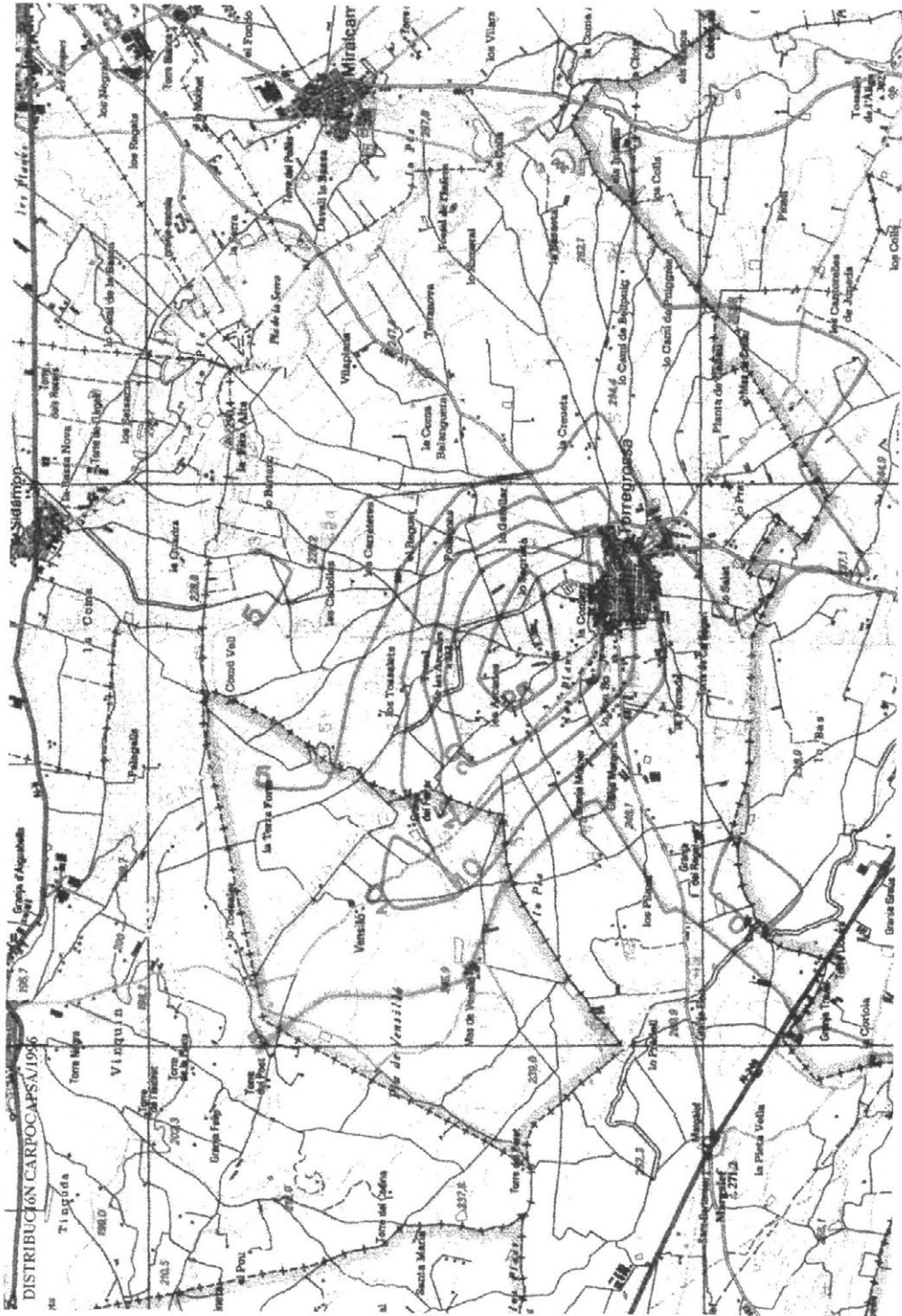


Fig. 5.-Localización de las parcelas e isocaps del número de capturas de *C. pomonella* en Torregrossa en 1996.

