

LABRANZA REDUCIDA Y CONVENCIONAL EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA MALEZA Y RENDIMIENTO DE FRIJOL

Effect of Reduced and Conventional Tillage on the Spatial Distribution of Weed and Dry Bean Yield

Mario D. Amador-Ramírez¹

RESUMEN

En 2001, se realizaron experimentos de campo con el objeto de estimar la distribución espacial de la maleza y el rendimiento de frijol en respuesta a la eliminación del volteo y surcado y a la labranza convencional. De acuerdo con los valores de índice de normalidad (W) e índice de Morisita, la distribución de la población total de la maleza antes de la labranza primaria o antes y después de las escardas así como el rendimiento de frijol no fueron normales ni aleatorias, sino en agregados. Modelos exponenciales describieron las distribuciones espaciales de la maleza previo a la labranza primaria y siembra de frijol, así como previo a las escardas, mientras que un modelo lineal describió la distribución espacial de la maleza posterior a las escardas. En cambio, un modelo esférico describió la distribución del rendimiento de frijol. El agregado de la maleza posterior a las escardas en la dirección norte-sur del margen oriental del área de estudio se relacionó con la distribución mostrada por aceitillas *Bidens* spp., mientras que la distribución observada por gordolobo *Helianthus petiolaris* explican los agregados localizados en la parte norte-centro. La tendencia del rendimiento de frijol a agregarse en el centro y margen derecho superior del terreno coincidió con una reducida presencia de la maleza después de las escardas en esas áreas del terreno.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, distribución numérica, geoestadística, semivariograma, análisis de patrones, kriging.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas. Apartado Postal 18, 98500 Calera V.R., Zacatecas, México.
(amadorm@inifapzac.sagarpa.gob.mx)

Recibido: Febrero de 2002. Aceptado: Febrero de 2003.
Publicado en Terra 21: 551-560.

SUMMARY

In 2001, field experiments were conducted in order to estimate the spatial distribution of weeds and dry bean yield in response to reduced and conventional tillage. Based on values of the normality index (W) and Morisita's index, the distribution of total weed population and of dry bean yield were neither normal nor random, but in aggregates. Weed spatial distributions previous to primary tillage and cultivation were better described by exponential models, whereas weed distribution after cultivation was described by a linear model. In contrast, dry bean yield distribution was better described by a spherical model. The weed aggregate quantified after cultivation located north-south of the east boundary was related with beggarticks distribution, whereas those aggregates localized north-central are explained by sunflower distribution. The tendency of dry bean yield to be aggregated at the center and upper-right side of the plot agreed with a reduced presence of weeds after cultivation in those plot areas.

Index words: *Phaseolus vulgaris*, numerical distribution, geostatistics, semivariogram, pattern analysis, kriging.

INTRODUCCION

En el estado de Zacatecas, se sembraron aproximadamente 614 000 ha de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y se cosecharon 93% de la superficie sembrada durante 2001 ocupando el primer lugar en importancia entre los granos básicos (SAGARPA, 2001). Uno de los factores que reduce el rendimiento de frijol es la presencia de maleza en el cultivo, debido a una competencia por elementos para su desarrollo y crecimiento. Disminución en el rendimiento de frijol de riego manejado con labranza convencional se cuantificaron hasta en 96% si la maleza está presente durante toda la temporada de crecimiento del frijol (Solórzano, 1983). Desafortunadamente, información sobre los efectos de la maleza en frijol sembrado en

condiciones de labranza reducida no está disponible en la región.

El sistema de producción del cultivo de frijol que practican los productores de Zacatecas incluye prácticas agrícolas primarias y secundarias, como el barbecho, dos pasos de rastra y surcado previos a la siembra del grano, así como dos escardas a 22 y 45 días después de la siembra (Pérez, 1998). Esta tradición ha resultado en una lenta adopción de otros sistemas de producción. La labranza reducida, una forma de labranza de conservación, representa un sistema de producción alternativo para frijol. El término labranza reducida se refiere a cualquier sistema de producción usando menos operaciones de labranza que el sistema tradicional de producción (Paxton y Lavergne, 1991).

El interés por el sistema de producción de frijol con labranza reducida se está incrementando por parte de los productores e instituciones en Zacatecas. El interés se basa en los beneficios que tiene esta actividad agrícola, como la reducción en los costos de producción y ventajas agronómicas para el suelo como el control de la erosión, la cual se estimó en 119 t ha⁻¹ para un suelo franco arcilloso (Francis *et al.*, 1986).

