

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Juan Manuel Arrieta<sup>1</sup>  
 Carlos Copete<sup>2</sup> y Carlos Sánchez<sup>2</sup>

ABSTRACT  
**The use of geostatistics to study weed dynamics of *Spermacoce tenuior* L. and *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers. in the corn-soybean rotation system at Colombian well drained savannahs**

Using geostatistical techniques (variograms and kriging), the impact of some agronomic practices on distribution, density and spatial and temporal weed dynamics of *Spermacoce tenuior* and *Digitaria longiflora* Retz (Pers.) was studied in the corn-soybean rotation system of the well drained soils of the Colombian Easter plain savannahs. Field distribution had high spatial dependence and best described by linear, Gaussian and spherical models. Crop rotation cycle analyses indicated that field distribution was influenced by tillage because evidently in most variograms field aggregation was reduced. When semivariance values increased, as in *D. longiflora* seedbank, weed aggregation took place. The absence of anisotropy indicated that the two weed populations and their seeds are uniformly distributed. For *S. tenuior*, a tendency to decreased sill values from 69,28 during the 1st semester 2001 to 0,16 in the 2nd semester 2002, showed decreasing aggregation levels over time. The soil seedbank did not develop consistent distribution pattern overtime and was not possible to construct a semi-variogram. *D. longiflora* showed an spatial distribution during 2001, but that tendency weakened during 2002, which was interpreted as evidence that plant populations are randomly distributed within a field from one rotation cycle to another.

*Key words:* weeds populations, geostatistics, kriging, variograms, seedbank, well drained savannahs.

Recibido: junio 29 de 2006.  
 Aceptado: diciembre 4 de 2006.

1. Investigador adjunto, Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera (Cundinamarca), CORPOICA. Actualmente docente, Facultad de Ciencias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá (Cundinamarca). e-mail: juanma1709@gmail.com  
 2. Tesistas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá (Cundinamarca).

# Estudio geoestadístico de la dinámica de poblaciones de *Spermacoce tenuior* L. y *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers., arvenses del sistema rotacional maíz-soya de la altillanura colombiana

RESUMEN

Con el objeto de conocer la dinámica de las malezas en el sistema rotacional de producción maíz-soya en la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia, se indagó el impacto de algunas prácticas agronómicas sobre los cambios de distribución, densidad y composición espacio-temporal de poblaciones de las especies *Spermacoce tenuior* L. y *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers. utilizando herramientas geoestadísticas (variogramas y 'kriging'). Los modelos que mejor describieron la estructura espacial de dichas poblaciones fueron de tipo lineal, gaussiano y esférico. El análisis de los ciclos de rotación indica que la estructura espacial se vio influida por la labranza, pues en la mayoría de variogramas fue evidente una reducción de la agregación espacial. Cuando los valores de la semivarianza aumentaron, como sucedió en el banco de semillas de *D. longiflora*, se presentó agregación de poblaciones. La ausencia de anisotropía indica que las dos poblaciones de arvenses y sus semillas se encuentran distribuidas al azar en cualquier dirección. Para las plantas emergidas de la especie *S. tenuior* se observó una tendencia de descenso en los valores del sill (techo), al pasar de 69,28 plantas en I-semester de 2001 a 0,16 en II-semester de 2002, lo cual señala niveles de agregación decrecientes a través del tiempo. Respecto del banco de semillas del suelo no se halló un patrón de distribución consistente en el tiempo y no fue posible construir semivariogramas para el total de los muestreos. *D. longiflora* presentó una estructura espacial determinada durante los dos primeros semestres de 2001, pero en 2002 mostró una muy débil estructura espacial, lo que significa que las poblaciones de plantas se distribuyeron de manera aleatoria dentro de la zona de estudio al pasar de un ciclo de rotación a otro.

*Palabras clave:* arvenses, geoestadística, kriging, variogramas, banco de semillas, altillanura.

INTRODUCCIÓN

PARA EVALUAR EL IMPACTO de una práctica agronómica o actividad de manejo de arvenses es necesario cuantificar los cambios en la distribución, densidad y composición de las poblaciones a través del tiempo y el espacio (Sadler *et al.*, 1998; Bianchini *et al.*, 2002; Pierce *et al.*, 1999). La densidad de las poblaciones de malezas y su composición no son cuantificables sin el conocimiento de la distribución de la población (Buhler *et al.*, 1997).

Muchos han sido los métodos desarrollados a través del tiempo para estudiar la distribución espacial de las especies arvenses (Cardina, *et al.*, 1996; Cardina, *et al.*, 1997; Cousens y Mortimer, 1996), como el uso de índices de dispersión y transformaciones de la razón de significancia-varianza, entre otros. La geoestadística se ha convertido en una herra-

menta importante para el estudio de la distribución espacial de plagas, dentro de los cultivos o regiones (Benítez, 2001; Franc y Neher, 1997; Webster y Boag, 1992; Santamaría *et al.*, 2002; Gavassoni *et al.*, 2001; Pierce *et al.*, 1999).

La altillanura colombiana es una región con un potencial agrícola de 4,6 millones de hectáreas, las cuales, en su gran mayoría se dedican en la actualidad a la ganadería extensiva (Rippstein *et al.*, 2001). En la actualidad, la agricultura comienza a abrirse paso en la región mediante la introducción de cultivos como el maíz y la soya en rotación. Dadas las características físicas y topográficas de esta zona, la implementación de tecnologías para maximizar y optimizar la producción se facilita ampliamente, por lo cual la altillanura puede, en el corto plazo, llegar a convertirse en la gran despensa agrícola del país (CORPOICA, 2001a; CORPOICA 2001b). Por su parte,

el desarrollo de híbridos tolerantes a las condiciones extremas de acidez del suelo imperantes en la zona, desarrollados por Corpoica y otras entidades, ha permitido obtener rendimientos que elevan en buena medida el índice de rentabilidad de los cultivos.

No obstante, la alteración de las condiciones naturales de los ecosistemas de la altillanura por la introducción de cultivos produjo un desequilibrio que llevó a algunas especies vegetales a adquirir la denominación de 'malezas'. De acuerdo con la información obtenida de muestreos previos (CORPOICA, 2001a), las especies 'botoncillo' (*Spermacoce tenuior* L.) y 'guardarroció' (*Digitaria longiflora* [Retz.] Pers.), entre otras, presentan alto potencial para colonizar, establecerse en la región y causar problemas serios de infestación. Por esta razón el conocimiento y estudio de la dinámica de las poblaciones de estas especies juega un papel importante en los procesos de generación y formulación de estrategias que permitan realizar un manejo eficiente y económico hacia el futuro (Copete y Sanchez, 2002; Cousens y Mortimer, 1995).

Entender la dinámica de las arvenses *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers. y *Spermacoce tenuior* L. en el corto plazo, ayudará a prevenir la pérdida de rendimientos y reducir los costos de su control en los cultivos de maíz y soya (Buhler *et al.*, 1997; Cousens and Mortimer, 1995). Por tanto, es preciso generar nuevos conceptos, metodologías y tecnologías que apunten a definir un modelo predictivo de manejo integrado el cual restrinja, de manera significativa, el uso de herbicidas pre y post emergentes, así como a establecer el uso de medidas culturales y agronómicas confiables (Forcella, 1997; Forcella, 1993).