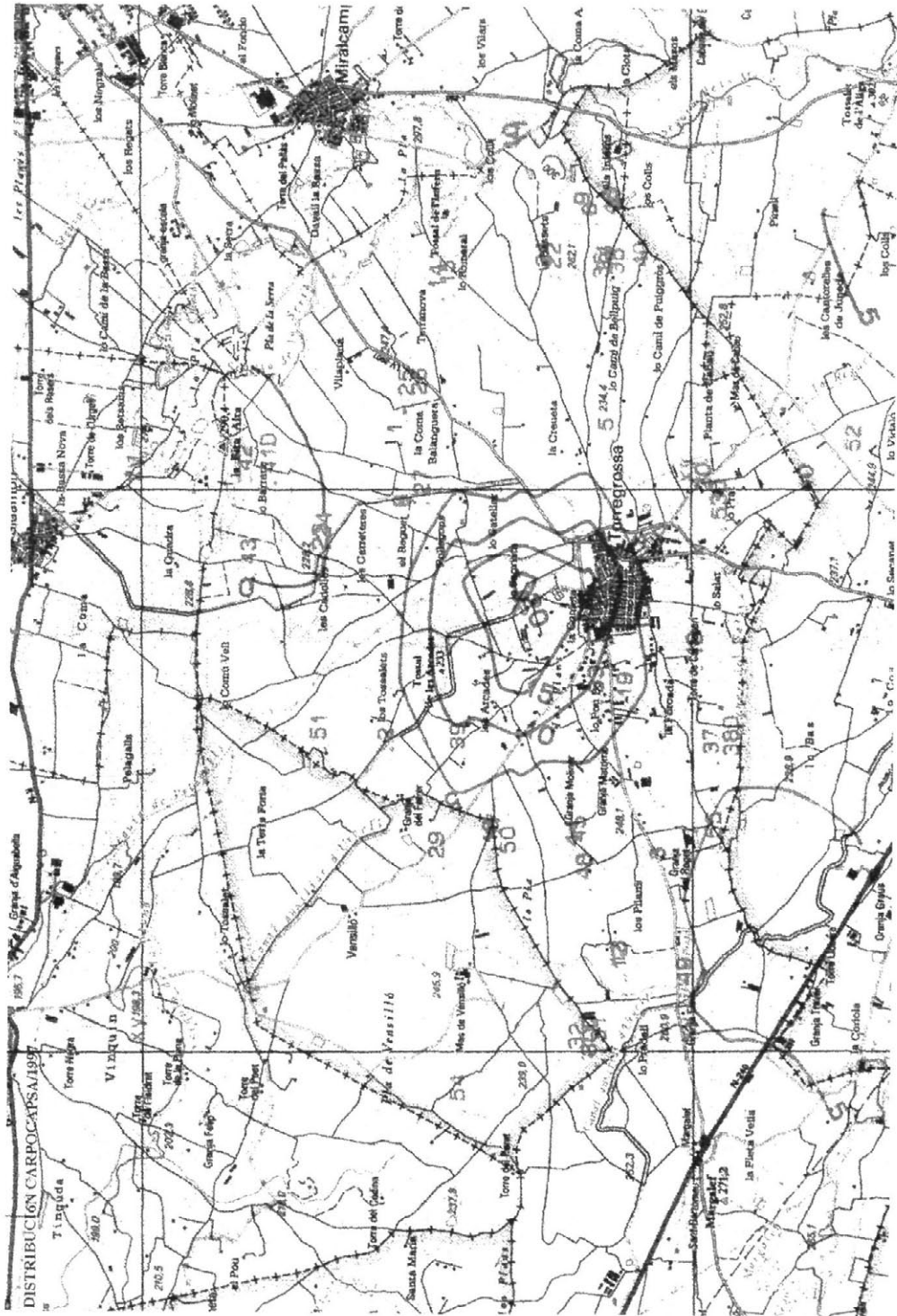


Fig. 6.—Localización de las parcelas e isocaps del número de capturas de *C. pomonella* en Torregrossa en 1997.

poblacionales más altas para los dos años de una misma especie.

El Cuadro 3 muestra las diferencias entre las capturas observadas y las capturas estimadas en las cinco parcelas testigo. Las estimaciones fueron mejores en el caso de pandemis que en el de carpocapsa, posiblemente porque las capturas de carpocapsa están influidas por más factores ajenos a la propia población existente en la parcela (proximidad de almacenes de fruta o de nogales, por ejemplo).

Como conclusión, se ha probado que los métodos geoestadísticos son adecuados para estudiar la distribución espacial de plagas mediante el empleo de los datos de captura en trampas de feromonas, variable que es regionalizable. En el futuro, se plantea la posibilidad de ampliar la zona de estudio a toda la zona frutera de Lleida y analizar la influencia de variables independientes (climáticas...) sobre la distribución espacial mediante métodos de «co-krigeado».

ABSTRACT

RIBES, M.; BASCUÑANA, M. y AVILLA, J., 1998: Study of the spatial distribution of *Cydia pomonella* (L.) and *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) at Torregrossa (Lleida) by means of geostatistics. *Bol. San. Veg. Plagas*, 24(Adenda al n.º 4): 935-948.

The spatial distribution of *Cydia pomonella* (L.) and *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) at Torregrossa (Lleida, NE Spain) in 1996 and 1997 was studied by means of geostatistics. The data set used was formed by the total catches from the beginning of the season to July, 15th in 55 pheromone traps placed at apple and pear orchards. All the traps were Delta traps with dispensers from Wageningen Agricultural University and were regularly serviced.

The parameters of the semivariogram for each species and year were computed and all the models were successfully validated (Zscore values equal to 1). The map of the distribution of each species at each year with the isocaps (isolines of the same number of catches) was drawn.

Key words: Geostatistics, krigged, spatial distribution, *Cydia pomonella*, *Pandemis heparana*, pome fruits.

REFERENCIAS

- ENGLUD, E. y SPARKS, A., 1988: GEO-EAS. Geoestatistical Environmental Assessment Software. User's Guide. Environmental Monitoring Systems. Laboratory Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency. Las Vegas (USA). 194 pp.
- INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA, 1988: Mapas escala 1/50000. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Barcelona.
- JOURNAL, A. G. y HUIJBREGTS, Ch. J., 1978: *Mining geostatistics*. Academic Press. London (Reino Unido). 325 pp.
- LIEBHOLD, A. M.; ROSSI, R. E. y KEMP, W. P., 1993: *Geostatistics and Geographic Information Systems* in Applied Insect Ecology. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 303-327.
- MATHERON, G., 1971: The theory of regionalized variables and its applications. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique 5. Centre de Geostatistique, Fontainebleau, France. 45 pp.
- SAMPER, F. J. y CARRERA, J., 1990: *Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. 483 pp.

(Recepción: 9 enero 1998)

(Aceptación: 17 marzo 1998)