La maleza presente en campos de cultivo es también influenciada por la labranza. La labranza convencional aplicada para la preparación de la cama de siembra reduce las poblaciones de maleza anual así como la germinación de semillas y emergencia de plántulas al labrar el suelo previo a la siembra del cultivo (Buhler, 1998). La composición y cantidad de maleza pueden asociarse con la reducida o cero labranza (Thomas y Frick, 1993).

Las poblaciones de maleza presentan diferente distribución espacial causado por factores genéticos de la especie de maleza, competencia intraespecífica, y competencia interespecífica con otras especies de maleza (Figueroa y Morales, 1992). La maleza puede distribuirse en forma agregada, concentrada, uniforme y lineal. Estos tipos de distribución espacial también son el resultado de la distribución espacial de cultivos y manejo del suelo (labranza primaria y secundaria). Por muchos años, los investigadores asumieron que las poblaciones de maleza se distribuían de manera aleatoria en el cultivo (Schweizer *et al.*, 1998). Sin embargo, el patrón de distribución de semillas y plántulas de maleza tiende a ser agregado en campos de cultivo (Johnson *et al.*, 1995, 1996; Cardina *et al.*, 1996).

Una implicación de la distribución agregada de la maleza es la sobrestimación de la pérdida en rendimiento de cultivos, debido al uso de la densidad promedio de la maleza en lugar de usar su carácter agregado (Schweizer *et al.*, 1998). La agregación en poblaciones de maleza conduce a la ineficiencia en la aplicación de medidas de control. El análisis de la estructura espacial podría influir en las decisiones de asperjar o no asperjar un herbicida, mientras que el uso eficiente del herbicida sería mayor cuando la maleza está espacialmente agregada (Johnson *et al.*, 1995), porque la aplicación del producto químico sería en sitio específico.

La agregación y estructura espacial de poblaciones de maleza pueden caracterizarse mediante medidas de agregación numérica, como el Índice de Agregación de Morisita (Morishita, 1962), los métodos Razón Varianza/Media y Binomial Negativa (Coronado y Sánchez, 1993) o mediante estadística espacial (Halstead *et al.*, 1993; Johnson, 1994; Cardina *et al.*, 1995). Existen diferencias entre descripción numérica y espacial. La descripción numérica sólo indica la proporción de un campo libre de maleza, mientras que la estadística espacial describe localidades libres e infestadas con maleza. Poca información explícita sobre la distribución espacial de maleza es proporcionada por los parámetros de agregación numérica, debido a que no hay un enlace entre localización de la muestra y datos sobre densidad de plantas (Cardina *et al.*, 1997). Un método estadístico para describir la distribución espacial de maleza es la Geoestadística (Schweizer *et al.*, 1998).

Debido a que el uso de la geoestadística para determinar la estructura y distribución espacial de la maleza en cultivos de maíz y soya es relativamente reciente, información de este tipo en frijol y maíz para las condiciones climáticas de la región del Altiplano de Zacatecas, donde el efecto de escardas esté incluido, no está disponible. Sin embargo, los tipos de labranza podrían producir posibles modificaciones en la distribución espacial de poblaciones de maleza y rendimiento de grano de frijol. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue determinar la distribución espacial en poblaciones de maleza y rendimientos de semilla de frijol en lotes manejados con labranza reducida y labranza convencional en condiciones de riego. Las distribuciones de los rendimientos de frijol trataron de ser explicadas a través de espacialidad mediante una posible relación con la distribución de la maleza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio se localizó en el Campo Experimental Zacatecas cerca de Calera de V. R., Zacatecas., el cual se ubica a una altitud de 2197 m, en el paralelo 22° 54' N y 102° 39' O del meridiano de Greenwich. Existen diversas clasificaciones climáticas que se adaptan según las necesidades de los usuarios. Sin embargo, basado en la clasificación ambiental del estado de Zacatecas hecha por Medina *et al.* (1998), el clima en el área de estudio es del tipo subtropical árido templado.

Establecimiento del Estudio

El experimento de campo se realizó durante 2001 en parcelas manejadas con dos tratamientos: (1) labranza convencional y (2) labranza reducida en condiciones de riego. Estas parcelas experimentales se manejaron por cinco años con estos tratamientos, así como con rotaciones de frijol-maíz-frijol. Las parcelas fueron de 10 surcos cada una por 102 m de largo. La distancia entre surcos fue de 0.76 m. Se sembraron con frijol tres parcelas con labranza reducida y tres con labranza convencional, las cuales estuvieron colocadas alternadamente. La labranza convencional consistió en la aplicación de volteo, rastreo, surcado y dos escardas 25 y 45 días después de la siembra. La labranza reducida consistió en la supresión del volteo y surcado, pero se aplicaron el rastreo y las dos escardas en las mismas fechas.