En el presente trabajo se estudiaron los cambios en la distribución espacial de las especies arvenses *D. longiflora* (Retz.) Pers. y *Spermacoce tenuior* L. en cultivos de maíz y soya en rotación, entre los años 2001 y 2002, en la región de la altillanura colombiana (municipio de Puerto López, departamento de Meta). Estos estudios se efectuaron con el objeto de proporcionar información sobre el comportamiento biológico y ecológico de las dos especies a través del tiempo y el espacio (CORPOICA, 2001a).

Como objetivos específicos se establecieron: a) determinar el patrón de crecimiento de las poblaciones de las especies malezas 'botoncillo' (*S. tenuior*) y 'guardarroció' (*D. longiflora*), para conocer su forma de expansión en la región geográfica de la altillanura; b) evaluar la regulación de la densidad temporal y espacial de las poblaciones de las dos especies de malezas, en sus fases activa (plantas) y pasiva (banco de semillas), bajo diferentes prácticas agronómicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El estudio se llevó a cabo en la margen sur del río Meta (coordenadas origen Bogotá: latitud N 4° 17' 25", longitud 75° 27' 16"), en el kilómetro 66 sobre la vía Puerto López - Puerto Gaitán, departamento de Meta (Colombia), a una altura aproximada de 190 m.s.n.m. Se escogió esta región por su potencial agrícola, pues se estima que el área que puede destinarse a la producción es de 4,6 millones de hectáreas (Rippstein, 2001).

La precipitación media anual es de 2.500 mm y presenta un régimen monomodal con la máxima en los meses de junio y julio y la mínima de diciembre a marzo. Así mismo, la unidad climática se cataloga como cálido sub húmedo,

con temperaturas medias superiores a 30°C y humedad relativa mayor de 75% (Rippstein *et al.*, 2001; CORPOICA, 2001b). El área total del ensayo fue de 209 ha.

### Muestreo

Para la ubicación de los puntos de muestreo, los cuales estuvieron separados entre sí 175 metros, se utilizó un dispositivo GPS (*Geo Positional System*) a fin de obtener un diseño de Lattice, red o grilla (Figura 1). En los puntos de coordenadas se realizaron los muestreos, utilizando el método del cuadrado (1 m X 1 m) con el objeto de determinar la densidad y proporción de las dos especies arvenses bajo estudio. Así mismo, en cada uno de estos puntos se tomó la respectiva muestra de suelos para el análisis del banco de semillas de malezas, mediante el método físico-químico, determinado por Gómez (1990). Las épocas de muestreo se distribuyeron como se presenta en la Tabla 1. La información colectada en cada punto, es decir, el número de plantas por metro cuadrado y de semillas por 100 g de suelo, se sometió a un análisis estadístico con la ayuda del programa SAS® versión 8.2.

### Análisis estadístico

La metodología geoestadística se divide básicamente en dos grandes procedimientos que son la estimación del vario-

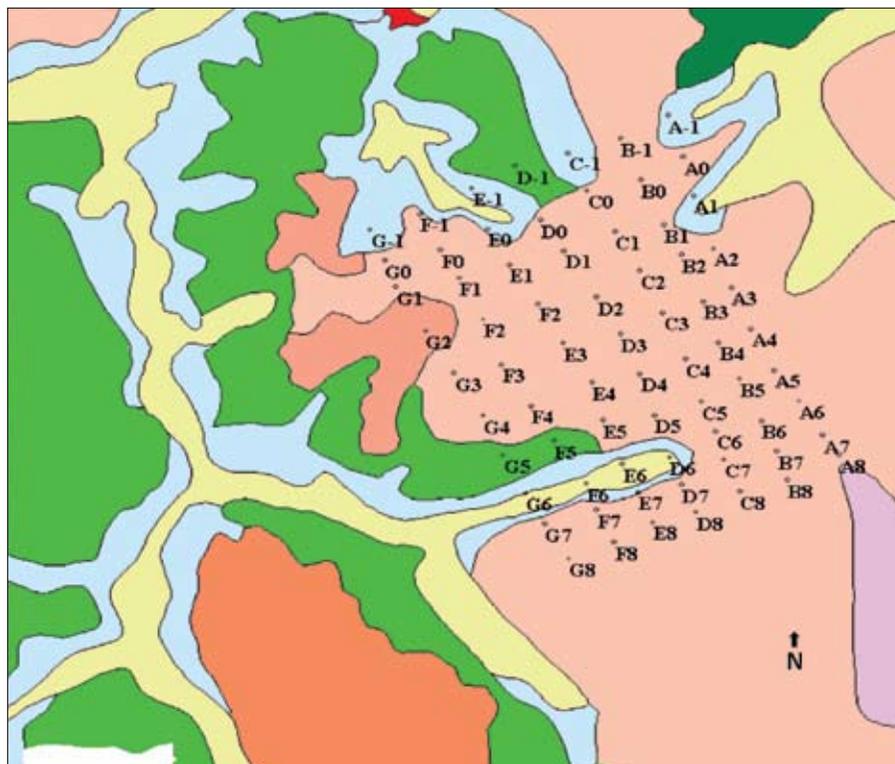


Figura 1. Ubicación espacial de los puntos de muestreo en la finca Santana.

**Tabla 1.** Épocas de muestreo según semestre y edad de los cultivos.

Semestre	A 2001		B 2001		A 2002		B 2002	
	Maíz	D	Soya	D	Maíz	Soya	D	Soya
Cultivo	Maíz	D	Soya	D	Maíz	Soya	D	Soya
Edad del cultivo	110 DDS	D	30 DDS	D	110 DDS	30 DDS	D	30 DDS
Banco de semillas								
Plantas emergidas								

DDS: días después de la siembra; D: descanso del lote; Cuadros grises: época de muestreo. A: primer semestre del año; B: segundo semestre del año.

grama y el uso del método de interpolación de las lecturas tomadas en campo conocido como 'kriging' (Sadler *et al.*, 1998; Pierce *et al.*, 1999).

### Estimación de los variogramas

Los variogramas son estimadores de la varianza poblacional relacionados con una dirección y una distancia (Figura 2). Básicamente indican cómo varían las dependencias espaciales que existen entre un punto de origen y otro punto que se aleja de éste. Por ejemplo, el punto de origen corresponde a  $x_0$  y para su determinación, se calcula la variabilidad existente entre todos los pares de puntos que componen la muestra en función de la distancia y la dirección que los separa (ecuación 1).

$$\hat{\gamma}(d, \theta) = \frac{1}{2N_{(d, \theta)}} \sum_{i=1}^{N_{(d, \theta)}} [Z(x_i) - Z(x_i + d)]^2$$

donde,

$\gamma(d, \theta)$ : semivarianza para los sitios muestreados y separados por la distancia  $d$ ,

$Z(x_i)$  y  $Z(x_i + d)$ : densidades en los puntos  $x_i$  y  $(x_i + d)$ ,

$N_{(d, \theta)}$ : número de pares de sitios muestreados y separados por la distancia  $d$ .

El variograma depende de la distancia y la dirección en las que se desea evaluar la variabilidad. Si al analizar variogramas ajustados en dos direcciones perpendiculares entre sí se observan diferencias significativas, se dice que existe 'anisotropía espacial' (es decir, un efecto direccional sobre la varianza). Esto indica que la población presenta estructuras de dependencias diferenciadas en función de la dirección (Sadler *et al.*, 1998; Bianchini *et al.*, 2002; Pierce *et al.*, 1999).

Se aplicaron modelos lineales y no lineales para el ajuste de los valores de la semivarianza mediante la regresión de cuadrados mínimos, a fin de estimar los parámetros del semivariograma

como son el *nugget*, el *sill* y el *rango* (Figura 2). En los semivariogramas el *nugget* es la forma como se denomina al intercepto y es el valor a partir del cual comienza a existir correlación espacial. El efecto *nugget*, o 'pepita puro', es una aparente discontinuidad en el semivariograma cerca al origen, se debe a la variación de microescala o medida del error y no está relacionado con la dependencia espacial. En general, a medida que la distancia entre puntos de muestreo aumenta, la semivarianza tiende a tomar un máximo valor denominado el *sill* o techo. La distancia entre puntos de muestreo a la cual la semivarianza alcanza el *sill* es llamada *rango*. El *rango* representa la máxima distancia sobre la cual hay dependencia espacial en las densidades de arvenses. Las densidades de población en los puntos de muestreo separados por una distancia mayor al *rango* no están correlacionadas espacialmente.

La relación entre la semivarianza y la distancia entre puntos de muestreo se graficó en forma de semivariogramas (entendiendo la semivarianza como

una medida de autocorrelación espacial y algunas veces interpretada como un índice de continuidad espacial de una variable). La presencia de anisotropía se evaluó examinando los semivariogramas para 0, 45, 90 y 135°, siendo 90° la dirección de los surcos y 0° la dirección perpendicular a los surcos (Avenidaño *et al.*, 2003).

### Determinación del kriging

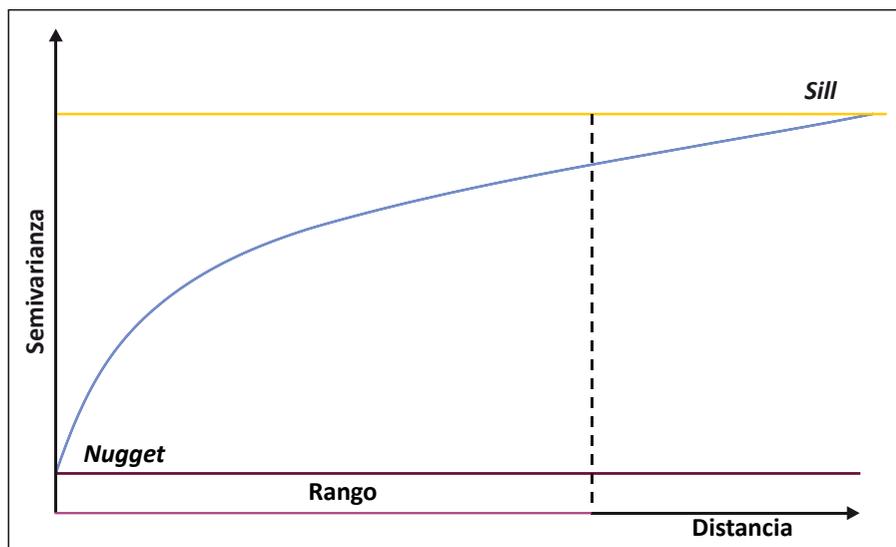
El método de interpolación geoestadística se conoce como 'kriging'. El objetivo del *kriging* es estimar el valor de la variable  $Z$  en un punto  $x_0$  no medido con anterioridad. Para esto se realiza una suma ponderada sobre todas las parcelas o puntos que componen el muestreo (Avenidaño *et al.*, 2003; Benítez, 2001).

Dentro de su formulación matemática se incluyen dos restricciones básicas en las que se limita la suma de los errores de estimación a cero y el cuadrado de las desviaciones, a su mínimo. La restricción establecida sobre la varianza de estimación hace que el *kriging* sea el mejor estimador lineal (ecuación 2).

$$\hat{Z}(x_0) = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \dots + \lambda_n Z(x_n)$$

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z(x_i)$$

La estimación realizada puede ser puntual o de bloques. Se entiende por bloque a un sector definido en el espacio para el cual se estima el valor promedio de la variable. Para resolver el sistema de ecuaciones del *kriging*, se requiere de información sobre las dependencias



Fuente: Copete y Sánchez, 2002.

**Figura 2.** Estructura general de un variograma y sus parámetros.

espaciales que caracterizan a cada unidad analizada, las cuales son proporcionadas por los variogramas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis espacial

En la mayoría de los muestreos se encontró dependencia espacial en las poblaciones de las arvenses *S. tenuior* y *D. longiflora*. Los parámetros estimados para la elaboración de los semivariogramas y las épocas de muestreo se registran en la Tabla 2. Los modelos que mejor describieron la estructura espacial de las poblaciones de *S. tenuior* y *D. longiflora* fueron los de tipo lineal, gaussiano y esférico (Avendaño *et al.*, 2003).

Respecto de *Spermacoce tenuior* L., la mayor parte de los muestreos de flora arvense mostraron algún tipo de distribución espacial, posible de explicar de forma estadística (Cardina *et al.*, 1997; Chancellor y

Goronea, 1994; Zanin *et al.*, 1998; Dammer *et al.*, 1999). Por el contrario, con relación al banco de semillas del suelo no se halló un patrón de distribución consistente a través del tiempo y, por lo tanto, no fue posible construir semivariogramas para el total de muestreos (Forcella *et al.*, 1992).

En relación con las plantas emergidas de *Spermacoce tenuior* se observó una tendencia de descenso en los valores del sill, al pasar de 69,28 conteos en el semestre A del año 2001 a 0,16 conteos en el semestre B del año 2002 (Tabla 2), lo que permite deducir que los niveles de agregación para las poblaciones de plantas fueron cada vez menores, a medida que transcurrió el tiempo.

Con relación a *Digitaria longiflora* se presentó una estructura espacial durante los dos semestres del 2001. En el año siguiente hubo una pérdida total de la estructura espacial, lo cual significó que las poblaciones de plantas se distribuyeron en

forma aleatoria dentro del área de estudio (Froud-Williams *et al.*, 1984). Iguales resultados encontraron Gaston *et al.* (2001) en un estudio llevado a cabo en el delta del río Mississippi. Esta pérdida de la estructura espacial se encuentra relacionada con factores antrópicos, como el sistema de labranza implementado en la adecuación de los suelos de la altillanura (preparación del suelo en todas las direcciones para eliminar las especies vegetales nativas e incorporar todas las enmiendas necesarias al suelo). Esto incide en el rompimiento de la dormancia y el inicio de la germinación de las semillas (Van Groenendel, 1988; Zanin *et al.*, 1998).

En cuanto al banco de semillas de *D. longiflora* se observó una estructura espacial a través del tiempo, lo cual hizo posible construir los semivariogramas para el total de los muestreos. No obstante, al observar en detalle los valores del sill (Tabla 2) en los dos ciclos de rotación se detecta un descenso gradual de los niveles de agregación para las poblaciones de semillas. Mientras que en el primer semestre del año 2001 el valor máximo de semivarianza fue 17,62, en el segundo semestre del mismo año llegó a 0,04, similarmente a lo reportado por Gaston *et al.* (2001). Para el siguiente ciclo de rotación (año 2002) se observó un ligero aumento en el valor del sill, el cual pasó de 1,83 en el primer semestre a 3,59 en el segundo, lo que sugiere un aumento en la agregación de las poblaciones de semillas.

### Variabilidad espacial (semivariogramas)

Para apreciar de una manera gráfica el comportamiento a través del tiempo de los valores de análisis espacial del apartado anterior se construyen, a partir de dicha información, los semivariogramas; en éstos se grafica el valor de la semivarianza con relación a la distancia. Es posible notar que, a medida que aumenta la distancia entre las muestras, también aumenta la semivarianza; por lo tanto, a distancias cortas las poblaciones serán más homogéneas. Con la ayuda del semivariograma es posible determinar el comportamiento de las poblaciones dentro del área de estudio.

Con base en lo anterior se observa que en las poblaciones de plantas de *S. tenuior* durante el semestre A del 2001 se presentan cambios muy notorios de los valores de la semivarianza, que pasan de 39 a 69,28 en una distancia de 200 m (Figura

**Tabla 2.** Parámetros de los variogramas calculados y épocas de muestreo.

<i>Spermacoce tenuior</i>							
	Semestre	Cultivo	Modelo	Co	C1	Sill	Rango
Flora arvense	A 2001	Maíz 110 DDS	Gaussiano	0	69,28	69,28	194,9
	B 2001	Descanso	-	-	-	-	-
	A 2002	Maíz 110 DDS	Lineal	0,15	0,000092	0,15	1,30
	B 2002	Soya 30 DDS	Gaussiano	0	0,16	0,16	114,2
Banco de semillas	A 2001	Maíz 110 DDS	-	-	-	-	-
	B 2001	Descanso	Esférico	0,03	0,02	0,05	679,4
	A 2002	Maíz 110 DDS	-	-	-	-	-
	B 2002	Soya 30 DDS	-	-	-	-	-
<i>Digitaria longiflora</i>							
	Semestre	Cultivo	Modelo	Co	C1	Sill	Rango
Flora arvense	A 2001	Maíz 110 DDS	Gaussiano	0,76	0,16	0,92	554,0
	B 2001	Descanso	Esférico	0	0,03	0,03	627,2
	A 2002	Maíz 110 DDS	-	-	-	-	-
	B 2002	Soya 30 DDS	-	-	-	-	-
Banco de semillas	A 2001	Maíz 110 DDS	Gaussiano	0	17,62	17,62	191,1
	B 2001	Descanso	Lineal	0	0,04	0,04	0,49
	A 2002	Maíz 110 DDS	Gaussiano	0	1,83	1,83	119,8
	B 2002	Soya 30 DDS	Esférico	2,48	1,21	3,59	696,9

DDS: Días después de la siembra; Co: nugget; —: muestreo en el cual no se encontró estructura espacial; C1: techo o límite definido para los modelos esféricos; Sill: Co + C1.

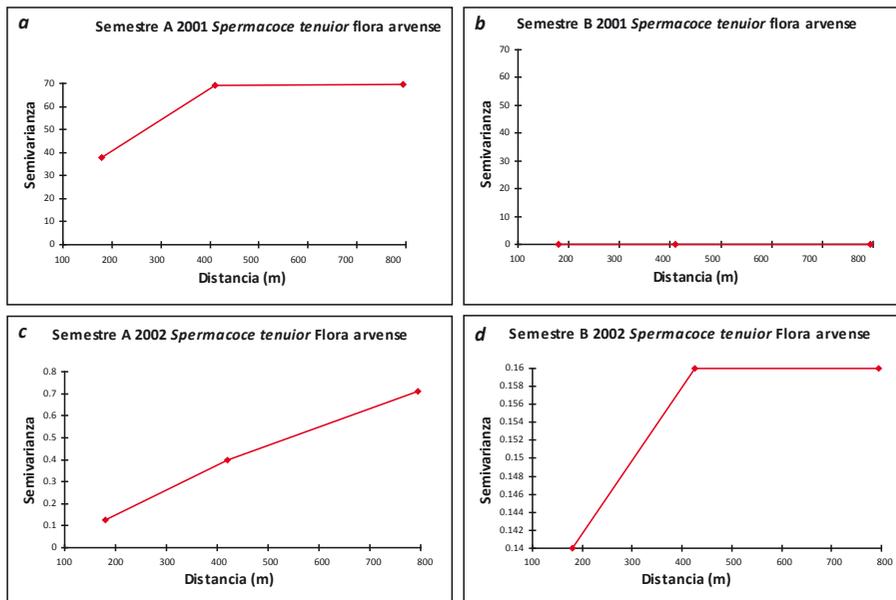
3a), contrario a lo encontrado por Gaston *et al.* (2001). La forma que adquiere el semivariograma en esta fase indica que las poblaciones de plantas se distribuyeron en focos o parches pequeños dentro de los lotes, perdiendo rápidamente su autocorrelación (Chancellor y Goronea, 1994). En los muestreos subsiguientes se pudo percibir que los valores de semivarianza se estabilizaban en niveles más bajos, pues el sill en el semestre A del 2002 (Figura 3c) fue de 0,15 y en el semestre B del mismo año (Figura 3d) fue de 0,16. El que los valores de semivarianza se estabilicen en niveles más bajos, desde el punto de vista epidemiológico, se interpreta como una falta de variación en los niveles de agregación de las poblaciones de *S. tenuior* en relación con la distancia, es decir, la redistribución fue más uniforme.

Respecto del banco de semillas de *S. tenuior*, a lo largo de los muestreos efectuados no se observó un patrón de distribución que permitiera elaborar los semivariogramas; este comportamiento de las poblaciones en las diferentes épocas de muestreo se explica porque la población de semillas de esta especie se encontraba muy dispersa dentro del perfil del suelo de manera totalmente al azar.

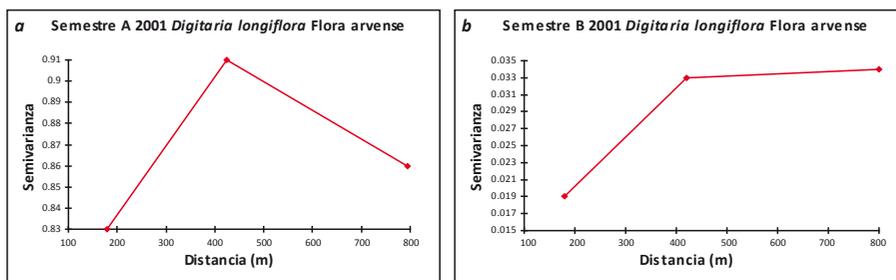
La presencia de estructura espacial en la flora emergida de *S. tenuior* sugiere que la germinación se ve influida por el sistema de labranza, contrario a lo que ocurre con el banco de semillas. Muestra de ello es que mientras existen poblaciones de semillas distribuidas aleatoriamente en el área, los niveles más altos de germinación tienen lugar en los ecosistemas intervenidos (praderas mejoradas y áreas de cultivo).

Respecto de las poblaciones de flora arvense de *D. longiflora* se puede notar en los semivariogramas la forma como la semivarianza, y por lo tanto el nivel de agregación, disminuyeron de un ciclo de cultivo a otro. La semivarianza pasó de tener un sill de 0,92 en el semestre A del 2001 (Figura 4a) a 0,035 en el semestre B del mismo año (Figura 4b). En el año siguiente las poblaciones de flora arvense se distribuyeron al azar dentro del área, motivo por el cual no fue posible construir semivariogramas para estas épocas (David, 1997; Bras y Rodríguez-Iturbe, 1985).

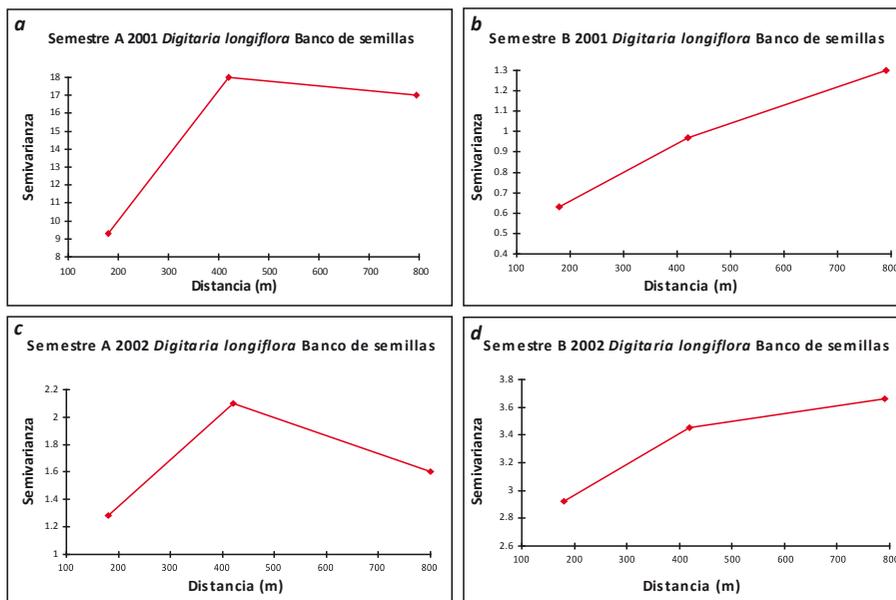
Estos resultados indican también que las poblaciones del arvense *D. longiflora*,



**Figura 3.** Semivariogramas isotrópicos de las poblaciones de flora arvense de *S. tenuior* L. que reflejan los cambios de la semivarianza y el nivel de agregación de las poblaciones arvenses a lo largo de dos años: a) semestre A de 2001, b) semestre B de 2001, c) semestre A de 2002, d) semestre B de 2002.



**Figura 4.** Semivariogramas isotrópicos de las poblaciones de flora arvense de *D. longiflora* (Retz.) Pers. durante el año 2001 en los que se puede observar la reducción del nivel de agregación ocurrido entre los semestres A y B de 2001.



**Figura 5.** Semivariogramas isotrópicos de las poblaciones del banco de semillas de *D. longiflora* (Retz.) Pers. a lo largo de dos años: a) semestre A de 2001, b) semestre B de 2001, c) semestre A de 2002, d) semestre B de 2002.

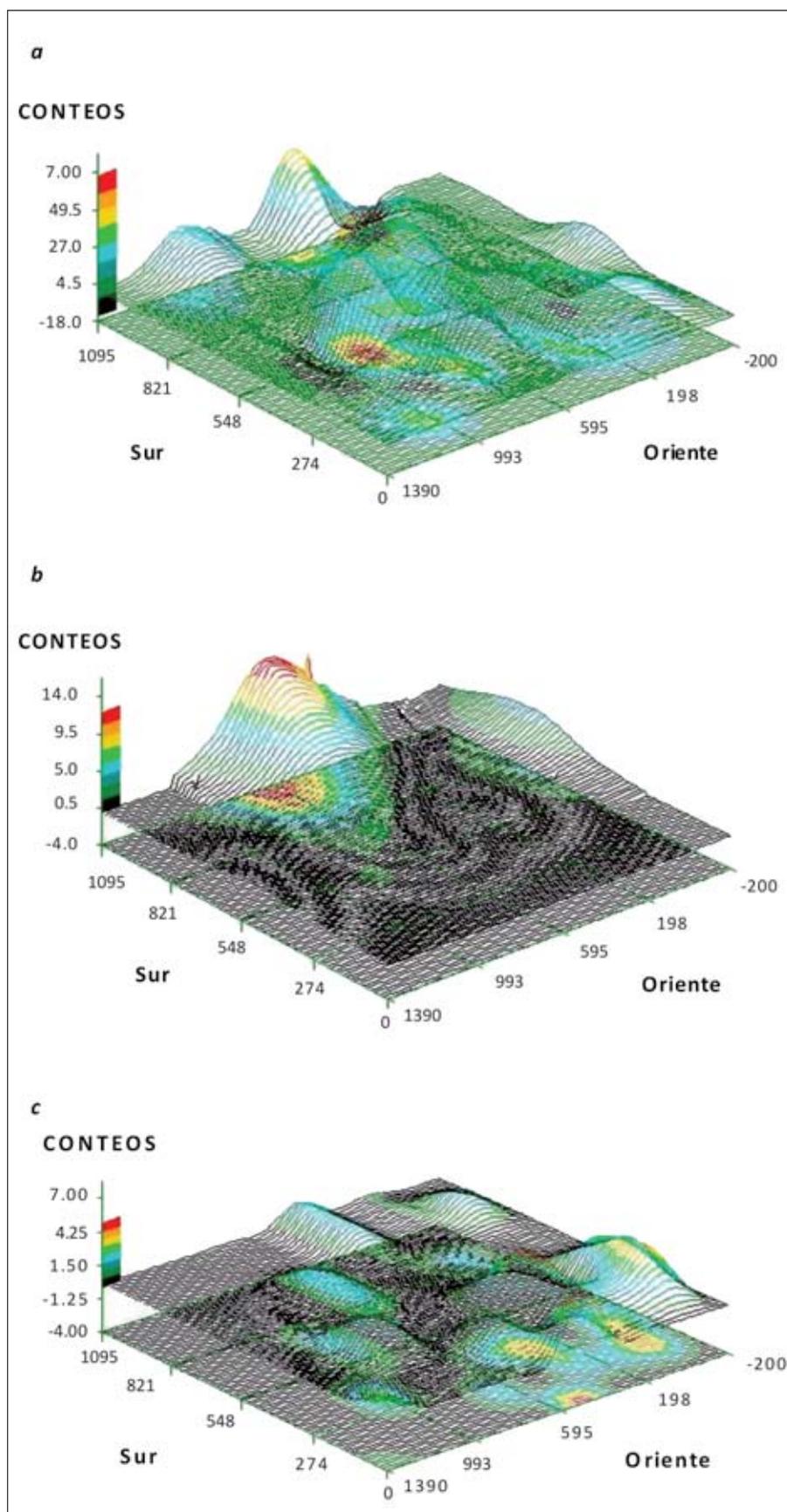
quizás por la morfología de su semilla (pequeña, con presencia de vilanos, peso liviano) y su abundancia (altamente prolífica), son susceptibles de dispersarse en los lotes, no sólo por labores agronómicas, sino también por el viento u otros agentes (pájaros). Esto se corrobora al advertir que se parte de un valor de *sill* bajo en el semestre A del 2001, el cual se mantiene hasta el siguiente semestre. Según lo anterior, es notorio cómo la población de plantas permanece poco agregada desde el comienzo del ensayo, conservando la misma tendencia en semestres sucesivos, hasta que en el año 2002 desaparece la estructura espacial en esta escala de trabajo.

El banco de semillas de la especie *D. longiflora* mantuvo la estructura espacial durante todo el ensayo. En el año 2001 el valor del *sill* pasó de 17,62 en el primer semestre a 0,04 en el segundo (Figuras 5a y 5b). En el primer caso se percibe que el valor de semivarianza se estabiliza en un nivel alto, lo cual indica la presencia de focos aislados y bien definidos dentro del área del ensayo con un nivel de agregación significativo. Esto se refleja en el semivariograma respectivo, con una reducción del nivel de agregación en el siguiente semestre, ya que la estabilización de la semivarianza a un nivel tan bajo (0,04) señala que, independientemente de la distancia, las poblaciones permanecen conformadas de manera homogénea por uno o más focos de mayor tamaño (Ericksson, 1994; Ehrlen and Ericksson, 2000).

En el semestre A del 2002 (Figura 5c) el *sill* de *D. longiflora* aumentó con respecto al semestre B del 2001, pasando de 0,04 a 1,83. La distribución de las poblaciones de semillas presentó un comportamiento similar al del primer semestre del año 2001 (Dale, 1999). Igualmente, en el semestre B del año 2002 (Figura 5d) el valor del *sill* aumentó casi el doble con relación al semestre inmediatamente anterior. En general, las poblaciones de semillas de *D. longiflora* tuvieron una tendencia hacia la agregación, al contrario de lo que sucedió con las poblaciones de plantas emergidas (Ericsson y Kiviniemi, 1999).

#### Estimaciones *kriging*

Las estimaciones *kriging*, elaboradas a partir de los semivariogramas ajustados (Tabla 2), ilustran de una forma clara cómo están distribuidas las poblaciones de plantas y semillas de las dos especies dentro de la zona de estudio. El eje Y, que se aprecia en la Figura 6 (a, b y c), indica el número



**Figura 6.** Estimaciones *kriging* para las poblaciones de flora arvense de *S. tenuior* L. en los semestres: a) A de 2001, b) A del 2002 (b) y c) B del 2002.

de conteos por metro cuadrado de la flora arvense. Con relación al banco de semillas, se muestra el número de semillas que es posible encontrar en cien gramos de suelo de ese lugar. Las escalas de colores son diferentes para cada muestreo, ya que el número de individuos por metro cuadrado y semillas por cien gramos de suelo fue distinto en cada época.

En el mapa de flora arvense para *S. tenuior* correspondiente al semestre A del 2001, la población de esta especie se concentra en las regiones centrales y occidentales donde se han establecido cultivos de maíz y soya por más de cinco años (Figura 6a). Esta situación corrobora lo planteado por Cardina *et al.* (1996), Wardle (2002), Ettema y Wardle, 2002 y Hodge (2006), quienes concluyen que la mayoría de los estudios demuestran que las arvenses se agregan en parches de diferentes formas y tamaños.

En este mapa es posible estimar el alto número de conteos alcanzando en algunos puntos, hasta 72 plantas por metro cuadrado. En el semestre A del año 2002 (Figura 6b) se evidencia una clara disminución del número de conteos de plantas (14), pero con tendencia hacia el mismo sector del área de estudio (zona nororiental). Sin embargo, para el segundo semestre (Figura 6c), a pesar de que los conteos muestran poblaciones de 5 plantas/m<sup>2</sup>, su distribución tiende a generalizarse a otras áreas del lote experimental, lo que denota una alta plasticidad fisiológica de la especie *S. tenuior* (Ivans *et al.*, 2003; Linkohr *et al.*, 2002).

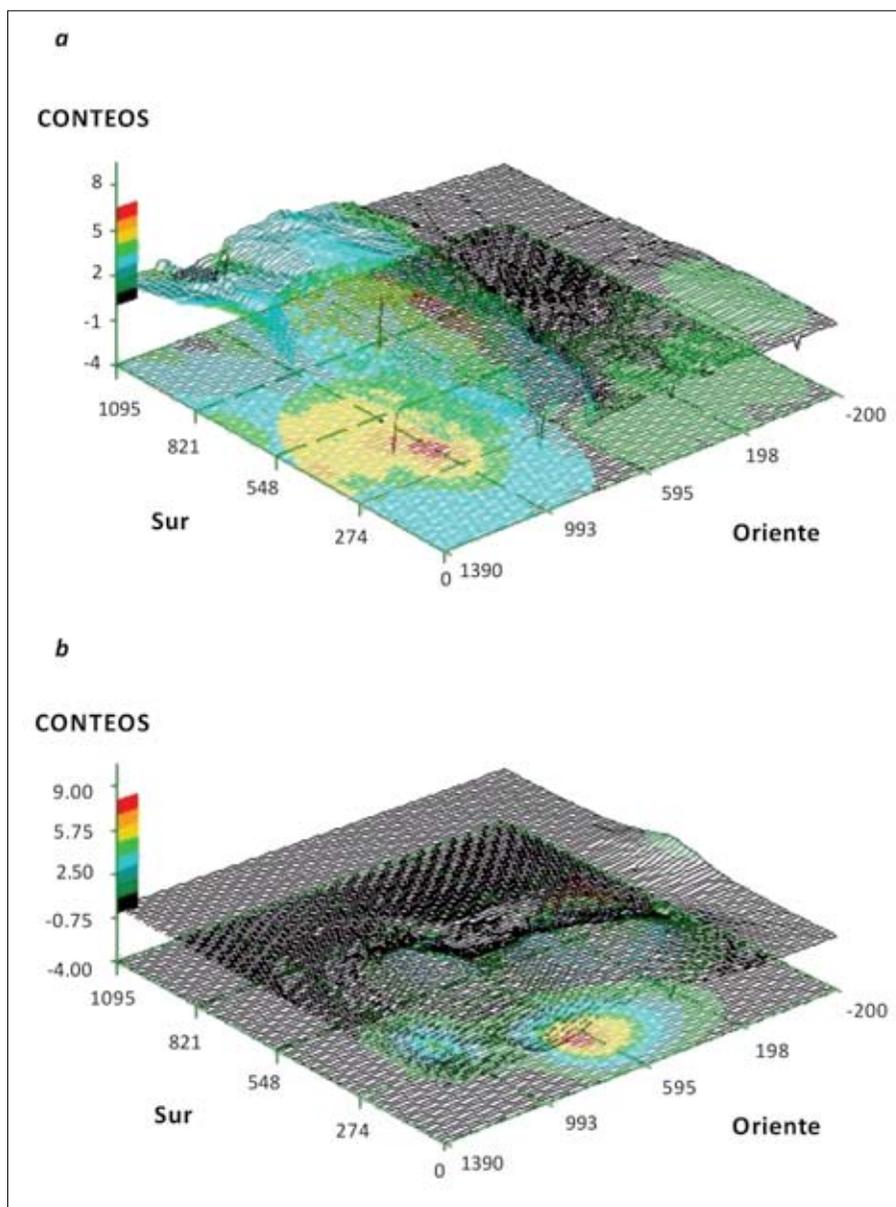
Para el semestre B del año 2002 (Figura 6c), la agregación espacial que indican los semivariogramas fue mucho menor; muestra de ello es que los focos de plantas se notan poco definidos hacia la zona nororiental del mapa. Es decir, con el tiempo se vienen desagregando a tasas muy bajas. Estos resultados corroboran que las poblaciones de *S. tenuior* tendieron a permanecer agrupadas o en parches en el primer semestre, momento en el cual se facilitaría implementar medidas de control más eficientes y eficaces (Mortensen *et al.*, 1995).

En el semestre A del 2001 las poblaciones de plantas emergidas de *D. longiflora*, se distribuyeron en forma agre-

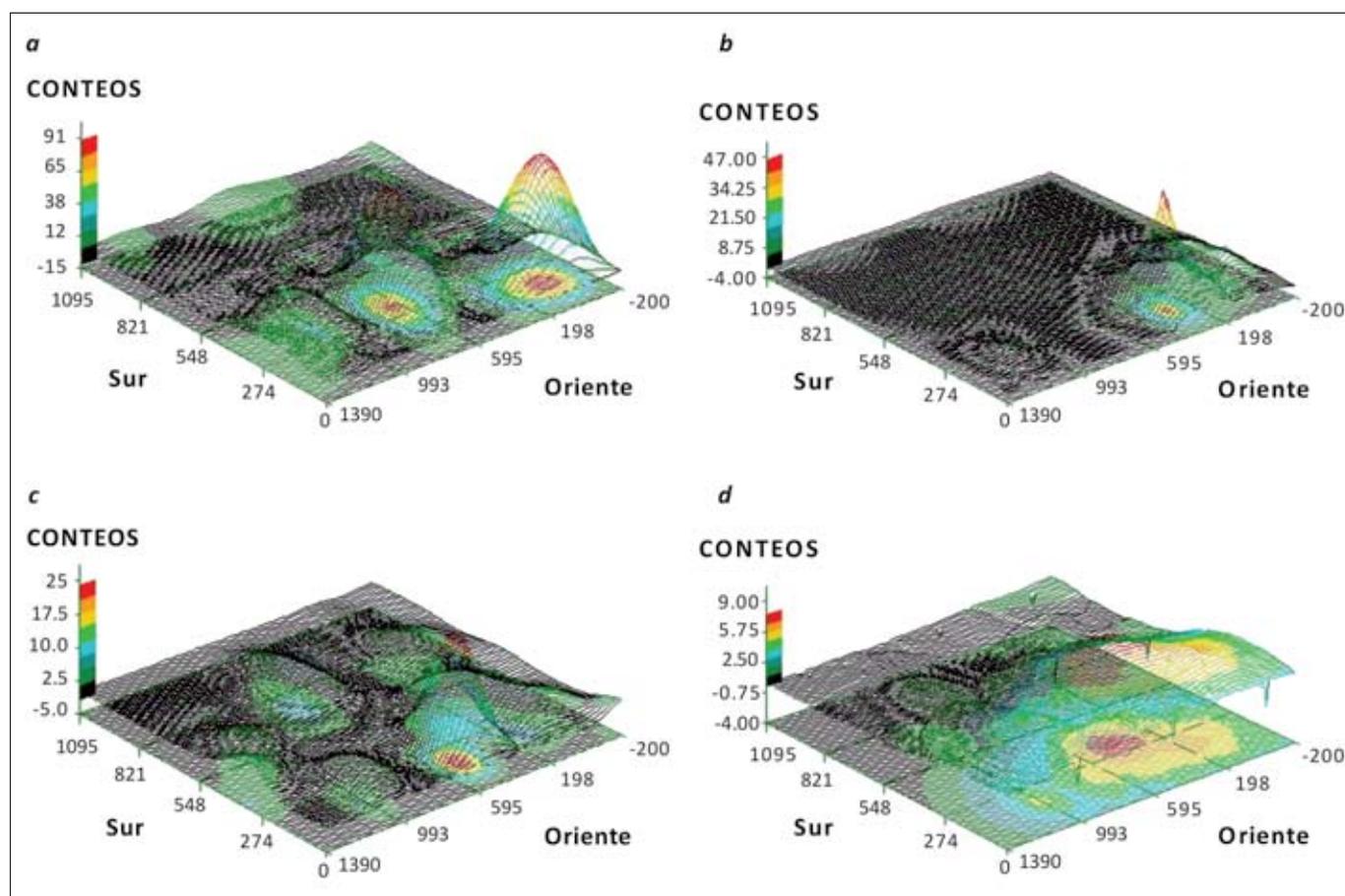
gada, hacia la zona sur del área de estudio. Para el segundo semestre hubo una marcada reducción de la estructura espacial, puesto que no existen focos bien definidos de plantas, lo cual significa que se presentan poblaciones carentes de agregación (efecto *nugget*) o con una débil estructura lineal (Figuras 7a y 7b). Además, ello podría explicar la redistribución de las plantas a través de toda el área de cultivo, con lo cual esta especie se convertiría en un mayor problema para el segundo semestre con un cultivo de porte bajo como la soya (Zanin *et al.*, 1998).

En cuanto al banco de semillas de *D. longiflora* se estableció que para el primer semestre del año 2001 (Figura

8a) existían dos focos con un elevado número de conteos (90 plantas/75m<sup>2</sup>) ubicados en la región oriental del mapa y acompañados de una serie de grupos de menor tamaño pero con mayor distribución, es decir, se detecta cierto grado de estructuración espacial. En el segundo semestre del mismo año (Figura 8b), se presentó una menor estructura espacial, apreciándose una tendencia más homogénea en las poblaciones dentro de la zona de estudio, con conteos demasiado bajos (5 ptas/75m<sup>2</sup>). Este resultado se explica, quizás, porque esta especie comparte taxón con el maíz, lo que permite que no sea blanco de los herbicidas frecuentemente utilizados (Zanin, *et al.*, 1998; van Groenandel, 1988).



**Figura 7.** Estimaciones *kriging* para las poblaciones de flora arvense de *D. longiflora* (Retz.) Pers.



**Figura 8.** Estimaciones *kriging* para las poblaciones de banco de semilla de la especie *D. longiflora* (Retz.) Pers. a lo largo de dos años: a) semestre A de 2001, b) semestre B de 2001, c) semestre A de 2002, d) semestre B de 2002.

Para el primer semestre del año 2002 (Fig. 8c), se observa una alta distribución de las semillas dentro del suelo, muy similar a la observada en el semestre inmediatamente anterior, con cierto grado de estructuración espacial. Por el contrario, en el segundo semestre del 2002 (Fig. 8d), se presentó una mayor dependencia espacial de las poblaciones de semillas de *D. longiflora*, con una agregación hacia la región oriental del área de experimentación.

En la mayoría de los mapas obtenidos de las estimaciones *kriging*, las poblaciones de plantas emergidas presentan una distribución agregada hacia la región occidental del área de estudio, las cuales corresponden a lotes que se han utilizado para cultivos, desde hace unos 10 años.

Por el contrario, al observar la distribución de los bancos de semillas, se nota una débil estructura espacial en sus poblaciones, es decir, mayor aleatorización o dispersión de éstas hacia todas las zonas del área de estudio (Houle, 1998; Suzuki *et al.*, 2003; Schurr *et al.*, 2004).

#### CONCLUSIONES

En la mayoría de los muestreos se encontró dependencia espacial en las poblaciones de las arvenses *Spermacoce tenuior* L. y *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers. Los modelos que mejor describieron la estructura espacial de las poblaciones de *S. tenuior* y *D. longiflora*, fueron los de tipo lineal, gaussiano y esférico.

La estructura espacial de las poblaciones de *S. tenuior* y *D. longiflora* estuvo influida por el sistema de labranza, y su dispersión se realiza siempre en varias direcciones en el mismo lote. Además, cuando los valores de la semivarianza aumentaron, como el caso del banco de semillas de *D. longiflora*, se presentó la agregación de las poblaciones.

La ausencia de anisotropía, la cual se define como el efecto de la dirección sobre la dependencia espacial, indica que las poblaciones de plantas y de semillas de las dos especies se encuentran distribuidas de igual forma en cualquier dirección. El hecho de no

laborar el suelo en una misma dirección propició una distribución totalmente homogénea de las poblaciones dentro de la zona de estudio.

Según las estimaciones *kriging* se puede constatar la manera como las poblaciones de flora arvense y banco de semillas de las dos especies van colonizando el área desde las márgenes oriental y sur de los lotes hacia el centro. El sector oriental de los lotes corresponde a las zonas que por más tiempo han sido empleadas para la actividad agrícola. En efecto, se demostró una relación directa entre el tiempo durante el cual los lotes han sido laborados y los niveles de infestación de arvenses.

#### BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Avendaño, F., O. Schabenberger y F. Pierce. 2003. Geostatistical analysis of field spatial distribution patterns of soybean cyst nematode. *Agronomy Journal* 95: 936 – 948.
- Benítez, E. 2001 Modelos ARIMA y ARIMAX, Geostatística en la descripción y predicción de epidemias del Mildeo veloso en

- rosa. Tesis de maestría Universidad Nacional de Colombia. 70 p.
- Bianchini, A. y P. Mallarino. 2002. Precision Agriculture: soil sampling alternatives and variable-rate living for a soybean-corn rotation. *Agronomy Journal* 94: 1355-1366.
- Bras, R.I. y H. Rodríguez-Iturbe. 1985. Random functions and hydrology. Addison Wesley Publ. Reading, MA. 240 p.
- Buhler D., R. Hartzler y F. Forcella. 1997. Implications of weed seedbank dynamics to weed management. *Weed Science* 45: 329 - 336.
- Cardina, J., D. Sparrow y E. McCoy. 1995. Analysis of spatial distribution of common lambsquarters (*Chenopodium album*) in no till soy bean (*Glycine max*). *Weed Science* 45: 258-268.
- Cardina, J., G. Johnson y D. Sparrow. 1995. The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed science* 45: 363 -373.
- Chancellor, W.J. y M.A. Goronea. 1994. Effects of spatial variability of nitrogen, moisture, and weeds on the advantages of site-specific applications for wheat. *Trans. ASAE* 37: 717-724.
- Colbach, N. y P. Debaeke. 1998. Integrating crop management and rotation effects into models of weed population dynamics: a review. *Weed science* 46:717-728.
- Copete, C.A. y C.A. Sánchez. 2003. Dinámica poblacional de dos especies arvenses, *Spermacoce tenuior* L. y *Digitaria longiflora* Retz (Pers.), bajo el sistema de rotación maíz-soya en el municipio de Puerto López (Meta) mediante la geoestadística. Trabajo de Grado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca. 145 p.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. 2001a. Generación de tecnologías para el establecimiento de modelos predictivos de manejo de plagas en maíz bajo diferentes sistemas de producción en Colombia. Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas, Informe anual 2001. 32 p.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. 2001b. Plegable Divulgativo No 24. Agosto de 2001. Villavicencio (Meta), Colombia.
- Cousens, R. y M. Mortimer. 1995. Dynamics of weed populations. Cambridge University Press. First published.
- Dammer, K., T. Schweigert y C. Wittmann. 1999. Probability maps for risk assessment in a patchy weed control. *Precis. Agric.* 1:185-198.
- David, M. 1977. Geostatistical ore reserve estimation. Elsevier Scientific. New York. 620 p.
- Ehrlén, J. y O. Eriksson. 2000. Dispersal limitation and patch occupancy in forest herbs. *Ecology* 81: 1667 – 1674.
- Eriksson, O. 1994. Seedling recruitment in the perennial herb *Actaea spicata* L. *Flora* 189: 187-191.
- Eriksson, O. y K. Kiviniemi. 1999. Evolution of plant dispersal. En: Vuorisalo TO Mutikainen PK. (eds.). Life history evolution in plants. Dordrecht Kluwer Academic Publishers, 215-238.
- Ettema, C.H. y D.A. Wardle. 2002. Spatial soil ecology. *Trends in ecology and evolution* 17: 177-183.
- Forcella, F. 1992. Weed seed banks of the U.S. Corn Belt: Magnitude, variation, emergence and application. *Weed Science*, 40: 636-644.
- Forcella, F. 1993. Seedling emergence model for velvetleaf. *Agronomy Journal*. 85: 929-933.
- Forcella, F. 1997. Consulta de expertos en ecología y manejo de malezas. F.A.O. Roma Italia.
- Francy, L. y D. Neher. 1997. Exercises in plant disease epidemiology. A.P.S. press St. Paul Minnesota Pág. 94 - 99.
- Froud-Williams, R.J. 1984. The effects of seed burial and soil disturbance on emergence and survival of arable weeds in relation to minimal cultivation. *Journal Applied Ecology*, 21: 629-641.
- Gaston, LA., M.A. Locke, R.M. Zablotowicz y K.N. Reddy. 2001. Spatial variability of soil properties and weed populations in the Mississippi Delta. *Soil Science Society American Journal* 65: 449 – 459.
- Gavassoni, W., G. Tylka y G. Munkvold. 2001. Relationships between tillage and spatial patterns of *Heterodera glycines*. *Phytopathology* 91: 534 - 545.
- Gómez, F. y J. Vásquez. 1990. Comparación de dos métodos para la estimación del banco de semillas de arvenses en un suelo cultivado con hortalizas. Tesis Universidad Nacional de Colombia Facultad de Agronomía Pág: 59-65
- Hodge, A. 2006. Plastic plants and patchy soils. *Journal of Experimental Botany* 57(2): 401-411.
- Houle, G. 1998. Seed dispersal and seedling recruitment of *Betula alleghaniensis*: spatial inconsistency in time. *Ecology* 79: 807-818.
- Ivans, C.Y., AJ Leffler, U. Spaulding, J.M. Stark y M.M. Caldwell. 2003. Root responses and nitrogen acquisition by *Artemisa tridentata* and *Agropyron desertorum* following small summer rainfall events, *Oecologia* 134: 317-324.
- Linkohr, BI, LC Williamson, A.H. Fittery H.M.O. Leyser. 2002. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of *Arabidopsis*. *The Plant Journal* 29: 751 – 760.
- Mortensen, D.A., G.A. Jhonson, D. Wyse y A.R. Martin. 1995. Managing spatially variable weed populations. En: Proceedings of the Second International Conference on Site Specific Management for Agricultural Systems, Bloomington/Minneapolis, MN, 27-30 March 1994. Robert, P.C., R.H. Rust, y W.E. Larson (eds.), ASA Miscellaneous Publication, pp. 397-415. ASA, CSSA and SSSA, Madison, W.I.
- Pierce, F.J. and P. Novak. 1999. Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy* 97: 1 – 84.
- Rippstein, G., G. Escobar y F. Motta, F. 2001. Agroecología y biodiversidad de las sabanas de los llanos orientales de Colombia. Publicación del CIAT. pp. 213 – 229.
- Sadler, E.J. 1998. Agronomic models: spatial scale requirements for precision farming: A case study in the South-eastern USA. *Agronomy Journal*, 90: 191-197.
- Santamaría, G., E. Benítez y A. Acosta. 2002. Geoestadística: conceptos y aplicación práctica en estudios entomológicos. *Revista ASOCLFLORES* 62: 17-26.
- Schurr, F., O. Bossdorf, S.J. Milton y J. Schumacher. 2004. Spatial pattern formation in semi-arid shrubland: a priori predicted versus observed pattern characteristics. *Plant Ecology*. 173: 271-282.
- Suzuki, RO, H. Kudoh y N. Kachi. 2003. Spatial and temporal variations in mortality of the biennial plant, *Lysimachia rubida*: effects of intraspecific competition and environmental heterogeneity. *J. Ecol.* 91: 114-125.
- Van Groenendael. 1988. Match distribution of weeds and some implications for modeling populations dynamics: A short literature review. *Weed Research* 28: 437-441.
- Webster, R. y B. Boag. 1992. Geostatistical analysis of cyst nematodes in soil. *Journal of Soil Science* 43: 583 – 595.
- Zanin, G., A. Berti y L. Riello. 1998. Incorporation of weed spatial variability into the weed control decision marking process. *Weed Research* 38: 107-118.