

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**CARACTERIZACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE
Grapholita molesta (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE)
MEDIANTE MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS Y
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

por

Felicia DUARTE BAREA

**TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magíster en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Vegetales**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
Marzo de 2012**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por el Dr. Ing. Agr. Jorge Franco, la Dra. Ing. Agr. Gabriela Asplanato, y el Dr. Ing. Agr. Manel Ribes-Dasi, el día 27 de marzo de 2012. Autora: Ing. Agr. Felicia Duarte. Directora: Ing. Agr. Iris Beatriz Scatoni

AGRADECIMIENTOS

A Beatriz Scatoni por su gran labor en la transferencia de conocimientos a lo largo de este proceso, por su gran calidez humana y por su apoyo permanente en todos los aspectos que hacen al trabajo y al compartir cotidiano.

A Victoria Calvo por ser una gran compañera.

A Alejandra Borges porque sin su ayuda y dedicación este trabajo no hubiera salido adelante.

A Mariana Silvera, Lucía Goncálvez y a los integrantes del servicio de pronóstico, Carlos García, Aníbal Rodríguez y Santiago Contarín por su colaboración en la revisión de trampas.

A Saturnino Núñez, Manel Ribes-Dasi, Jorge Franco y Gabriela Asplanato por las correcciones y aportes.

Y a todos los productores que colaboraron con este estudio permitiéndonos el ingreso a sus establecimientos.

Tabla de Contenido

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VI
1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	1
1.1 LA FRUTICULTURA DE HOJA CADUCA EN URUGUAY...	3
1.2 <i>Grapholita molesta</i> (BUSCK) (LEPIDOPTERA, TORTRICIDAE).....	4
1.2.1 <u>Distribución</u>.....	4
1.2.2 <u>Biología y ciclo estacional</u>.....	4
1.2.3 <u>Hospederos</u>.....	5
1.2.4 <u>Daños</u>.....	6
1.2.5 <u>Capacidad de dispersión</u>.....	6
1.3 EL MANEJO DE LA PLAGA.....	7
1.3.1 <u>Sistemas de pronóstico fitosanitario</u>.....	7
1.4 ANÁLISIS ESPACIAL.....	9
1.4.1 <u>La geoestadística y su aplicación</u>.....	10
1.4.2 <u>Geoestadística: el método</u>.....	11
1.4.2.1 Análisis exploratorio de los datos.....	13
1.4.2.2 Análisis estructural: variograma empírico y ajuste de un modelo teórico.....	14
1.4.2.3 Predicciones: Método de Krigeaje.....	19
1.4.3 <u>Otras herramientas para el análisis espacial</u>.....	20
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
3.1. ANÁLISIS TEMPORAL.....	26
3.2 ANÁLISIS ESPACIAL.....	34
3.2.1 <u>Análisis exploratorio</u>.....	34
3.2.2 <u>Análisis estructural</u>.....	36
3.2.3 <u>Mapas: interpolación por krigeaje y datos de campo</u>.....	44
3.2.4 <u>Alternativas de mapeo sin interpolación</u>.....	47
3.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE GRAFOLITA EN LA ZONA FRUTÍCOLA SUR.....	48
3.4 FACTORES QUE AFECTAN LA DISTRIBUCIÓN DE GRAFOLITA.....	50
3.4.1 <u>Relación en el espacio de grafolita con sus hospederos</u>.....	50
4. CONCLUSIONES.....	54
5. BIBLIOGRAFÍA.....	55
6. ANEXO.....	62

RESUMEN

Los sistemas de información geográfica (SIGs) y la geoestadística pueden aportar al manejo de plagas determinando cómo se distribuyen las plagas a nivel local o regional, posibilitando el manejo dirigido al sitio específico, basado en información espacio temporal detallada. *Grapholita molesta*, principal plaga del duraznero y membrillero, requiere de varias intervenciones con insecticidas para mantener niveles de daño aceptables. Los objetivos del presente trabajo son: a) analizar la variación temporal de *Grapholita molesta* durante tres temporadas como base para el estudio de la distribución espacial b) consolidar el procedimiento que mejor se adecue para obtener mapas de densidad poblacional de *C. molesta* mediante el uso de herramientas geoestadísticas y sistemas de información geográfica c) determinar la distribución espacial de la población de esta plaga en la región frutícola sur del Uruguay y d) relacionar la distribución de dicha plaga con las características del entorno.

En un área de 50 mil ha, durante los años 2007 a 2010 se instalaron y georeferenciaron 135 trampas de feromona en montes de duraznero, registrándose semanalmente las capturas de machos adultos desde setiembre a abril. Se realizó el análisis estructural y se elaboraron dos tipos de mapas de distribución de *G. molesta*: Mapas regionales mediante estimaciones de puntos no muestreados obtenidos por krigeaje utilizando el software GS+, y mapas de puntos a partir de los valores muestreados, utilizando SIG. El método geoestadístico fue apropiado para obtener mapas de distribución para 11 de los 19 períodos considerados. Tres focos de alta población permanecieron durante los tres años evaluados. La correlación entre densidad poblacional y presencia de durazneros y membrilleros fue 0,68.

Palabras clave: geoestadística, *Cydia molesta*, distribución espacial, plagas

SUMMARY

Spatio-Temporal Characterization of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) Using Geostatistics Methods and Geographic Information Systems

Geographic information systems (GIS) and geostatistic can support pest management by analyzing the spatial distribution of a pest, in a local or regional level. Therefore specific site pest control can be performed based on accurate spatio-temporal information. *Grpholita molesta*, the most important pest of peaches and quinces, requires several insecticides applications to achieve acceptable levels of injury. The objectives of this study were to: a) analyze the temporal variation of *Grapholita molesta* during three periods as a resource to the study of spatial distribution b) consolidate the best procedures to obtain population density maps of *Grapholita molesta* using geostatitistics methods and GIS c) determinate the present distribution of the pest in the southern Uruguay and d) relate this with environmental characteristics. Since 2007 to 2010 135 pheromone traps per year were installed and georeferenced in peaches orchards distributed in 50,000 ha. Males adults captures were registered weekly since september to april. The structural analysis of the captures was done and two sets of distribution maps of *G. molesta* were elaborated. Regional maps were made estimating the population level of the pest in not evaluated areas using ordinary kriging, analyzed by GS+ software. Points maps were elaborated with the real value of the evaluated points using GIS. Geostatistic method was appropriated to obtain distribution maps in 11 of the 19 considered periods. Three hot spots of high population levels were observed during the three years. The correlation between population density and the presence of peaches and quince was 0.68.

Keywords: geostatistic, *Cydia molesta*, spatial distribution, pests

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Grapholita molesta (Lepidoptera: Tortricidae) es de las especies plaga de mayor relevancia que afectan a la fruticultura en Uruguay. Ataca fundamentalmente duraznero y membrillero, pero puede afectar también manzano y peral, causando daños directos sobre la fruta desvalorizándola totalmente (Núñez y Paullier, 2006). Los frutales de hoja caduca ocupan 7.600 ha. El principal destino de la producción es el consumo de fruta en fresco, ya sea para mercado interno o exportación, lo que aumenta las exigencias en su calidad cosmética (MGAP-DIEA, 2010). De no adoptarse medidas de control gran parte de la fruta puede verse afectada, agravándose el problema en los cultivares tardíos de duraznero y membrillero. La presencia de esta plaga hace necesarias varias aplicaciones para obtener fruta de valor comercial.

En Uruguay el sistema de pronóstico de los principales lepidopteros plagas de frutales está basado en la fenología de los insectos, considerando únicamente la variabilidad temporal de la población. Estos sistemas, si bien han demostrado ser de gran utilidad, son limitados para optimizar los sistemas de protección fitosanitaria y sobre todo para disminuir el impacto ambiental de las medidas de control en áreas extensas (Koul *et al.*, 2008).

Las poblaciones de insectos y ácaros se distribuyen en el espacio en general en forma agregada, formando focos con altas densidades, alternando con otras zonas con bajos niveles de población. Estudiar la variabilidad espacial de las especies, además de sus fluctuaciones poblacionales en el tiempo, brinda mayor información para optimizar los sistemas de protección fitosanitaria mejorando su eficiencia y disminuyendo el impacto negativo al permitir limitar las medidas de control específicamente a las áreas problema.

El desarrollo de los sistemas de información geográfica, los sistemas de posicionamiento global y la geoestadística entre otras, son herramientas que han permitido desarrollar estrategias de manejo mucho más precisas y eficientes para los sistemas productivos y que pueden ser de gran relevancia para el control de plagas tanto a nivel predial como regional. Actualmente, es posible obtener mapas con la

ubicación y abundancia de las plagas mediante procedimientos relativamente sencillos, que resultan en un insumo sumamente valioso para tomar la decisión de aplicar o no una estrategia de manejo, en función de saber si está presente o no la plaga en un sitio específico. La mayoría de los trabajos que sustentan esta idea se originaron en Estados Unidos (Liebhold *et al.* 1993, Schotzko y O'Keefe 1989, 1990) y Europa (Ribes-Dasi *et al.* 1998, 2001, 2005 y Tort 2004).

La obtención de mapas permite identificar zonas en las que por sus densidades poblacionales y características particulares se puedan aplicar a gran escala estrategias de control tan selectivas como la confusión sexual o la liberación de enemigos naturales. Estrategias que aumentan su potencial en grandes superficies (Knight, 2008) y que en las condiciones de Uruguay (debido al escaso tamaño de los predios) son posibles llevarlas adelante cuando se concentra a un importante número de productores.

Por otra parte los sistemas de información geográfica permiten relacionar la cantidad de plaga con características particulares de cada zona, facilitando la identificación de factores asociados a la abundancia poblacional como la densidad de hospederos, sitios de acopio de fruta o plantas de empaque, lugares donde se descartan los frutos sin valor comercial, montes abandonados o mal manejados desde el punto de vista sanitario, concentración de luces entre otras.

El conocimiento de la distribución de esta plaga en la principal zona frutícola del país así como el desarrollo de un sistema de muestreo y mapeo de la especie sería sumamente útil para racionalizar y mejorar la eficiencia de las medidas de control. El presente trabajo se realizó con el fin de contribuir a generar los conocimientos necesarios para caracterizar la distribución espacial de los lepidópteros plaga de frutales, estableciéndose los siguientes objetivos específicos: a) analizar la variación temporal de *Grapholita molesta* durante tres temporadas como base para el estudio de la distribución espacial b) consolidar el procedimiento que mejor se adecue para obtener mapas de densidad poblacional de *G. molesta* mediante el uso de herramientas geoestadísticas y sistemas de información geográfica c) determinar la distribución espacial de la población de esta plaga en la región frutícola sur del

Uruguay y d) relacionar la distribución de dicha plaga con las características del entorno.

El trabajo se enmarcó en el proyecto “Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella*, *Grapholita molesta*, *Argyrotaenia sphaleropa* y *Bonagota salubricola* (Lep., Tortricidae) en la zona sur de Uruguay por métodos geoestadísticos” del Departamento de Protección Vegetal de la Facultad de Agronomía, y fue financiado por el Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Se incluye en anexos un artículo a ser publicado en Agrociencia.

1.1 LA FRUTICULTURA DE HOJA CADUCA EN URUGUAY

La fruticultura de hoja caduca en el Uruguay, comprende mayoritariamente cinco especies cultivadas que abarcan 7600 ha. Esta área se compone por 3596 ha de manzanos con predominio de variedades del grupo Red Delicious (65%), del grupo Gala (12%), Fuji (4%) y Cripps Pink (3%). Los perales ocupan 999 ha, siendo el cultivar William’s el más plantado (79%) seguido por el cultivar Packam’s Triumph (4%) y cultivar Abate Fetel (3%). Los durazneros y nectarinos abarcan 2339 ha constituidas por una amplia gama de variedades de cosecha escalonada que van desde principios de noviembre a fines de febrero. Otros cultivos que se encuentran con menor relevancia son el membrillero (279ha) y el ciruelo (360ha). (MGAP-DIEA, 2010). La mayor parte de la producción tiene como principal destino el mercado interno, y aproximadamente un 10% de la producción de manzana y pera se exporta, siendo Brasil su principal destino, seguido por algunos países de Europa, básicamente Italia y Francia. Más del 80% de la producción es destinada al mercado interno y el total de la fruta exportada se consume en fresco. Por esta razón la calidad cosmética de la fruta es fundamental no admitiéndose daños o defectos.

1.2 *Grapholita molesta* (BUSCK) (LEPIDOPTERA, TORTRICIDAE)

1.2.1 Distribución

Se cree originaria del noroeste de China desde donde se ha ido distribuyendo por todas las zonas productoras de frutales de carozo del mundo. Está presente en todos los continentes. En América del Sur se encuentra en Argentina, Brasil, Chile y Uruguay (Rothschild y Vickers, 1991).

1.2.2 Biología y ciclo estacional

Los adultos son de hábitos crepusculares y sus vuelos ocurren predominantemente a temperaturas superiores a 15°C aunque esto no es estricto (Roherich, citado por Bovey, 1966). Las hembras depositan los huevos en forma aislada en el envés de las hojas. Una vez que eclosionan, las larvas se dirigen a los brotes tiernos o frutos según el estado de desarrollo de la planta. Pasan por cuatro a cinco estadios larvales. Las larvas de último estadio pupan en el tronco, la hojarasca del suelo o el pedúnculo de los frutos, mientras que a fotoperíodos menores a 13 horas estas larvas entran en diapausa, pasando así el invierno. Requiere para completar una generación 535GD (Grados Día), con un umbral inferior de 7°C y uno superior de 32°C, lo que implica de acuerdo a las condiciones climáticas de nuestro país un ciclo de 65 días de duración en primavera y aproximadamente 30 días en verano (Núñez y Paullier 2006, Rothschild y Vickers 1991).

En el sur del país se han observado cinco generaciones anuales, y en algunos años una sexta generación parcial. Los adultos de la generación invernante tienen su mayor actividad de vuelo hacia mediados de setiembre. A mediados de noviembre se registran las máximas capturas de adultos de la primera generación. La segunda generación de adultos está activa desde mediados de diciembre a mediados de enero, la tercera desde fines de enero a mediados de febrero y la cuarta desde mediados de febrero a mediados de marzo (Núñez y Paullier, 2006).

Los vuelos de machos adultos pueden ser monitoreados mediante trampas de feromona. Estas trampas sirven para poder determinar la fenología de la plaga, identificando los momentos más oportunos para realizar las intervenciones con insecticidas. A los efectos del control se estima que la emergencia de larvas tiene lugar 107GD luego del vuelo de adultos (Núñez *et al.*, 1998).

1.2.3 Hospederos

Grafolita es una especie oligófaga, que ataca una amplia gama de rosáceas, pudiendo alimentarse de todas las especies de frutales de hoja caduca cultivadas en nuestro país. Si bien el duraznero y el membrillero son sus hospederos preferidos, el cultivo del manzano ha venido aumentando en importancia como un hospedero alternativo para grafolita una vez que la cosecha de duraznos ha culminado (Hughes y Dorn, 2002). En Brasil, a fines de la década del 80 ya se reportaba la incidencia de grafolita en manzano; en el estado de Santa Catarina se le adjudican daños que alcanzaron hasta el 90% de los frutos (Reis *et al.*, 1988). En Uruguay se determinó que grafolita pasa a ser la especie predominante en manzana a partir de diciembre y hasta cosecha, en montes con confusión sexual de carpocapsa y aplicaciones reducidas de insecticidas. Los daños pueden superar a los de carpocapsa alcanzando hasta el 60% de la fruta (Núñez y Paullier, 2006).

Las cinco generaciones de grafolita se cumplen desde setiembre a abril, lo que hace que las peras y manzanas, principalmente tardías, aparezcan como un hospedero potencial. El riesgo de ataque de grafolita a estos frutales se ve favorecido por la estructura de los predios, donde en pequeñas superficies se suelen combinar varias especies frutales. En promedio más de la mitad de los cultivos se encuentran en predios menores a 10 hectáreas (MGAP-DIEA, 2010). Agrava esta situación, el hecho de que a fines de febrero todas las variedades de duraznos ya han sido cosechados, favoreciendo la migración de la plaga hacia otros cultivos en busca de alimento.

1.2.4 Daños

En duraznero, grafolita prefiere alimentarse de brotes, a los cuales barrena, provocando su marchites y la exudación de goma, pudiendo una larva afectar varios brotes. Cuando disminuye la brotación, la larva penetra los frutos para alimentarse de la pulpa. Realiza galerías superficiales más o menos zigzagueantes en frutos pequeños, las que se hacen más profundas en frutos desarrollados. Se pueden ver dos tipos de daño en fruto en función de si la larva penetra al fruto luego de haberse alimentado en un brote o si es neonata. En el primer caso se ve un orificio lateral relativamente grande, con una hoja adherida debido a la exudación de goma, mientras que las larvas recién emergidas penetran por la zona del pedúnculo y el daño es muy poco perceptible al inicio. Hasta principios de diciembre los daños son leves o poco significativos, y a partir de ese momento se incrementan exponencialmente pudiendo ser moderados a muy severos, dependiendo del período de maduración del cultivar y las características del año. En el caso de membrillero ataca fundamentalmente frutos haciendo galerías similares a las de los duraznos (Núñez y Paullier, 2006).

Cuando *G. molesta* ataca manzanas sus daños pueden diferenciarse de los de carpocapsa fundamentalmente porque no se alimenta de semilla y por la forma sinuosa de las galerías. Además la larva de grafolita presenta en el último segmento abdominal una estructura en forma de peine, denominada peine anal, que utilizando una lupa permite diferenciarla de carpocapsa (Núñez y Paullier, 2006).

1.2.5 Capacidad de dispersión

Estudios realizados a gran escala, determinaron que en ambos sexos la capacidad de dispersión de *G. molesta* es de aproximadamente 300 m, aunque una proporción de la población es capaz de movimientos considerables entre hábitats. De acuerdo a esta información, los movimientos desde el duraznero al manzano pueden darse a nivel local entre cultivos intercalados, o entre predios contiguos (Steiner y Yetter 1933, Yetter y Steiner 1932). Estudios más recientes de monitoreo de machos

con trampas de feromonas en Armenia y Hungría determinaron que el vuelo fue principalmente dentro del cultivo (Hughes y Dorn, 2002). Atanov *et al.* (1991) plantean que los vuelos en busca de alimento se dan dentro de un radio de 50 a 70 m, con vuelos máximos de 200 a 250 m. Asimismo los estudios de Hughes y Dorn (2002) realizados en laboratorio sugieren que las poblaciones de *G. molesta* son predominantemente sedentarias, y que una proporción de la población tiene la capacidad de realizar vuelos prolongados entre los cultivos pudiendo infestar predios contiguos; las hembras grávidas parecen ser los principales colonizadores de esta especie.

1.3 EL MANEJO DE LA PLAGA

En Uruguay podría clasificarse a los sistemas que utilizan los productores para el manejo de plagas en tres grupos: 1) El sistema de Producción Integrada, en el cual se aplican insecticidas en función de la presencia o abundancia de una plaga, o de los daños detectados en el cultivo. En este sistema se utilizan trampas para el monitoreo de lepidópteros y se complementa con evaluaciones de daño en el monte 2) El sistema que se basa para realizar las aplicaciones, en los boletines emitidos por el Servicios de Pronósticos Fitosanitarios de la DGSA –MGAP. 3) El sistema en que los productores realizan aplicaciones de plaguicidas en forma calendario, buscando mantener el cultivo protegido mediante aplicaciones continuas sin considerar el momento óptimo de aplicación (momentos de mayor susceptibilidad de la plaga) y a veces ni siquiera el hecho de que este presente o no la plaga (Scatoni *et al.*, 2003).

1.3.1 Sistemas de pronóstico fitosanitario

El uso racional y eficiente de los métodos químicos de control exige el conocimiento de parámetros biológicos sobre la fenología del huésped, dinámica poblacional de la plaga en el predio o en la zona productiva, parámetros climáticos como ser temperaturas diarias e intensidad de precipitaciones, lo que hace compleja

la toma de decisiones para definir una aplicación. La falta de información dificulta la toma de decisiones o induce a tomar decisiones excesivamente conservadoras que terminan en un abuso en la utilización de plaguicidas. La finalidad del sistema de pronóstico es racionalizar las aplicaciones de plaguicidas tratando de realizarlas en el momento oportuno según la epidemiología propia de cada enfermedad o plaga, a los efectos de disminuir el uso de agroquímicos (García, 2005). El sistema entonces debe prever el estado de desarrollo en que se encuentra la plaga en distintos momentos del ciclo del cultivo, para lo cual se debe analizar la información climática y la proveniente del monitoreo de plagas en el campo. Varias poblaciones de insectos pueden ser pronosticadas mediante modelos fenológicos usando parámetros climáticos, generalmente temperatura de suelo o aire.

En Uruguay, los sistemas de pronóstico para frutales de hoja caduca fueron implementados por investigadores de la Estación Experimental Granjera Las Brujas (CIAAB-MGAP) entre 1960 y 1970. Desde ese entonces y hasta 1990 dicha estación fue la responsable de dar las alertas para plagas de frutales al sector productivo. Desde 1990 el servicio pasó a estar a cargo de la Dirección General de los Servicios Agrícolas del MGAP. Actualmente, el sistema brinda información sobre carpocapsa y grafolita, emitiendo boletines en los momentos en que se registran picos de población de machos adultos, pronosticando a partir del cálculo de grados día el momento de emergencia de larvas. Los picos de vuelo de adultos se determinan mediante el monitoreo de 18 trampas de feromona distribuidas en la zona frutícola sur, Montevideo y Canelones, las que son revisadas dos veces por semana. El sistema cuenta además con una página web donde el productor puede suscribirse e intercambiar información

http://www.mgap.gub.uy/DGSSAA/DivOperaciones/Doper_Serfitos_PF_Pronos.htm

Los sistemas de pronóstico basados únicamente en la variabilidad temporal de las plagas contribuyen a dirigir la aplicación al momento de mayor susceptibilidad de las plagas. Sin embargo estos métodos son limitados ya que pueden usarse principalmente para plagas con generaciones discretas, cuando la superposición de generaciones aumenta el método es menos eficiente. Estos sistemas abarcan zonas amplias y se basan en promedios de capturas, sin considerar las diferencias que

pueden existir en distintas áreas, pudiendo realizarse tratamientos a destiempo o en zonas donde no son necesarias (García, 2005). El agregado del concepto de distribución espacial permitirá ajustes en base a la variabilidad de la plaga en el espacio pudiendo favorecer la reducción de tratamientos y disminuir el impacto ambiental de las medidas de control en áreas extensas (Koul *et al.*, 2008). En el caso de Grafolita, cuyas generaciones se dan en forma discreta al inicio, ocurriendo una gran superposición hacia el final del ciclo estacional, el ajuste de los niveles poblacionales según zonas sería una mejora significativa.

1.4 ANÁLISIS ESPACIAL

Los procedimientos estadísticos que han sido a menudo más utilizados para resumir información y poder realizar inferencias significativas sobre un fenómeno de interés han estado basados generalmente en técnicas paramétricas. (Legendre *et al.* 2002, Rossi *et al.* 1992). Las herramientas estadísticas tradicionales, clasifican a la distribución de poblaciones de insectos como agregada, uniforme o aleatoria, basándose en valores de las medias, varianzas y distribuciones de frecuencia (índice varianza/media, ecuación de Taylor, parámetro k de la distribución Binomial Negativa, entre otros) (Farias *et al.*, 2004). Estas técnicas no permiten asociar los datos muestrales con su ubicación en el espacio, ignorando la distribución de las muestras (Ellsbeury *et al.*, 1998). El propio concepto de ecología, que hace referencia a las interacciones entre los organismos y el ambiente presupone la existencia de dependencia temporal y espacial entre los distintos componentes del ecosistema (Rossi *et al.*, 1992). La presencia de distribuciones no aleatorias en el espacio parece ser la norma más que la excepción para los insectos (Stewart *et al.*, 2000). Generalmente los fenómenos distribuidos en el espacio, presentan un comportamiento caótico o aleatorio a escala local, pero estructural a gran escala (Maestre, 2006).

1.4.1 La geoestadística y su aplicación

Históricamente los métodos geoestadísticos han sido aplicados al estudio de variables de suelos y aguas. Los trabajos orientados a especies plaga no datan de mucho tiempo (Moral 2004, Liebhold *et al.* 1993). Asimismo, en los estudios de distribución espacial de insectos se han priorizado las pasturas y las plantaciones forestales, posiblemente por su escala de manejo. Es sin embargo esperable que con el desarrollo de estas herramientas se vaya incorporando el concepto de manejo regional de plagas a nivel de todos los cultivos. Los sistemas de alerta por regiones ya se han incorporado con éxito en algunas partes del mundo utilizando los SIG y la geoestadística como herramienta básica (Liebhold *et al.*, 1993). Un nuevo concepto en Manejo Integrado de Plagas “el MIP en el Sitio Específico” acompaña el desarrollo de estas nuevas herramientas (Emmen, 2004). Esta técnica requiere de muestreos intensos con el objetivo de medir la variabilidad espacial de las densidades de plaga. Con esta información es posible elaborar mapas con las estimaciones de densidad a partir de distribuciones espaciales. Los mapas resultantes sirven para tomar diferentes decisiones de manejo de la plaga en zonas con diferente densidad poblacional, independientemente de la estrategia de control a seleccionar (control químico, biológico, confusión sexual) (Emmen 2004, Ribes-Dasi *et al.* 1998 y 2001).

Ha sido demostrado que la variable número de insectos capturados en trampas es regionalizable y que la obtención de mapas de distribución mediante iso-capturas es factible si se cuenta con un número suficiente de registros rigurosos y sistemáticos (Tort, 2004). La obtención de mapas ha permitido la optimización de los sistemas de pronóstico y monitoreo, determinando la localización y el número mínimo de trampas a colocar en los sitios que indican las isolíneas (Ribes-Dasi *et al.*, 2001). La información obtenida permite identificar zonas en las que por sus densidades poblacionales y características particulares se puedan aplicar a gran escala estrategias de control selectivas como la confusión sexual o la liberación de enemigos naturales (Knight, 2008).

Dentro de las experiencias generadas en otros países, trabajos realizados en España aparecen como muy cercanos a la finalidad del presente trabajo. En la región

de Lleida, a partir de los estudios iniciados por Ribes Dasi *et al.* (1998) sobre distribución espacial de *Cydia pomonella* utilizando técnicas geoestadísticas, se llegó al año 2004 con 65.000 hectáreas cubiertas por 450 trampas de feromona georeferenciadas. La información generada era devuelta a los técnicos asesores mediante el Servicio de Protección Fitosanitaria procesada en mapas de isocapturas (Ribes Dasi *et al.*, 2005). Esta experiencia concreta demuestra el potencial de aplicación de estas herramientas en los sistemas de pronóstico de plagas.

1.4.2 Geoestadística: el método

El desarrollo de la geoestadística y los sistemas de información geográfica permiten el análisis de la distribución de las plagas en el espacio posibilitando el manejo de grandes matrices de datos. Mediante la geoestadística se describen las correlaciones a través del espacio y / o tiempo. Estos procedimientos son usados para cuantificar y modelar correlaciones espaciales mediante el uso de semi-variogramas, correlogramas y funciones de covarianza e interpolando y extrapolando puntos de muestreo mediante kriging (Liebhold *et al.*, 1993).

Entre 1960 y 1970 Matheron (1970) desarrolló la teoría de las variables aleatorias regionalizables, variables que presentan una estructura espacial de correlación, promoviendo el desarrollo de lo que hoy se conoce con el nombre de geoestadística (Maestre, 2006). La geoestadística es la aplicación de la teoría de las variables regionalizadas a la estimación de procesos o fenómenos espaciales. (Chica Olmo *et al.*, 2007). Las variables regionalizables se caracterizan por presentar una posición en el espacio. Se plantea una Función Aleatoria, asociándole a cada punto x del espacio una Variable Aleatoria, obteniéndose para dos puntos diferentes x y $x+h$, dos variables aleatorias $Z(x)$ y $Z(x+h)$ diferentes pero no independientes, siendo su grado de correlación el que reflejará la espacialidad del fenómeno en estudio (Cuador, 2004). Se supone que cuanto más cerca se encuentren los puntos muestreados es mayor la probabilidad de que los valores de las variables sean similares (Rossi *et al.*, 1992).

El empleo de técnicas geostatísticas requiere la asunción de condiciones de estacionaridad del proceso espacial:

1- Estacionaridad Estricta Se dice que $Z(x)$ es estrictamente estacionaria si la función de distribución de probabilidades de las variables aleatorias regionalizadas $Z(x_i)$ son iguales entre sí, independiente de la localización x_i , lo que requiere que los momentos de distinto orden para cada variable aleatoria regionalizada sean completamente independientes de la localización x_i .

2- Estacionaridad de Segundo Orden Esta condición es más frecuente en la práctica e implica que:

-La $E(Z(x_i)) = m$, existe y no depende de la localización x_i .

-La función covarianza, $Cov(Z(x_i) - Z(x_j))$, existe y sólo depende de la longitud del vector $h = x_i - x_j$. Siendo que $C(h) = Cov(Z(x_i), Z(x_j)) = E(Z(x_i), Z(x_i+h)) - m^2$. La existencia de covarianza implica que la varianza existe, es finita y no depende de h .

es decir: $Var(Z(x_i)) = E((Z(x_i) - m)^2) = C(0)$, $\forall x$ y la siguiente relación entre la semivarianza y la covarianza $\gamma(Z(x+h), Z(x)) = \gamma(h) = 1/2 E (Z(x+h)-m - Z(x)+m)^2 = 1/2(E (Z(x+h)-m)^2 + E(Z(x)-m)^2 - 2E(Z(x+h)-m)(Z(x)-m)) = 1/2\sigma^2 + 1/2\sigma^2 - E((Z(x+h)-m)(Z(x)-m)) = \sigma^2 - C(h)$

3- Estacionaridad Débil o Intrínseca Existen algunos fenómenos en la naturaleza en los que la varianza no es finita. En estos casos se trabaja con la hipótesis que pide que los incrementos $(Z(x+h)-Z(x_i))$ sean estacionarios. Una función aleatoria $Z(x)$ se dice intrínseca cuando:

a) Su esperanza matemática existe y no depende de la localización x_i . $E(Z(x)) = m$, $\forall x$.

b) Para todo vector h el incremento $(Z(x+h) - Z(x))$ tiene varianza finita y no depende de la localización x_i : $Var(Z(x+h) - Z(x)) = E((Z(x+h) - Z(x))^2) = 2\gamma(h)$ $\forall x$.

Cuando se cumple esta condición se dice que la función aleatoria $Z(x)$ es homogénea. Existen muchos procesos que no tienen varianza finita y sin embargo, poseen una función variograma finita. Cuando la esperanza de la variable no es la misma en todas las direcciones o cuando la correlación depende del sentido en que esta se determina no habrá estacionalidad. En la práctica resulta compleja la identificación de la estacionalidad. Uno de los métodos que suelen emplearse son

gráficos de dispersión de la variable respecto a las coordenadas con el propósito de identificar posibles tendencias. (Giraldo 2002). En la práctica según Armstrong y Carignan (1997) las hipótesis que más se presentan son: La Estacionariedad de Segundo Orden y la Hipótesis Intrínseca.

Moral (2004) plantea que existen tres etapas claves para llevar adelante un trabajo geoestadístico. El análisis exploratorio de los datos, el análisis estructural, y las predicciones.

1.4.2.1 Análisis exploratorio de los datos

El análisis exploratorio es una etapa previa a la aplicación de cualquier técnica estadística. Este procedimiento permite evaluar la calidad y consistencia de la información, investigar la distribución de las variables de interés, investigar adherencia a las suposiciones estadísticas necesarias en etapas posteriores del análisis, resumir información mediante diferentes estadísticos y gráficos, evaluar la necesidad de realizar transformación de las variables de interés y detectar valores “fuera de serie” o “outliers”, entre otras cosas. Se pueden incluir: medidas de tendencia central: media, mediana, percentiles, valores máximos y mínimos; medidas de dispersión: desviación estándar, varianza. Indicadores de simetría como la curtosis y coeficiente de asimetría. También puede ser útil incluir gráficos de frecuencia y diagramas de dispersión. Dentro de los estadísticos más utilizados como referencia se consideran la proximidad de los valores de la media y la mediana, que la distribución de los datos esté próxima a la curva normal y que no existan valores extremos que afecten el desarrollo del análisis estructural. También pueden aplicarse test de normalidad para definir la necesidad de transformación de los datos (Gallardo 2006, Cuador 2004).

1.4.2.2 Análisis estructural: variograma empírico y ajuste de un modelo teórico

El análisis estructural es el estudio de la continuidad espacial de la densidad, proceso en el cual se construye un modelo empírico al que posteriormente se le ajusta un modelo teórico (Gallardo 2006, Moral 2004, Rossi *et al.* 1992). Actualmente existe una amplia gama de herramientas geoestadísticas que facilitan el análisis estructural de las distribuciones entre las cuales se destacan los gráficos de dispersión- h o “ h -scattergrams” y los variogramas (Cuador 2004, Moral 2004, Rossi *et al.* 1992).

Gráficos de dispersión- h En geoestadística la letra negrita h se usa generalmente para representar un vector de separación en el espacio, el que posee una dirección y una magnitud de distancia. Muchas veces sin embargo la distancia entre intervalos se refiere a una magnitud escalar, siendo esta un promedio de todas las direcciones, en cuyo caso se utiliza la letra “ h ” en lugar de “ h ” (Rossi *et al.*, 1992). Generalmente serán muchos los puntos muestrales que disten h entre sí. En un gráfico de dispersión lo que se hace es representar los valores $Z(x)$ frente a los valores $Z(x+h)$, siendo éstos los valores que toma la variable en dos puntos distintos, separados por una distancia h . Si los valores son similares, la nube de puntos en el gráfico estará próxima a la bisectriz del primer cuadrante, lo que estaría indicando la existencia de correlación entre las variables. Es de esperar que cuanto menor sea la distancia h los puntos se encuentren más cerca de la bisectriz, aumentando su dispersión a medida que aumenta el valor de h . Una de las ventajas que presentan los gráficos de dispersión es que su asimetría respecto a la recta de 45° puede mostrar tendencias o diferencias en las medias y varianzas locales. Aunque esta herramienta da una buena idea sobre el grado de correlación de la variable en estudio su uso es poco práctico. El mismo requiere la elaboración de tantos gráficos como distancias h se consideren para la zona en estudio, y más aún si se analizan distintas direcciones. Es aquí que aparece el variograma o semi-variograma, la covarianza y el correlograma como herramientas más simples para resumir esta información (Moral 2004, Rossi *et al.* 1992).

Función semi-variograma La mayoría de los estudios de distribución poblacional de insectos realizados últimamente utilizan la función semi-variograma para analizar la estructura espacial de la variable de interés. Algunos ejemplos son los estudios de distribución espacial de *Diabrotica virgifera* (Midgarden, 1993), *Cydia pomonella* (Tort, 2004), *Alabama argillacea* (Tannure y Mazza, 2004), *Xylella fastidiosa* (Farias *et al.*, 2004), *Jacobiasca iybica* (Ramírez-Dávila *et al.*, 2005), *Leptinotarsa decemlineata* (Boiteau, 2005), *Phymastichus coffea* (Castillo *et al.*, 2006), *Helicoverpa armigera* (Moral *et al.*, 2006), *Grapholita molesta* y *Anarsia lineatella* (Sciarretta y Trematerra, 2006) entre otros.

La función variograma es función de la distancia entre puntos, h y la densidad en cada punto, $Z(x)$. Se define como “la media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados una distancia h ” (Journel y Huijbregts, 1978). Esta función resume los gráficos de dispersión para todos los posibles pares de datos y distancias h . Se estima con la ecuación:

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

Siendo $\hat{\gamma}(\mathbf{h})$ el estimador de la semivarianza de la densidad entre puntos separados por una distancia h , y $N(h)$ el número de pares de puntos separados por esta distancia (Cuador 2004, Rossi *et al.* 1992).

Tradicionalmente se definen dos tipos de variabilidad espacial, la estructural y la estocástica. La diferencia entre estos dos tipos es escala dependiente. El variograma es un modelo estadístico para el análisis de dependencia espacial a gran escala, o estructural (Rossi *et al.*, 1992).

Para el análisis estructural primero debe elaborarse el variograma experimental o empírico. Esto implica aplicar la función $\hat{\gamma}(h)$ para todas las distancias h previamente definidas, que generalmente son múltiplos de un valor inicial determinado por la distancia promedio de muestreo. Cuando el variograma se construye como un promedio de todos los posibles pares de datos sin importar la

orientación o dirección de uno respecto al otro, se le llama variograma omnidireccional. Los variogramas también pueden ser calculados para direcciones específicas, para realizar lo que se conoce como análisis de anisotropía, en situaciones en que se crea que pueda existir diferente comportamiento de la variable según la dirección. (Comas *et al.* 2012, Cuador 2004, Moral 2004, Rossi *et al.* 1992). La anisotropía puede deberse a factores tales como dirección predominante del viento, distribución de los hospederos, presencia de refugios, barreras físicas, entre otros. La mayoría de los estudios de distribución espacial en insectos asumen condiciones de anisotropía, y si bien gran parte de estos trabajos fueron realizados en pequeñas áreas, Comas *et al.* (2012) no encontraron condiciones de anisotropía significativas en un estudio de distribución de insectos en área de 160.000ha. En cualquier caso, los distintos valores de $\hat{\gamma}(h)$ se representan gráficamente en función de h y se le ajusta al variograma experimental obtenido, un modelo teórico. Al realizar análisis de anisotropía se obtienen tantas funciones variograma como direcciones se analicen. Se debe considerar para el análisis geoestadístico que el número de muestras requeridas para la estimación de un semi-variograma es al menos 100 en condiciones de isotropía y superior si existe anisotropía, asimismo para el cálculo de cada punto del semi-variograma se requieren como mínimo 30 pares de datos (Isaaks y Srivastava, 1989).

Ajuste de un modelo teórico La selección del modelo y sus parámetros es un punto clave en el proceso. El ajuste del modelo teórico puede hacerse mediante un proceso visual, interactivo, modificando los valores de los parámetros hasta encontrar el modelo adecuado o seleccionarse realizando un ajuste automático mediante el método de los mínimos cuadrados (Cuador, 2004). Igualmente el ajuste automático no tiene porque tener mejores resultados en el proceso de estimación. Es válido mencionar que el objetivo no es lograr el mejor ajuste de una función a una serie de puntos, sino que se debe seleccionar el modelo que explique mejor el patrón de variabilidad espacial de la variable en estudio aunque este no sea el mejor desde el punto de vista estadístico (Moral, 2004). Gallardo (2006) plantea que si no se tiene información a priori del comportamiento de las variables se puede dejar el ajuste del modelo librado a un software, pero si se tiene información a priori del

comportamiento de la variable puede ser más adecuado hacer un ajuste manual de los parámetros. El ajuste automático de los modelos mediante mínimos cuadrado o el r^2 de la ecuación no necesariamente produce modelos con mayor significado biológico. (Cuador 2004).

Los modelos teóricos de semivariogramas más utilizados son el esférico, exponencial, potencial, lineal, gaussiano y el efecto pepita puro (Gamma design software 2006, Armstrong y Carignan 1997, Kiyono y Suzuki 1996) (Figura1). Estos modelos pueden ser descriptos basados en tres parámetros. Aunque por definición el variograma es cero en el origen, en la práctica las funciones obtenidas muestran discontinuidad en el origen, dada por la variabilidad espacial presente a distancias menores a la mínima distancia de muestreo. Esto se conoce como efecto pepita (C_0), y está representado por el punto de intercepción del variograma con el eje de las ordenadas ($Y, h=0$). Generalmente, el variograma aparece como una función monótona creciente que alcanza un punto donde se estabiliza, la meseta (C_0+C), representada por la asíntota del modelo, equivalente a la varianza muestral, donde C indica que magnitud de la variabilidad esta explicada por la correlación del fenómeno en estudio. El valor de h que determina la meseta se conoce como rango o alcance. El rango o alcance (A) representa la distancia promedio en torno a un punto hasta la cual existe algún grado de correlación espacial. La relación $C_0/(C_0+C)$ es un indicador del grado de autocorrelación de la variable. Valores cercanos a uno ($>0,75$) indican baja correlación y valores cercanos a 0 ($<0,25$) indican alta correlación (Cambardella *et al.*, 1994). Se sugiere que en un modelo que explique bien la realidad la pepita no debe representar mas del 50% de la meseta (Giraldo, 2002)

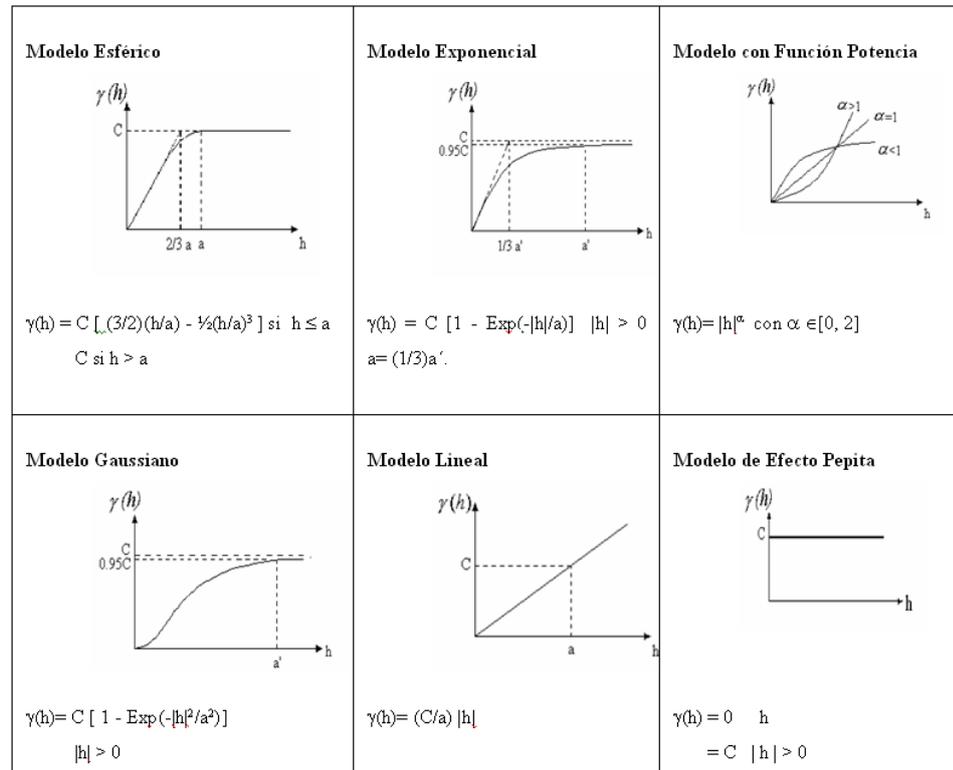


Figura 1: Modelos teóricos más usados en el ajuste de semivariogramas. Adaptado de Cuador, 2004

El modelo denominado efecto pepita puro correspondería a un fenómeno puramente aleatorio, sin correlación entre las muestras, independientemente de la distancia h que las separe. En este caso el variograma tiende a la horizontalidad, con valores próximos a la varianza muestral. Puede darse también que el variograma no tienda asintóticamente a la varianza, sino que tienda al infinito cuando así lo haga h , lo que implicaría que existe dependencia espacial más allá de la distancia máxima de muestreo (Moral 2004, Rossi *et al.* 1992).

Cuando dentro de los objetivos del trabajo se plantea comparar los parámetros de distintos modelos obtenidos, es conveniente mantener el mismo tipo de modelo en todos los casos. Se debe considerar que los rangos de los modelos exponenciales y gaussianos alcanzan la meseta en forma asintótica mientras que el modelo esférico es el único que alcanza una meseta verdadera, por lo tanto la meseta como el alcance no

son directamente equivalentes entre modelos. El modelo esférico es en general el más usado por presentar una meseta verdadera (Gallardo, 2006).

Validación cruzada Como forma de validar el modelo escogido, independientemente del método utilizado, se recomienda el método de validación cruzada. Este método consiste en ir suprimiendo cada uno de los valores muestreados y estimarlos a partir del resto de los valores mediante el procedimiento de krigeaje mencionado en el siguiente punto. Realizando este procedimiento para cada uno de los puntos muestreados se obtienen tantos errores de validación como datos de muestreo. Los errores de validación están dados por la diferencia entre los valores observados menos los estimados mediante krigeaje. Algunos criterios para la selección del modelo son: que el error medio ($E(x_i) = (1/n) \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]$) debe tender a cero, que el cuadrado medio del error ($CMe = (1/n) \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2$) sea pequeño, y que la medida $(1/n) \sum_{i=1}^n \{ [z^*(x_i) - z(x_i)] / \sigma \}^2$ debe ser igual o menor a uno, o lo que es lo mismo que el CMe sea $\leq a \sigma^2$ (Vieira *et al.* 2010, Legrá *et al.* 2004).

1.4.2.3 Predicciones: Método de Krigeaje

El método geostatístico utilizado para la estimación de valores en puntos no muestreados es el krigeaje (del inglés “kriging”). Este método considera para la estimación tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras, utilizando para la estimación los resultados obtenidos en el análisis estructural. El método de krigeaje permite calcular la varianza del krigeaje, lo que brinda un error de estimación que depende del modelo de variograma seleccionado y de la localización de los datos muestreados, dando un indicador de la bondad de las estimaciones (Cuador 2004, Armstrong y Carignan 1997, Journel y Huijbregts 1978).

1.4.3 Otras herramientas para el análisis espacial

Si bien la geoestadística aparece como una herramienta muy útil y precisa para realizar estimaciones de la distribución espacial de una variable, existen otras herramientas que aunque más limitadas pueden implementarse para conocer como se distribuye una variable en el espacio. Los sistemas de información geográfica en sus diferentes formatos de software permiten elaborar mapas incorporando todo tipo de información independientemente del origen de la misma, y a través de diferentes formatos, puntos, líneas o polígonos (vectores), así como la superposición de imágenes prediseñadas. Estas herramientas permiten graficar la distribución de una variable independientemente de su continuidad espacial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios de distribución espacial se realizaron en la zona sur del país y abarcaron un área de aproximadamente 50.000 ha ubicadas entre los vértices NO $x=555577$ $y=6176372$; SE, $x=576335$ $y=6149388$ (UTM WGS 84). Comprende las localidades: Melilla, Las Brujas, El Colorado, Villa Nueva, Los Cerrillos, Las Violetas, Progreso, Juanicó y Canelón Chico (Figura 2A).

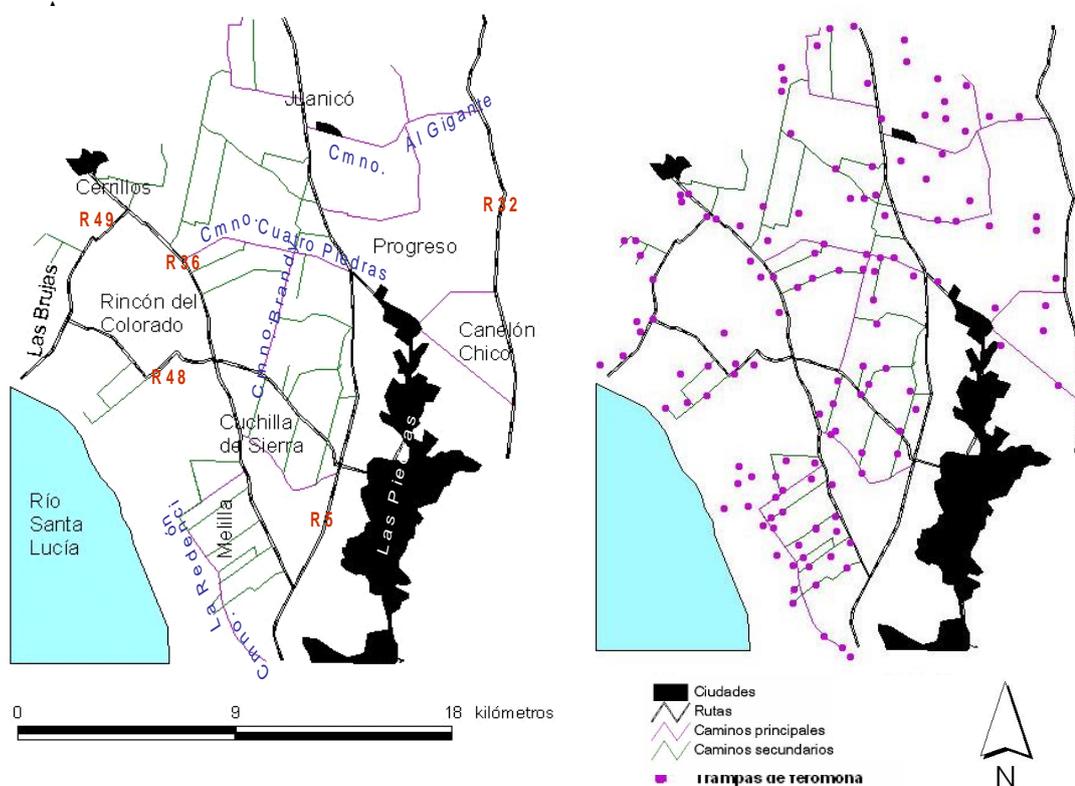


Figura 2: A: Principales localidades, rutas y caminos del área de estudio. B: Distribución de las trampas de feromona en el área.

Colecta de datos Para determinar la abundancia de poblaciones de grafolita se utilizaron trampas tipo wing cebadas con feromona (Isca Tecnologías Ltda., Ijuí, RS, Brasil). Se instalaron y georeferenciaron 135 trampas en montes de duraznero, separadas a una distancia mínima de entre 500 y 1000m, en función de la

distribución del hospedero en la zona (Figura 2B). Las trampas se revisaron semanalmente, en el período setiembre-abril de cada año, contabilizándose la cantidad de machos adultos. El monitoreo se realizó en tres años consecutivos, desde setiembre del 2007 hasta abril del 2010.

Procesamiento de datos Para el análisis temporal se utilizó la información de promedios de capturas semanales total y según zona, y las capturas acumuladas según generación. Para el análisis espacial se procesaron por separado las cinco generaciones de grafolita y el total de capturas acumuladas, diferenciándose cada generación mediante la constante térmica (535GD). Las estimaciones de grados día se iniciaron el primero de setiembre de cada temporada, finalizando a mediados de abril, momento en que no se registraron más capturas. Se realizó el análisis exploratorio de los datos verificándose la normalidad de los mismos mediante el test de normalidad de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling. En todos los casos los datos fueron normalizados mediante transformaciones logarítmicas o raíz cuadrada. Para procesar la información se utilizó el software Geostatistics for the Environmental Sciences (GS+ Versión 7, Gamma design software, Plainwell, Michigan, 2006). Con este programa se realizó parte del análisis de variabilidad espacial y la elaboración de mapas mediante krigeado. Se construyeron los variogramas experimentales graficando la semivarianza de las capturas en función de la distancia. Se predeterminó un máximo de quince intervalos distanciados entre 899 y 1500m. La distancia máxima para el análisis estructural fue 13500m con pequeñas variaciones según la temporada, equivalente a la mitad de la distancia entre los 2 puntos mas distantes. Para cada uno de los variogramas empíricos construidos, se ajustaron diferentes modelos teóricos. Se evaluó el modelo que el GS+ proponía por defecto y el modelo esférico, que algunos autores lo recomiendan para estudios biológicos (Ramírez-Dávila *et al.*, 2005, Moral 2004). Las estimaciones de los parámetros de cada modelo obtenidos en el GS+ se usaron como valores iniciales para ajustar mediante un proceso iterativo, los modelos geoestadísticos definitivos. Se utilizó el procedimiento Mixed del paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2006). La significancia de la incorporación de la correlación espacial en los modelos obtenidos con respecto al modelo nulo que implica independencia espacial, se probó mediante

una prueba de razón de verosimilitud. A partir de los modelos que resultaron significativos, se realizaron interpolaciones mediante la técnica de krigeaje ordinario utilizando el programa GS+. Este proceso implica que cada punto observado es individualmente removido y su valor es estimado mediante el krigeaje, teniendo para cada trampa el valor observado y estimado. A partir de estos datos se calcularon cinco indicadores (Ramírez-Dávila *et al.* 2005, Legrá *et al.* 2004) que junto con el AIC (Criterio de información de Akaike) se utilizaron para seleccionar el modelo de mejor ajuste (Cuadro 1). Para cada modelo se midió el grado de dependencia espacial mediante la relación de los parámetros pepita y meseta (C_0/C_0+C), y se determinó el valor del alcance que indica hasta qué distancia existe correlación espacial entre las capturas registradas. Finalmente, se retransformaron los datos.

Cuadro 1: Indicadores utilizados para la selección de los modelos

Nombre del indicador y valor ideal	Estimador
Error medio Debe ser igual a cero	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))$
Error medio cuadrado Debe ser $< \sigma^2$ (Samper y Carrera 1996, Hevesi <i>et al.</i> 1992)	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2$
Coefficiente de correlación entre los valores estimados y los observados Debe ser cercano a uno	$\text{Corr}(Z; Z^*)$
Indicador de precisión Valor ideal: 100% (Adaptado de Legra <i>et al.</i> , 2004)	% de $Z^*(x_i)$ que cumplan que: $-a \leq (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \leq a$, para $a= 5$ capturas semanales y $a= 10$ capturas semanales

$Z(x_i)$: valor observado en el punto x_i , $Z^*(x_i)$ valor estimado en el punto x_i , n : total de puntos de muestreo.

Los mapas de isocapturas de grafolita se elaboraron a partir de las estimaciones por krigeaje, que ofrece el software GS+. Se utilizó una escala de tres colores y dos tonos para cada color. El rojo indicando los sitios de mayor población, el amarillo

zonas intermedias y el verde zonas de menor población. Asimismo los tonos claros indican menor población que los oscuros.

Elaboración de mapas mediante SIG (ArcView 3.1) Con los datos de captura de machos registrados en trampas de feromona en cada punto de muestreo se elaboraron mapas, con el fin de poder comparar este patrón de distribución con el estimado a partir del krigeado. Para esto se utilizó el software Arc View 3.1 (ESRI Geoinformatik GMBH, Hannover, Alemania) con el que se ubicó cada sitio de muestreo, asignándole a cada punto un color utilizando la misma escala de colores que en los mapas obtenidos con el GS+. En este caso los valores de población se limitan a la coordenada geográfica donde se realizó el muestreo, no siendo extrapolado al resto de la superficie.

Correlación de la densidad poblacional de grafolita en función de la disponibilidad de hospederos Para relacionar las capturas de grafolita con la presencia de hospederos se utilizó el SICA (sistema de información del censo agropecuario) (MGAP-DIEA, 2000), donde el área en estudio se encuentra subdividida en 17 sub áreas, o áreas de enumeración (AE). Para cada AE se extrajeron los datos del total de explotaciones, y total de explotaciones con duraznero y con membrillero. A partir de esta información se calculó el porcentaje de explotaciones con los rubros de interés para cada AE. Posteriormente se correlacionó el promedio de capturas acumuladas anuales para cada AE, en función de la cantidad de duraznero y membrillero en cada zona, medida como porcentaje del total de las explotaciones que producen duraznos y/o membrillos. Se utilizó el índice de correlación de Spearman.

Inclusión de otros factores de potencial influencia en la distribución espacial Se realizó una encuesta a cada uno de los productores involucrados para determinar la presencia de fuentes de luz cercanas al monte, la presencia de plantas de procesamiento de fruta en el predio o alrededores, la eliminación de fruta de descarte dentro del monte y la presencia de montes abandonados en los alrededores (200m).

Información climática Para el análisis de los resultados se incluyó información climatológica de precipitaciones, temperatura media y humedad relativa

obtenida de la Unidad de Agroclima y Sistemas de Información del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (<http://www.inia.org.uy/gras/>).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ANÁLISIS TEMPORAL

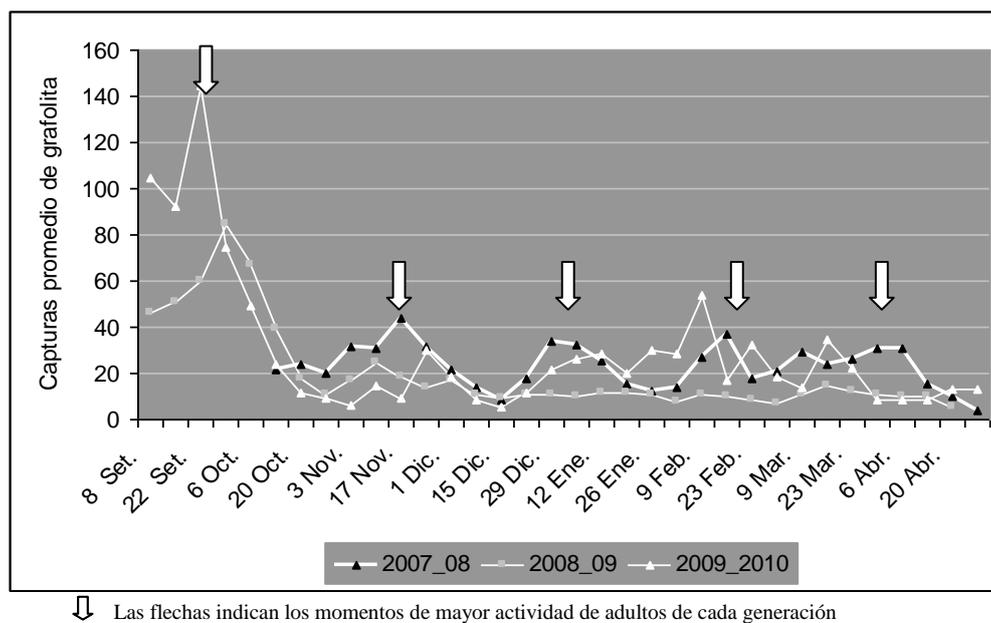
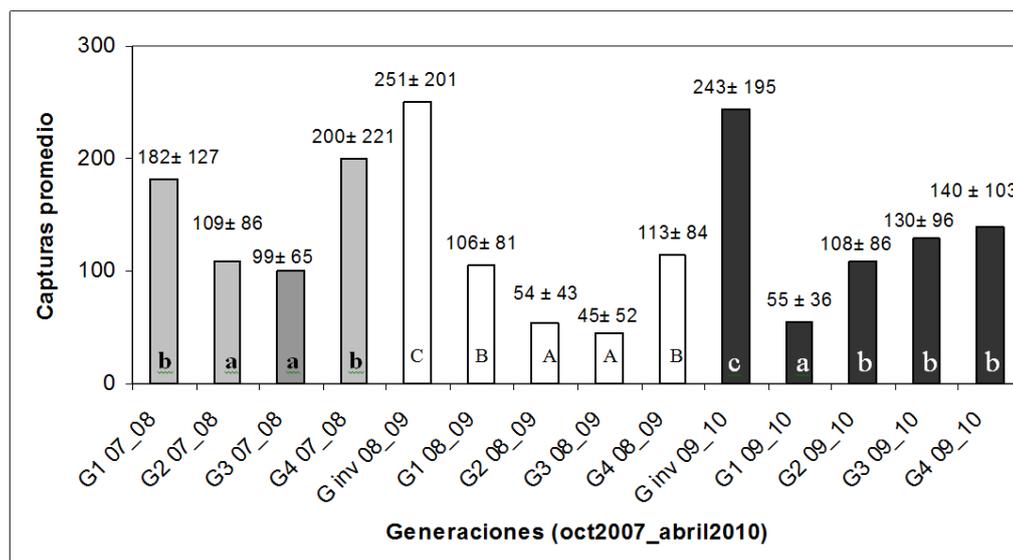


Figura 3. Promedio de capturas semanales de machos de *Grapholita molesta* en 130 trampas de feromona ubicadas en montes de duraznero de la zona frutícola sur del Uruguay durante las temporadas 2007_08, 2008_09 y 2009_2010.

Se observa en la figura 3 que si bien existe cierto desfase en las distintas temporadas respecto de cuando se dan los picos de población en cada generación, hay un patrón de capturas común. Las primeras generaciones se ven claramente definidas mientras que las dos últimas son más difusas debido a la mayor superposición de generaciones. Estos resultados coinciden con lo que reportan Núñez y Paullier (2006), quienes señalan que la mayor cantidad de adultos de la generación invernante se da a mediados de setiembre. Desde mediados a fines de noviembre se registran las máximas capturas de adultos de la primera generación. La segunda generación de adultos tiene lugar desde mediados de diciembre a mediados de enero, la tercera desde fines de enero a mediados de febrero y la cuarta desde mediados de febrero a mediados de marzo.



Se detallan sobre las barras promedio \pm sd. G inv se refiere a la generación invernante; G1: primera generación; G2: segunda generación; G3: tercera generación; G4: cuarta generación. Letras iguales indican que no existe diferencia estadística según test de Tukey ($0,001$). Se comparan las generaciones dentro de cada temporada, no entre temporadas.

Figura 4: Promedio de capturas de machos de *Grapholita molesta* en trampas de feromona según generación durante las temporadas 2007_08, 2008_09 y 2009_10.

Los registros de capturas de la generación invernante son ampliamente más numerosos que el resto siendo que en las sucesivas generaciones las capturas disminuyen, para empezar a recuperarse hacia final de temporada (Figura 4). Bovey (1966) plantea que la abundancia de las poblaciones durante la temporada, están en función de la población de la generación invernante, la que depende en primer lugar del tamaño de la población al momento de entrada en diapausa y de las condiciones climáticas del invierno y la primavera. La descendencia de los adultos de la generación invernante puede no ser tan abundante como podría esperarse puesto que las bajas temperaturas que se registran en el crepúsculo a inicios de primavera no siempre son favorables para el vuelo y la reproducción. A partir de la segunda generación la importancia de los factores climáticos disminuye progresivamente y la evolución de las poblaciones estará esencialmente condicionada por el alimento. La

abundancia de la generación invernante va a estar en función de la capacidad de nutrición de las larvas previo a entrar en diapausa.

Es factible también que el descenso de capturas entre la generación invernante y la primera generación de grafolita, esté asociado a las medidas de control que realizan los productores, basadas fundamentalmente en aplicaciones de insecticidas. Este hecho concuerda además con que hacia fines de febrero la población de grafolita tiende a aumentar, momento en el cual las aplicaciones dirigidas a su control disminuyen por estar cosechadas la mayoría de las variedades de durazneros. Esto permite la recuperación de la cuarta generación y que la descendencia de esta, la generación invernante, llegue a ser tan numerosa.

Durante la temporada 2008_09 las capturas de la segunda y tercera generación fueron aproximadamente la mitad de las registradas durante el mismo período en las temporadas 2007_08 y 2008_09. La primavera 2008 fue relativamente seca (Figura 5), siendo el régimen de precipitaciones muy inferior al promedio, al punto de que en noviembre no se registraron lluvias. Asimismo esta ausencia de precipitaciones estuvo acompañada de una menor humedad relativa en el período, en relación a los años anteriores. También en el mes de enero se registraron valores de humedad relativa menores al 70% (Figura 6).

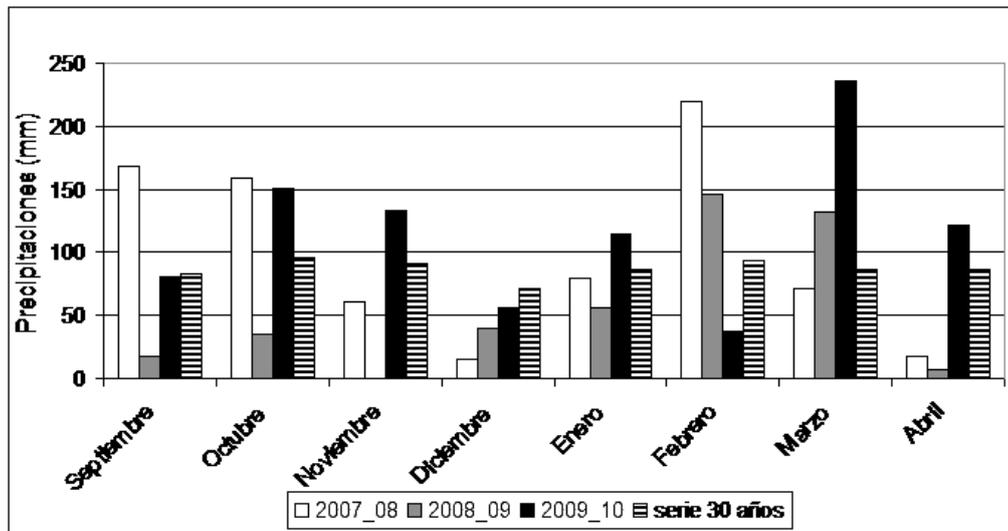


Figura 5: Régimen de precipitaciones mensuales del período setiembre-abril para las temporadas 2007_08, 2008_09, 2009_2010 y promedio de precipitaciones de los últimos 30 años extraído del Banco Climático de la Estación Experimental INIA Las Brujas

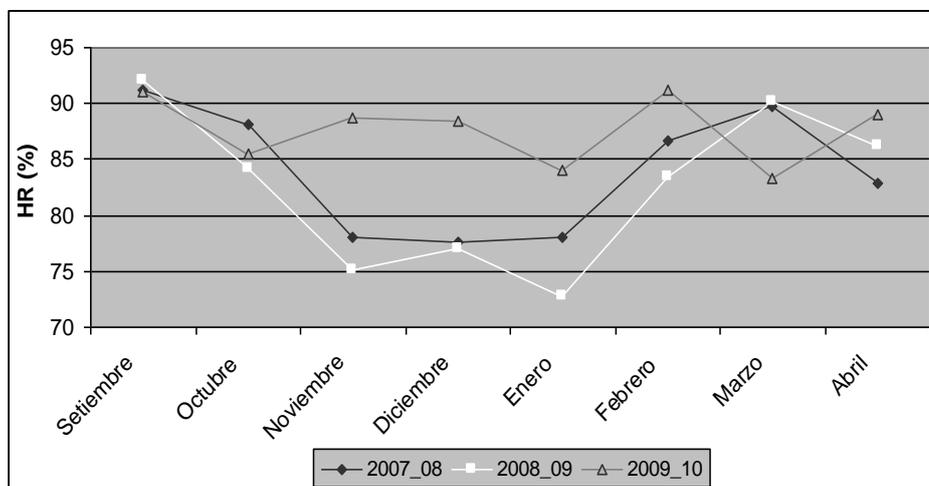


Figura 6: Humedad relativa mensual registrada durante el período setiembre-abril para las temporadas 2007_08, 2008_09, 2009_2010 extraído del Banco Climático de la Estación Experimental INIA Las Brujas

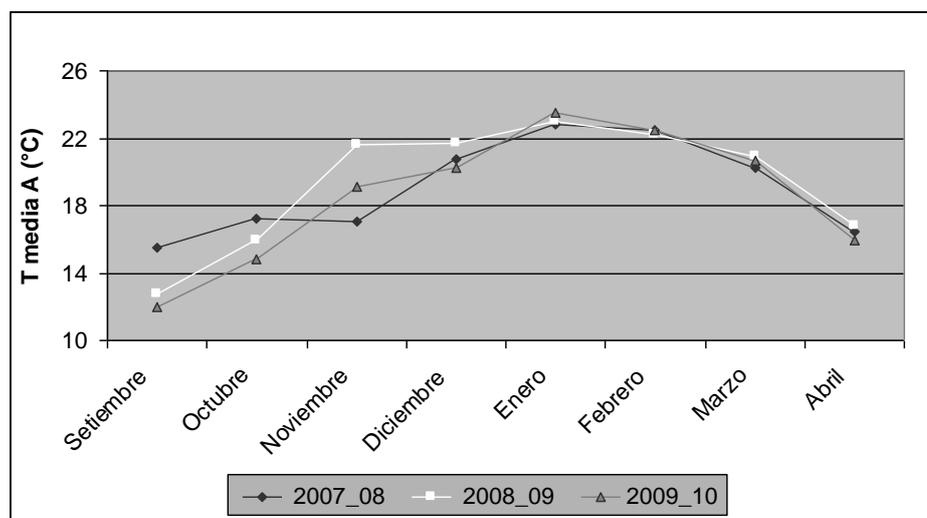


Figura 7: Temperatura media mensual registrada durante el período setiembre-abril para las temporadas 2007_08, 2008_09, 2009_2010 extraído del Banco Climático de la Estación Experimental INIA Las Brujas

Es de esperar que la ausencia de precipitaciones durante un período muy prolongado acompañada de baja humedad relativa afecte la magnitud de la población ya sea por mortalidad de huevos y/o pupas, y por generar una disminución de los brotes disponibles para la alimentación de las larvas. Delobel (1983), plantea que existe un incremento de la mortalidad de huevos del díptero *Atherigona soccata*, asociado a la baja humedad medida como déficit de saturación de aire. Además menciona que el poder de secado del aire a una HR dada varía con la temperatura, es decir que a mayor temperatura a una misma humedad mayor sería el potencial de secado. Así mismo Torres-Vila *et al.* (1993) plantean que las pupas no diapausantes de *Lobesia botrana* muestran una mortalidad progresivamente creciente hacia las humedades relativas extremas. En el 2008_09 coincide el período sin precipitaciones, mayores temperaturas y menor HR, con el período de vuelo de adultos cuyos huevos dieron origen a la segunda generación (Figuras 3, 5, 6 y 7).

Otro aspecto a destacar es la variabilidad en los registros de capturas que se dan entre predios dentro de una misma generación, alcanzándose variaciones que van desde cero hasta 1291 capturas acumuladas por trampa en un mismo período de muestreo (Cuadro 2).

Cuadro 2: Valores máximos y mínimos de capturas acumuladas por trampa según temporada y generación

Generación	Mínima			Máxima		
	2007_08	2008_09	2009_10	2007_08	2008_09	2009_10
G inv ¹	sd	0	9	Sd	974	792
G1	12	0	0	762	586	181
G2	21	0	0	535	238	497
G3	9	0	0	396	444	770
G4	0	0	0	1291	480	726
Ac ²	sd	18	28	Sd	1768	2056
Ac sin inv ³	133	1	0	1832	1248	1327

1: invernante; 2: generaciones acumuladas; 3: generaciones acumuladas exceptuando la generación invernante por no contar con los datos 2007_2008.

Esta gran variabilidad de los datos responde a la gran variabilidad que tiene la población en el espacio. Es decir que independientemente de la dinámica poblacional natural de la especie en cuestión, en un área determinada la población puede ser muy alta, acumulándose más de 2000 capturas en la temporada, y en otro lugar, durante el mismo período, las capturas ser extremadamente bajas, alcanzándose apenas a acumular 28 mariposas.

La distribución agregada o contagiosa se caracteriza porque la presencia de un individuo genera una mayor probabilidad de encontrar en las cercanías otros individuos de la misma población. Según Waters y Henson (1959), el fenómeno de agregación obedece a factores de naturaleza física y biológica, existiendo en la naturaleza ciertos puntos donde las condiciones y factores que afectan la sobrevivencia de los individuos son más favorables que otros. Por lo tanto los puntos más favorables concentrarán una mayor cantidad de individuos. Según Taylor (1984, 1961) este tipo de distribución es la más común en la naturaleza, y la presentan cerca del 96% de los artrópodos. Esto determina que en las poblaciones naturales la varianza sea mayor que la media.

Dentro del gran número de indicadores propuestos para determinar el tipo de distribución espacial de las poblaciones, la razón varianza media aparece como uno de los más sencillos. Este índice (I) frecuentemente se desvía de la unidad, y la

significancia de esta desviación se estima mediante una prueba de $\chi^2 = (v/m) (n-1)$. Valores de I menores, iguales o mayores que la unidad indican patrones de dispersión de tipo uniforme, aleatoria (Poisson) o agregada, respectivamente (Badii *et al.*, 2011). En el cuadro 3 se observa como en concordancia con lo planteado previamente, según este índice la distribución espacial de grafolita es claramente agregada. Si bien estos índices indican el tipo de distribución de la población, no brindan información de los lugares en que se dan esas agregaciones.

Cuadro 3. Razón varianza/media de las capturas de grafolita en trampas de feromona por generación para las temporadas 2007_08, 2008_09 y 2009_10

Generaciones	(varianza/media) (n ¹ -1)		
	2007_08	2008_09	2009_10
G inv²	Sd	21519	20457
G1	10596	8272	3074
G2	8118	4604	9054
G3	5054	8144	9231
G4	29038	8152	9914
Ac³	Sd	28106	23067
Ac sin inv⁴	24590	17800	17038

valor chi cuadrado: $\chi^2_{(140,0,001)} = 197,4$

1: $n_{(2007-08)}=120$; $n_{(Ginv, G1, G2 y G3 2008-09)}= 135$; $n_{(G4, Gac, Gac sin inv 2008-09)}= 133$; $n_{(2009-10)}=132$

2: invernante; 2: generaciones acumuladas; 4. generaciones acumuladas exceptuando la generación invernante por no contar con los datos 2007_2008.

Realizar promedios de capturas por zonas brinda más información sobre la distribución de la plaga. En la figura 8 se aprecian las diferencias en la magnitud de las capturas en diferentes zonas, no obstante los picos que determinan la fenología de la plaga coinciden en el tiempo, viéndose solo pequeños desfasajes en la población al final de temporada, donde la superposición de generaciones es mayor. Esto confirma la necesidad de generar conocimientos sobre la distribución espacial de la plaga. Los gráficos de promedios zonales (Figura 8) dan una idea a grandes rasgos de la existencia de áreas con diferente población, pero no dan precisión sobre la distribución.

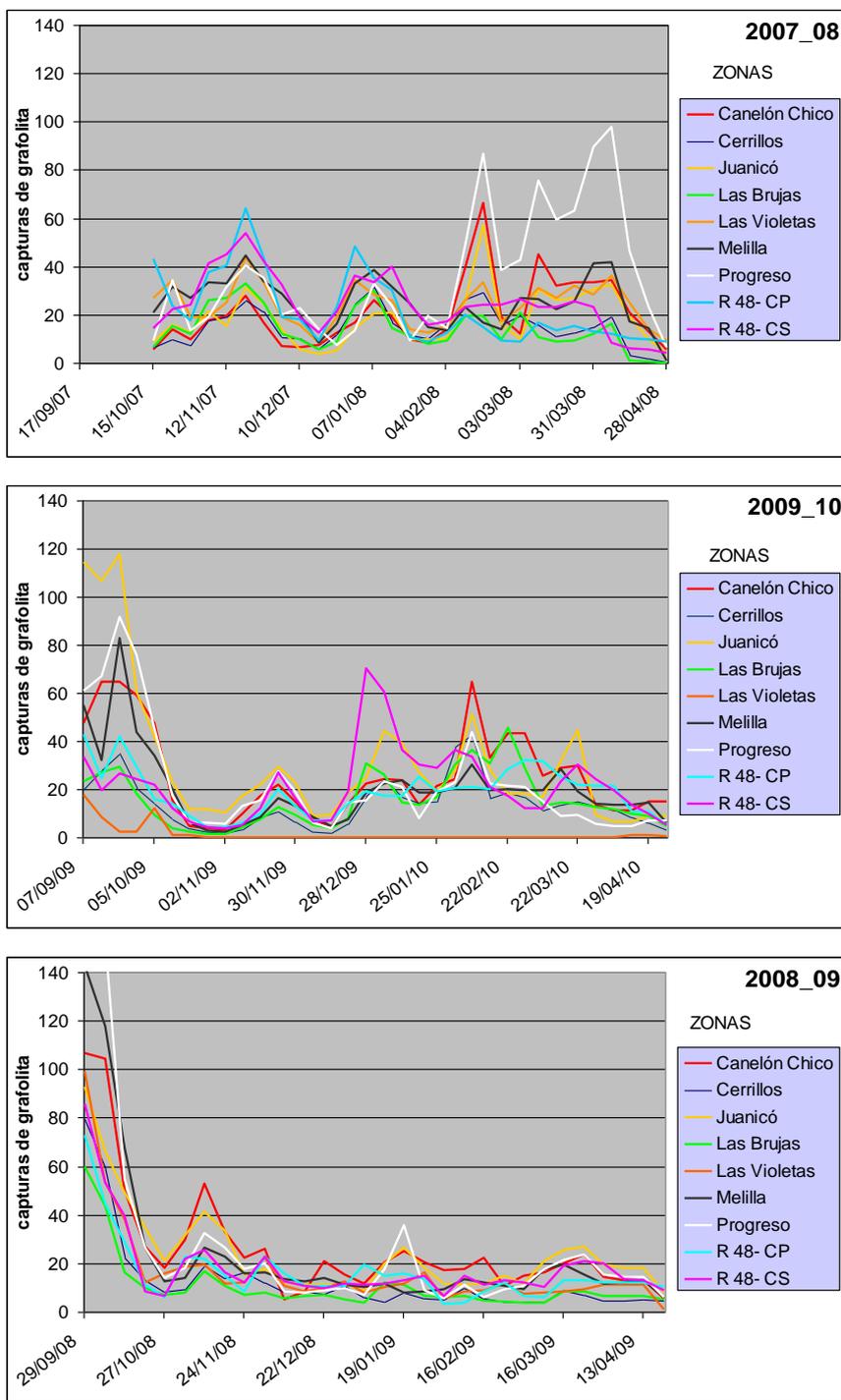


Figura 8: Promedio de capturas semanales de machos de *Grapholita molesta* en montes de duraznero de 9 sub-zonas del área frutícola sur del Uruguay durante tres temporadas

3.2 ANÁLISIS ESPACIAL

3.2.1 Análisis exploratorio

Uno de los factores que afecta la consistencia de los semivariogramas, es la asimetría y el sesgo en la variable de interés. Las estimaciones obtenidas en los variogramas son sensibles a la falta de normalidad de los datos (Webster y Oliver, 2009). Se presentan en el Anexo los resultados de las pruebas de normalidad Anderson-Darling, Shapiro_Wilk y Kolmogorov-Smirnov. En todos los casos se verificó que la distribución de los datos no es normal por lo que se transformaron los valores mediante diferentes procedimientos según el caso. En la temporada 2007_08 los datos se normalizaron aplicando la función logaritmo natural mientras que en la temporada 2008_2009 se logró un mejor ajuste utilizando la función raíz cuadrada. Tanto para la cuarta generación 2007_08 como para la tercera generación 2008_09 los test de normalidad fueron significativos pese a la transformación. A pesar de estos resultados si se observan los histogramas de frecuencia de capturas se puede ver que se logra una mejor simetría mediante la transformación. En la temporada 2009_2010 los datos fueron transformados mediante la función raíz cuadrada. En las figuras 9, 10, 11 y 12 se observan los histogramas de frecuencias de los registros de capturas originales (A) y transformados (B).