Manejo del Cultivo

La variedad utilizada fue 'Flor de Mayo Sol' y la distancia entre plantas fue de 10 cm, lo que produjo una densidad de 130 000 plantas ha⁻¹. El 22 de mayo, se realizó la siembra en condiciones óptimas de humedad, proporcionada por un riego de presiembra. En parcelas con labranza reducida, se usaron los surcos construidos en el ciclo agrícola anterior para aplicar el riego de presiembra, mientras que la construcción de surcos tuvo que ser realizada después del rastreo y volteo en las parcelas con labranza convencional para aplicar este riego de presiembra. Se aplicaron un total de cinco riegos durante todo el ciclo del cultivo. La cantidad de agua aplicada en cada riego no se midió. La fertilización se hizo en forma total en la siembra con la fórmula 50-50-00. Se utilizó

urea como fuente de N y 18-46-0 como fuente adicional de N y P₂O₅.

Colección de Datos

El muestreo de poblaciones de plántulas de maleza se realizó en lugares colocados a 1.5 m en la dirección este-oeste y a 6.0 m en la dirección norte-sur. Las épocas de muestreo de las poblaciones de plántulas de maleza fueron: 1) previo a la siembra del cultivo, 2) previo a las escardas (14 días después de siembra) y 3) 18 días después de la segunda escarda. Todas las plántulas de maleza dentro de un cuadrante permanente de 0.20 x 1.0 m en cada punto de muestreo se identificaron, se contaron, y se removieron en determinado momento por la labranza primaria y secundaria. Se determinaron las poblaciones de plantas de frijol incluidas en 1 m de hilera, así como el peso de grano de esas plantas de cultivo en los mismos sitios donde se cuantificaron las poblaciones de maleza. En el momento de la determinación del rendimiento el grano de frijol contenía 12% de humedad.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico de los datos de poblaciones de maleza y rendimiento de frijol incluyó la obtención de la media, mediana, desviación estándar y coeficiente de variación, usando PROC UNIVARIATE (SAS Institute, 1996). Se calculó el coeficiente de variación, con el cual pudo compararse las variabilidades de dos o más series de datos cuando hubo una diferencia en magnitud de la media y desviación estándar (Rees, 1995). Las distribuciones numéricas de los datos para determinar los patrones espaciales de maleza y rendimiento de frijol se calcularon mediante el Índice de Dispersión de Morisita I_b (Morishita, 1962).

Análisis Geoestadístico

La Geoestadística está basada en la teoría de las variables regionalizadas, la cual consiste en asumir una continuidad proporcionada por la correlación espacial de los datos de una variable entre puntos, mientras que la Estadística convencional está basada en la aleatoriedad e independencia entre datos asumiendo cero continuidad. La teoría de la variable regionalizada consiste en expresar como varianza a la

diferencia entre pares de valores de una variable separada por la distancia (Pierson y Wight, 1991).

Variografía. El grado de correlación o continuidad entre los datos se midió a través de un semivariograma, el cual describe cómo la varianza de las observaciones cambia con la distancia en una dirección dada. Esta autocorrelación espacial se examinó usando la ecuación de la semivarianza (Isaaks y Srivastava, 1989):

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

Donde γ_h es la semivarianza de los sitios de muestreo separados por la distancia h , $Z(x)$ y $Z(x+h)$ son densidades de maleza en los puntos x y $x+h$, y N_h es el número de pares de sitios de muestreo separados por la distancia h .

Para cada fecha de muestreo, se construyeron semivariogramas omnidireccionales que incluyen ambas series de datos provenientes de los tratamientos de labranza reducida y convencional. Para todos los semivariogramas, el número de intervalos de clase fue 9, con una distancia promedio entre clases de 8.5 m. Cada punto en las gráficas representan datos con al menos 4200 pares de muestras. Para calcular el valor de γ_h , se usaron todos los pares de puntos separados por la distancia h . Se verificó el patrón de anisotropía en las direcciones de 0 y 90 grados.

Kriging. En este estudio, se usó el método de Kriging para predecir valores sin sesgo y con mínima varianza. Los valores interpolados pueden usarse con confianza conocida, ya que la varianza de los estimados puede a sí misma ser estimada (Burgess y Webster, 1980). La primer fase en kriging es la medición de la variación espacial de la población de malezas y rendimiento de frijol, lo que conduce a la elección de una estrategia y técnica apropiada de muestreo. El procedimiento de kriging empieza por ajustar un modelo al semivariograma empírico. Los modelos esférico, exponencial, lineal y gaussiano pueden usarse para describir el semivariograma. El modelo esférico está dado por:

$$\gamma(h) = C_o + C_s \left\{ (3h / 2r) - (h^3 / r^3) \right\}$$

el modelo exponencial está dado por:

$$\gamma(h) = C_o + C_s \{ 1 - \exp(-h / r) \}$$

y el modelo lineal está dado por:

$$\gamma(h) = C_o + wh$$

Donde C_o es el efecto nugget, $C_o + C_s$ es el umbral o asintota, h es la separación en distancias, r es el rango y w es un gradiente considerado como la intensidad espacial de la variación.

Se usaron los parámetros de los modelos exponencial, esférico y lineal para estimar valores en sitios no muestreados, usando kriging ordinario por bloqueo. Se construyeron mapas bidimensionales mostrando la densidad de la maleza o el rendimiento de grano de frijol, usando bloques de 2 x 2 m en una cuadrícula de 45 x 102 m en intervalos de 1.2 m. Se usó un máximo de 16 puntos vecinos para estimar valores en cada bloque con un radio de búsqueda de 110 m. La construcción de los semivariogramas, kriging y mapeo se realizó mediante el uso del programa GS+ (Gamma Design Software, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de la Maleza

Basado en el análisis estadístico descriptivo, la densidad media de maleza estimada antes de la labranza primaria, antes de las escardas y 19 días después de la última escarda fue 6, 20 y 58% más alta en parcelas con labranza reducida que en parcelas con labranza convencional, respectivamente (Cuadro 1). Este resultado podría atribuirse al menor disturbio del suelo ocasionado por el menor número de labores agrícolas incluidas en el sistema de labranza reducida. Ball (1992) mencionó que los patrones de disturbio, ocasionados por la aplicación o no aplicación de la labranza primaria y secundaria durante la temporada de crecimiento de cultivos, tiene una influencia en el banco de semillas y, por consiguiente, en la cantidad y composición de especies de plantas de malezas. Este investigador señaló que la labranza de "inversión", como el barbecho, resulta en el entierro de una gran proporción de semillas de maleza, mientras que métodos de labranza de "no-inversión" de suelo, como la labranza reducida, deja una gran proporción de semillas cerca de la superficie del suelo que estarán expuestas a la luz, la cual estimula la germinación (Popay y Roberts, 1970). Tripiett y Van Doren (1977) mencionaron que el objetivo primario de la labranza es el control de la maleza, por lo que métodos como el

Cuadro 1. Estadísticos clásicos e índices de normalidad (W) y agrupamiento de la población total de malezas en frijol en respuesta a la labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC) y épocas de muestreo.

Epoca de muestreo ¹	Labranza	W	Media	Mediana	Máx.	Min.	CV ²	DS ³	Coef. de simetría	Índice de Morisita ⁴
			----- número m ² -----							
ALP	LR	0.72*	0.81	0	7	0	141.2	1.14	2.1	1.8
	LC	0.67*	0.76	0	9	0	160.8	1.24	2.7	2.3
Acult	LR	0.75*	6.0	5	60	0	124.4	7.51	2.6	2.4
	LC	0.77*	4.8	5	25	0	120.8	5.76	1.3	2.2
Dcult	LR	0.68*	106.9	90	735	10	79.5	85.1	4.0	1.6
	LC	0.77*	45.1	35	275	0	83.5	37.7	2.7	1.7

¹ ALP = antes de la labranza primaria; Acult = antes de cultivación; Dcult, después de cultivación. ² CV = coeficiente de variación; ³ DS = desviación estándar.

⁴ Valores del índice >1 con base en prueba de χ^2 .

* Indica rechazo de la hipótesis nula de que los datos ajustan a una distribución normal a un valor de 1% de significancia.

químico deben usarse para sustituir la disminución de actividades agrícolas en la labranza reducida.

Los resultados mostrados a través de la desviación estándar indicaron que la variación de los datos alrededor de la media fue alta antes de la labranza primaria, así como antes de las escardas. Esta variación estuvo dada por poblaciones de maleza que fluctuaron desde cero hasta 60 malezas m². En contraste, bajas desviaciones estándar observadas en poblaciones de maleza después de las escardas sugirieron una baja variabilidad en los datos. Los coeficientes de variación fueron similares al comparar las variabilidades entre los datos en cada fecha de muestreo, aunque esta variabilidad fue menor que 100% en el muestreo realizado después de las escardas, lo que indica que la variabilidad (como un porcentaje de la media) en las poblaciones de maleza antes de la labranza primaria y antes de las escardas fue mayor que después de las escardas. Johnson *et al.* (1996) también estimaron coeficientes de variación arriba de 100% durante el análisis espacio-temporal de *Chenopodium album* y *Abutilon theophrasti* en maíz y frijol soya.

Excepto por la similitud entre la media y la mediana poblacional de maleza cuantificada antes de las escardas en parcelas con labranza convencional, valores positivos en los coeficientes de simetría se podrían explicar a través de la media, la cual fue mayor que la mediana (Cuadro 1). Asimismo, todos los coeficientes de simetría fueron mayores que uno, lo que indica que la distribución de los datos fue asimétrica más que simétrica. Basado en los valores de índice de normalidad (W) e índice de Morisita, la distribución de la población total de maleza en las tres fechas de muestreo no fue normal ni aleatoria, sino en agregados. Estos resultados confirman la información obtenida por Halstead *et al.* (1993), Cardina *et al.*

(1995), Johnson *et al.* (1996) y Schweizer *et al.* (1998), quienes también determinaron la distribución de maleza en agregados.

Semivariogramas empíricos se calcularon sólo para la dirección norte-sur (Figura 1), mientras que el cálculo de semivariogramas para la dirección este-oeste no fue posible, debido a la colocación alterna de las parcelas experimentales. La dirección norte-sur correspondió a la dirección de los surcos. La forma de los semivariogramas fue similar entre los muestreos realizados previo a la labranza primaria y previo a las escardas (Figuras 1a,b). La semivarianza para cada espacio de valores se incrementó con el avance en las épocas de muestreo; la semivarianza más alta en poblaciones de maleza después de las escardas indica que la diferencia entre observaciones fue más grande en esta época de muestreo que en las anteriores. Esto es el resultado de una mayor densidad de maleza y una alta varianza entre los datos provenientes del muestreo posterior a las escardas (Cuadro 1). La similitud en la forma de los semivariogramas fue el resultado de ligeras variaciones en la media poblacional y coeficiente de variación.

Basado en los semivariogramas empíricos, el modelo exponencial describió las distribuciones espaciales de la maleza previo a la labranza primaria y siembra de frijol, así como previo a las escardas, mientras que un modelo lineal describió la distribución espacial de la maleza posterior a las escardas (Figura 1). Los resultados de los modelos exponenciales indicaron que las muestras separadas hasta en 3.7 m estuvieron correlacionadas, por lo que la distancia entre muestras deberá ser mayor en futuros muestreos. La distancia entre muestras dada por el rango del modelo lineal fue de 75.4 m, lo que indica que las muestras deberán estar tan lejos una de

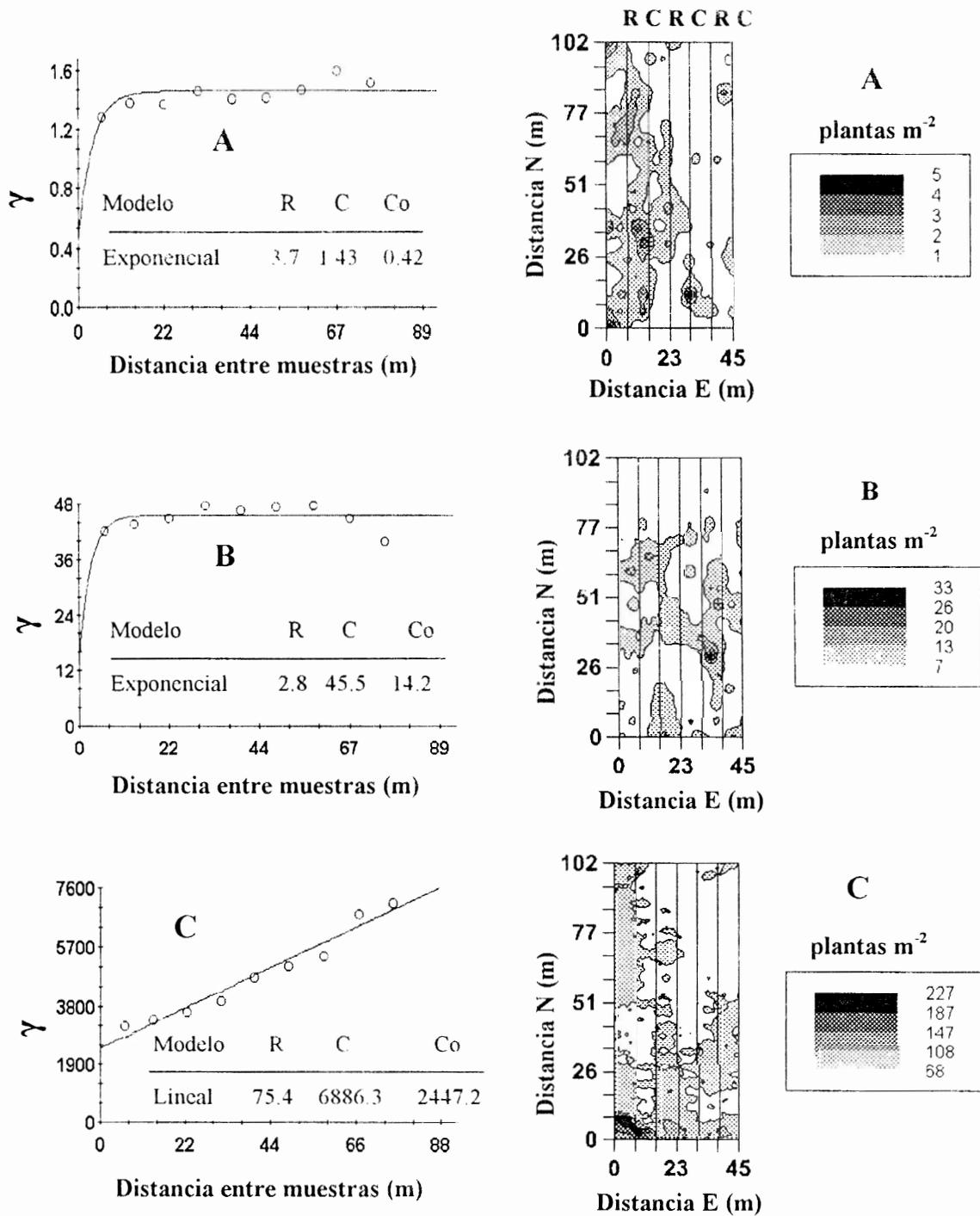


Figura 1. Semivariogramas omnidireccionales con modelos ajustados de la población total de malezas en frijol y distribución espacial de la población total de malezas en frijol con labranza reducida (R) y convencional (C) para antes de la labranza primaria (A), antes de escardas (B) y después de escardas (C); R: intervalo, C: asintota, Co: intercepto.

la otra como sea posible. Cassel-Sharmasarkar *et al.* (1999) mencionaron que la ausencia de rangos en los modelos lineales es un indicio de que las muestras están correlacionadas sobre cualquier distancia

considerada. Por lo tanto, a pesar del incremento en la distancia espacial entre dos muestras, la relación entre las dos muestras permaneció relativamente constante. En las tres fechas de muestreo, los modelos mostraron

un efecto nugget (γ -intercepto) mayor que cero, lo que indica que las observaciones separadas por pequeñas distancias fueron desiguales; esta desigualdad podría haber sido causada por mortalidad de plántulas, germinación, o puede simplemente ser el resultado de error de muestreo (Johnson *et al.*, 1996).

En las tres fechas de muestreo, mapas de la distribución espacial de la maleza estimada por kriging presentan distintos patrones de agregación (Figura 1). El estado inicial de la población estimada de la maleza, la cual se determinó mediante el muestreo que se realizó previamente a las labores de la labranza primaria, manifiestan bandas con densidades de 1.0 maleza/0.76 m² con pequeñas aglutinaciones dentro de esas bandas de 2 a 3 malezas/0.76 m² en las primeras cuatro parcelas con labranza reducida y convencional (Figura 1a). Este resultado podría atribuirse al efecto producido por el maíz sembrado el ciclo anterior más que por efecto del tipo de labranza. El mapa con la distribución estimada de la maleza previo a las escardas muestra un patrón en agregados (Figura 1b); sin embargo, estos agregados aparentemente no estuvieron relacionados con el tipo de labranza, ya que la maleza tendió a concentrarse en la parte central de la superficie muestreada. Posterior a las escardas, la población total de maleza tendió a distribuirse en bandas en la dirección de los surcos del cultivo (norte-sur) en las parcelas de labranza reducida o labranza convencional donde la densidad de maleza fue baja y relativamente constante (Figura 1c). En contraste, áreas con gran densidad de maleza y considerable variación se determinaron en los márgenes noreste y centro-norte del área de estudio. La causa de los patrones de la distribución de la maleza no pareció estar relacionada simplemente a la dirección de los surcos, sino que es probablemente un resultado de la lluvia de semillas de maleza proveniente de áreas externas a las parcelas, la cual fue dispersada por el agua de riego principalmente. La

distribución de la maleza posterior a las escardas en la dirección norte-sur del margen oriental del área de estudio puede explicarse por la distribución observada por aceitilla, mientras que la distribución mostrada por gordolobo explicarían los agregados localizados en la parte norte-centro.

Rendimiento de Frijol

Derivado del análisis estadístico descriptivo, el rendimiento medio de grano de frijol fue 4.6% más alto en parcelas con labranza convencional que en parcelas con labranza reducida (Cuadro 2); sin embargo, esta diferencia en rendimiento entre tipos de labranza no fue significativa. El rendimiento mostrado a través de la desviación estándar indicó que la variación de los datos alrededor de la media fue alta debido a la fluctuación en el rendimiento desde 395 hasta alrededor de 4000 kg ha⁻¹, pero esta desviación estándar fue similar entre los tipos de labranza. Los coeficientes de variación también fueron similares al comparar las variabilidades en los datos entre tipos de labranza, aunque mayores que los coeficientes reportados por otros investigadores quienes estimaron variabilidades de 10 hasta 28% en respuesta a localidades (Villar, 1989), líneas y variedades (López *et al.*, 1987) y manejo del cultivo (Núñez y Carrizales, 1986).

Valores positivos en los coeficientes de simetría se explican por la media, la cual fue mayor que la mediana (Cuadro 2). Los coeficientes de simetría fueron menores que uno, indicando que la distribución de los datos tendió a ser simétrica, aunque no a la normalidad, ya que la media y la mediana no fueron similares (Rees, 1995). Basado en los valores de índice de normalidad (W) e índice de Morisita, la distribución del rendimiento de grano de frijol no fue normal ni aleatoria, sino en agregados. Gandah *et al.* (2000) obtuvieron resultados similares durante la determinación de la variabilidad espacial del

Cuadro 2. Estadísticos e índices de normalidad (W) y agrupamiento del rendimiento de grano de frijol en respuesta a la labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC).

Tipo de labranza	W	Media	Mediana	Máx. ¹	Min.	CV ²	DS ³	Coef. de simetría	Índice de Morisita ⁴
		----- kg ha ⁻¹ -----							
Reducida	0.92*	1632.6	1470.4	3967.1	394.7	46.3	755.8	0.8	1.8
Convencional	0.95*	1707.9	1588.8	4026.3	394.7	45.8	781.7	0.5	2.3

Max. = máximo; Min. = mínimo; ¹ CV = coeficiente de variación; ² DS = desviación estándar; ³ Valores del índice >1 con base en la prueba de χ^2 .

* Indica rechazo de la hipótesis nula de que los datos ajustan a una distribución normal a un valor de 1% de significancia.

crecimiento y la agregación del mijo *Pennisetum americanum*.

Con base en el semivariograma empírico, un modelo esférico describió la distribución espacial del rendimiento de grano de frijol (Figura 2). El resultado del modelo esférico indica que las muestras ubicadas dentro de un intervalo de 53 m estuvieron correlacionadas, por lo que la distancia entre muestras deberá ser mayor en futuros muestreos. En el muestreo de rendimiento, el modelo mostró un efecto nugget (y-intercepto) mayor que cero, lo cual implica la existencia de una fluctuación en el rendimiento que ocurre sobre distancias más cortas que el intervalo de muestreo limitando la precisión de la interpolación (Burgess y Webster, 1980).

El mapa de la distribución espacial del rendimiento de grano de frijol, estimado por kriging, muestra distintos patrones de agregación (Figura 2). El rendimiento de frijol reveló un patrón de agregación, tanto en el centro, como en el margen derecho superior, lo cual coincide con una reducida presencia de maleza después de las escardas en esas áreas del terreno. Aparentemente, no existió una relación entre la distribución espacial del rendimiento de grano de frijol y el tipo de labranza, lo cual se demostró por el aglutinamiento del rendimiento en el

centro del mapa que incluyó parcelas manejadas, ya sea con labranza reducida o convencional. El reducido rendimiento ubicado en el margen izquierdo y extremo noreste del área de terreno con frijol podría explicarse por la interferencia producida por la maleza en esa área del terreno. En el extremo noreste, el cultivo de frijol estuvo en competencia con aproximadamente 227 malezas m⁻², mientras que entre 68 y 107 malezas m⁻² estuvieron compitiendo con las plantas de frijol ubicadas en el margen izquierdo. Por lo tanto, la interferencia por maleza en adición a un ataque por liebres sufrido durante la emergencia de las plántulas de frijol contribuyeron a reducir hasta en 58% el rendimiento en esas áreas de terreno más que por efecto del tipo de labranza. Aunque no hay estudios regionales sobre umbrales económicos de maleza en frijol, es muy posible que las densidades poblacionales de maleza cuantificadas después de las escardas estén dentro de los valores no permisibles que producen daño económico. Por ejemplo, sólo cuatro plantas de cola de zorra por 10 m de hilera fueron suficientes para reducir hasta en 8% el rendimiento de frijol soya (Coble *et al.*, 1981); en cambio, poblaciones umbral de 65 brotes de *Agropyron repens* redujeron en 12% el rendimiento de maíz (Young *et al.*, 1984).

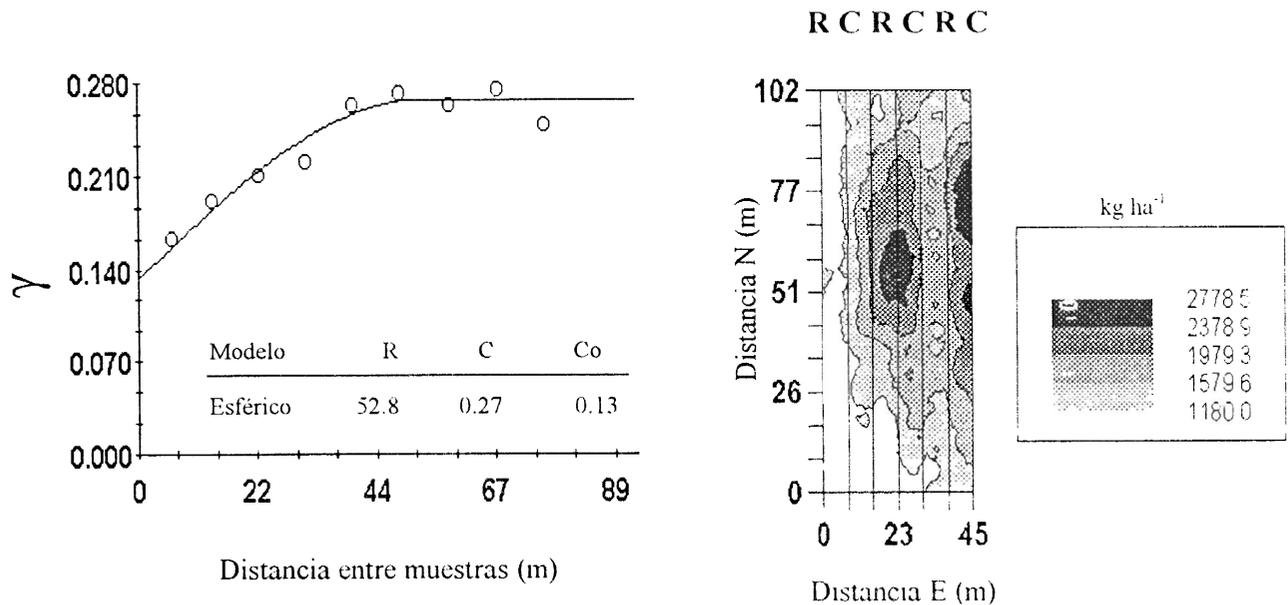


Figura 2. Semivariograma omnidireccional, parámetros usados en kriging y distribución espacial del rendimiento de frijol con labranza reducida (R) y convencional (C) en el 2001; R: rango, C: asíntota, Co: intercepto.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demostraron que el rendimiento de grano de frijol y las poblaciones de maleza constituidas principalmente por especies de hoja ancha, no se distribuyeron en forma aleatoria ni regular en terrenos de frijol, sino que estuvieron espacialmente estructuradas en forma de agregados. Mientras que los rendimientos de grano de frijol en parcelas manejadas con labranza reducida o convencional fueron iguales, la población estimada de maleza en parcelas con labranza convencional fue menor en comparación a la población estimada con labranza reducida. Es un hecho, de que el aumento en la población de maleza causó un incremento de la variabilidad, por lo que sería necesario aumentar el número de cuadrantes mediante la reducción de la distancia entre ellos. Las principales plantas de maleza que contribuyeron en la distribución de agregados en lotes de frijol fueron las acitillas *Bidens* spp. y gordolobo *Helianthus petiolaris*. La tendencia del rendimiento de frijol a agregarse en el centro y margen derecho superior del terreno coincidió con una reducida presencia de maleza después de las escardas en esas áreas del terreno.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través del proyecto I35638-B. