

# ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE *Frankliniella occidentalis* (Pergande) EN UN CULTIVO DE FRESA BAJO CUBIERTA, COMO SOPORTE EN LAS DECISIONES DE MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

Spatial analysis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) populations in a covered strawberry crop as a support for integrated pest management

Elkin Florez<sup>1</sup> y Darío Corredor<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se estableció la dependencia espacial de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) en un cultivo de fresa bajo cubierta en la Sabana de Bogotá. Se monitorearon las poblaciones de trips por doce semanas, en un área de 8 x 13 cuadrantes (cada cuadrante tenía un área de 8 x 4 m), tomando tres flores por cuadrante. El análisis de datos fue hecho con los programas Surfer y GS+/386, usados en geoestadística, los cuales se basan en el análisis de semivariogramas y correlogramas. Analizamos 0; 45; 90 y 135 grados de direccionalidad. Se encontraron dependencias espaciales en tres de las doce semanas y éstas indicaron que la dependencia espacial de las poblaciones de trips demostraron límites de uno hasta seis cuadrantes y fueron más frecuentes en 0 y 45 grados de direccionalidad. No se observó dependencia a 90 grados. Inicialmente, las colonias de trips fueron agregadas, pero cambiaron su disposición espacial al azar a través del tiempo, debido a que los individuos se mueven invadiendo otros cuadrantes. Finalmente, discutimos la importancia de la dependencia espacial de las poblaciones como una herramienta para el manejo de plagas.

**Palabras claves:** Distribución espacial, geoestadística, semivariogramas, trips.

## ABSTRACT

Spatial dependence of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in a covered strawberry crop was established at Bogota plateau. Thrips populations were monitored for 12 weeks in an area of eight by 13 quadrants (each quadrant of 8 x 4 m), taking three flowers per quadrant. Data analysis was done with Surfer and GS+/386 programs. Geostatistics, based on semivariogram and correlogram analyses were used. There were analyzed 0, 45, 90, and 135 degrees of directionality. Spatial dependence were found in three of the twelve weeks and they indicated that spatial dependence of thrips populations showed boundaries from one to six quadrants and were more frequent in 0 and 45 degrees of directionality. No dependence was observed at 90 degrees. Initially, the thrips colonies were

aggregated but, in time, changed this aggregated pattern toward a random pattern due to thrips movement to neighboring quadrants. Finally, we discuss the importance of spatial dependence as a tool for thrips management.

**Key words:** Spatial dependence, geostatistics, semivariogram, thrips.

## INTRODUCCION

La creciente demanda de alimentos libres de residuos químicos y de calidad organoléptica, provenientes de sistemas de producción ambientalmente seguros y sin riesgos para el hombre, han permitido la implementación y desarrollo de nuevas técnicas de investigación dirigidas al agroecosistema, éste puede ser definido a cualquier escala espacial, sin embargo la principal escala espacial es pequeña (cultivo). Los límites del agroecosistema son difíciles de establecer y se debe tener en cuenta que el agroecosistema es un sistema abierto, que produce, recibe y recicla energía de otros sistemas externos (Dalton, 1975; Putman, 1994); por lo tanto, un agroecosistema posee una estructura espacial y temporal, la cual se caracteriza por gradientes o concentraciones, definidas por la cantidad de energía que interactúa dentro de éste (Amarasekare, 1997; Danduran *et al.*, 1995; Fahrig, 1988; Fernandino, 1997; Larkin *et al.*, 1995; Sharov, 1991; Xiao *et al.*, 1997).

Los organismos biológicos, y en especial los insectos, son heterogéneos en sus densidades y, raramente, se distribuyen de una manera aleatoria o uniforme en el espacio (Amarasekare.; 1997, Duque, 1988; Fahrig y Paloheimo, 1988; Florez y Corredor, 1999; Gottwald, 1995; Sharov, 1996, 1998). En el análisis de la heterogeneidad e inestabilidad de las poblaciones de insectos, se deben tener en cuenta los procesos de dispersión y distribución espacial (Florez y Corredor, 1999; Isard, 1996; Liebhold *et al.*, 1993; Paine *et al.*, 1984; Sharov, 1996; Sharov and Liebhold, 1998).

El objetivo principal del Manejo Integrado de Plagas (MIP) es reducir los efectos adversos de los organismos plaga y su manejo sobre los cultivos; este objetivo se puede alcanzar mediante la utilización de información detallada de la distribución temporal y espacial de la plaga; los enfoques que permiten esta

<sup>1</sup> Candidato a M. Sc. en Ciencias Agrarias, con énfasis en Fitoprotección Integrada. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. E-mail: ehflorez@bachue.usc.unal.edu.co

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. E-mail: dcorredo@bacata.usc.unal.edu.co

información pueden llevar a generar estrategias de disminución de la dispersión de la plaga hacia áreas nuevas o reducir su población, dependiendo de su distribución espacial (focalizada o al azar) (Flórez y Corredor, 1999; Sharov *et al.* 1997; Sharov *et al.* 1998). La habilidad para manejar los insectos plaga y reducir las pérdidas de los cultivos depende de la capacidad para monitorear, pronosticar las poblaciones y determinar la probabilidad de que ocurra una infestación en un área específica o cultivo. En muchos agroecosistemas, un insecto puede usar una secuencia de plantas huéspedes en el espacio y en el tiempo. Aquí es donde sería esencial entender el movimiento entre huéspedes (Amarasekare, 1997; Florez y Corredor, 1999).

La distribución espacial determina la ubicación de los individuos en el espacio (la cual puede ser al azar, regular o uniforme y agregada o de contagio), ésta se puede determinar mediante la utilización de índices para una serie de muestras o para una muestra (Duque, 1988; Gumpertz, 1997; Southwood, 1978). Otra metodología usada es la geoestadística, ésta se desarrolló para el análisis de datos georeferenciados, basándose en la teoría de las variables regionalizadas (variables con distribución espacial, ejemplo, insectos en un cultivo). La idea básica es medir la dependencia espacial entre mediciones, tomadas a diferentes distancias y usar esta información para interpolación, extrapolación y simulación.

La geoestadística utiliza la estructura de semivariogramas y correlogramas. Los semivariogramas calculan la dependencia espacial de una variable, mediante la comparación de las varianzas entre mediciones separadas por una distancia o rezago específico (la varianza aumenta cuando aumenta la distancia entre puntos muestrales), obteniendo así la información de que tanto crece una determinada concentración poblacional y como cambia en el espacio. Los correlogramas se utilizan, principalmente, para análisis de series de tiempo, lo cual no es objetivo de este trabajo (Campbell and Madden, 1990; Cressie, 1993; Danduran *et al.*, 1995; Fernandino, 1997; Florez y Corredor, 1999; Gottwald, 1995, 1996; Gumpertz and Ristaino, 1997; Larkin *et al.*, 1995; Myers, 1988; Rouhani and Myers, 1990). Por lo tanto, la medición de la dependencia espacial de los datos es esencial en la metodología del muestreo, porque la interacción entre insectos y su ambiente lleva siempre un componente espacial (Cressie, 1993; Liebhold *et al.*, 1993).

Los trips son insectos que miden de 0,5 a 5 mm (la mayoría 1-2 mm), las alas pueden estar presentes o ausentes, cuando estas están presentes son angostas, tienen pocas o ningunas venas y tienen flecos largos. Su aparato bucal es raspador-chupador, con una sola mandíbula (Oetting *et al.*, 1993). Los daños que ocasionan los trips son necrosis, plasmolisis, y el colapso de células de tejidos florales o brotes, extendiéndose frecuentemente hasta cinco células de profundidad (CAB INTERNATIONAL, 1997; Oetting *et al.*, 1993). Los trips se dividen en dos subórdenes: *Terebrantia* y *Tubulifera*, los cuales se diferencian en la forma del último segmento abdominal y en el desarrollo del ovipositor. En *Terebrantia*, el último segmento es más o menos cónico o redondeado, con el ovipositor aserrado y retráctil y las hembras depositan sus huevos en incisiones hechas en el tejido vegetal; en este suborden, se presenta la mayoría de especies que ocasionan daños a los cultivos. En *Tubulifera*, el último segmento abdominal es tubular y carece de ovipositor y las hembras depositan sus huevos en grietas o aleatoriamente en la planta (Oetting *et al.*, 1993). La especie *Frankliniella occidentalis* (Pergande) es originaria de Norteamérica, bajo invernadero sus poblaciones son altas y ocasionan grandes pérdidas al sector floricultor y

hortícola. Las hembras son diploides y los machos haploides, los huevos no fecundados producen machos partenogenéticos y los fecundados, sólo, producen hembras (Cárdenas y Corredor). *F. occidentalis* ataca fresa, dañando los ovarios y pistilos, ocasionando deformación de los frutos y, además, raspa el fruto en su parte basal, deteriorando la calidad del mismo.

Este trabajo se presenta como uno de los primeros experimentos llevados a cabo en el país, trabajando con el análisis geoestadístico en poblaciones de insectos bajo un sistema productivo agrícola, con miras a implementar nuevas estrategias de manejo integrado de plagas. El objetivo de este trabajo fue el de determinar el grado y el rango de correlación espacial de los trips (*F. occidentalis*) en cuatro direcciones en el cultivo de fresa bajo invernadero y a través del tiempo e indicar las áreas del cultivo con mayor preferencia por parte de los trips con miras a implementar un manejo racional sobre concentraciones espaciales de poblaciones, y comparar su variabilidad espacio-temporal.

## MATERIALES Y METODOS

En este experimento, se analizaron datos multidimensionales (tiempo y espacio) de conteos de *F. occidentalis* en un cultivo de fresa (variedades pájaro y chandler) bajo invernadero, localizado en la finca Canoas, municipio de Soacha con una altura de 2.600 msnm, temperatura promedio de 13 °C y una precipitación pluvial media de 640 mm año.

El invernadero se dividió en ocho secciones verticales y 13 horizontales, para un total de 104 cuadrantes de 8 x 4 metros; en cada cuadrante, se tomaron al azar, 3 flores las cuales se golpearon sobre una superficie blanca, con el fin de extraer los trips existentes en ellas y posteriormente, se procedió semanalmente al conteo de adultos e inmaduros durante 12 semanas.

En el análisis de la espacialidad, se utilizó la técnica de la geoestadística, basada en variables regionalizadas; esta técnica estadística se ha utilizado en estudios de geografía, geología y ciencia del suelo y, en muy pocos casos, se ha aplicado a estudios entomológicos y fitopatológicos (Amarasekare, 1997; Cressie, 1993; Danduran *et al.*, 1995; Gottwald, 1995, 1996; Gumpertz and Ristaino, 1997; Larkin *et al.*, 1995). Así, el análisis espacial es definido como la evaluación cuantitativa de la variación o cambios de una población con orientación espacial dentro de un área o volumen. En el análisis de la espacialidad, se utilizaron los semivariogramas, los cuales analizan la heterogeneidad espacial, distinguiendo los diferentes patrones que se presentan en un lapso de tiempo muy corto y su dependencia espacial.

El semivariograma está basado en las diferencias entre cuadrantes a una distancia dada y no involucra una media para toda el área de estudio y, de este modo, no es afectado por una media constante, como lo hace la función de correlación; otra ventaja del semivariograma es que no requiere del supuesto de estacionalidad de covarianza, necesaria para el correlograma. El semivariograma se define por la siguiente fórmula:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var} (Z_i - Z_{i+h})$$

donde  $Z_i$  es la variable respuesta (en este caso, el número de trips) en el sitio  $i$ ;  $Z_{i+h}$  es la respuesta en el sitio  $i+h$  y  $h$ , es la

distancia en cuadrantes. Así, cuando el valor del semivariograma es mínimo, quiere decir que la correlación entre los datos (número de trips) es alta (indicando un foco) y, a medida que los datos de conteo de trips se alejan espacialmente del foco (rango), el semivariograma alcanza su máximo y el foco se diluye y se pierde la dependencia espacial (Figura 1: A, B). El efecto nugget, demuestra la variación aleatoria (propia de la población) en la densidad poblacional o puede ser asociado con el error de muestreo. Cuando el variograma es plano, no se presenta correlación espacial o no existe dependencia espacial (Figura 1: C).

Los semivariogramas pueden tener diferentes valores cuando se calculan para la misma distancia en direcciones diferentes (anisotropía), debido a que las variables regionalizadas no tienen las mismas propiedades en todas las direcciones y, por lo tanto, la anisotropía se asocia con una dispersión direccional. En este experimento, se analizarán los semivariogramas sin dirección específica (isotropía) y con dirección específica (anisotropía) a 0° (entre filas), 45° (diagonal derecha), 90° (entre columnas) y 135° (diagonal izquierda) (Figura 7).

Además, se aplicó la Ley de potencia de Taylor, con el fin de determinar a partir de cuantos individuos promedio, los trips cambian su patrón de disposición del agregado al azar (iniciación de movimiento de dispersión) y su distribución típica en el espacio. Esta se basa en la relación de la varianza y el promedio y se puede expresar así:

$$\text{Log } S^2 = \text{Log } a + b \text{ Log } X \quad (2) \text{ donde:}$$

$S^2$  = Varianza;  $a$  = Intercepto, función del método de muestreo;  $b$  = Pendiente, características de la población en el hábitat

También, se determinó las áreas de mayor problema, debido a la preferencia de los trips por esas áreas o la posible adaptación de los trips a esas áreas, manifestándose en focos inmóviles; comparando las fechas (semanas) 5 vs 6; 7; 8; 9; 10 y 11.

Los semivariogramas no se modelaron, debido a los pocos datos tomados y, además, porque el significado biológico de estos modelos no están bien definidos, especialmente para datos que pierden asociación espacial, y no se desean realizar predicciones en áreas no muestreadas, debido a que todos los cuadrantes fueron muestreados.

## RESULTADOS

En los semivariogramas isotrópicos y anisotrópicos, se observan cambios característicos a través del tiempo (Figura 2; 3; 4; 5 y 6).

**En isotropía** (Figura 2). Las fechas de muestreo para adultos que presentaron dependencia espacial fueron las F1; F3 y F12. En la fecha F1, se observó una alta correlación en los primeros cuatro cuadrantes (desde la distancia 1,2 hasta la 4,2); ésto se observa también, en la Figura 7, donde, en la parte izquierda inferior de ella, se encuentran cuatro focos muy cercanos y distinguibles por su color blanco. A partir de la distancia 4,1 o el cuadrante 5, la correlación disminuye hasta alcanzar su valor más bajo que es cuando el semivariograma

*et al.* o el cuadrante 11. Para la fecha F2, aparentemente no se observó una clara dependencia espacial, ya que el semivariograma es casi plano, pero, al observar en detalle, éste presenta picos y valles no mayores de dos distancias o cuadrantes (Figura 2 A) y ésto se puede explicar al observar la Figura 8, en donde se presentan muchos focos que dan la apariencia de una disposición poblacional al azar y, además, estos focos son bien definidos y poblacionalmente densos, lo cual ocasiona los valles y picos observados en el semivariograma. En el semivariograma de la fecha 3 (F3) (Figura 2 A), se observa que éste es plano hasta la distancia 11,3 u 11 cuadrantes, presentando una reducida dependencia espacial; ésto se corrobora con lo observado en la Figura 9, en donde los focos poblacionales no son tan definidos y casi que se unen entre ellos, manifestando una disposición al azar o aleatoria. En la fecha 12, se observa una clara dependencia espacial y la correlación más alta se alcanza hasta la distancia 6,3 ó 6 cuadrantes, a partir de esta distancia, la correlación entre focos poblacionales disminuye, lo cual se explica por el aumento de la pendiente del semivariograma (Figura 2A). Para el resto de las fechas y, en especial, las fechas 7;8;9 y 10, no se observa dependencia espacial, o sea, que el patrón de los focos poblacionales o las poblaciones de los trips en el cultivo se presentan en una forma aleatoria (Figuras 2, 11,12, 13 y 14).

Para inmaduros y al igual que en adultos, las fechas de muestreo más representativas de dependencia espacial fueron F1, F3 y F12. Para F1, se presentan picos y valles en el semivariograma; ésto, al igual que en adultos, indica una numerosa presencia de focos densos bien definidos (Figura 2 y 7). Esto último ocurre también en la fecha F3, pero, en esta fecha, el patrón de disposición poblacional es más aleatorio y los focos son menos definidos; los focos, para este caso, están comunicados por trips que se ubican entre los cuadrantes y, por esto, no son tan marcados los picos y valles (Figura 9). Al igual que en adultos, las fechas F7, F8, F9 y F10 no presentan dependencia espacial, o sea que su patrón de disposición es al azar.

**Anisotropía 0°.** El comportamiento anisotrópico de adulto e inmaduros es muy parecido al de isotropía (Figuras 2 y 3). Al igual que en adultos en isotropía, la mayor dependencia espacial se presenta en las fechas de muestreo F1, F3, F12 y las fechas que no presentan dependencia espacial son F7, F8, F9, F10. En adultos para F2 y F12, no se presenta una clara dependencia espacial, debido a la tendencia plana del semivariograma, pero se presentan picos y valles de distancias aproximadas de dos cuadrantes, los cuales indican muchos focos densos y bien definidos distribuidos, en el campo, en una forma al azar (Figuras 3 y 8) o, como se llama en los procesos estadísticos, periodicidad de procesos (semivariogramas en forma de ondas); que es lo observado, también, en la Figura 8, en donde se ven principalmente, grupos de dos cuadrantes con focos poblacionales de trips a través de filas. Para inmaduros, el comportamiento es muy similar al de isotropía, pero, para este caso y en la semana de muestreo 1 (F1), las correlaciones son altas a nivel de un solo cuadrante, por este motivo, es que los picos y valles cambian en un solo cuadrante y se podría pensar que los focos poblacionales de trips se distribuyen de una forma regular a través de filas (0°) y agregados, como se observa al lado izquierdo de la gráfica (Figura 7).

**Anisotropía 45°.** Al igual que en anisotropía 0° y en isotropía, las fechas de muestreo que presentaron dependencia espacial para adultos fueron F1, F3 y F12 (Figura 4). Para la fecha F1 en adultos y al igual que en 0° e isotropía, se presenta una alta correlación hasta

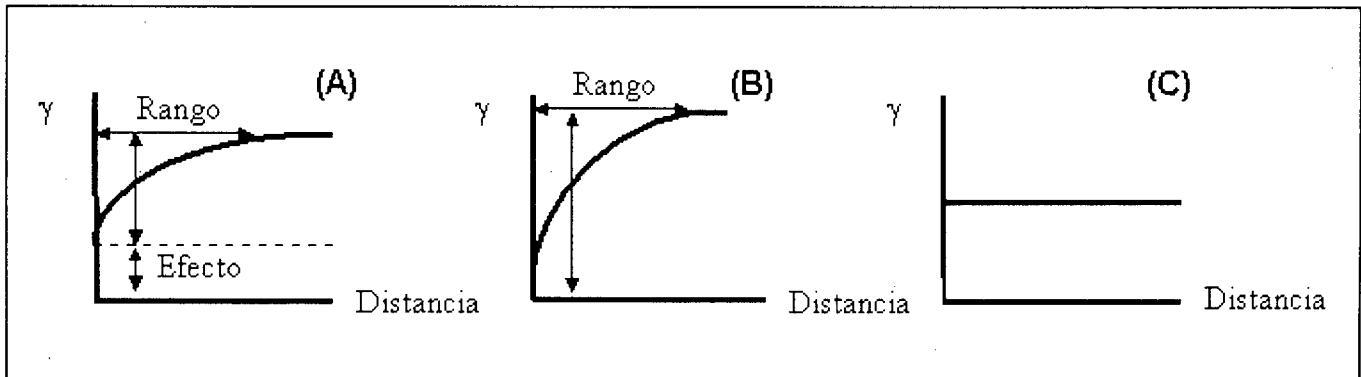


Figura 1. Algunos tipos de semivariogramas; (A) Correlación espacial en combinación con variación aleatoria (Efecto nugget). (B) Alta correlación espacial sin efectos aleatorios. (C) Efecto nugget puro: no correlación espacial (62).

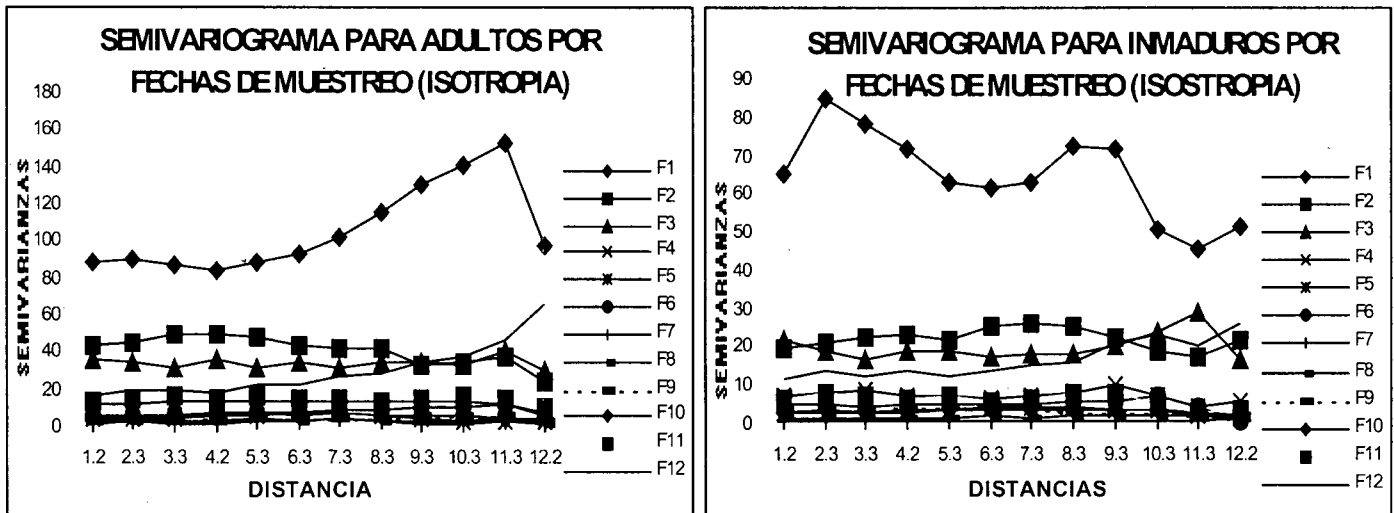


Figura 2. Semivariogramas para adultos (A) e inmaduros (B) por fechas de muestreo, sin dirección específica o isotropía.

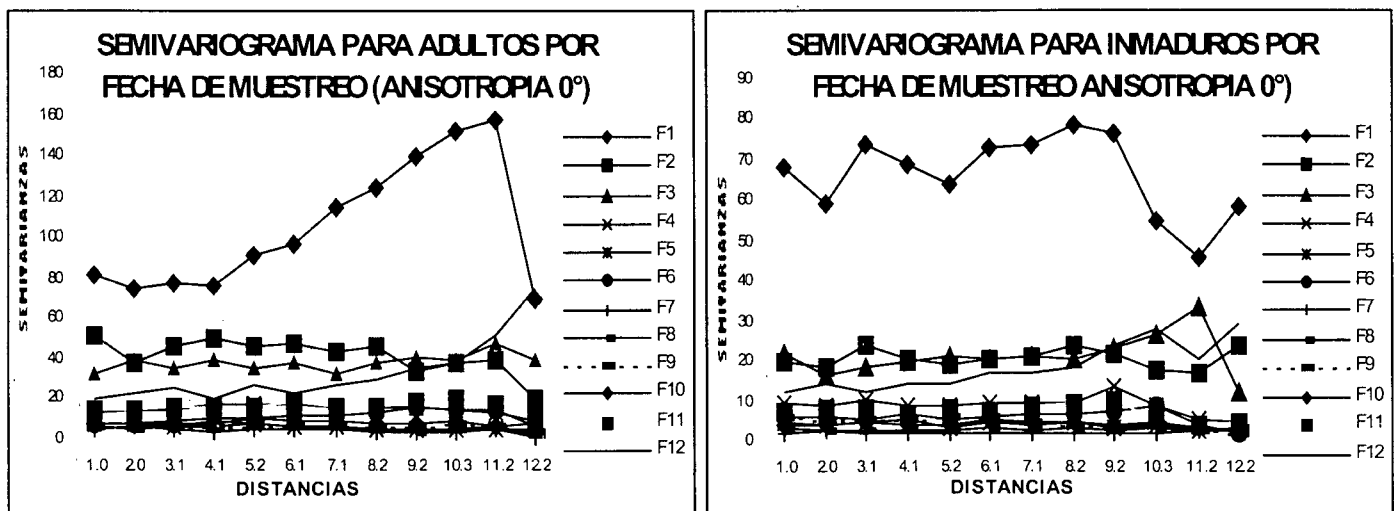


Figura 3. Semivariogramas para adultos (A) e inmaduros (B) por fechas de muestreo y con 0° de direccionalidad.

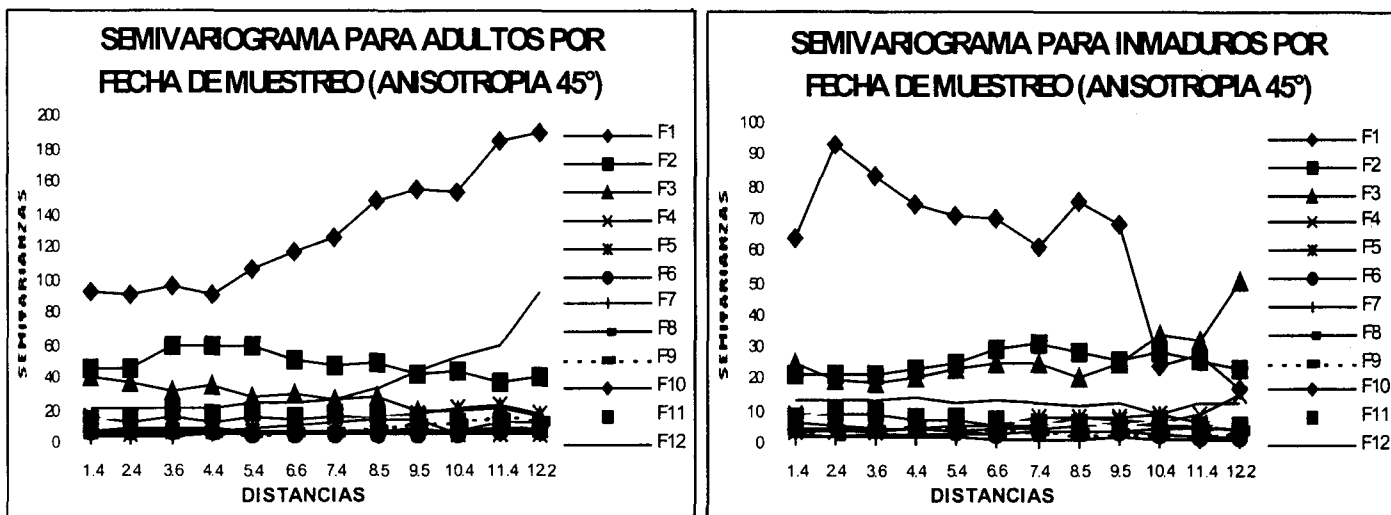


Figura 4. Semivariogramas para adultos (A) e inmaduros (B) por fechas de muestreo y con 45° de direccionalidad.

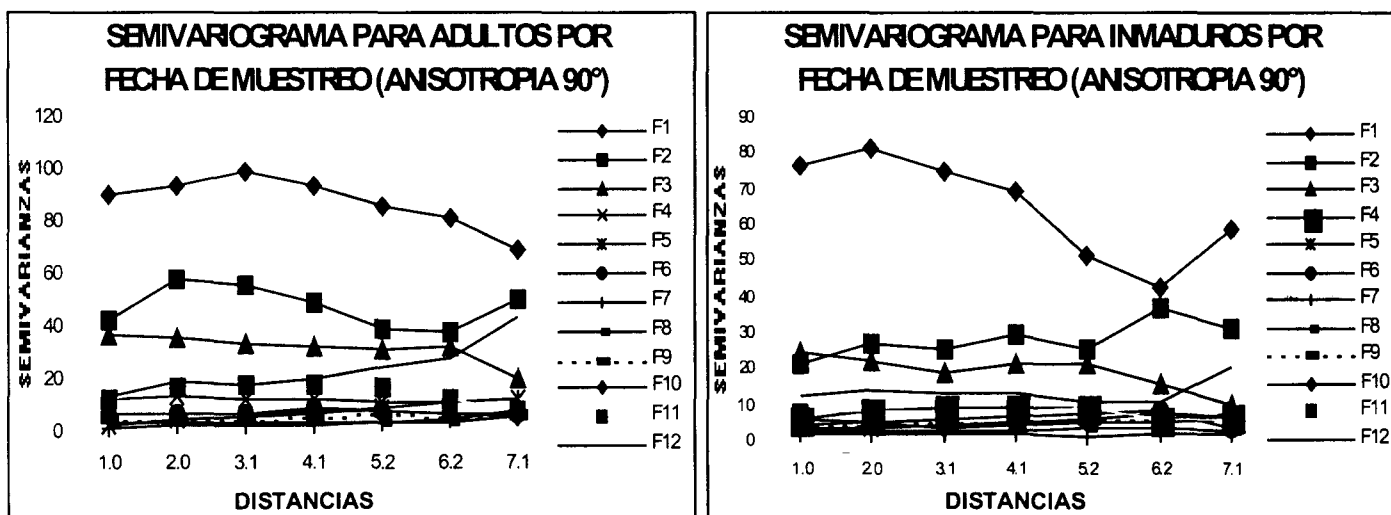


Figura 5. Semivariogramas para adultos (A) e inmaduros (B) por fechas de muestreo y con 90° de direccionalidad.

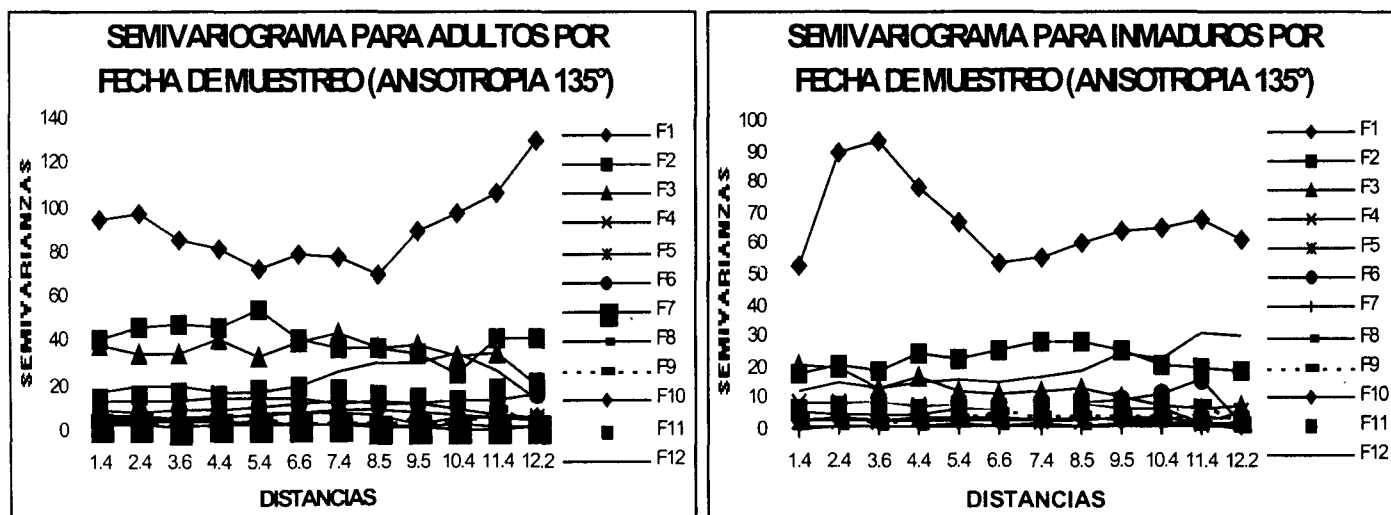


Figura 6. Semivariogramas para adultos (A) e inmaduros (B) por fechas de muestreo y con 135° de direccionalidad.

la distancia 4,4 o cuatro cuadrantes, lo cual se puede observar diagonalmente ( $45^\circ$ ) desde la columna 1 vs fila 1 (Figura 7). Los comportamientos de F3 y F12 son similares a isotropía y  $0^\circ$ , manifestando una dependencia espacial muy pequeña en aproximadamente 6 cuadrantes (Figura 9), con una distribución espacial, principalmente al azar, de los focos poblacionales de trips. Para inmaduros, en ninguna de las fechas de muestreo, se presentó una dependencia espacial marcada y, sólo se presentó periodicidad de procesos (semivariogramas en forma de ondas) en F1, F2, F3 y F12 principalmente. Esto indica que los focos poblacionales de inmaduros se distribuyen en forma aleatoria sin dependencia espacial o que puede deberse a las oviposiciones en patrones aleatorios.

**Anisotropía  $90^\circ$ .** Para adultos, contrario a lo ocurrido en isotropía,  $0^\circ$  y  $45^\circ$ , en la fecha F1 no se presentó dependencia espacial. En la fecha F2, se presentó una correlación entre focos a la distancia de 5,2 - 6,2 o cuadrantes 5 - 6 y se manifestó por el valle observado en la Figura 5 y en la Figura 8. En la F12 se sigue manifestando la correlación, y su dependencia espacial es pequeña, debido a la pendiente plana del semivariograma; esta correlación va desde la distancia 1 hasta 5,2. Para inmaduros, se presenta una dependencia espacial muy reducida en la fecha de muestreo F2, debido a la pendiente plana del semivariograma, en la cual se presentan picos y valles no muy bien definidos, lo cual indicarían un arreglo aleatorio de los focos en el espacio que, además, son focos no bien definidos espacialmente a  $90^\circ$ .

**Anisotropía  $135^\circ$ .** En la Figura de adultos, se observa que la única fecha que arrojó alguna dependencia espacial fue la F1. En esta fecha, no se presentó una dependencia espacial clara, debido a la pendiente plana del semivariograma hasta la distancia 8,5, a partir de la cual, la correlación entre los focos disminuye y, así, se manifiesta alguna dependencia espacial a partir de esta dis-

tancia. Los focos que se observan en la Figura 7, son focos que se presentan en forma aleatoria (ver Figura 1, forma del semivariograma) con  $135^\circ$  de direccionalidad. En inmaduros, no se observó una tendencia de dependencia espacial y, sólo se observó periodicidad en los procesos para la fecha F3, tal y como ocurrió en isotropía  $0^\circ$  y  $45^\circ$ .

**Tendencia y dispersión espacial.** Los datos de trips en fresa no representan una tendencia clara de entrada de flujos poblacionales de afuera hacia adentro del invernadero. La única tendencia que se observa es la de crecimiento de las poblaciones y de dispersión en el espacio a través del tiempo y, principalmente, en direcciones de  $0^\circ$ ;  $45^\circ$  y  $135^\circ$ ; esto hace que los focos se unan entre ellos (disposición aleatoria), sin embargo, se puede observar algunas concentraciones poblacionales altas en algunos cuadrantes (focos aislados). En las semanas 8; 9 y 10 (Figuras 12, 13 y 14), el crecimiento de los focos y su posterior unión se presenta, principalmente, en sentido lateral o de  $90^\circ$ , manifestándose como una disposición al azar, que también, explica la poca dependencia espacial presentada en la Figura 5 (anisotropía de  $90^\circ$ ). El tamaño principal de los focos es de un cuadrante, el cual es adecuado para la metodología del muestreo, ya que detecta bien el área que puede ocupar un foco.

La densidad poblacional disminuye a partir de la fecha 1. En ésta, su máxima densidad fue de 70 individuos/cuadrante y después las poblaciones disminuyeron hasta la semana 11 donde las poblaciones máximas fueron de 24 trips/cuadrante.

Según la ley de Taylor, en este experimento, los trips, cuando sus poblaciones son superiores a 1,5 individuos, cambian su patrón de disposición de agregado al azar (dispersión). Si observamos las semanas de muestreo, se puede observar que los focos están unidos al iniciar el proceso de dispersión, debido a los promedios de individuos que arrojó la ley de Taylor (Figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14).

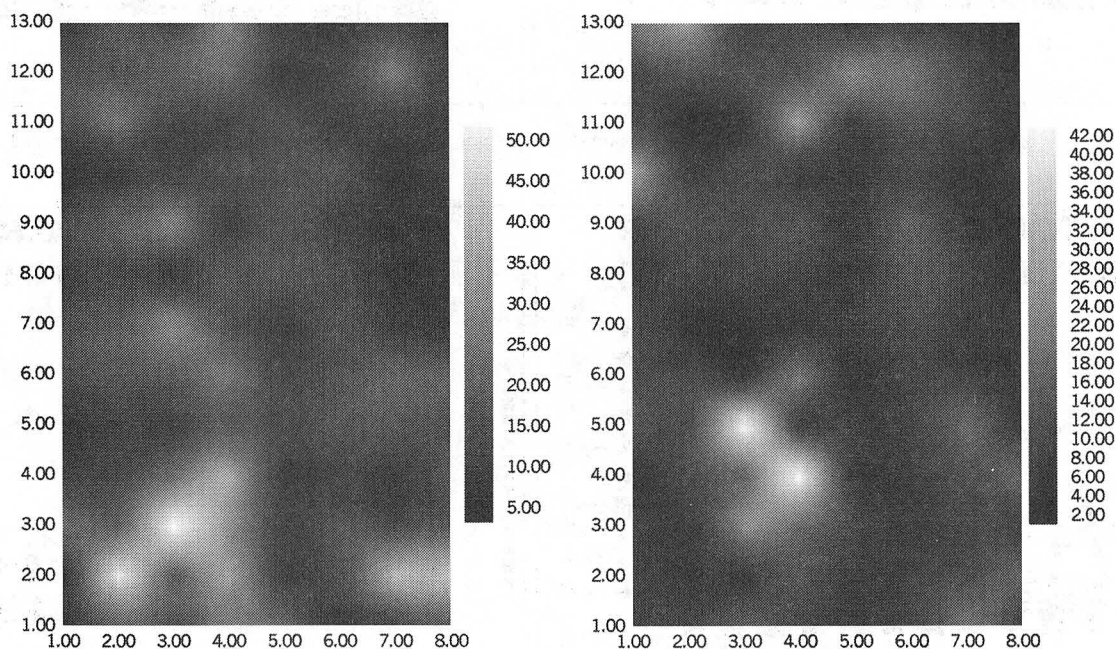


Figura 7. Espacialidad de los datos de trips en invernadero de fresa (adultos e inmaduros), fecha 1 y explicación de la direccionalidad de los grados  $0^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $90^\circ$  y  $135^\circ$ .



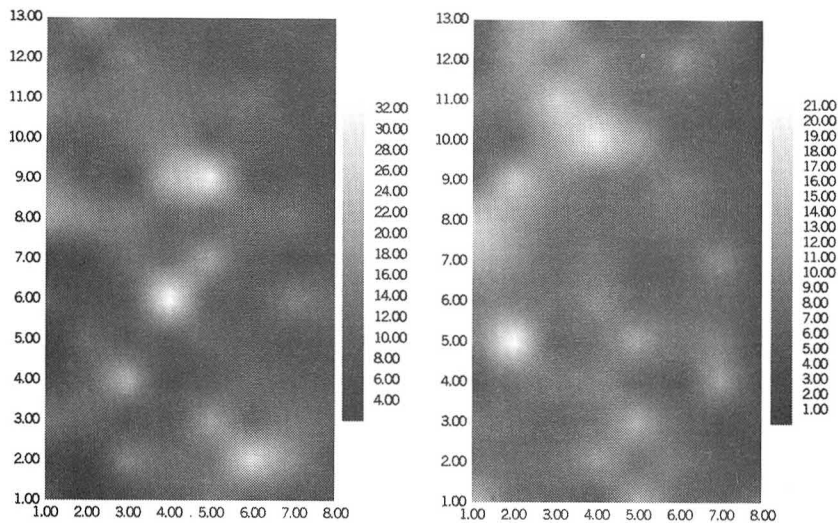


Figura 8. Espacialidad de los datos de trips en invernadero de fresa (adultos e inmaduros), fecha 2.

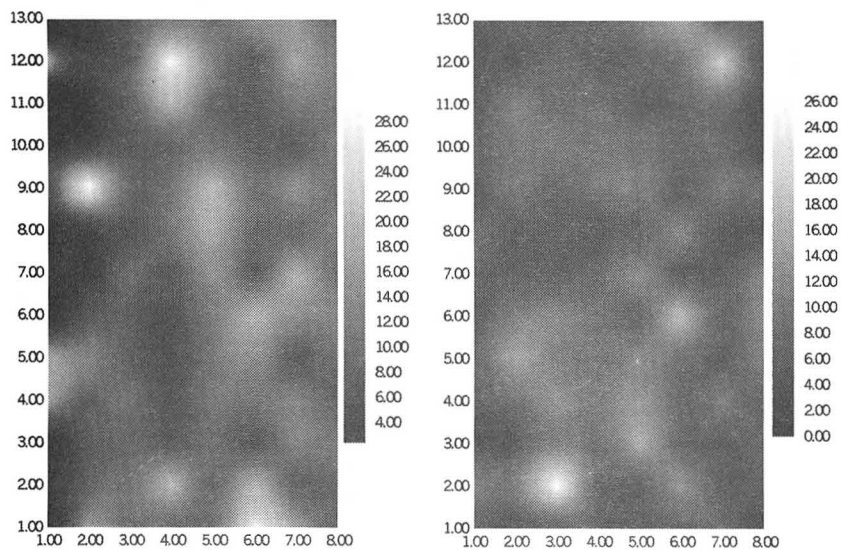


Figura 9. Espacialidad de los datos de trips en invernadero de fresa (adultos e inmaduros), fecha 3.

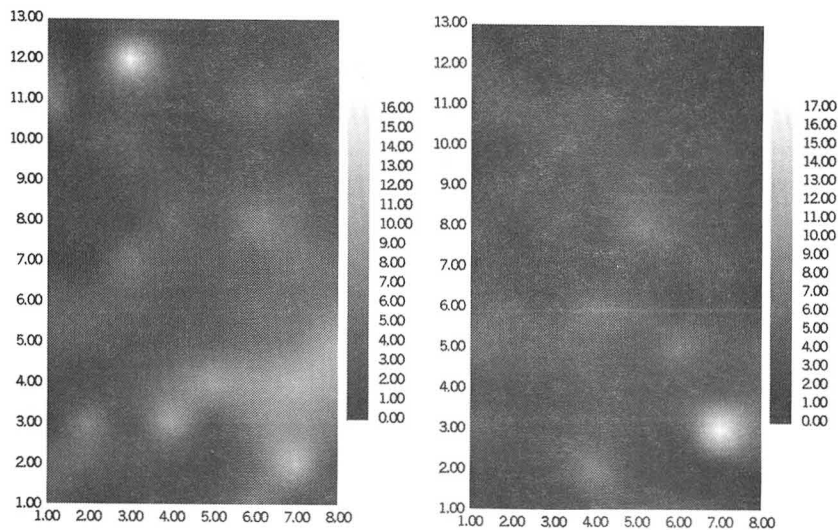


Figura 10. Espacialidad de los datos de trips en invernadero de fresa (adultos e inmaduros), fecha 6.

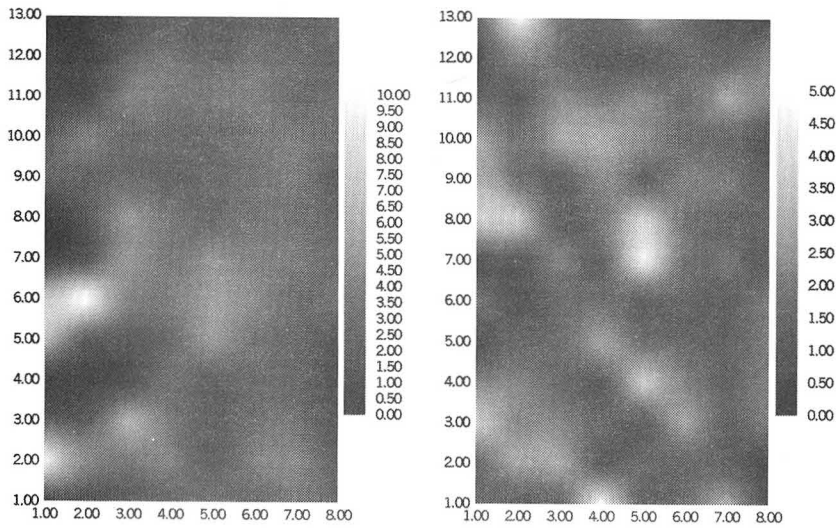


Figura 11. Espacialidad de los datos de trips en invernadero de fresa (adultos e inmaduros), fecha 7.

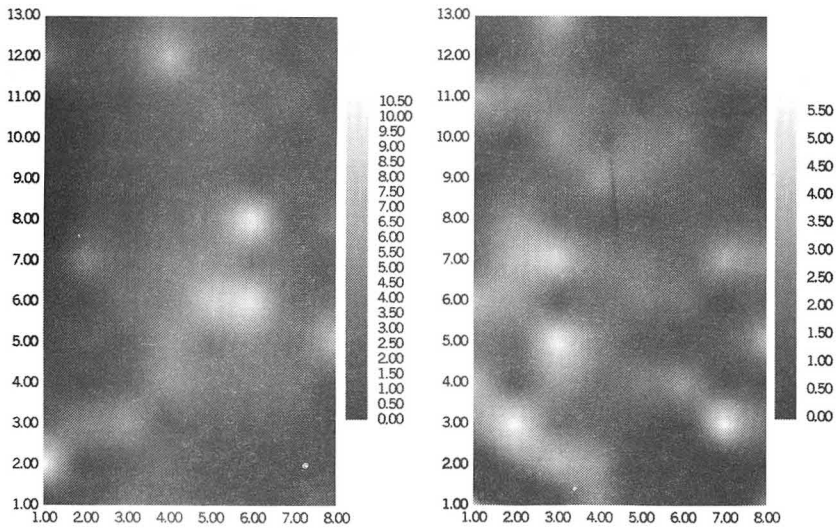


Figura 12. Espacialidad de los datos de trips en invernadero de fresa (adultos e inmaduros), fecha 8.

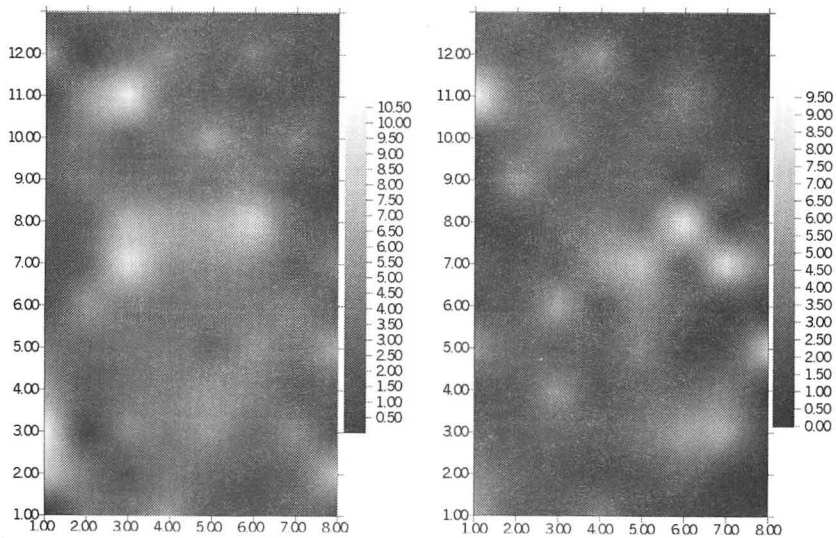


Figura 13. Espacialidad de los datos de trips en invernadero de fresa (adultos e inmaduros), fecha 9.



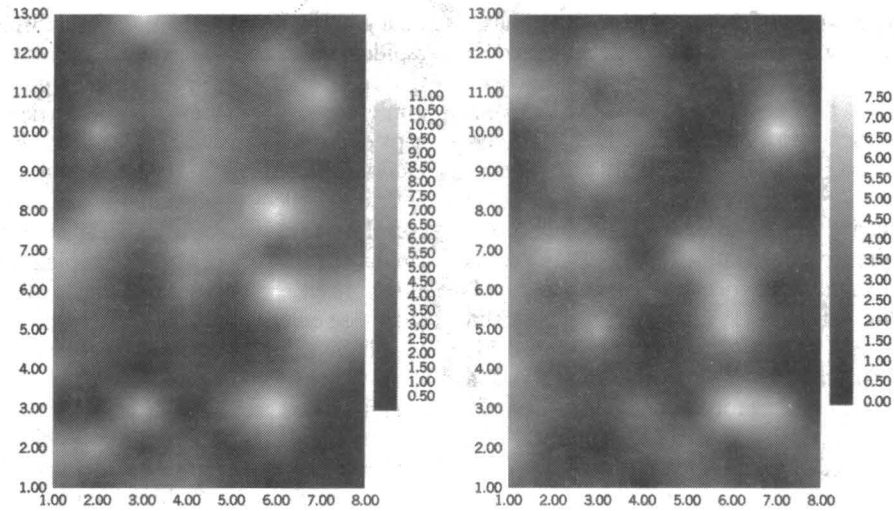


Figura 14. Espacialidad de los datos de trips en invernadero de fresa (adultos e inmaduros), fecha 10.

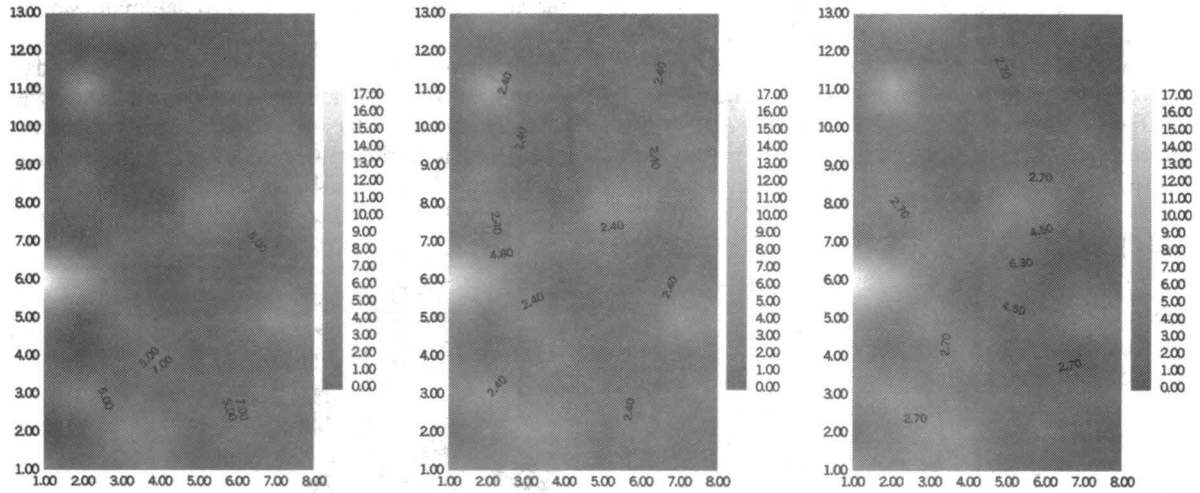


Figura 15. Areas de cultivo con poblaciones de trips con focos estacionarios fecha 5 vs 6;7 y 8.

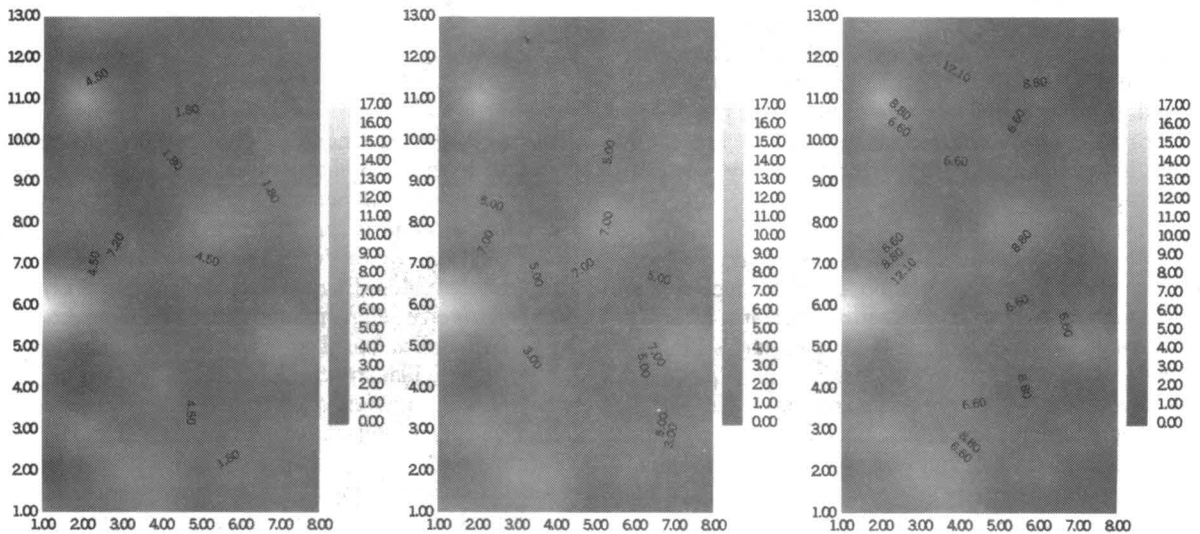


Figura 16. Areas de cultivo con poblaciones de trips con focos estacionarios fecha 5 vs 9;10 y 11.

**Preferencia de Trips por áreas o focos poblacionales inmóviles.** En las figuras 15 y 16, se comparan las fechas de muestreo F5 vs F6, F7, F8, F9, F10 y F11, con el fin de determinar las áreas o cuadrantes más susceptibles de ataque o los llamados focos inmóviles de trips los cuales prefieren áreas específicas en los invernaderos y que se caracterizan por la poca dispersión en el tiempo y en el espacio.

La fecha 5 se caracteriza por el color azul del fondo, los focos poblacionales se presentan de color blanco y las demás fechas de muestreo se presentan en forma de curvas de nivel. Para la fecha 5 vs 6, los cuadrantes de mayor preferencia son los situados en la columna 3 vs fila 12, columna 2 vs fila 11, columna 1 vs filas 6 y 5, columna 2 vs fila 3 y columna 7 vs fila 3 (Figura 15). Para la fecha 5 vs 7, los focos inmóviles o áreas de mayor preferencia son columnas 2 y 3 vs fila 11, columna 1 vs filas 5 y 6, columna 2 vs fila 3. Para la semana 5 vs 6, los cuadrantes de mayor preferencia fueron columna 1 vs filas 6 y 5 (Figura 15). En las fechas de muestreo F5 y F9, los cuadrantes de mayor preferencia son los situados en columna 3 vs fila 12, columna 1 vs fila 6, columna 2 vs filas 3 y 11 y columna 3 vs fila 2. Para la semana 5 vs 10, los cuadrantes fueron columna 1 vs fila 6, columna 2 vs filas 3 y 11 y columna 3 vs fila 2 (Figura 16). En general, analizando estas siete semanas de muestreo, las áreas de mayor preferencia son columna 2 y 3 vs fila 11 y 12, columna 1 vs filas 6 y 5, y, columnas 2 y 3 vs filas 2 y 3; o sea que, los trips en este experimento prefirieron las áreas izquierdas del invernadero.

## DISCUSION

El patrón espacial de *F. occidentalis* en fresa es, inicialmente agregado y, a medida que el tiempo pasa, el patrón espacial cambia al azar. Una de las características de este trabajo fue tomar un adecuado tamaño de cuadrante, lo cual permite analizar, apropiadamente las poblaciones, como se observó en los semivariogramas, en los cuales se encontraron picos y valles separados por la distancia de un solo cuadrante.

Los semivariogramas de anisotropía 0° y 45° manifestaron la mayor dependencia espacial en los muestreos F1, F3 y F12; este resultado se puede atribuir a que, en los muestreos iniciales con altas densidades, es cuando los trips empiezan a dispersarse e invaden cuadrantes vecinos en una forma focalizada, manteniendo la correlación y la dependencia espacial. En las fechas intermedias, la predominancia de focos bien definidos se pierde, debido al cambio de la disposición espacial de los focos poblacionales, los cuales fueron más aleatorizados y, por esto, no se encontró dependencia espacial, la cual se manifestó en los semivariogramas planos.

La tendencia predominante es la aleatorización de los focos poblacionales en el espacio y en el tiempo, con poca dependencia espacial entre cuadrantes; ésto es contrario a lo ocurrido ocurre con las poblaciones de *F. panamensis* Hood en ciruela (Florez y Corredor, 1999), en donde los focos poblacionales se presentan hacia un lado específico del cultivo con un patrón de disposición predominantemente agregado y, además, se dispersan en nubes de individuos (concentraciones poblacionales) y no individualmente, como lo reporta el dato de la ley de potencia de Taylor en este trabajo, en donde cambian su patrón de disposición de agregado al azar a partir de 1.5 individuos en promedio, lo cual genera una gran inestabilidad temporal y espacialmente de poblaciones.

Esta gran inestabilidad a nivel de individuos (movimientos muy rápidos) bajo invernadero tiene implicaciones importantes en las labores de manejo, ya que los tipos de control se deberían implementar rápidamente, con el fin de reducir las poblaciones de trips en los focos móviles que aún no han iniciado su dispersión. Esto último sugiere prácticas de manejo, las cuales, sólo serían aplicadas a focos poblacionales y en áreas específicas del cultivo, con el fin de evitar que estas áreas iniciales suministren las poblaciones de trips para el resto de las plantas. El mismo argumento es aplicable en el análisis de los focos poblacionales inmóviles, los cuales, se convierten también, en áreas de suministro poblacional para la invasión de otras áreas vecinas.

Los semivariogramas de 0° y 45° indican que los focos poblacionales crecen a partir de los focos localizados en las columnas 1, 2 y 3 vs las filas 1, 2 y 3 del invernadero, manifestando preferencia por esos sitios del invernadero, lo cual se puede deber a flujos de vientos que utilizan para su dispersión. Ésto mismo se observa en todas las figuras de áreas de cultivo para inmaduros, donde se ve claramente la preferencia de los adultos por ovipositar en el área izquierda del invernadero. Por lo tanto, las labores de manejo de trips en este invernadero deberían estar concentradas hacia el lado izquierdo del mismo, con el fin de reducir, drásticamente, las poblaciones de trips. Nuestros datos sugieren que lo ideal es la implementación de una estrategia de manejo integrado de las poblaciones foco iniciales, en el área específica de preferencia por los trips, evitando que se diseminen con 0° y 45° de direccionalidad, la cual es la forma principal de invadir el invernadero y no 90°, la cual no arrojó dependencia espacial.

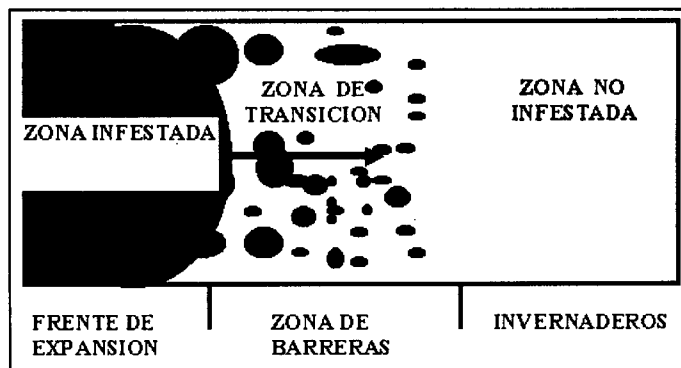


Figura 17. Táctica de manejo basada en el estudio espacio-temporal de una población plaga.

Con el ánimo de encontrar otras posibles dependencias espaciales, se debería aumentar el área de muestreo a otros invernaderos, ya que se pueden presentar movimientos poblacionales entre áreas vecinas (como se reporta en ciruela, Florez y Corredor, 1999). Cuando ésto ocurre, la dependencia espacial estaría supeditada a áreas más grandes. El rango de dependencia espacial para *F. occidentalis* en este invernadero fue de 1 a 6 cuadrantes (Figura 2, 3 y 4). Esto indica que al controlar un foco o al efectuar aspersiones de insecticidas en un foco poblacional en un cuadrante, se debería hacer, también, a los 6 cuadrantes de distancia de éste en forma isotrópica (todas las direcciones) o, principalmente, en las direcciones 0° y 45°, las cuales son las de mayor dependencia espacial. Esta metodología de manejo involucra la creación de áreas de seguridad o de aspersión con la más alta probabilidad de controlar eficientemente focos poblacionales de trips. Si se lograra determinar el grado de dependencia espacial y temporal a grande y

pequeña escala, se podrían implementar estrategias de manejo que involucren la creación de barreras de dispersión, mediante la determinación del frente de expansión poblacional de la plaga y sus colonias invasoras, tratando de erradicar dichas colonias invasoras antes que se adapten a la zona y el frente de expansión las absorba (Figura 17).

## LITERATURA CITADA

- AMARASEKARE, P. Spatial processes and multi-species interactions: insights for biodiversity management. <http://www.nceas.ucsb.edu/nceasweb/projects/97AMARA1/>. 1997.
- CAB INTERNATIONAL. Crop Protection Compendium. 1997.
- CAMPBELL, L. y L. MADDEN. Spatial aspects of plant disease epidemics II: Introduction to plant disease epidemiology. Jhon Wiley & Sons. New York. p. 289-328. 1990
- CARDENAS, E, y D. CORREDOR. Tablas de vida y parámetros poblacionales de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae).
- CRESSIE, N. Spatial point pattern, simulated and real. In: Statistics for spatial data. Jhon Wiley & Sons. New York. p. 722-724. 1993
- DALTON, G. Study of agricultural systems. Applied science publishers. Londres. 1975
- DANDURAN, L., G. KNUDSEN y D. SCHOTZKO. Quantification of *Pythium ultimum* var. sporangiiferum zoospore encystment patterns using geostatistics. *Phytopatology* 85(2): 186-190. 1995.
- DUQUE, M. Disposición espacial y muestreo de artrópodos. *Miscelánea Sociedad Colombiana de entomología* 11:31-41. 1988.
- FAHRIG, L. y J. PALOHEIMO. Effects of spatial arrangement of habitat patches on local population size. *Ecology* 69: 468-475. 1988.
- FERNANDINO, F. Past nonrandomness and aggregation to spatial correlation: 2DCORR, a new approach for discrete data. *Phytopatology* 88 (2): 84-91. 1997.
- FLOREZ, E. y D. CORREDOR. Algunos aspectos poblacionales de trips sobre varios cultivos en la sabana de Bogotá. Seminario Experiencias en el manejo integrado de trips en Colombia. SOCOLEN, Instituto de Ciencias Naturales -MHN-. Santa Fe de Bogotá. 1999.
- GOTTWALD, T. Spatio-temporal analysis and isopath dynamics of citrus scab in nursery plots. *Phytopatology* 85(10): 1082-1092. 1995.
- GOTTWALD, T., M. CAMBRA., P. MORENO., E. CAMARASA. and J. PIQUER. Spatial and temporal analyses of citrus tristeza virus in eastern Spain. *Phytopatology* 86(1): 45-55. 1996.
- GUMPERTZ, M. Visualizing spatial patterns. En: Exercises in plant disease epidemiology. APS press. St Paul. p. 5943. 1997.
- GUMPERTZ, M. y J. RISTAINO. Spatial autocorrelation: methods for continuous variables. Exercises in plant disease epidemiology. APS press. St Paul. p. 72-77. 1997.
- GUMPERTZ, M., R. LARKIN. y J. RISTAINO. Geostatistical applications in epidemiology. En: Exercises in plant disease epidemiology. APS press. St Paul. p. 94-99. 1997.
- ISARD, S. What is the movement & dispersal and why is it important?. In: Alliance for aerobiology workshop. <http://www.inhs.vivc.edu/cee/wwwtest/movement/whatwhy.html>. 1996.
- LARKIN, R., M. GUMPERTZ. y J. RISTAINO. Geostatistical analysis of phytophthora epidemic development in commercial bell pepper fields. *Phytopathology* 85(2): 191-203. 1995.
- LIEBHOLD, A., R. ROSSI. y W. KEMP. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review Entomology* 29: 321-357. <http://www.fsl.wvnet.edu/~sandy/sandy/pubs/annrev.pdf>. 1993.
- MYERS, D. Multivariable geostatistical analysis for environmental monitoring. *Sci. de la terre* 27: 411-427. 1998.
- OETTING, R. Biology and identification of thrips on greenhouse ornamentals. The Georgia agricultural experiment stations. College of agricultural and environmental sciences. The University of Georgia. 1993.
- PAINE, T., F. STEPHEN. y H. TAHA. Conceptual model of infestation probability based on Bark Beetle abundance and host tree susceptibility. FORUM.: Environmental Entomology. Entomological Society of America 13: 619-624. 1984.
- PUTMAN, R. Community Ecology. Chapman & Hall. London. 1994.
- ROUHANI, S. and D. MYERS. Problems in space-time kriging of geohydrological data. *Mathematical Geology* 22 (5). 1990
- SHAROV, A. Modeling forest insect dynamics. <http://viner.ento.vt.edu/~sharov/popechome/model/model.html>. 1996.
- SHAROV, A. Quantitative population ecology. <http://www.ento.vt.edu/~sharov/popechome/refemce.html#lectures>. 1996.
- SHAROV, A. and A. LIEBHOLD. Model of slowing the spread of Gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) with a barrier zone. *Ecological applications* 8 (4): 1170-1179. 1998.
- SHAROV, A. and A. LIEBHOLD. Quantitative analysis of Gypsy moth spread in the central appalachians. *Population and Community for insect management*. p. 99-110. 1998.
- SHAROV, A., A. LIEBHOLD, and A. ROBERTS. Correlation of counts of Gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) in pheromone traps with landscape characteristics. *Forest science* 43(4). p. 483-490. 1997.
- SHAROV, A., A. LIEBHOLD. and A. ROBERTS. Optimizing the use of barrier zones to slow the spread of Gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) in north america. *J. Econ. Entomol.* 91 (1): 165-174. 1998.
- SOUTHWOOD, T. Ecological methods with special reference to the study of insect populations. Chapman and Hall. New York. 1978.
- XIAO, C., J. HAD and K. SUBBARAO. Spatial pattern of microsclerotia of *Verticillium dahliae* in soil and verticillium wilt of cauliflower. *Phytopatology* 87(3): 325-331. 1997.