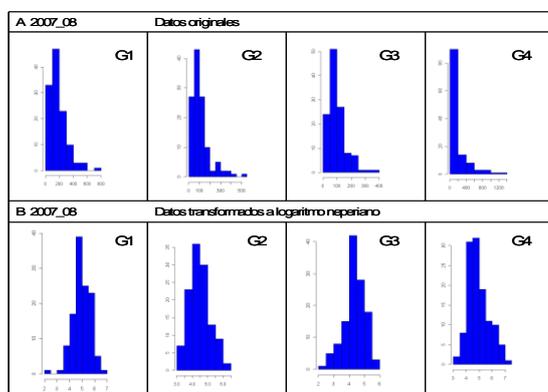
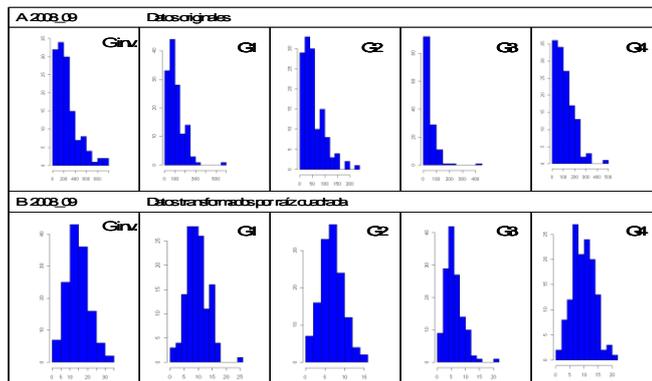
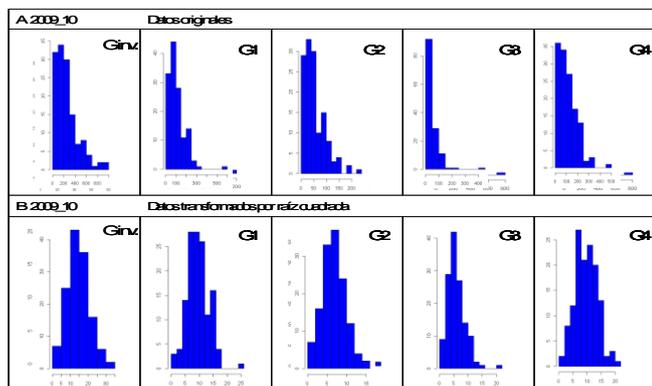


Figura 9: Histograma de frecuencia de capturas en trampas de feromona según generación para la temporada 2007_08



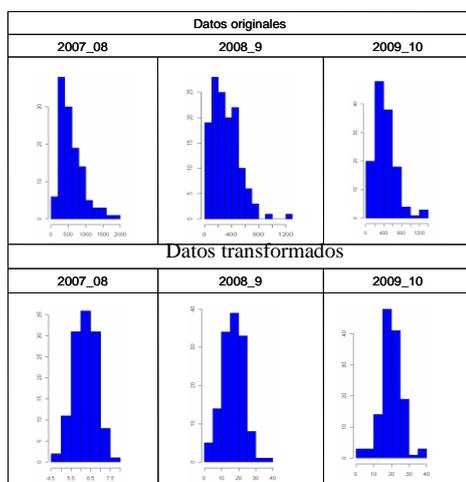
G inv.: generación invernante

Figura 10: Histograma de frecuencia de capturas en trampas de feromona para cada generación de la temporada 2008_09



G inv.: generación invernante

Figura 11: Histograma de frecuencia de capturas en trampas de feromona por generación de la temporada 2009_10



Los datos de la temporada 2007_08 fueron transformados a Ln, los datos de las temporadas 2008_09 y 2009_10 fueron transformados por raíz cuadrada

Figura 12: Histograma de frecuencia de capturas acumuladas en trampas de feromona para cada temporada

3.2.2 Análisis estructural

Con los datos transformados se procedió al ajuste y validación de modelos que explicaran adecuadamente la continuidad espacial. Se estimó un modelo para cada una de las generaciones y para el total de capturas acumuladas en cada temporada. En los cuadros 4, 5 y 6 se observan los modelos que resultaron significativos en la prueba de razón de verosimilitud ($p \leq 0,05$).

Cuadro 4: Modelos evaluados para la temporada 2007_08

Generación	Longitud del intervalo		Alcance	-2 Res Log Verosimilitud P(0,05)	
	Modelo				
Inv¹	1500	esférico	980	324	ns
	899	exponencial	47400	315,1	*
G1	899	exponencial	480	254,2	ns
	1200	esférico	913	254,2	ns
G2	899	esférico	1227	241,4	*
G3	1200	exponencial	1127	249,7	ns
	1200	esférico	1287	249,8	ns
G4	1200	esférico	3406	772,9	ns
Ac² s/ inv	899	gaussiano	908	201,7	*
	899	esférico	1176	205,4	*

1:invernante; 2: acumulada.

Cuadro 5: Modelos evaluados durante la temporada 2008_09

Generación	Longitud del intervalo			-2 Res Log	
	intervalo	Modelo	Alcance	Verosimilitud	P(0,05)
Inv¹	1200	gaussiano	2307	849,4	*
	1200	esférico	2943	849,2	*
G1	1200	gaussiano	0	742,1	ns
	1200	esférico	564	742,1	ns
G2	1200	esférico	474	671,2	ns
G3	908	exponencial	17181	683,9	*
	908	esférico	4534	683,7	*
	1200	exponencial	17232	683,9	*
	1200	esférico	4535	683,7	*
G4	1200	esférico	1405	1477,3	*
Ac²	1200	esférico	3588	881,6	*
Ac s/ inv³	1200	esférico	6884	887,6	*

1: invernante; 2: acumulada; 3: generaciones acumuladas exceptuando la generación invernante por no contar con los datos 2007_2008.

Cuadro 6: Modelos evaluados durante la temporada 2009_10

Generación	Longitud del intervalo			-2 Res Log	
	intervalo	Modelo	Alcance	Verosimilitud	P(0,05)
Inv¹	920	exponencial	16980	818,1	*
	920	esférico	16350	819	*
G1	920	gaussiano	1640	609,8	*
	920	esférico	27403	603,6	*
G2	1200	esférico	0	620,8	ns
	1200	exponencial	5605	731,5	*
G3	1200	esférico	374	734,7	ns
	1200	esférico	0	736,8	ns
G4	1200	esférico	0	750,5	ns
Ac²	1200	gaussiano	1686	875	*
	1200	esférico	2005	885,7	*
Ac s/ inv³	1200	esférico	0	844,8	ns

1: invernante; 2: acumulada; 3: generaciones acumuladas exceptuando la generación invernante por no contar con los datos 2007_2008.

Se ajustaron modelos para 8 de las 14 generaciones estudiadas y también para las capturas acumuladas de los tres años. A continuación se presentan aquellos modelos que según los indicadores obtuvieron las mejores estimaciones en el proceso de validación cruzada (Cuadros 9, 10 y 11).

Cuadro 7: Índices obtenidos para los modelos seleccionados durante la temporada 2007_08

Temporada 2007_08	Modelo (int.) ⁴	A	EMC ⁵	EM ⁶	Correlación de Pearson	Precisión: ±5 (%)	Precisión: ±10 (%)	AIC ⁸
G2 ⁺¹	esférico(899) wg	1227	7391	-3,9 ^{*7}	0,17	44,2	71,7	247,4
	esférico(899) sd	1227	7615	19,8 [*]	0,18	56,7	78,3	247,4
Ac ² . s/inv ³	gauss(899) wg	908	122672	-43,9 [*]	0,17	30,8	60,8	205,7
	gauss(899) sd	908	122859	64,2 [*]	0,18	36,7	72,5	205,7
	esférico(899) sd	1176	123598	63,9 [*]	0,19	36,7	74,2	209,4
	esférico(899) wg	1176	124207	-40,1 [*]	0,17	31,7	59,2	209,4
Valor ideal			<S2	0	1	100	100	

1: generación; 2: acumulada; 3: invernante; 4: distancia entre intervalos; 5: error medio cuadrado; 6: error medio; 7: significativo según T(0,05); 8: Criterio de Información de Akaike.

Valores de referencia para la varianza: $S^2_{(G2)}$:7422; $S^2_{(Ac. s/inv)}$: 122020.

Cuadro 8: Índices obtenidos para los modelos seleccionados durante la temporada 2008_09

Temporada 2008_09	Modelo (int.) ⁴	A	EMC ⁵	EM ⁶	Correlación de Pearson	Precisión : ±5 (%)	Precisión: ±10 (%)	AIC ⁸
G ¹ . inv ³ .	gauss(1200)	2307	31088	20,4 ^{*7}	0,53	21,5	39,3	855,4
	esf.(1200)	2943	31173	21,0 [*]	0,53	23,7	39,3	855,2
G3	esf.(908)	4534	2782	5,1 [*]	0,29	50,4	80,7	689,7
	exp(908)	17181	2716	9,3 [*]	0,17	63,0	85,2	689,9
	esf(1200)	4535	2603	8,8 [*]	0,25	62,2	85,2	689,7
	exp(1200)	17232	2715	9,2 [*]	0,17	63,0	85,2	689,9
G4	esf.(1200)	1405	6508	9,7 [*]	0,33	51,1	83,7	1483,3
Ac ² sin inv.	esf.(1200)	3588	39168	27,0 [*]	0,31	48,9	81,5	887
Ac	esf.(1200)	6884	104221	32,0 [*]	0,39	37,8	65,2	842,5
Valor ideal			<S2	0	1	100	100	

1: generación; 2: acumulada; 3: invernante; 4: distancia entre intervalos; 5: error medio cuadrado; 6: error medio; 7: significativo según T(0,05); 8: Criterio de Información de Akaike.

Valores de referencia para la varianza: $S^2_{(inv)}$: 40340; $S^2_{(G3)}$: 2711; $S^2_{(G4)}$: 7003; $S^2_{(Ac. s/inv)}$: 42625; $S^2_{(Ac)}$: 120791.

Cuadro 9: Índices obtenidos para los modelos seleccionados durante la temporada 2009_10

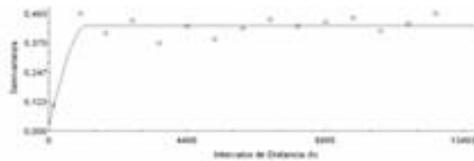
Temporada 2009_10	Modelo (int.) ⁴	Alcance	EMC ⁵	EM ⁶	Correlación de Pearson	Precisión: ±5 (%)	Precisión: ±10 (%)	AIC ⁸
G ¹ inv. ³	exp(920)	16980	27512	23,5 ^{*7}	0,53	28,8	63,6	824,1
	esf(920)	16350	27457	22,8*	0,52	24,4	55,6	825
G1	gauss(920)	1640	1133	5,6*	0,39	57,0	87,4	609,6
	esf(920)	27403	1127	6,5*	0,39	74,8	93,3	615,8
G2	exp(1200)	5605	6803	13,3*	0,30	30,4	61,5	737,5
Ac ²	gauss(1200)	1686	103214	37,2*	0,38	50,8	70,5	881,0
	esf(1200)	2005	102949	38,5*	0,38	50,0	72,7	881,7
Valor ideal			<S ²	0	1	100	100	

1: generación; 2: acumulada; 3: invernante; 4: distancia entre intervalos; 5: error medio cuadrado; 6: error medio; 7: significativo según T(0,05); 8: Criterio de Información de Akaike.

Valores de referencia para la varianza: S²_(inv.): 37963; S²_(G1): 1291; S²_(G2): 7457; S²_(Ac): 118872

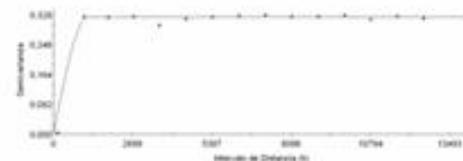
Se observa en los cuadros 7, 8 y 9 que los coeficientes de correlación son muy bajos, ya que lo esperable es que los valores estimados sean iguales o al menos similares a los originales, y por tanto que el coeficiente sea cercano a 1. Del mismo modo sería esperado que el coeficiente que evalúa el porcentaje de estimaciones con diferencias menores a 5 capturas semanales frente a los datos originales se aproximara al 100%. Sin embargo en la mayoría de los casos no superan el 50%. Estos valores mejoran cuando se amplía la tolerancia de error a ±10 capturas semanales, alcanzándose altos valores de correlación. Sin embargo, 10 capturas semanales como error es más de lo que podría permitirse para llevar este método a la práctica agronómica, ya que se estaría brindando información con un nivel de error que podría generar el uso de estrategias de control innecesarias, o en la situación inversa, generar situaciones de riesgo potencial de daño a los cultivos por no realizarse mediadas de control pertinentes. En la figura 13 se resumen los variogramas seleccionados con sus respectivos parámetros.

G2 2007_08



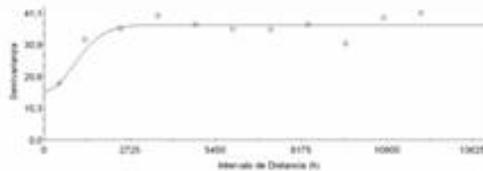
Spherical model ($Co = 0.0200$; $Co + C = 0.4420$; $Ao = 1227$; $r^2 = 0.841$;
 RSS = 0.0199)

Ac 2007_08



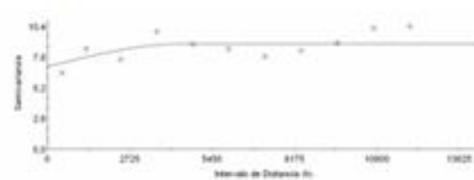
Spherical model ($Co = 0.0010$; $Co + C = 0.3210$; $Ao = 1176$; $r^2 = 0.992$;
 RSS = 3.254E-03)

G inv 2008_09



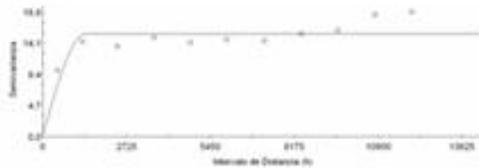
Gaussian model ($Co = 15.60$; $Co + C = 37.16$; $Ao = 1332$; $r^2 = 0.797$;
 RSS = 84.4)

G3 2008_09



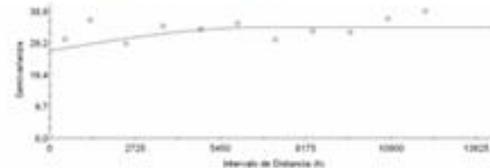
Spherical model ($Co = 7.000$; $Co + C = 8.940$; $Ao = 4535.00$; $r^2 = 0.414$;
 RSS = 8.93)

G4 2008_09



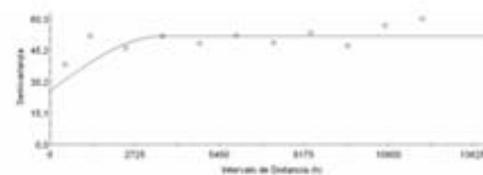
Spherical model ($Co = 0.22$; $Co + C = 15.45$; $Ao = 1405$; $r^2 = 0.496$;
 RSS = 33.5)

Ac sin inv 2008_09



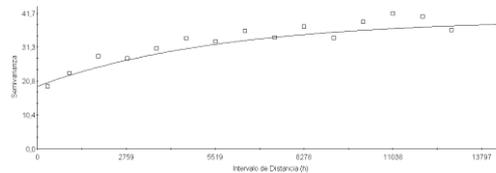
Spherical model ($Co = 26.70$; $Co + C = 33.83$; $Ao = 6683$; $r^2 = 0.092$;
 RSS = 122.)

Ac 2008_09



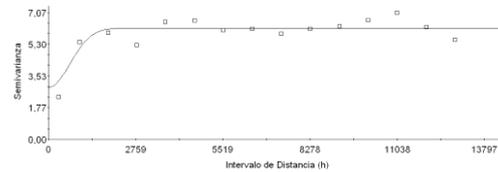
Spherical model ($Co = 25.70$; $Co + C = 51.86$; $Ao = 3588$; $r^2 = 0.393$;
 RSS = 368.)

G inv 2009_10



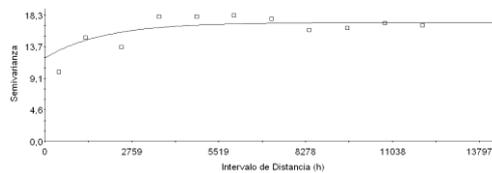
Exponential model ($Co = 19,24$; $Co + C = 39,92$; $Ao = 5660$; $r2 = 0,907$; $RSS = 87,6$)

G1 2009_10



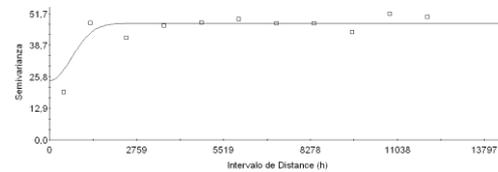
Gaussian model ($Co = 2,890$; $Co + C = 6,189$; $Ao = 947$; $r2 = 0,814$; $RSS = 3,58$)

G2 2009_10



Exponential model ($Co = 12,04$; $Co + C = 17,18$; $Ao = 1868$; $r2 = 0,743$; $RSS = 22,1$)

Ac 2009_10



Gaussian model ($Co = 24,16$; $Co + C = 47,65$; $Ao = 973$; $r2 = 0,864$; $RSS = 171,1$)

G: generación; inv. Invernante; Ac: generaciones acumuladas.

Se incluyen solo aquellos variogramas que mostraron diferencias significativas con el modelo independiente.

Figura 13: Variogramas seleccionados para cada generación y temporada

Análisis de los parámetros de los variogramas. El comportamiento del modelo en el origen es muy importante debido a su influencia en el proceso posterior de estimación. El parámetro Co mide el grado de aleatoriedad de la variable a distancias menores de las muestreadas, es la variación no explicada por el modelo, y se obtiene en el punto de corte con el eje Y, mientras que C indica la variación espacial, es decir, la diferencia entre el valor de la meseta y Co . La relación $Co/(Co+C)$ indica que porción de la variación total se da a distancias menores de las muestreadas y por tanto el grado de incertidumbre a la hora de interpolar puntos en el espacio. Un cociente alto indica una variable poco predecible. Entonces, el cociente indica que proporción de la variabilidad va a explicar el modelo, y que proporción de la variabilidad es independiente de la distancia. En los variogramas que se obtuvieron en este trabajo el efecto pepita es alto en relación con la meseta. En una variable relativamente errática como es el número de insectos es lógico debido a la variabilidad que existe a una distancia menor que la abarcada entre puntos de

muestreo (Moral *et al.*, 2006). Sobre todo si se considera que se trata de una variable fuertemente afectada por factores externos tan disímiles como pueden ser las estrategia de control aplicadas por cada productor. Una forma de medir el grado de dependencia espacial es dividir el efecto pepita (Co) sobre la meseta ($Co+C$). Si el resultado es menor a 0,25 el nivel de dependencia espacial es alto, si se encuentra entre 0,26 y 0,75 es moderado y si supera el 0,76 se considera bajo (Cambardella *et al.*, 1994). En el cuadro 10 se observa el grado de dependencia espacial medido como la relación $Co/(Co+C)$ para cada período.

Cuadro 10: Grado de dependencia espacial y alcance de cada uno de los modelos significativos obtenidos

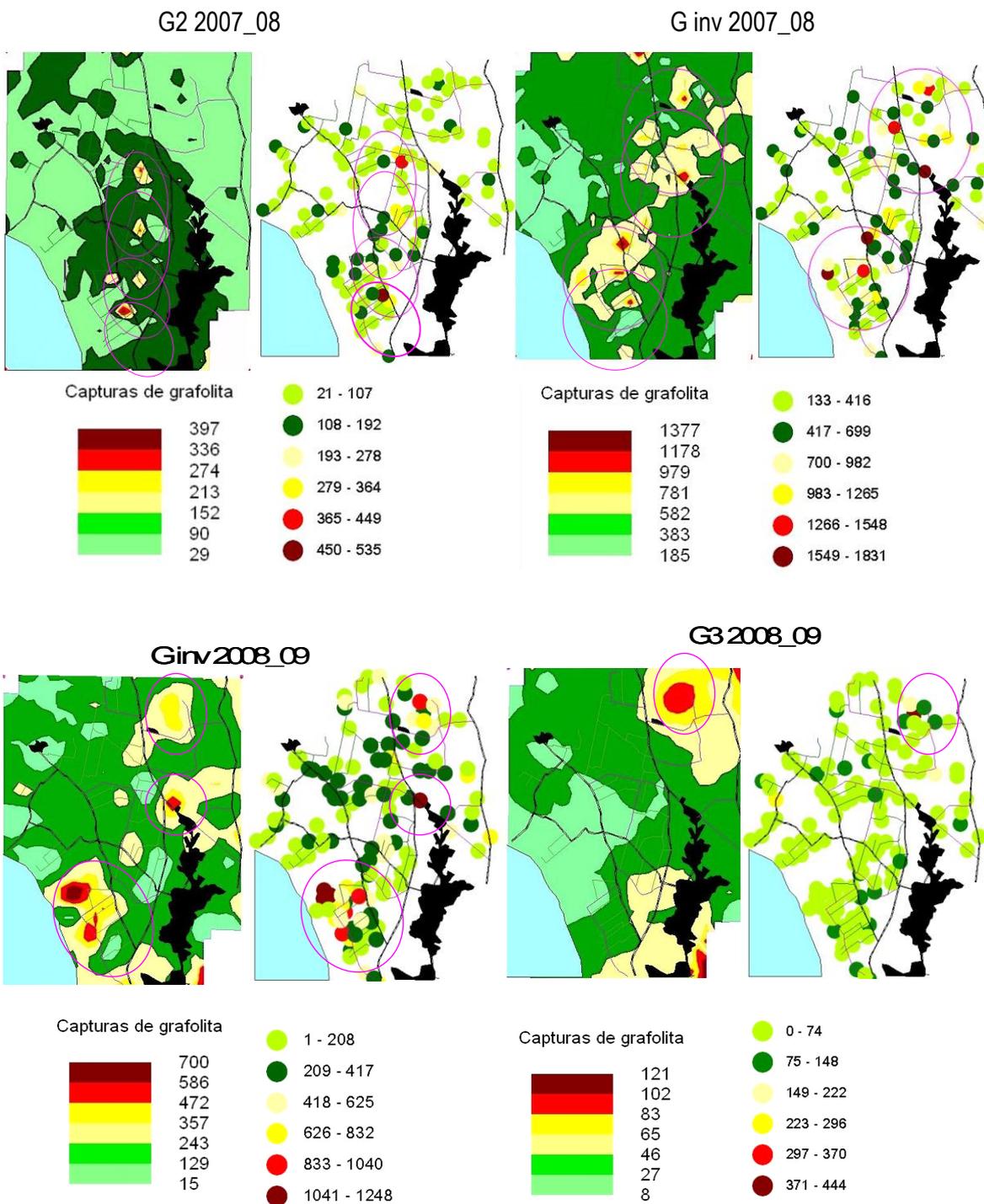
Generaciones con modelos significativos	Alcance (m)	$Co/(Co+C)$	Nivel de dependencia espacial
G2 2007	1227	0,05	Alto
Ac sin inv ¹ . 2007	1176	0,01	Alto
Inv ² 2008	2307	0,42	Moderado
G3 2008	4535	0,78	Bajo
G4 2008	1405	0,01	Alto
Ac ³ sin inv. 2008	3588	0,79	Bajo
Ac 2008	6884	0,49	Moderado
Inv 2010	16980	0,48	Moderado
G1 2010	1640	0,47	Moderado
G2 2010	5605	0,70	Moderado
Ac 2010	1686	0,51	Moderado

1: generaciones acumuladas exceptuando la generación invernante por no contar con los datos 2007_2008 2: invernante; 3: acumulada.

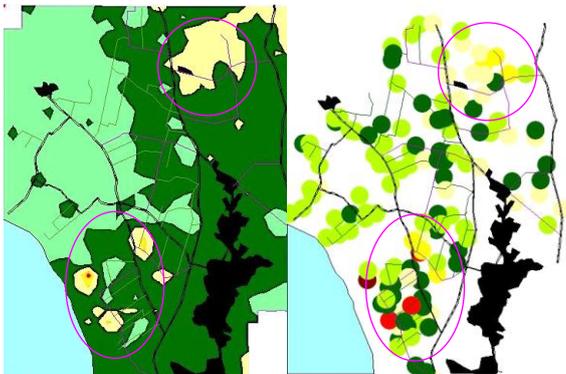
Los valores de alcance que se obtuvieron en los distintos modelos fueron muy variados. Esto dificulta la decisión para definir un sistema de muestreo, puesto que colocando trampas a 16Km, es difícil que se puedan obtener estimaciones confiables. Como afirma Moral (2004), el objetivo no es seleccionar un modelo con el mejor ajuste estadístico, sino aquel que considere más los aspectos biológicos de la especie. El valor del alcance es fundamental al momento de diseñar un sistema de muestreo para caracterización espacial de grafolita. A distancias mayores del alcance real las estimaciones no serían confiables pues se carece de correlación espacial de la variable, mientras que a distancias menores se estaría sub optimizando el sistema puesto que se estaría utilizando insumos y mano de obra innecesariamente. El criterio

utilizado fue definir el alcance a partir de aquellos modelos cuya relación entre la pepita y la meseta indican un alto grado de dependencia espacial. En este caso el alcance promedio queda definido en 1270m.

3.2.3 Mapas: interpolación por krigeaje y datos de campo



G4 2008_09



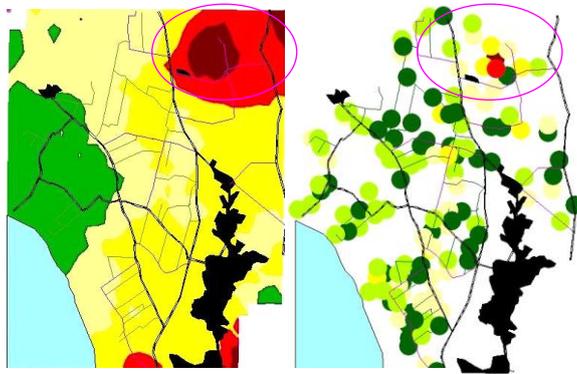
Capturas de grafolita



480
400
320
240
160
80
0

0 - 80
81 - 160
161 - 240
241 - 320
321 - 400
401 - 480

Ac sin inv 2008_09



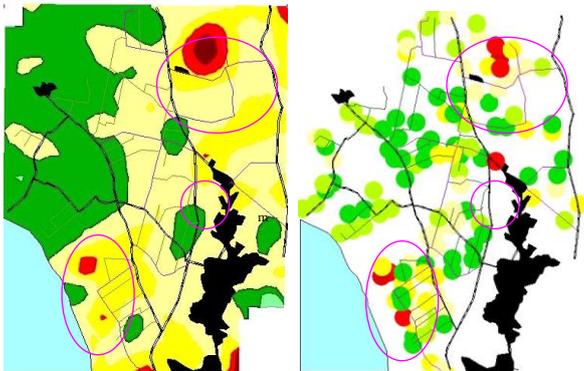
Capturas de grafolita



562
471
380
289
198
107
16

1 - 208
209 - 417
418 - 625
626 - 832
833 - 1040
1041 - 1248

Ac 2008_09



Capturas de grafolita

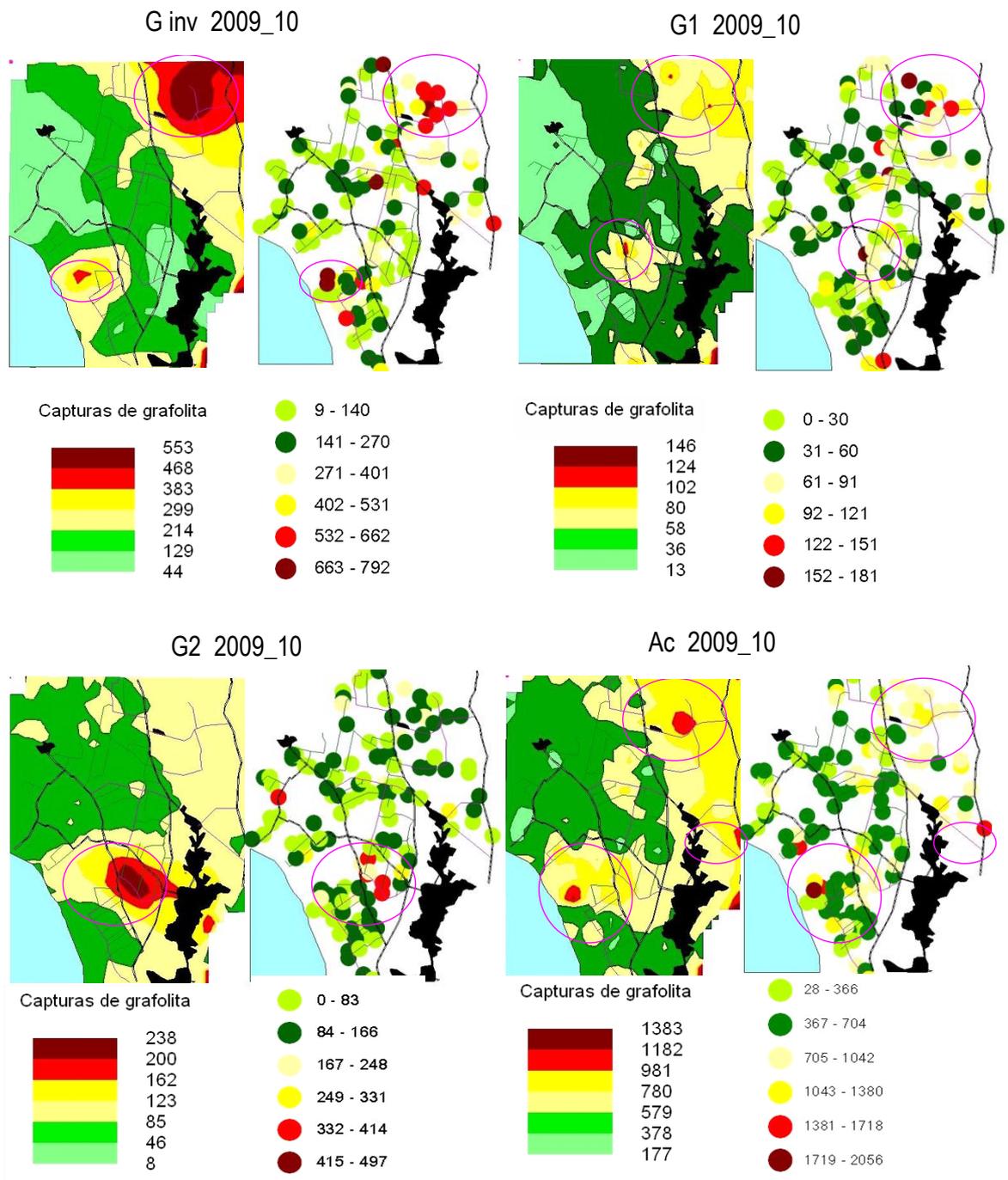


1203
1008
813
617
422
226
31

18 - 310
311 - 601
602 - 893
894 - 1185
1186 - 1476
1477 - 1768



-  Río Santa Lucía
-  Ciudades
-  Rutas
-  Caminos principales
-  Caminos secundarios



Los círculos indican zonas coincidentes de alta densidad poblacional.

Figura 14: Mapas obtenidos mediante krigeaje, a partir de modelos estadísticos significativos (izq.), comparados con mapas obtenidos a partir de los registros de capturas de campo sin proceso de interpolación (der.).

Cuando se comparan los mapas obtenidos mediante Krigeaje frente a los mapas con los registros de campo se puede observar que, salvo en la tercera generación y las generaciones acumuladas sin la invernante de la temporada 2008_09, existe un patrón de distribución similar, coincidiendo las regiones de mayor y menor población en ambos mapas (Figura 14). Los mapas donde se observan las mayores diferencias coinciden con aquellos modelos que tienen un nivel de correlación bajo (Cuadro12), con relación pepita/meseta superior a 0,75. Incluso en la segunda generación de la temporada 2009_2010 cuya relación pepita/meseta es de 0,7 los mapas obtenidos difieren bastante de la realidad, aunque la bibliografía (Cambardella *et al.*, 1994) lo establece como relación moderada. Según estos resultados la razón entre los parámetros Co y la meseta no debería ser superior a 0,5, coincidiendo con lo que plantea Giraldo (2002).

Una característica que se observó al comparar las escalas es que los mapas obtenidos mediante el GS+ tienden a subestimar los valores máximos de capturas y a sobreestimar los mínimos. Esto sucede porque el valor máximo es obtenido mediante la interpolación de valores cercanos mayoritariamente inferiores. Ocurre lo mismo a la inversa, en el caso del valor más bajo, que también es estimado a partir de valores de capturas generalmente superiores. Si la distribución que se obtiene a partir del GS+ coincide con la del Arc View confirma que, aunque no se refleje debidamente la población en magnitud, si muestra adecuadamente su distribución real.

3.2.4 Alternativas de mapeo sin interpolación

Los mapas de la figura 15 fueron elaborados con el programa Arc View 3.1. Mediante este u otros software es posible ubicar el valor de la densidad poblacional en un punto, sin hacer inferencias sobre el comportamiento de la variable en el resto de la superficie. Esta herramienta podría ser útil cuando la distribución espacial es aleatoria y por tanto el método geoestadístico no es aplicable, lo que puede suceder en la práctica, al analizar la distribución espacial de grafolita sucesivas veces en el

tiempo. Es claro que esta información es mucho más restringida y no sustituye al mapa de predicciones.

3.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE GRAFOLITA EN LA ZONA FRUTÍCOLA SUR

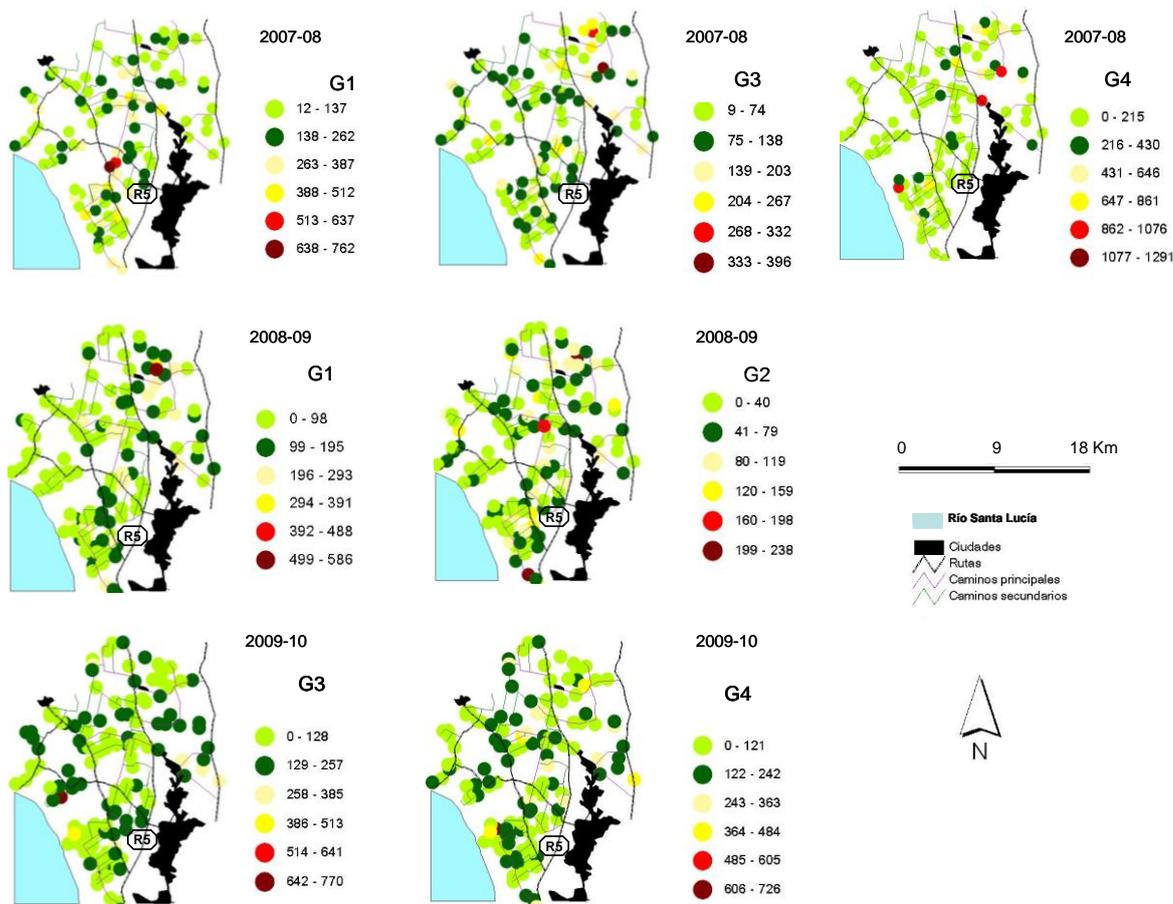


Figura 15: Mapas de capturas de grafolita en trampas de feromona en cada punto de muestreo, para las generaciones con distribución espacial aleatoria.

Las localidades de Las Brujas, Cerrillos, Rincón del Colorado y Canelón Chico presentan áreas donde en general las poblaciones tienden a mantenerse bajas a muy bajas, con algunas excepciones en momentos puntuales. Las zonas que se caracterizan por poseer densidades de población intermedias son Cuchilla de Sierra, la zona circundante a la intersección del Camino Cuatro Piedras y camino Brandy, la entrada a la ciudad de Las Piedras, así como unos 2 km a lo largo de Camino La

Redención cercanos a la intersección con la ruta 5. Estas zonas se caracterizan también por mostrar mayor variación en la magnitud de la población en las diferentes generaciones y años, observándose en general tonos amarillos que denotan poblaciones medias, con riesgo de llegar a ser altas o muy altas como sucede en algunos momentos en que se encuentran en estas zonas puntos rojos. Las zonas de Juanicó y Rincón de Melilla aparecen como las de mayor riesgo de ataques intensos de grafolita. En las tres temporadas y en la mayoría de las generaciones estas dos zonas son las que se mantienen con mayor población, observándose en la mayoría de las generaciones tonos rojos y amarillos (Figura 14 y 15).

3.4 FACTORES QUE AFECTAN LA DISTRIBUCIÓN DE GRAFOLITA

3.4.1 Relación en el espacio de grafolita con sus hospederos

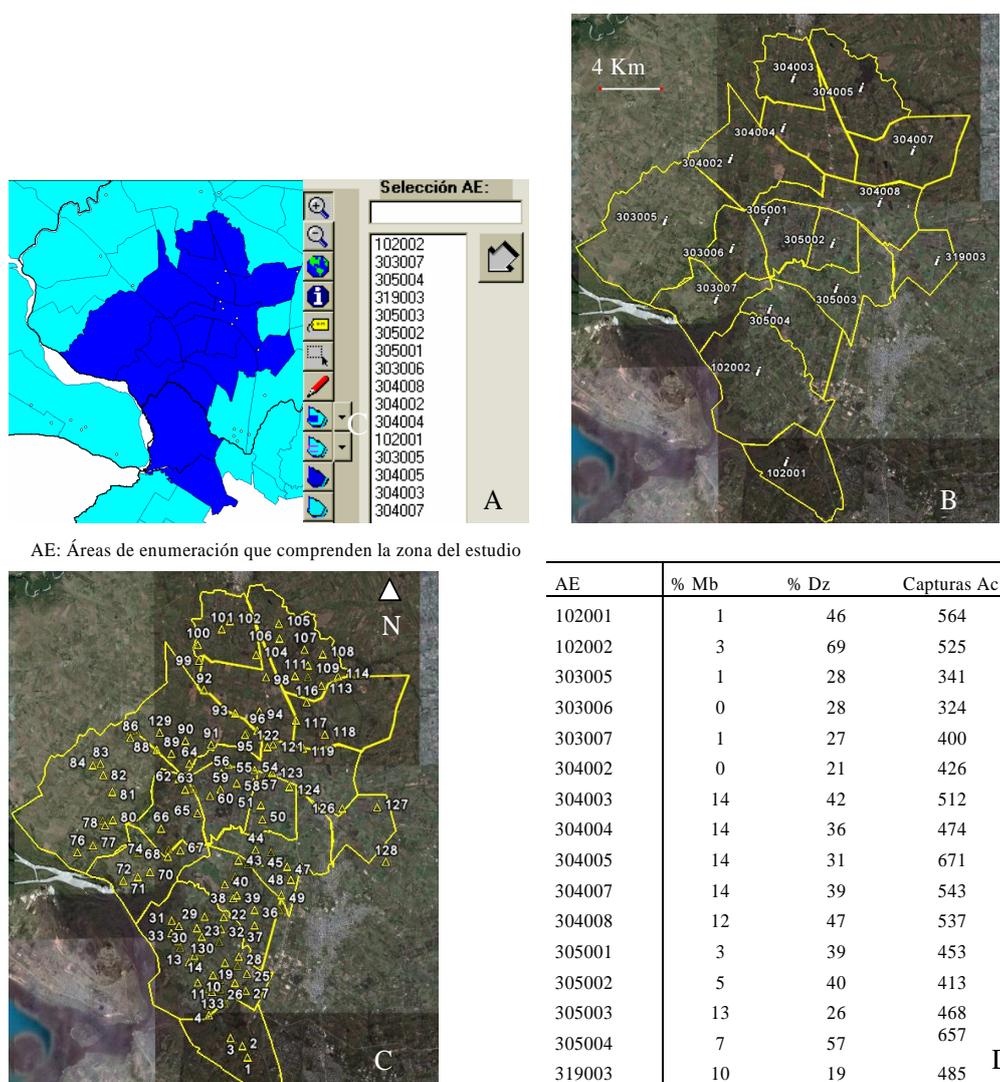


Figura 16: A: Mapa extraído del Sistema de Información del Censo Agropecuario (SICA) (MGAP-DIEA, 2000) presentando las áreas de enumeración (AE) en la zona de estudio. B: Mapa generado a partir del Google Earth indicando como se distribuyen las AE en la zona de estudio. C: Mapa que representa la distribución de las trampas de feromona para grafolita dentro de cada una de las AE del SICA. D: Porcentaje de predios con membrillero, porcentaje de predios con duraznero y promedio de capturas acumuladas de grafolita según AE

En la figura 16 se esquematizan los pasos seguidos para obtener la información de los hospederos en las distintas áreas y su relación con las capturas. Se presentan las áreas de enumeración del SICA de donde se obtuvo el porcentaje de predios con duraznero y el porcentaje de predios con membrillero para distintas zonas, así como las áreas de enumeración donde se encuentran ubicadas las trampas de feromona para grafolita y cuales fueron los pasos seguidos para obtener la información.

A partir de la información que brinda el censo sobre cantidad total de explotaciones en cada área de enumeración, y el total de explotaciones según especie frutícola producida, se calculó un indicador del porcentaje de predios dedicados a la producción de duraznero y membrillero para cada AE. Así mismo se calculó el promedio de capturas acumuladas en las tres temporadas para estas áreas de enumeración mediante la identificación de los productores en el mapa de google earth (Figura 16 C). A continuación se presentan los coeficientes de correlación de Spearman para el promedio de capturas acumuladas en los tres años de estudio en relación al porcentaje de predios con duraznero y de las mismas capturas en relación al porcentaje de predios con membrillero y también en relación a la suma de ambos hospederos (Cuadro 11).

Cuadro 11: Coeficiente de correlación de Spearman para el promedio de tres temporadas de capturas acumuladas de grafolita en trampas de feromona en relación a la abundancia de dos hospederos en las distintas áreas de enumeración del SICA

	Spearman	p
Capturas vs. % Pdz.	0,53	0,04
Capturas vs. % Pmb.	0,61	0,02
Capturas vs. %Pdz. + %Pmb	0,76	0,003

Pdz: predios con duraznero, Pmb: predios con membrillero.

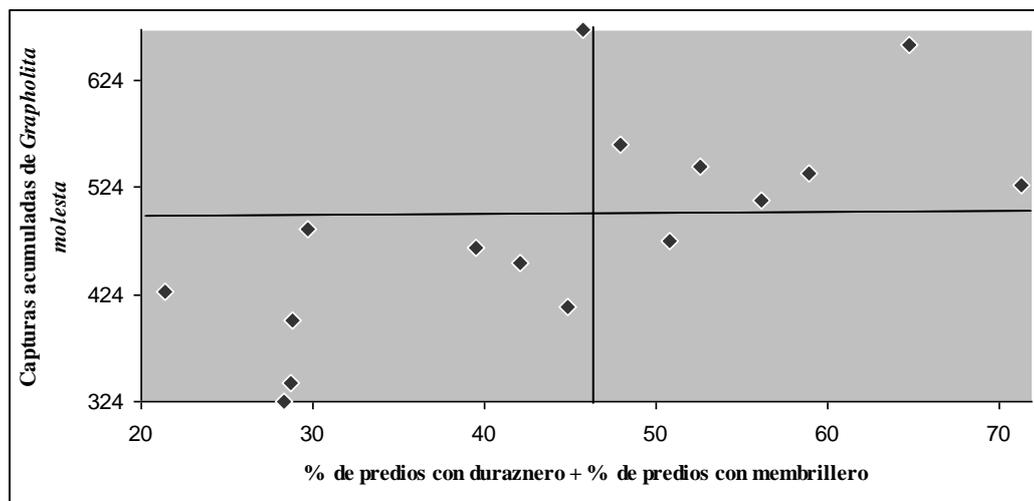


Figura 17: Dispersión de capturas promedio de grafolita acumuladas en trampas de feromona desde el 15 de octubre al 30 de abril en función de la suma de porcentajes de predios con duraznero y membrillero, para las distintas áreas de enumeración del SICA (MGAP-DIEA, 2000) comprendidas en el área de estudio

Se observa en la figura 17 que hay una tendencia en el aumento de las capturas de grafolita en función del incremento de hospederos en las diferentes áreas de enumeración. Los resultados (Cuadro 11) muestran una correlación significativa entre las capturas y la cantidad de hospedero. Así mismo la combinación de membrillero y duraznero que hay en las distintas zonas explica mejor la densidad de la población de grafolita que la presencia de cada hospedero por separado. Se debe tener en cuenta la importancia que tiene el membrillero en el mantenimiento de esta plaga, dado que este cultivo cuyos frutos se cosechan según la variedad, desde mediados de marzo a fines de abril, acompaña el desarrollo anual de grafolita proporcionándole alimento a las últimas generaciones cuando los demás cultivos ya no poseen brotes tiernos ni fruta para su alimentación. Bovey (1966) afirma que las poblaciones de grafolita se ven limitadas en las predios compuestos por variedades de durazneros de maduración temprana, y por el contrario, son muy alta en los predios con duraznero de maduración tardía y con cultivos mixtos de duraznero, manzanos, perales y membrilleros, ya que estos cultivos con frutos de cosecha tardía proporcionan alimento para las larvas previo a la diapausa.

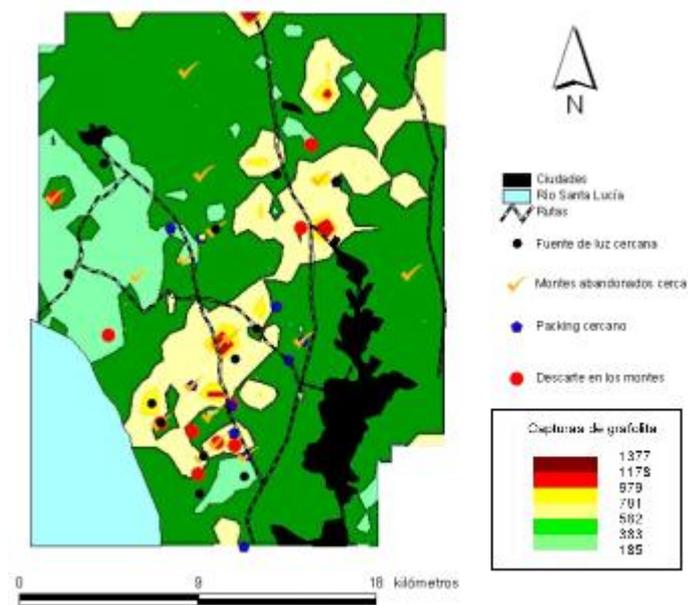


Figura 18: Ubicación de algunos factores que pueden afectar la distribución espacial de grafolita respecto a las capturas acumuladas 2007_08

Es probable que otros factores tales como la presencia de plantas procesadoras de fruta, fuentes de luz cercana, montes abandonados, manejo incorrecto del descarte, entre otros, afecten la distribución de esta plaga. Se observa en la figura 18 que las poblaciones altas de grafolita coinciden con regiones donde se combinan varios factores que pueden considerarse de riesgo potencial para el incremento de las poblaciones de la plaga.

4. CONCLUSIONES

La gran variabilidad de capturas acumuladas entre puntos de muestreo en un mismo período y los resultados del indicador relación varianza / media demuestran que existe una gran variabilidad de la población en el espacio.

Para la obtención de mapas de distribución espacial de grafolita aplicando el método geoestadístico se deben colocar las trampas a distancias que no superen los 1270 metros. Así mismo para obtener precisión en las predicciones se recomienda obtener en el análisis estructural una relación de los parámetros del variograma pepita/meseta (varianza no explicada/varianza total) menor o igual a 0,5.

Las zonas de mayor población de grafolita se mantienen a lo largo del tiempo concentrándose fundamentalmente en Rincón de Melilla y Juanicó.

La densidad de población está asociada a la abundancia de sus principales hospederos, los durazneros y membrilleros.

Estos resultados aportan los conocimientos necesarios para determinar la distribución espacial de grafolita en el tiempo, brindando un insumo para la optimización del actual servicio de pronóstico de plagas que realiza el MGAP. Además, el conocimiento de la distribución espacial sirve como referencia para realizar programas de manejo a nivel regional permitiendo determinar zonas con mayor y menor población de plaga.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Armstrong M, Carignan J. 1997, “Géostatistique Linéaire, Application au Domaine Minier.”, École de Mines de Paris, 112 p.
- Atanov NM, Zhimerikin VN, Gummel, E R. 1991. Migrational activity of the eastern tortrix. *Zashchita Rastenii*, 12:35-48.
- Badii, MH, Guillen A, Cerna E, Landeros J. 2011. Dispersión Espacial: El prerrequisito Esencial para el Muestreo. *Internacional Journal of Good Consciente*, 6(1): 40-71.
- Boiteau G. 2005. Within-field spatial structure of colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) populations in New Brunswick. *Environmental Entomology*, 34(2):446-456.
- Bovey P. 1966. Superfamille des Tortricoidea. In: Balachowsky AS. *Entomologie appliqué à l'agriculture. Lepidopteres Hepialoidea, Stigmelloidea, Incurvarioidea, Cossioidea, Tineoidea, et Tortricoidea*. Paris: Masson. Tome 2 (1): 746-763.
- 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: 1501-1511.
- Castillo A, Espinoza JC, Valle Mora J, Infante F. 2006. Dispersión del parasitoide africano *Phymastichus coffea* Lasalle (Hymenoptera: Eulophidae) en un nuevo agroecosistema. *Folia Entomológica Mejicana*, 45(3):319-327.
- Chica Olmo J, Cano Guervos R, Chica Olmo M. 2007. Modelo hedónico espacio temporal y análisis variográfico del precio de la vivienda. *GeoFocus*, 7:56-72.
- Comas C, Avila J, Sarasúa MJ, Albajes R, Ribes-Dasi M. 2012. Lack of anisotropic effects in the spatial distribution of *Cydia pomonella* pheromone trap catches in Catalonia, NE Spain. *Crop Protection*, 34:88-95.
- Cuador JQ. 2004. Elementos de geoestadística. (en línea). Consultada: junio 2011. Disponible en: www.monografias.com
- Delobel AGL. 1983. Humidity effects on *Atherigona soccata*: egg development and hatch. *Experimentalis et Applicata*, 33(3):269-275.

- Ellsbeury MM, Woodson W D, Clay SA, Carlson CG. 1998. Geostatistical characterization of the spatial distribution of adult corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, 27: 919-917
- Emmen D. 2004. La agricultura de precisión: una alternativa para optimizar los sistemas de producción. *Investigación y pensamiento crítico*, 2: 68-74.
- Farias OS, Roberto R, Lopes J, Perecin D. 2004. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Xylella fastidiosa* sharpshooter vectors on citrus. *Neotropical Entomology*, 33(1):13-20.
- Gallardo A. 2006. Geoestadística. *Ecosistemas*, 15(3):48-58.
- Gamma design software. 2006. GS⁺: Geostatistics for the environmental science, Gamma design software, Plainwell, Michigan USA.
- García C. 2005. Sistema de alarma En: Congreso Nacional de la Sociedad Uruguaya de Horti-Fruticultura (10°, 2005, Intendencia Municipal de Montevideo) 2005. Pronóstico y monitoreo de plagas y enfermedades en frutales de hoja caduca. Montevideo. Facultad de Agronomía. 67p.
- Giraldo, R. 2002. Introducción a la geoestadística: Teoría y aplicación. En: Simposio de Estadística de la Universidad Nacional de Colombia (12°, 2002, Universidad de Colombia) 2002. Bogota. Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia. 93p.
- Hall D, Childers C, Eger E, Allen J. 1997. Citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) counts on fruit and the negative binomial distribution. *Florida Entomologist*, 80 (1): 1-10
- Hevesi J, Istok J, Flint A. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part. I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 7: 661-676.
- Hughes J, Dorn S. 2002. Sexual differences in the flight performance of the oriental fruit moth, *Cydia molesta*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 103: 171–182.
- Isaaks E H, Srivastava RM. 1989. *Applied Geostatistics*, New York Oxford, Oxford University Press, 561 p.

- Journel A G, Huijbrebts C J. 1978. Mining geostatistics. London, Academic press. 600p.
- Kiyono J, Suzuki M. 1996. Conditional simulation of stochastic waves by using kalman filter and kriging techniques, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, June 23-28, 8 p.
- Knight A. 2008. Codling moth areawide integrated pest management. In Koul, O., Cuperus G.y Elliot, N. (Eds.). 2008. Areawide pest management. CAB International, p 159-190.
- Koul O, Cuperus G, Elliot N. 2008. Areawide pest management, theory and implementation. CAB Internacional. 572 p.
- Legendre P, Dale MRT, Fortín MJ, Gurevitch J. 2002. The consequences of spatial structure for the design and analysis of ecological field surveys. *Ecography*, 25: 601-615.
- Legra A, Torres J, Cruz I. 2004. Modelos geoestadísticos de la concentración del ni en el dominio 7 del yacimiento punta gorda. *Minería y Geología*, 20(1-2):42-56.
- Liebhold A, Rossi R, Kemp W. 1993. Geostatistic and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, 38:303-327.
- Maestre F. 2006. Análisis y modelización de datos espacialmente explícitos en *Ecología. Ecosistemas*, 15(3): 1-6.
- Matheron, G.1970.La théorie des variables regionalisées et ses applications. Les cahiers du centre de morphologie mathématique de fontainebleau. Fascicule 5, Ecole de Mines de Paris. 212 p.
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). 2010. Anuario estadístico agropecuario. Producción. (en línea) Montevideo. 34 p. Consultado mayo 2011. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/diea/Anuario2010.htm>
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). 2000. SICA: Sistema de información censo agropecuario. 2000. (en línea). Consultado: junio 2011.

Disponible

en:

<http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,64,O,S,0,MNU;E;28;1;MNU>

- Midgarden DG, Youngman RR, Fleischer SJ. 1993. Spatial analysis of counts of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adults on yellow sticky traps in corn: Geostatistics and dispersion indices. *Environmental Entomology*, 22:1124-1133.
- Moral FJ, García JA, Rodríguez A, Arranz JI, De La Cruz B, Honorio F. 2006. Técnicas geoestadísticas aplicadas al análisis de la distribución de capturas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) mediante trampas con feromonas sexuales en una plantación de tomate. *Boletín Sanidad Vegetal Plagas*, 30: 733-744.
- Moral FJ. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13: 95-105
- Núñez S, Paullier J. 2006. *Cydia molesta*. En: Bentancourt, C., Scatoni I.B. (Eds.) *Lepidópteros de importancia económica en el Uruguay, reconocimiento, biología y daños de las plagas agrícolas y forestales*. Montevideo: Hemisferio Sur - Facultad de Agronomía. Pp. 176-188.
- Núñez S, García S, Paullier J, Pagani C, Maeso D. 1998. Guía para el manejo integrado de plagas y enfermedades en frutales. Montevideo, INIA. *Boletín de Divulgación* 66. 116 p.
- Ramírez-Dávila JF, Gonzalez-Andujar JL, Lopez MA, Ocete R. 2005. Modelización y mapeo de la distribución espacial de ninfas del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon) (Hemiptera, Cicadellidae) en viñedo. *Boletín Sanidad. Vegetal Plagas*, 31: 119-132.
- Reis W, Nora I, Melzer R. 1988. Population dynamics of *Grapholita molesta*, Busck, 1916, and its adaptation on apple in South Brazil. *Acta Horticulturae*, 232: 204–208.
- Ribes-Dasi M, Tort E, Avilla J, Sarasua MJ, Albajes R. 2005. Estudio de la dinámica poblacional de *Cydia pomonella* (L.) como parte del programa de control en superficies muy extensas. En: IV Congreso Nacional de Entomología Aplicada, Bragança, Portugal, noviembre de 2005. Comunicación.

- Ribes-Dasi M, Avilla J, Sarasua M J, Albajes R. 2001. The use of geostatistic to study the spatial distribution of *Cydia pomonella* and *Pandemis heparana* in Lleida, Spain. In. Proceeding of the 5th International Conference on Integrated Fruit Production. Lleida, October 22-26, 2000. Bulletin OILB/SROP, 24: 185-188.
- Ribes-Dasi M, Avilla J, Bascuñana M. 1998. Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis&Schiffermüller) en Torregossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. Boletín Sanidad Vegetal Plagas, 24: 935-948.
- Rossi R, Mulla D, Journel J, Franz E. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. Ecological Monographs, 62: 277-314.
- Rothschild GHL, Vickers RA. 1991. Biology, ecology and control of the oriental fruit moth. En: Van der Geest LPS, Evenhuis HH. (Eds.). World crop pests, Tortricids pests. Their biology, natural enemies and control. Amsterdam: Elsevier. (Volumen 5). Pp. 389-412.
- Samper CF, Carrera RM. 1996. Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea. Centro internacional de métodos numéricos en ingeniería. Universidad politécnica de Cataluña. 484 p.
- SAS Institute Inc. 2006. Base SAS® 9.1.3 Procedures Guide, 2 ed. , Volumes 1, 2, 3, and 4. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Scatoni I, Mondino P, Leoni C, Núñez S, Bentancourt C, Mujica MV, Alaniz S. 2003. Guía de monitoreo de plagas y enfermedades para cultivos frutícolas. Montevideo, PREDEG-GTZ. 92 p.
- Schotzko DJ, O'Keefe LE. 1990. Effect of sample placement on the geostatistical analysis of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in lentils. Journal of Economic Entomology, 83: 1888-1900.
- Schotzko DJ, O'Keefe LE. 1989. Geostatistical descripton of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in lentils. Journal of Economic Entomology, 82: 1277-1288.

- Sciarretta A, Trematerra P. 2006. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Grapholita molesta* and *Anarsia lineatella* males in an agricultural landscape. *Journal of Applied Entomology*, 130:73–83.
- Steiner LF, Yetter WP. 1933. Second report on the efficiency of bait traps for the oriental fruit moth as indicated by the release and capture of marked adults. *Journal of Economic Entomology*, 26(4):774-788.
- Stewart AJA, John EA, Hutchings MJ. 2000. The world is heterogeneous: ecological consequences of living in a patchy environment. En: Hutchings, MJ, John EA y Stewart AJA. (Eds.). *The ecological consequences of environmental heterogeneity*. Cambridge: Blackwell Science. Pp. 1-8.
- Tannure C, Mazza, S. 2004. Caracterización geostadística de la distribución espacial de *Alabama argillacea* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo del algodón. Corrientes, Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias. Comunicaciones Científicas y Técnicas 2004. Resumen A-017. 4 p.
- Taylor LR. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annual Review of Entomology*, 29: 321-357.
- Taylor LR. 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189:732-735.
- Torres-Vila, LM, Oustry L, Schmitz V, Roehrich R, Stockel J. 1993. Acción de la humedad relative y la fluctuación térmica sobre la crisálida no diapausante de la “polilla del racimo”, *Lobesia botrana* Den. Y Scchiff. (Lepidoptera: Tortricidae). *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, 19:79-93.
- Tort E. 2004. Us de la geoestadística i els sistemes d’informació geogràfica(SIG) en l’estudi de la distribució de la plaga *Cydia pomonella* (L.) al pla d’Urgell. Universitat Politècnica de Catalunya. Tesina final de Master en SIG. 10 p.
- Vieira SR, Carvalho JR, Gonzalez A. 2010. Jack knifing for semivariogram validation. *Bragantia* 69 (0): 97-105.
- Waters WE, Henson WR. 1959. Some sampling attributes of the negative binomial distribution with special reference to forest insects. *Forest Science*, 5:397-412.

Webster R, Oliver MA. 2009. Geostatistics for Environmental Scientists. *Math Geoscience*, 41: 487–489.

Yetter LF, Steiner WP. 1932. Efficiency of bait traps for the oriental fruit moth as indicated by the release and capture of marked adults. *Journal of Economic Entomology*, 25(1): 106-116.

6. ANEXO

Caracterización espacial de *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) mediante métodos geoestadísticos y sistemas de información geográfica*

Felicia Duarte¹, MaríaV. Calvo¹, Alejandra Borges², Iris B. Scatoni¹

¹ Departamento de Protección Vegetal, ² Departamento de Biometría, Estadística y Computación. Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay, Avda. E. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay, iscatoni@fagro.edu.uy

Resumen

Los sistemas de información geográfica (SIGs) y la geoestadística pueden aportar al manejo de plagas determinando como se distribuyen las plagas a nivel local o regional, posibilitando el manejo dirigido al sitio específico, basado en información espacio temporal detallada. *Grapholita molesta*, principal plaga del duraznero y membrillero, requiere de varias intervenciones con insecticidas para mantener niveles de daño aceptables. Los objetivos del presente trabajo son: consolidar el procedimiento que mejor se adecue para obtener mapas de densidad poblacional de *G. molesta* mediante el uso de herramientas geoestadísticas y sistemas de información geográfica, determinar la distribución actual de la población en la región frutícola sur del Uruguay y relacionarla con características del entorno. En un área de

* Artículo a ser publicado en la revista Agrociencia

50 mil ha, durante los años 2007 a 2010 se instalaron y georeferenciaron 135 trampas de feromona en montes de duraznero, registrándose semanalmente las capturas de machos adultos desde setiembre a abril. Se realizó el análisis estructural y se elaboraron dos tipos de mapas de distribución de *G. molesta*. Mapas regionales mediante estimaciones de puntos no muestreados obtenidos por krigeaje utilizando el software GS+, y mapas de puntos a partir de los valores muestreados, utilizando SIG. El método geoestadístico fue apropiado para obtener mapas de distribución para 11 de los 19 períodos considerados. Tres focos de alta población permanecieron durante los tres años estudiados. La correlación entre densidad poblacional y presencia de durazneros y membrilleros fue 0,68.

Palabras clave: grafolita, mapas de plagas, semivariograma

Summary

Spatial characterization of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) using geostatistic methods and geographic information systems.

Geographic information systems (GIS) and geostatistic can support pest management by analyzing the spatial distribution of a pest, in a local or regional level. Therefore specific site pest control can be performed based on accurate spatio-temporal information. *Grapholita molesta*, the most important pest of peaches and quinces, requires several insecticides applications to achieve acceptable levels of injury. The objectives of this study were: to consolidate the best procedures to obtain population density maps of *G. molesta* using

geostatistics methods and GIS; to determine the present distribution of the pest in southern Uruguay and to relate this with environmental characteristics. Since 2007 to 2010, 135 pheromone traps per year were installed and georeferenced in peaches orchards distributed in 50,000ha. Male adult captures were registered weekly from september to april. The structural analysis of the captures was done; variogram were generated for the cumulative captures analized by generation and by growing season. Two sets of distribution maps of *G. molesta* were elaborated. Regional maps were made estimating the population level of the pest in not evaluated areas using ordinary kriging analyzed by GS+ software. Points maps were elaborated with the real value of the evaluated points using GIS. Geostatistic method was appropriated to obtain distribution maps in 11 of the 19 considered periods. Three hot spots of high population levels were observed along the three years. The correlation between population density and the presence of peaches and quinces was 0.68.

Keywords: oriental fruit moth, pest maps, semivariogram

Introducción

Grafolita (*Grapholita molesta*, Lepidoptera: Tortricidade) es la principal plaga del duraznero y el membrillero, aunque ataca también manzanos y perales. La larva de este lepidóptero prefiere para alimentarse brotes tiernos de duraznero, pero avanzada la temporada, cuando la brotación se enlentece, penetra en los frutos para alimentarse de la pulpa de las distintas especies de frutales. En Uruguay presenta cinco generaciones al año desde setiembre a abril, pudiendo tener una sexta generación parcial (Núñez y Paullier,

2006). Es al control de esta especie, a la que van dirigidas la mayoría de las aplicaciones de insecticidas en durazneros y membrilleros.

La producción frutícola apuesta a la sostenibilidad, por lo que se hace necesario disminuir el uso de insecticidas y promover estrategias alternativas de control de menor impacto sobre el ambiente y el trabajador rural. Dentro de las estrategias a adoptar, el manejo regional se posiciona como el más efectivo para una gran cantidad de plagas. Esto implica hacer un control sincronizado y coordinado sobre las poblaciones de insectos en áreas extensas, en lugar de hacer un manejo individual predio por predio (Faust, 2008). Para desarrollar estrategias de manejo regional eficientes hay que conocer tanto la dinámica poblacional, como la distribución de la plaga en el espacio, permitiendo el uso de estrategias de manejo en el sitio específico donde las poblaciones son más elevadas (Emmen, 2004).

Los sistemas de información geográfica y la geoestadística, permiten analizar grandes series de datos en tiempos muy breves, para llevar adelante estudios a gran escala. Si bien esta técnica nace en el campo de la geología se ha ido extendiendo a la agricultura (Emmen, 2004), encontrándose varios antecedentes de estudios de distribución espacial de insectos (Midgarden *et al.*, 1993; Ribes *et al.*, 1998; Farias *et al.*, 2004; Tannure y Mazza, 2004; Boiteau, 2005; Ramírez-Dávila *et al.*, 2005; Castillo *et al.*, 2006; Moral *et al.*, 2006; Sciarretta y Trematerra 2006). El análisis espacial se basa en la teoría de las variables regionalizables de Matheron que plantea que el valor de una variable en un punto está relacionado con el valor de la variable en otro punto cercano (Rossi *et al.*, 1992). Si bien las variables biológicas generalmente muestran una estructura caótica a pequeña escala, tienen generalmente una estructura de variabilidad espacial a escala mayor, la que puede ser modelada mediante la construcción del semivariograma. El semivariograma se construye graficando la semivarianza

de los conjuntos de pares de datos separados por intervalos de distancia similares, en función de la distancia (Rossi *et al.*, 1992). Tres parámetros caracterizan al semivariograma. El efecto pepita (C_0) representa la discontinuidad en el origen, la meseta (C_0+C) es el valor máximo de variabilidad, y el alcance determina el área de influencia de la correlación (Cuador Gil, 2005). Esta información puede ser utilizada para estimar la población mediante el procedimiento geoestadístico de krigeaje. Este consiste en estimar valores de la variable en puntos no muestreados como un promedio ponderado de los puntos muestreados en localizaciones cercanas, asignándole un peso diferente a cada valor en función de la distancia y de su relación espacial (Huijbregts, 1978; Hohn, 1988; Isaaks y Srivastava, 1989; Armstrong *et al.*, 1992; Rossi *et al.*, 1992). Esto permite la elaboración de mapas de distribución de la población, pudiéndose identificar los focos de mayor abundancia y por lo tanto disponer de esta información para definir estrategias de manejo.

También es posible mediante los SIG realizar mapas de distribución de las variables a partir de datos de muestreo sin realizar interpolaciones, con la limitante de que se grafica el valor en un punto específico sin determinar el valor de la variable en el resto del área.

Si bien los sistemas de pronóstico basados en la variabilidad temporal de las plagas han demostrado ser de gran utilidad, son limitados para optimizar los sistemas de protección fitosanitaria y sobre todo para disminuir el impacto ambiental de las medidas de control en áreas extensas (Faust, 2008). Las poblaciones de insectos y ácaros se distribuyen en el espacio en general en forma agregada, formando focos con altas densidades, alternando con otras zonas con bajos niveles de población. Estudiar la variabilidad espacial de las especies, además de sus fluctuaciones poblacionales en el tiempo, brinda mayor información para optimizar los sistemas de protección fitosanitaria mejorando su eficiencia y disminuyendo el

impacto negativo al permitir limitar las medidas de control específicamente a las áreas problema.

Asimismo la información obtenida puede relacionarse mediante el uso de SIGs con características propias de cada zona que permitan identificar los factores determinantes de la distribución de la plaga como ser la densidad de hospederos, cercanía a plantas de acopio o empaque de frutas o sitios donde se descarta la fruta sin valor comercial. En Lérida, España, existe un programa donde se incorpora esta metodología en el servicio de alerta de plagas para frutales de hoja caduca, basada en estudios previos de distribución espacial de *Cydia pomonella* y *Pandemis heparana* (Ribes-Dasi *et al.* 1998, 2001 y 2005).

La finalidad de este trabajo fue contribuir a generar los conocimientos para ser aplicados en sistemas de alertas por regiones. Se plantearon los siguientes objetivos: a) consolidar el procedimiento que mejor se adecue para obtener mapas de densidad poblacional de *G. molesta* mediante el uso de herramientas geoestadísticas y sistemas de información geográfica b) determinar la distribución espacial de la población de esta plaga en la región frutícola sur del Uruguay y c) relacionar la distribución de dicha plaga con características del entorno.

Materiales y métodos

Los estudios de distribución espacial se realizaron en la zona sur del país y abarcaron un área aproximada de 50.000 ha, ubicadas entre los vértices NO $x=555577$ $y=6176372$; SE $x=576335$ $y=6149388$ (UTM WGS 84). Comprende las localidades: Melilla, Las Brujas, Rincón del Colorado, Los Cerrillos, Las Violetas, Progreso, Juanicó y Canelón Chico (Figura 1A).

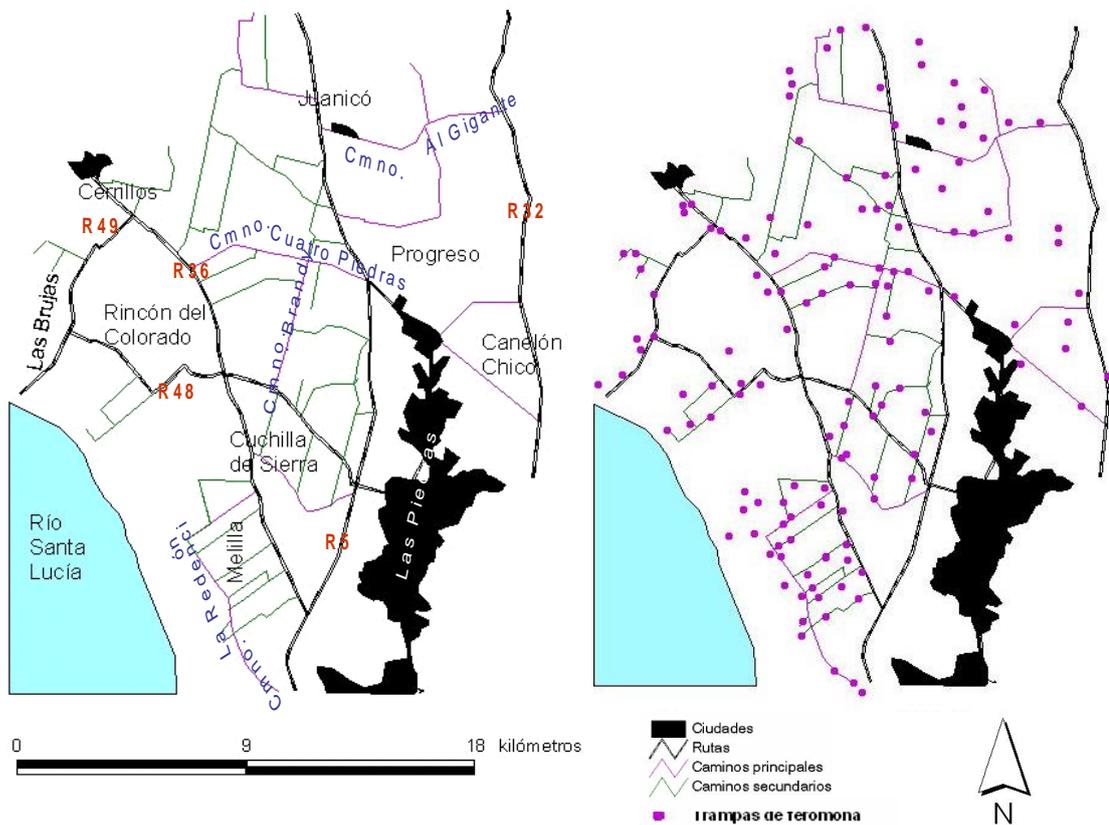


Figura 1: A: Principales localidades, rutas y caminos del área de estudio. B: Distribución de las trampas de feromona en el área.

Para determinar la abundancia de poblaciones de grafolita se utilizaron trampas tipo “wing” cebadas con feromona (Isca Tecnologías Ltda.). Se instalaron y georeferenciaron 135 trampas en montes de duraznero, separadas a una distancia mínima de entre 500 y 1000m (Figura 1B). Las trampas se revisaron semanalmente contabilizándose la cantidad de machos adultos, en el período setiembre-abril de cada año. El monitoreo se realizó en tres años consecutivos, desde setiembre del 2007 hasta abril del 2010.

Procesamiento de datos para la elaboración de mapas mediante krigeaje.

Se procesaron por separado las capturas de las cinco generaciones de grafolita y el total de capturas acumuladas en toda la temporada. Las generaciones fueron delimitadas mediante la constante térmica (535GD). Las estimaciones de grados día se iniciaron el primero de setiembre de cada temporada, finalizando a mediados de abril, momento en que no se registraron más capturas. Los que fueron calculados a partir de la información de temperaturas medias de la Estación Experimental INIA Las Brujas situada en Rincón del Colorado, Canelones. Se realizó el análisis exploratorio de los datos verificándose la normalidad de los mismos mediante el test de Shapiro-Wilk y Anderson-Darling. En todos los casos los datos fueron normalizados mediante transformaciones logarítmicas o raíz cuadrada. Para procesar la información se utilizó el software Geostatistics for the Environmental Sciences (GS+ Versión 7, Gamma design software, Plainwell, Michigan, 2006). Con este programa se realizó parte del análisis estructural y la elaboración de mapas mediante krigeaje. Se construyeron los variogramas experimentales graficando la semivarianza de las capturas en función de la distancia, con un máximo de quince intervalos

distanciados entre 899 y 1500m. La distancia máxima para el análisis estructural fue 13500m con pequeñas variaciones según la temporada, equivalente a la mitad de la distancia entre los dos puntos más lejanos. Para cada uno de los variogramas empíricos construidos se ajustaron diferentes modelos teóricos. Se evaluó el modelo que el GS+ proponía por defecto y el modelo esférico, dado que algunos autores lo recomiendan para estudios biológicos (Moral 2004, Ramírez-Dávila *et al.* 2005). Las estimaciones de los parámetros de cada modelo obtenidos en el GS+ se usaron como valores iniciales para ajustar mediante un proceso iterativo, los modelos geoestadísticos definitivos. Se utilizó el procedimiento Mixed del paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2006). La significancia de la incorporación de la correlación espacial en los modelos obtenidos con respecto al modelo nulo que implica independencia espacial, se probó mediante una prueba de razón de verosimilitud. A partir de los modelos que resultaron significativos, se realizaron interpolaciones mediante la técnica de krigeaje ordinario utilizando el programa GS+. Este proceso implica que cada punto observado es individualmente removido y su valor es estimado mediante el krigeaje, teniendo para cada trampa el valor observado y estimado. A partir de estos datos se calcularon cinco indicadores (Legrá *et al.* 2004, Ramírez-Dávila *et al.* 2005) que junto con el AIC (Criterio de información de Akaike) se utilizaron para seleccionar el modelo de mejor ajuste (Cuadro 1). Para cada modelo se midió el grado de dependencia espacial mediante la relación de los parámetros pepita y meseta (C_0/C_0+C), y se determinó el valor del alcance que indica hasta qué distancia existe correlación espacial entre las capturas registradas. Finalmente, se retransformaron los datos.

Los mapas de isocapturas de grafolita se elaboraron a partir de las estimaciones por krigeado, que ofrece el software GS+. Se utilizó una escala de tres colores y dos tonos para

cada color. El rojo indicando los sitios de mayor población, el amarillo zonas intermedias y el verde zonas de menor población. Asimismo los tonos claros indican menor población que los oscuros.

Elaboración de mapas de distribución de grafolita mediante SIG.

Con los datos de captura de machos obtenidos se elaboraron mapas de población en cada punto de muestreo, con el fin de poder comparar su patrón de distribución con el patrón de distribución del mapa estimado a partir del krigeaje. Para esto se utilizó el software Arc View 3.1 (ESRI Geoinformatik GMBH, Hannover, Alemania) con el que se ubicó cada sitio de muestreo, asignándole a cada punto un color utilizando la misma escala de colores que en los mapas obtenidos con el GS+. En este caso los valores de población se limitan a la coordenada geográfica donde se realizó el muestreo, no siendo extrapolable al resto de la superficie.

Correlación de la densidad poblacional de grafolita en función de la disponibilidad de hospederos.

Para relacionar las capturas de grafolita con la presencia de hospederos se utilizó el Sistema de Información del Censo Agropecuario (SICA) (MGAP-DIEA, 2000), donde el área en estudio se encuentra subdividida en 17 sub áreas, o áreas de enumeración (AE). Para cada AE se extrajeron los datos del total de explotaciones, y total de explotaciones con duraznero y con membrillero. A partir de esta información se calculó el porcentaje de explotaciones con

los cultivos de interés para cada AE. Posteriormente se correlacionó el promedio de capturas acumuladas anuales para cada AE, en función de la cantidad de duraznero y membrillero en cada zona, medida como porcentaje del total de las explotaciones que producen durazno y/o membrillo. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman.

Inclusión de otros factores de potencial influencia en la distribución espacial.

Se realizó una encuesta a cada uno de los productores involucrados para determinar la presencia de fuentes de luz cercanas al monte, la presencia de plantas de procesamiento de fruta en el predio o alrededores, la eliminación de fruta de descarte dentro del monte y la presencia de montes abandonados en los alrededores (200m).

Cuadro 1: Indicadores utilizados para la selección de los modelos

Nombre del indicador y valor ideal	Estimador
Error medio Debe ser igual a cero	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))$
Error medio cuadrado Debe ser $< \sigma^2$ (Samper y Carrera 1996, Hevesi <i>et al.</i> 1992)	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2$
Coefficiente de correlación entre los valores estimados y los observados Debe ser cercano a uno	$\text{Corr}(Z; Z^*)$
Indicador de precisión Valor ideal: 100% (Adaptado de Legra <i>et al.</i> , 2004)	% de $Z^*(x_i)$ que cumplan que: $-a \leq (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \leq a$, para $a=5$ capturas semanales y $a=10$ capturas semanales

$Z(x_i)$: valor observado en el punto x_i , $Z^*(x_i)$ valor estimado en el punto x_i , n : total de puntos de muestreo.

Resultados y discusión

Uno de los factores que afecta la consistencia de los semivariogramas, es la asimetría y el sesgo en la variable de interés. Las estimaciones obtenidas en los variogramas son sensibles a la falta de normalidad de los datos (Webster y Oliver, 2009). En todos los casos se verificó que la distribución no era normal por lo que se transformaron los valores mediante diferentes procedimientos según el caso. En la temporada 2007_08 los datos se normalizaron aplicando la función logaritmo natural mientras que en la temporada 2008_2009 y 2009_2010 se logró un mejor ajuste utilizando la función raíz cuadrada. Tanto para la cuarta generación 2007_08 como para la tercera generación 2008_09 pese a que las pruebas de normalidad fueron significativas se observó una mejor simetría de los datos mediante la transformación.

Análisis estructural

Con los datos transformados se procedió al ajuste y validación de modelos que explicaran la continuidad espacial. Se estimó un modelo para cada generación y para el total de capturas acumuladas por temporada. En los cuadros 2, 3 y 4 se observan los modelos que resultaron significativos en la prueba de razón de verosimilitud ($p \leq 0,05$).

Cuadro 2: Modelos evaluados para la temporada 2007_08

Generación	Longitud del			-2 Res Log	
	intervalo	Modelo	Alcance	Verosimilitud	P(0,05)
Inv¹	1500	esférico	980	324	ns
	899	exponencial	47400	315,1	*
G1	899	exponencial	480	254,2	ns
	1200	esférico	913	254,2	ns
G2	899	esférico	1227	241,4	*
G3	1200	exponencial	1127	249,7	ns
	1200	esférico	1287	249,8	ns
G4	1200	esférico	3406	772,9	ns
Ac s/ inv²	899	gaussiano	908	201,7	*
	899	esférico	1176	205,4	*

1: invernante; 2: acumulada sin invernante.

Cuadro 3: Modelos evaluados para la temporada 2008_09

Generación	Longitud del			-2 Res Log	
	intervalo	Modelo	Alcance	Verosimilitud	P(0,05)
Inv¹	1200	gaussiano	2307	849,4	*
	1200	esférico	2943	849,2	*
G1	1200	gaussiano	0	742,1	ns
	1200	esférico	564	742,1	ns
G2	1200	esférico	474	671,2	ns
G3	908	exponencial	17181	683,9	*
	908	esférico	4534	683,7	*
	1200	exponencial	17232	683,9	*
	1200	esférico	4535	683,7	*
G4	1200	esférico	1405	1477,3	*
Ac²	1200	esférico	3588	881,6	*
Ac s/ inv³	1200	esférico	6884		*

1: invernante; 2: acumulada. 3: acumulada sin invernante

Cuadro 4: Modelos evaluados para la temporada 2009_10

Generación	Longitud del intervalo			-2 Res Log Verosimilitud P(0,05)	
	Modelo	Alcance			
Inv¹	920	exponencial	16980	818,1	*
	920	esférico	16350	819	*
G1	920	gaussiano	1640	609,8	*
	920	esférico	27403	603,6	*
G2	1200	esférico	0	620,8	ns
	1200	exponencial	5605	731,5	*
G3	1200	esférico	374	734,7	ns
	1200	esférico	0	736,8	ns
G4	1200	esférico	0	750,5	ns
Ac²	1200	gaussiano	1686	875	*
	1200	esférico	2005	885,7	*
Ac s/ inv³	1200	esférico	0	844,8	ns

1: invernante; 2: acumulada; 3: acumulada sin invernante

Se ajustaron modelos para 11 de los 19 períodos considerados. A continuación se presentan aquellos modelos que según los indicadores obtuvieron las mejores estimaciones en el proceso de validación cruzada (Cuadro 5, 6 y 7).

Cuadro 5: Índices obtenidos para los modelos que resultaron significativos durante la temporada 2007_08

Temporada 2007_08	Modelo (int.) ⁴	Alcance	EMC ⁵		Correlación de Pearson	Precisión: ±5 (%)	Precisión: ±10 (%)	AIC ⁸
			EM ⁶					
G2+ ¹	esférico(899) wg	1227	7391	-3,9⁷	0,17	44,2	71,7	247,4
	esférico(899) sd	1227	7615	19,8*	0,18	56,7	78,3	247,4
Ac ² . s/inv ³	gauss(899) wg	908	122672	-43,9*	0,17	30,8	60,8	205,7
	gauss(899) sd	908	122859	64,2*	0,18	36,7	72,5	205,7
	esférico(899) sd	1176	123598	63,9*	0,19	36,7	74,2	209,4
	esférico(899) wg	1176	124207	-40,1*	0,17	31,7	59,2	209,4
Valor ideal			<S2	0	1	100	100	

1: generación; 2: acumulada; 3: invernante; 4: distancia entre intervalos; 5: error medio cuadrado; 6: error medio; 7: significativo según T(0,05); 8: Criterio de Información de Akaike.

Valores de referencia para la varianza: S²(G2):7422; S²(Ac. s/inv): 122020.

Cuadro 6: Índices obtenidos para los modelos significativos durante la temporada 2008_09

Temporada 2008_09	Modelo (int.) ⁴	Alcance	EMC ⁵	EM ⁶	Correlación de Pearson	Precisión: ±5 (%)	Precisión: ±10 (%)	AIC ⁸
G ¹ . inv. ³ .	gauss(1200)	2307	31088	20,4 ⁷	0,53	21,5	39,3	855,4
	esf.(1200)	2943	31173	21,0*	0,53	23,7	39,3	855,2
G3	esf.(908)	4534	2782	5,1 *	0,29	50,4	80,7	689,7
	exp(908)	17181	2716	9,3*	0,17	63,0	85,2	689,9
	esf(1200)	4535	2603	8,8*	0,25	62,2	85,2	689,7
	exp(1200)	17232	2715	9,2*	0,17	63,0	85,2	689,9
G4	esf.(1200)	1405	6508	9,7*	0,33	51,1	83,7	1483,3
Ac ² sin inv.	esf.(1200)	3588	39168	27,0*	0,31	48,9	81,5	887,6
Ac	esf.(1200)	6884	104221	32,0*	0,39	37,8	65,2	842,5
Valor ideal			<S²	0	1	100	100	

1: generación; 2: acumulada; 3: invernante; 4: distancia entre intervalos; 5: error medio cuadrado; 6: error medio; 7: significativo según T(0,05); 8: Criterio de Información de Akaike.

Valores de referencia para la varianza: S²(inv.): 40340; S²(G3): 2711; S²(G4): 7003; S²(Ac. s/inv): 42625; S²(Ac): 120791.

Cuadro 7: Índices obtenidos para los modelos significativos durante la temporada 2009_10

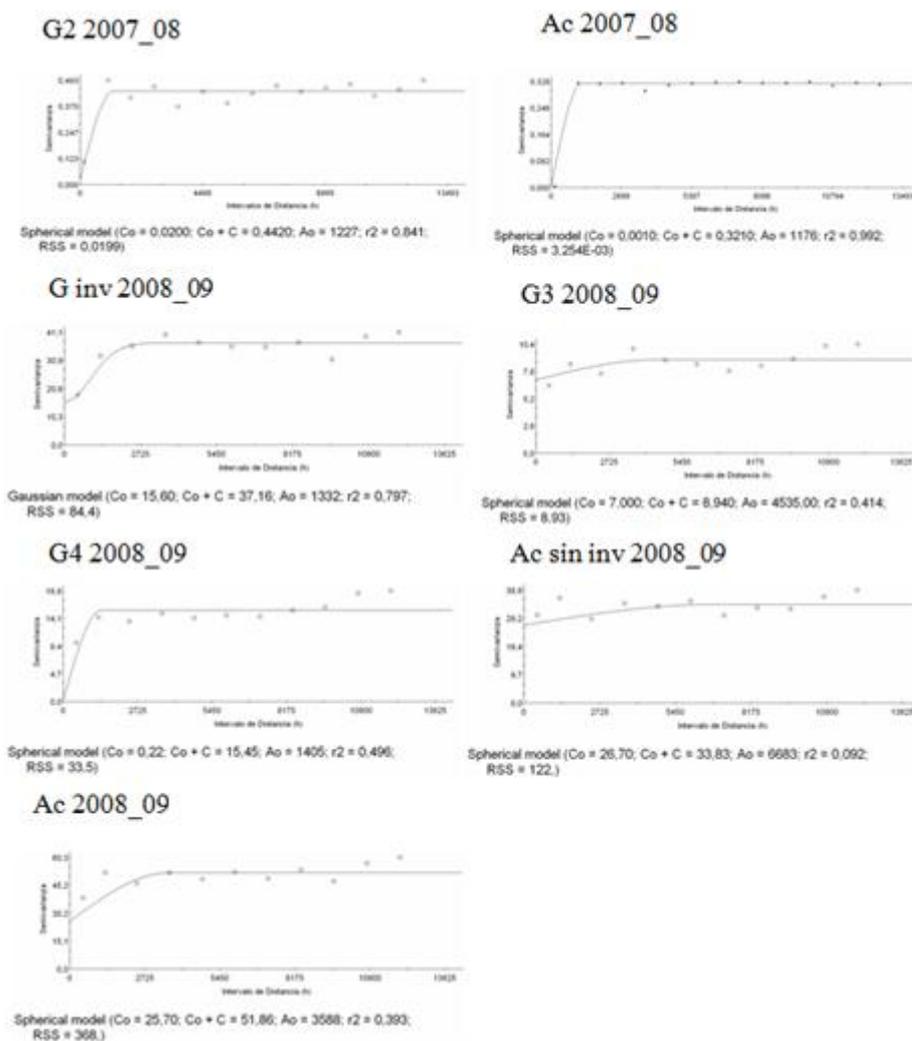
Temporada 2009_10	Modelo (int.) ⁴	Alcance	EMC ⁵	EM ⁶	Correlación de Pearson	Precisión: ±5 (%)	Precisión: ±10 (%)	AIC ⁸
G ¹ inv. ³	exp(920)	16980	27512	23,5 ⁷	0,53	28,8	63,6	824,1
	esf(920)	16350	27457	22,8 *	0,52	24,4	55,6	825
G1	gauss(920)	1640	1133	5,6 *	0,39	57,0	87,4	609,6
	esf(920)	27403	1127	6,5*	0,39	74,8	93,3	615,8
G2	exp(1200)	5605	6803	13,3*	0,30	30,4	61,5	737,5
Ac ²	gauss(1200)	1686	103214	37,2 *	0,38	50,8	70,5	881,0
	esf(1200)	2005	102949	38,5*	0,38	50,0	72,7	881,7
Valor ideal			<S²	0	1	100	100	

1: generación; 2: acumulada; 3: invernante; 4: distancia entre intervalos; 5: error medio cuadrado; 6: error medio; 7: significativo según T(0,05); 8: Criterio de Información de Akaike.

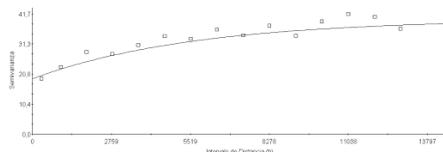
Valores de referencia para la varianza: S²(inv.): 37963; S²(G1): 1291; S²(G2): 7457; S²(Ac): 118872.

Se observa en los cuadros 5, 6 y 7 que los índices de correlación son muy bajos, ya que lo esperable es que los valores estimados sean iguales o al menos similares a los originales, y por tanto que el índice sea cercano a 1. Del mismo modo sería esperado que el indicador que evalúa el porcentaje de estimaciones con diferencias menores a 5 capturas semanales frente a los datos originales se aproximara al 100%. Sin embargo en la mayoría de los casos no superan el 50%. Estos valores mejoran cuando se amplía la tolerancia de error a ±10 capturas semanales, alcanzándose altos valores de correlación, sin embargo 10 capturas

semanales como error es más de lo que podría permitirse para llevar este método a la práctica agronómica, ya que se estaría brindando información con un nivel de error que podría generar el uso de estrategias de control innecesarias, o en la situación inversa, generar situaciones de riesgo potencial de daño a los cultivos por no realizarse mediadas de control pertinentes. En la figura 2 se resumen los variogramas seleccionados con sus respectivos parámetros.

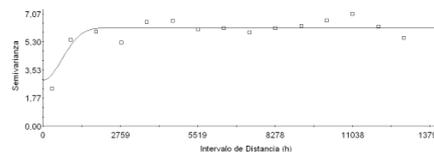


G inv 2009_10



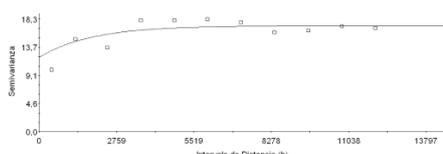
Exponential model ($C_0 = 19,24$; $C_0 + C = 39,92$; $A_0 = 5660$; $r^2 = 0,907$; $RSS = 87,6$)

G1 2009_10



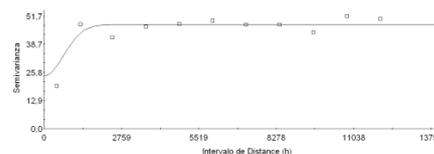
Gaussian model ($C_0 = 2,890$; $C_0 + C = 6,189$; $A_0 = 947$; $r^2 = 0,814$; $RSS = 3,58$)

G2 2009_10



Exponential model ($C_0 = 12,04$; $C_0 + C = 17,18$; $A_0 = 1868$; $r^2 = 0,743$; $RSS = 22,1$)

Ac 2009_10



Gaussian model ($C_0 = 24,16$; $C_0 + C = 47,65$; $A_0 = 973$; $r^2 = 0,864$; $RSS = 171,1$)

G: generación; inv. Invernante; Ac: generaciones acumuladas. Se incluyen solo aquellos variogramas que mostraron diferencias significativas con el modelo independiente.

Figura 2: Variogramas seleccionados para cada generación y temporada

Análisis de los parámetros de los variograma

El comportamiento del modelo en el origen es muy importante debido a su influencia en el proceso posterior de estimación. El parámetro C_0 mide el grado de aleatoriedad de la variable a distancias menores de las muestreadas, es la variación no explicada por el modelo, y se obtiene en el punto de corte con el eje Y, mientras que C indica la variación espacial, es decir, la diferencia entre el valor de la meseta y C_0 . La relación $C_0/(C_0+C)$ indica que porción de la variación total se da a distancias menores de las muestreadas y por tanto el grado de incertidumbre a la hora de interpolar puntos en el espacio. Un cociente alto indica una variable poco predecible. Entonces, el cociente indica que proporción de la variabilidad va a explicar el modelo, y que proporción de la variabilidad es independiente de la distancia. En los variogramas que se obtuvieron en este trabajo el efecto pepita es alto en relación con la meseta. En una variable relativamente errática como es el número de insectos es lógico debido a la variabilidad que existe a una distancia menor que la abarcada entre puntos de

muestreo (Moral *et al.*, 2006). Sobre todo si se considera que se trata de una variable fuertemente afectada por factores externos tan disímiles como pueden ser las estrategia de control aplicadas por cada productor. Una forma de medir el grado de dependencia espacial es dividir el efecto pepita (Co) sobre la meseta ($Co+C$). Si el resultado es menor a 0,25 el nivel de dependencia espacial es alto, si se encuentra entre 0,26 y 0,75 es moderado y si supera el 0,76 se considera bajo (Cambardella *et al.*, 1994). En el cuadro 10 se observa el grado de dependencia espacial medido como la relación $Co/(Co+C)$ para cada período.

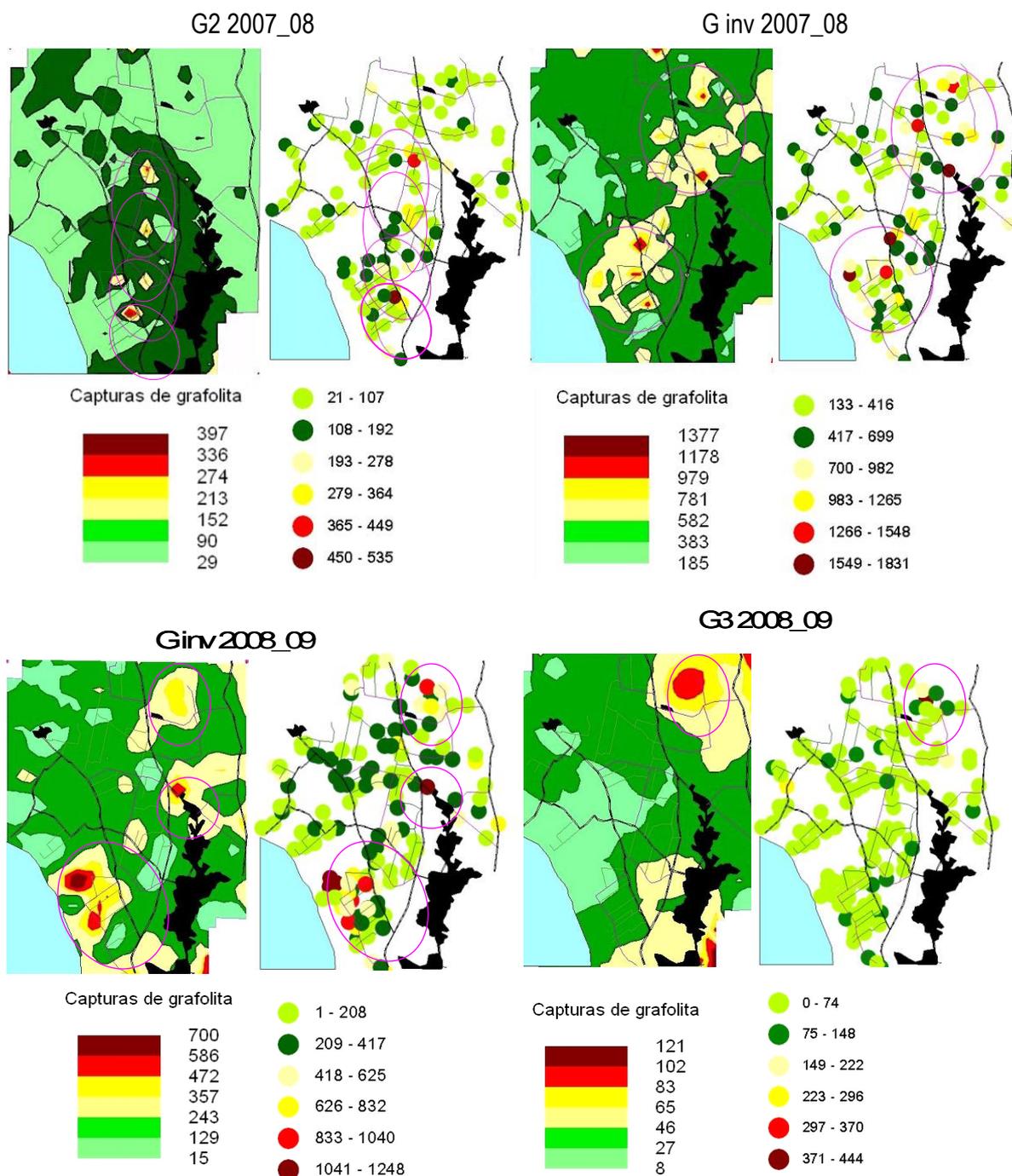
Cuadro 8: Grado de dependencia espacial y alcance de cada uno de los modelos significativos obtenidos.

Generaciones con modelos significativos	Alcance (m)	$Co/(Co+C)$	Nivel de dependencia espacial
G2 2007	1227	0,05	Alto
Ac sin inv ¹ . 2007	1176	0,01	Alto
Inv ² 2008	2307	0,42	Moderado
G3 2008	4535	0,78	Bajo
G4 2008	1405	0,01	Alto
Ac sin inv. 2008	3588	0,79	Bajo
Ac ³ 2008	6884	0,49	Moderado
Inv 2010	16980	0,48	Moderado
G1 2010	1640	0,47	Moderado
G2 2010	5605	0,70	Moderado
Ac 2010	1686	0,51	Moderado

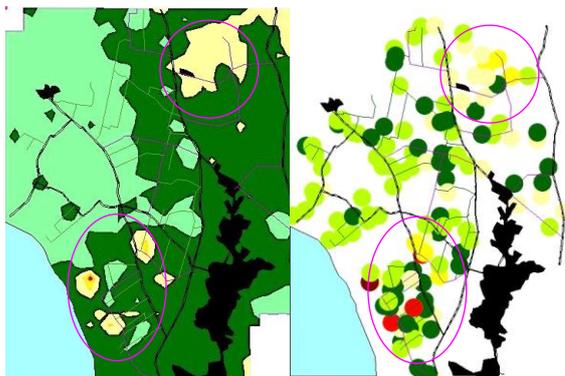
1: generaciones acumuladas exceptuando la generación invernante por no contar con los datos 2007_2008 2: invernante; 3: acumulada.

Los valores de alcance que se obtuvieron en los distintos modelos fueron muy variados. Esto dificulta la decisión para definir un sistema de muestreo, dado que es difícil que se puedan obtener estimaciones confiables colocando trampas a 16 Km. Como afirma Moral (2004), el principal objetivo no es seleccionar un modelo con el mejor ajuste estadístico, sino aquel que considere más los aspectos biológicos de la especie. El valor del alcance es fundamental al momento de diseñar un sistema de muestreo para caracterización espacial. A

distancias mayores del alcance las estimaciones no serían confiables pues se carece de correlación espacial de la variable, mientras que a distancias menores se estaría sub optimizando el sistema, utilizándose insumos y mano de obra innecesarios. Por tanto, para definir el alcance se consideraron únicamente aquellos modelos cuya relación pepita/meseta indican un alto grado de dependencia espacial (cuadro 8) determinándose así un alcance promedio de 1270m.



G4 2008_09

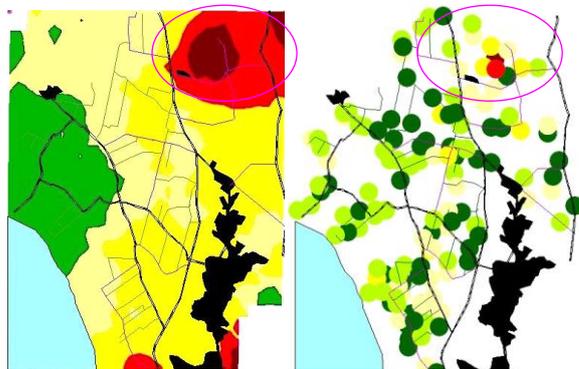


Capturas de grafolita



- 0 - 80
- 81 - 160
- 161 - 240
- 241 - 320
- 321 - 400
- 401 - 480

Ac sin inv 2008_09

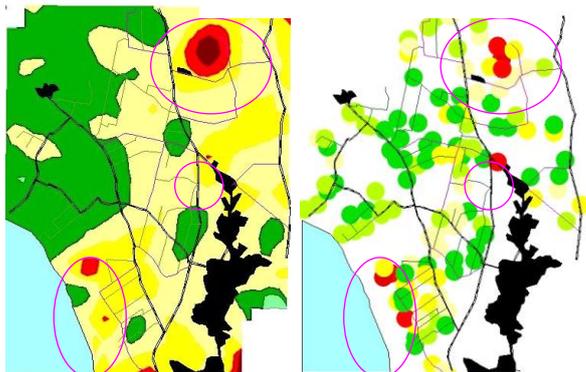


Capturas de grafolita



- 1 - 208
- 209 - 417
- 418 - 625
- 626 - 832
- 833 - 1040
- 1041 - 1248

Ac 2008_09



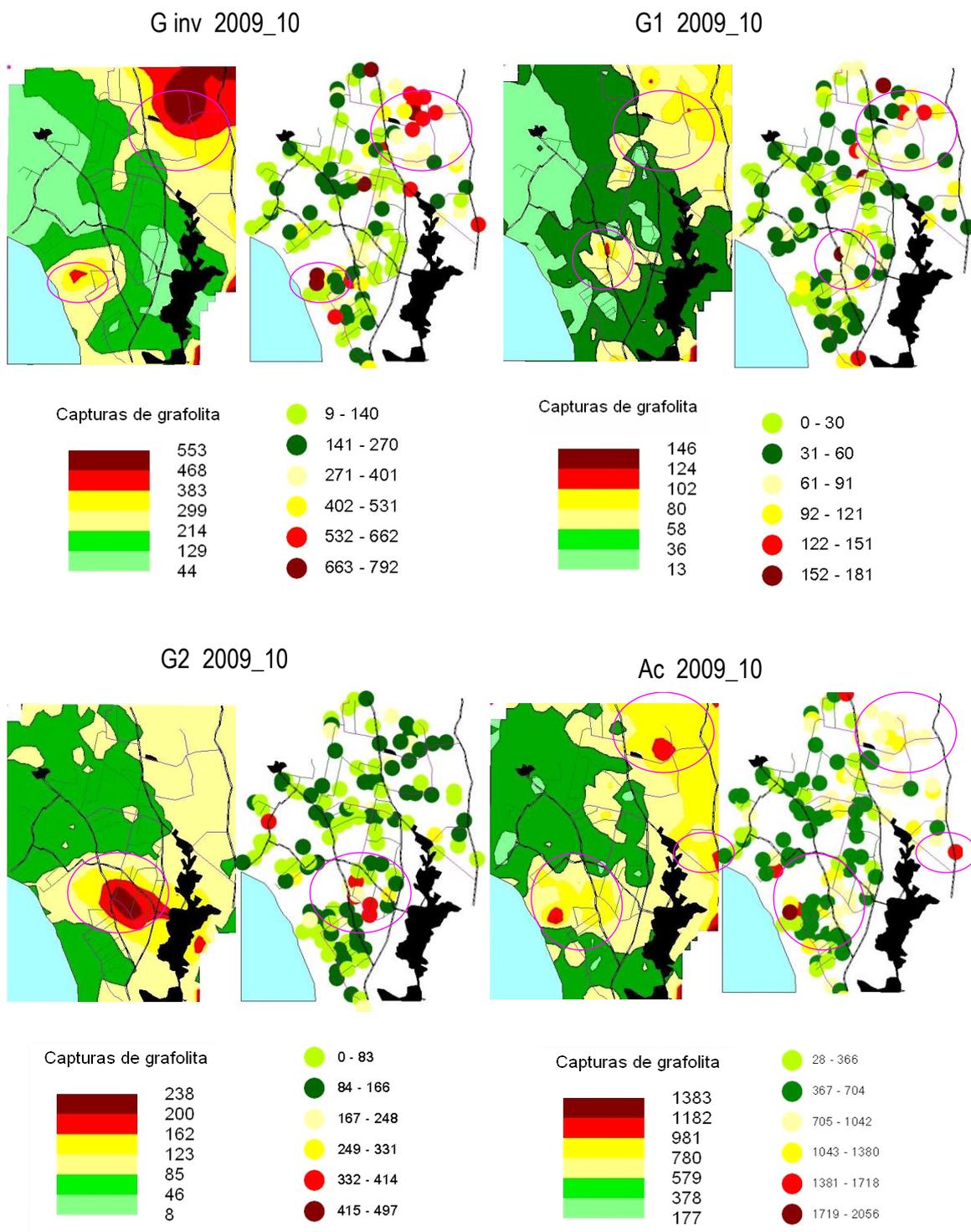
Capturas de grafolita



- 18 - 310
- 311 - 601
- 602 - 893
- 894 - 1185
- 1186 - 1476
- 1477 - 1768



- Río Santa Lucía
- Ciudades
- Rutas
- Caminos principales
- Caminos secundarios



Los círculos indican zonas coincidentes de alta densidad poblacional

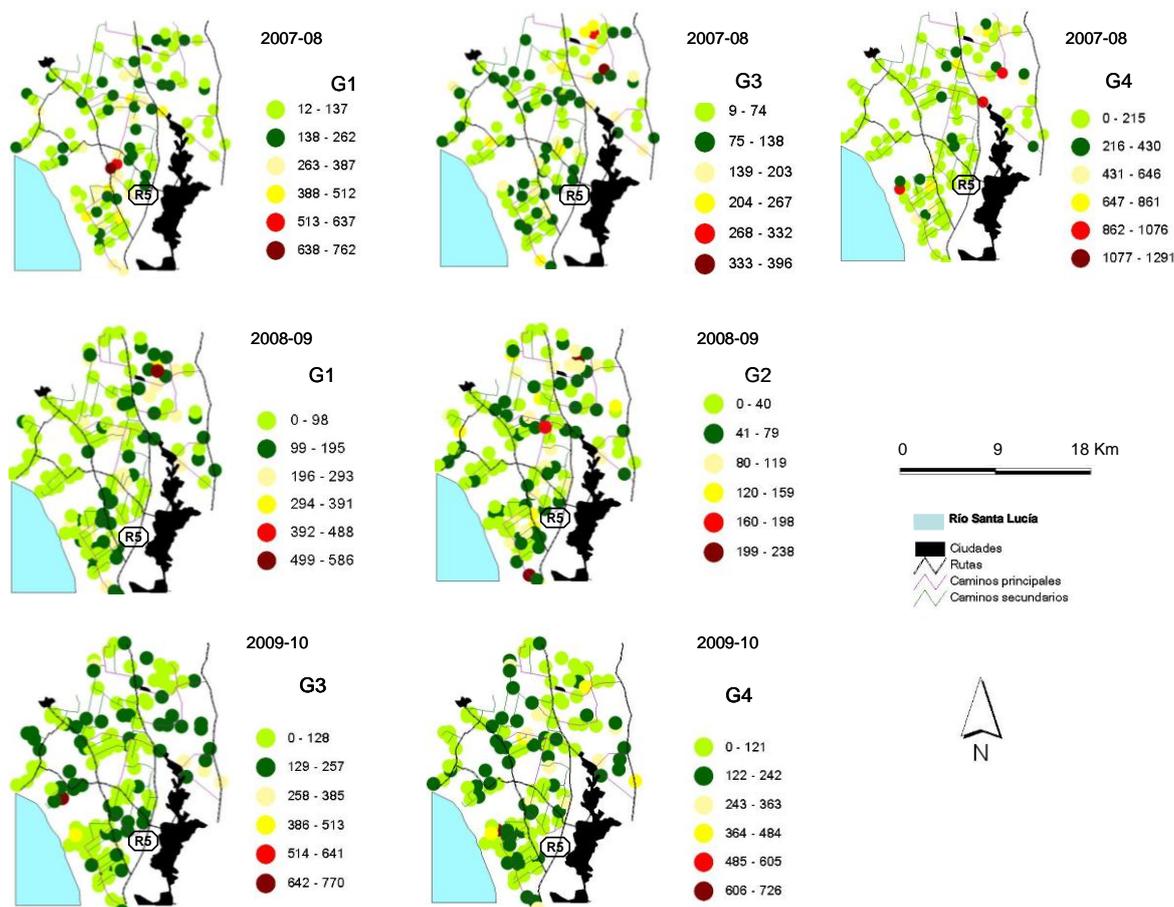
Figura 3: Comparación de mapas obtenidos mediante krigeaje a partir de modelos estadísticos significativos frente a mapas con datos de capturas reales sin proceso de interpolación.

Comparación de los mapas obtenidos mediante krigeaje y con datos de campo

Cuando se comparan los mapas obtenidos mediante krigeaje con los mapas elaborados a partir de los registros de campo se observa que, salvo en la tercera generación y las generaciones acumuladas sin la invernante de la temporada 2008_09, existe un patrón de distribución similar, coincidiendo las regiones de mayor y menor población en ambos mapas (Figura 3). Los mapas donde se observan las mayores diferencias coinciden con aquellos modelos que tienen un nivel de correlación bajo, con relación pepita/meseta superior a 0,75. Incluso en la segunda generación de la temporada 2009_2010 cuya relación pepita/meseta es de 0,7, los mapas obtenidos difieren bastante de la realidad, aunque Cambardella *et al.* (1994) lo establecen como relación moderada. Según estos resultados la razón entre los parámetros Co y la meseta no debería ser superior a 0,5.

Una característica que se observó al comparar las escalas de ambos tipos de mapas, es que los mapas obtenidos mediante el GS+ tienden a subestimar los valores máximos de capturas y a sobreestimar los mínimos. Esto sucede porque el valor máximo es obtenido mediante la interpolación de valores cercanos mayoritariamente inferiores. Ocurre lo mismo a la inversa, en el caso del valor más bajo, que también es estimado a partir de valores de capturas generalmente superiores. Si la distribución que se obtiene a partir del GS+ coincide con la del Arc View confirma que, aunque no se refleje debidamente la población en magnitud, muestra adecuadamente su distribución real.

Alternativas de mapeo sin interpolación



G: generación

Figura 4: Mapas de capturas de grafolita en trampas de feromona en cada punto de muestreo, para las generaciones con distribución espacial aleatoria.

Los mapas de la figura 4 fueron elaborados con el programa Arc View 3.1. Mediante este u otros software es posible ubicar el valor de la densidad poblacional en un punto, sin hacer inferencias sobre el comportamiento de la variable en el resto de la superficie. Esta herramienta podría ser útil cuando la distribución espacial es aleatoria y por tanto el método geoestadístico no es aplicable, lo que puede suceder en la práctica, al analizar la distribución espacial de grafolita sucesivas veces en el tiempo. Es claro que esta información es mucho mas restringida y no sustituye al mapa de predicciones.

Las localidades de Las Brujas, Cerrillos, Rincón del Colorado y Canelón Chico presentan áreas donde en general las poblaciones tienden a mantenerse bajas a muy bajas, con algunas excepciones en momentos puntuales. Las zonas que se caracterizan por poseer densidades de población intermedias son Cuchilla de Sierra, la zona circundante a la intersección del Camino Cuatro Piedras y camino Brandy, la entrada a la ciudad de Las Piedras, así como unos 2 km a lo largo de Camino La Redención cercanos a la intersección con la ruta 5. Estas zonas se caracterizan también por mostrar mayor variación en la magnitud de la población en las diferentes generaciones y años, observándose en general tonos amarillos que denotan poblaciones medias, con riesgo de llegar a ser altas o muy altas como sucede en algunos momentos en que se encuentran en estas zonas puntos rojos. Las zonas de Juanicó y Rincón de Melilla aparecen como las de mayor riesgo de ataques intensos de grafolita. En las tres temporadas y en la mayoría de las generaciones estas dos zonas son las que se mantienen con mayor población, observándose en la mayoría de las generaciones tonos rojos y amarillos (Figuras 3 y 4).

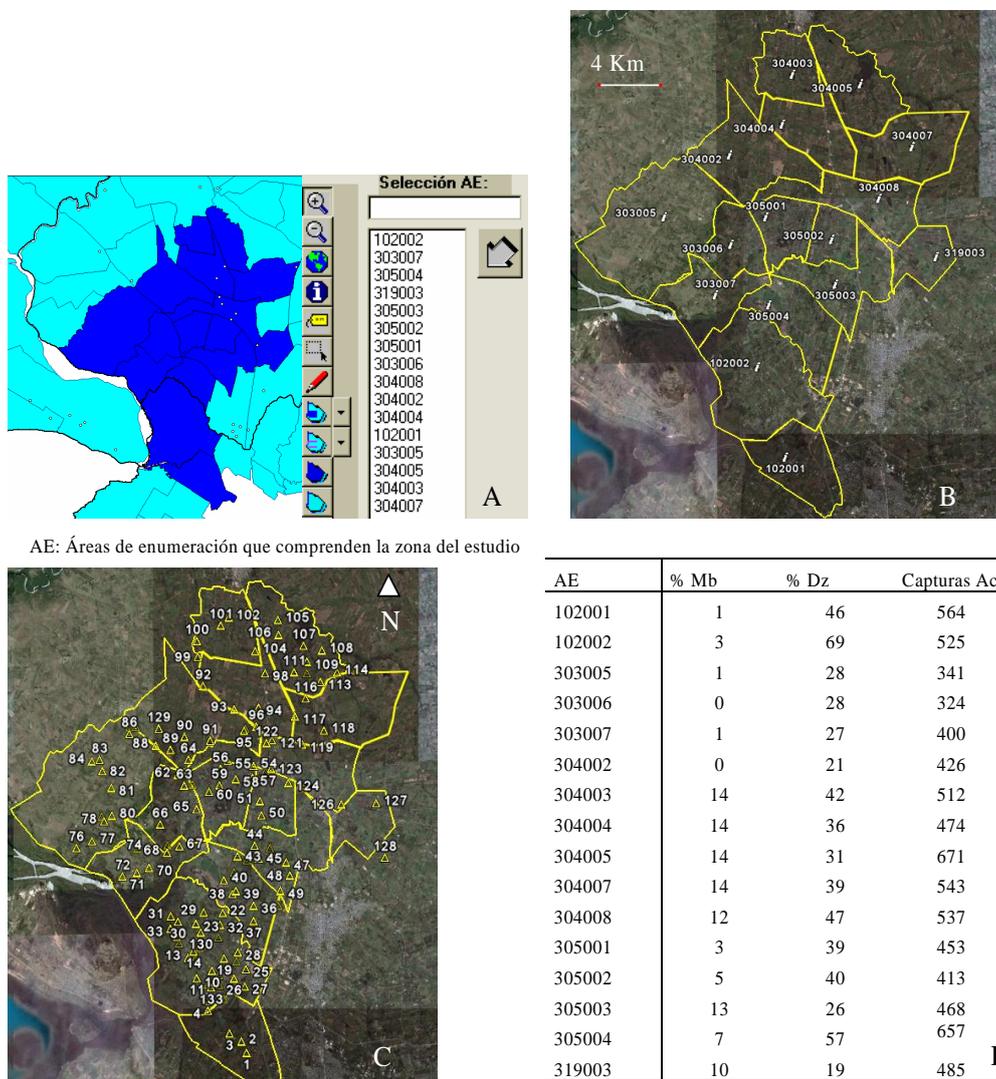


Figura 5: A: Mapa extraído del Sistema de Información del Censo Agropecuario (SICA) (MGAP-DIEA, 2000) presentando las áreas de enumeración (AE) en la zona de estudio. B: Mapa generado a partir de Google Earth indicando como se distribuyen las AE en la zona de estudio. C: Mapa que representa la distribución de las trampas de feromona para grafolita dentro de cada una de las AE del SICA. D: Porcentaje de predios con membrillero, porcentaje de predios con duraznero y promedio de capturas acumuladas de grafolita según AE

Relación espacial de grafolita con su entorno

A partir de la información que brinda el censo sobre cantidad total de explotaciones en cada Área de enumeración, y el total de explotaciones según especie frutícola producida, se calculó un indicador del porcentaje de predios dedicados a la producción de duraznero y membrillero para cada AE. Así mismo se calculó el promedio de capturas acumuladas en las tres temporadas para estas áreas de enumeración mediante la identificación de los productores en el mapa de google earth (Figura 5 C). A continuación se presentan los coeficientes de correlación de Spearman para el promedio de capturas acumuladas en los tres años de estudio en relación al porcentaje de predios con duraznero y de las mismas capturas en relación al porcentaje de predios con membrillero y también en relación a la suma de ambos hospederos (Cuadro 9).

Cuadro 9: Coeficiente de correlación de Spearman para el promedio de tres temporadas de capturas acumuladas de grafolita en trampas de feromona en relación a la abundancia de dos hospederos en las correspondientes áreas de enumeración del SICA (MGAP-DIEA, 2000).

	Spearman	p
Capturas vs. % Pdz. ¹	0,53	0,04
Capturas vs. % Pmb. ²	0,61	0,02
Capturas vs. %Pdz. + %Pmb	0,76	0,003

1: predios con duraznero, 2: predios con membrillero.

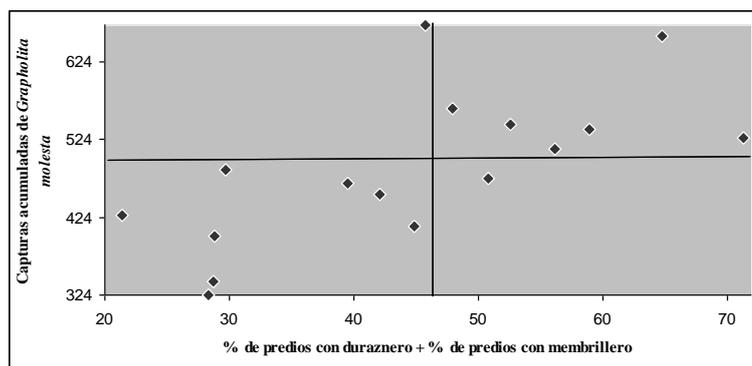


Figura 6: Dispersión de capturas promedio de grafolita acumuladas en trampas de feromona desde el 15 de octubre al 30 de abril en función de la suma de porcentajes de predios con duraznero y membrillero, para las distintas áreas de enumeración del SICA (MGAP-DIEA, 2000) comprendidas en el área de estudio.

En la figura 6 se observa que hay una tendencia en el aumento de las capturas de grafolita en función del incremento de hospederos en las diferentes áreas de enumeración. Los resultados (Cuadro 9) muestran una correlación significativa entre las capturas y la cantidad de hospedero. Así mismo la combinación de membrillero y duraznero que hay en las distintas zonas tiene una correlación mayor con la densidad de la población de grafolita que la presencia de cada hospedero por separado. Se debe tener en cuenta la importancia que tiene el membrillero en el mantenimiento de esta plaga, dado que este cultivo, cuyos frutos se cosechan según la variedad, desde mediados de marzo a fines de abril, acompaña el desarrollo anual de grafolita proporcionándole alimento a las últimas generaciones cuando los demás cultivos ya no poseen brotes tiernos ni fruta para su alimentación. Bovey (1966) afirma que la poblaciones de grafolita se ven limitadas en las predios compuestos por variedades de duraznos de maduración temprana, y por el contrario, son muy altas en los predios con durazneros de maduración tardía y con cultivos mixtos de duraznero, manzanos, perales y membrilleros, ya que estos cultivos con frutos de cosecha tardía proporcionan alimento para las larvas previo a la diapausa.

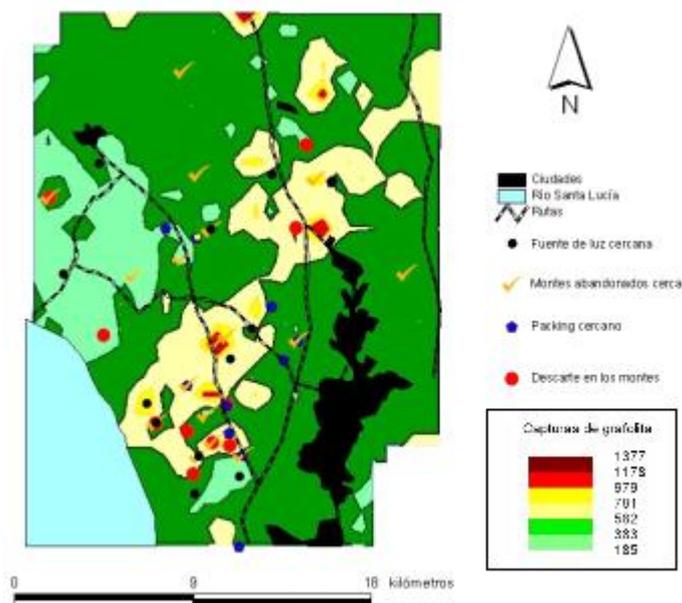


Figura 7: Ubicación de algunos factores que pueden afectar la distribución espacial de grafolita respecto a las capturas acumuladas 2007_08

Es probable que otros factores tales como la presencia de plantas procesadoras de fruta, fuentes de luz cercana, montes abandonados, manejo incorrecto del descarte, entre otros, afecten la distribución de esta plaga. Se observa en la figura 10 que las poblaciones altas de grafolita coinciden con regiones donde se combinan varios factores que pueden considerarse de riesgo potencial para el incremento de las poblaciones de la plaga.

Conclusiones

Para la obtención de mapas de distribución espacial de grafolita mediante la aplicación del método geoestadístico se deben colocar las trampas a distancias que no superen los 1270 metros. Así mismo para obtener buenas predicciones se recomienda obtener en el análisis estructural una relación de los parámetros del variograma

pepita/meseta (varianza no explicada/varianza total) menor igual a 0,5. La fidelidad de la distribución resulta fácilmente verificable mediante la construcción de mapas de puntos de muestreo mediante un SIG manteniendo la escala de los mapas construidos por krigeaje.

Las zonas de mayor población de grafolita se mantienen a lo largo del tiempo concentrándose fundamentalmente en Rincón de Melilla y Juanicó.

La densidad de población está directamente correlacionada con la presencia de sus principales hospederos, el duraznero y el membrillero.

Estos resultados aportan los conocimientos necesarios para determinar la distribución espacial de grafolita en el tiempo, brindando un insumo para la optimización del actual servicio de pronóstico de plagas que realiza el MGAP. Además, el conocimiento de la distribución espacial sirve como referencia para realizar programas de manejo a nivel regional permitiendo determinar zonas con mayor y menor población de plaga.

Referencias bibliográficas

- Boiteau G. 2005. Within-field spatial structure of colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) populations in New Brunswick. *Environmental Entomology*, 34(2):446-456.
- Bovey P. 1966. Superfamilie des Tortricoidea. In: Balachowsky AS. *Entomologie appliqué à l'agriculture. Lepidopteres Hepialoidea, Stigmelloidea, Incurvarioidea, Cossioidea, Tineoidea, et Tortricoidea*. Paris: Masson. Tome 2 (1): 746-763.

- 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: 1501-1511.
- Castillo A, Espinoza J C, Valle Mora J, Infante F. 2006. Dispersión del parasitoide africano *Phymastichus coffea* Lasalle (Hymenoptera: Eulophidae) en un nuevo agroecosistema. *Folia Entomológica Mexicana*, 45(3):319-327.
- Cuador Gil JQ. 2005. Estudios de estimación y simulación geoestadística para la caracterización de parámetros geológico – industriales en el yacimiento laterítico Punta Gorda (Resumen de tesis doctoral / 2002). *Minería y Geología*, 21 (4):1- 30.
- Emmen D. 2004. La agricultura de precisión: una alternativa para optimizar los sistemas de producción. *Investigación y pensamiento crítico*, 2: 68-74.
- Farias OS, Roberto R, Lopes J, Perecin D. 2004. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Xylella fastidiosa* sharpshooter vectors on citrus. *Neotropical Entomology*, 33(1): 13-20
- Faust RM. 2008. General Introduction to Areawide Pest Management. En. , O, Cuperus G, Elliot N. (eds). *Areawide pest management: Theory and Implementation*. Beltsville: CAB International. Pp: 1-14.
- Hevesi JA, Istok JD, Flint AL. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: Structural analysis. *Journal of applied meteorology*, 31(7): 661-676.
- Hohn ME. 1988. *Geostatistics and Petroleum Geology*. New York: Van Nostrand Reinhold, 264 pp.

- Isaaks EH, Srivastava RM. 1989. Applied Geostatistics, New York Oxford, Oxford University Press, 561 p
- Journel AG, Huijbregts CJ. 1978. Mining geostatistics. London, Academic press. 600 p.
- Legrá A, Torres J, Cruz I. 2004. Modelos geoestadísticos de la concentración del ni en el dominio 7 del yacimiento punta gorda. Minería y Geología, 20(1-2):42-56.
- MGAP-DIEA. (Ministerio de Ganadería Agricultura y pesca- Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias. 2000. SICA: Sistema de información Censo Agropecuario. 2000. (en línea). Consultada: junio 2011. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,64,O,S,0,MNU;E;28;1;MNU>
- Midgarden DG, Youngman RR, Fleischer SJ. 1993. Spatial analysis of counts of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adults on yellow sticky traps in corn: Geostatistics and dispersion indices. Environmental Entomology, 22:1124-1133.
- Moral FJ, García JA, Rodríguez A, Arranz JI, De La Cruz B, Honorio F. 2006. Técnicas geoestadísticas aplicadas al análisis de la distribución de capturas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) mediante trampas con feromonas sexuales en una plantación de tomate. Boletín Sanidad Vegetal Plagas, 30: 733-744.
- Moral FJ. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas, 13: 95-105
- Núñez S, Paullier J. 2006. *Cydia molesta*. En: Bentancourt, C., Scatoni I.B. (Eds.) Lepidópteros de importancia económica en el Uruguay, reconocimiento, biología y daños de las plagas agrícolas y forestales. Montevideo: Hemisferio Sur - Facultad de Agronomía. Pp 176-188.
- Ramírez-Dávila, JF, Gonzalez-Andujar JL, Lopez MA, Ocete R. 2005. Modelización y mapeo de la distribución espacial de ninfas del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergevin &

- Zanon) (Hemiptera, Cicadellidae) en viñedo. Boletín Sanidad Vegetal Plagas, 31: 119-132.
- Ribes-Dasi M, Tort E, Avilla J, Sarasua MJ y Albajes R. 2005. Estudio de la dinámica poblacional de *Cydia pomonella* (L.) como parte del programa de control en superficies muy extensas. En IV Congreso Nacional de Entomología Aplicada, Bragança, Portugal, noviembre de 2005. Comunicación.
- Ribes-Dasi M, Avilla J, Sarasua MJ, Albajes R. 2001. The use of geostatistic to study the spatial distribution of *Cydia pomonella* and *Pandemis heparana* in Lleida, Spain. In. Proceeding of the 5th International Conference on Integrated Fruit Production. Lleida, October 22-26, 2000. Bulletin OILB/SROP, 24: 185-188.
- Ribes-Dasi M, Avilla J, Bascuñana M. 1998. Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis&Schiffermüller) en Torregossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. Boletín Sanidad Vegetal Plagas, 24: 935-948
- Rossi R, Mulla D, Journel J, Franz E. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. Ecological Monographs, 62: 277-314.
- Samper CF, Carrera RM. 1996. Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea. Centro internacional de métodos numéricos en ingeniería. Universidad politécnica de Cataluña. 484 p.
- SAS Institute Inc. 2006. Base SAS® 9.1.3 Procedures Guide, Second Edition, Volumes 1, 2, 3, and 4. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sciarretta A, Trematerra P. 2006. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Grapholita molesta* and *Anarsia lineatella* males in an agricultural landscape. Journal of Applied Entomology, 130:73–83.

- Tannure C, Mazza S. 2004. Caracterización geoestadística de la distribución espacial de *Alabama argillacea* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo del algodón. Corrientes, Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias. Comunicaciones Científicas y Técnicas. Resumen A-017. 4 p
- Webster R, Oliver MA. 2009. Geostatistics for Environmental Scientists. Math Geoscience, 41: 487–489.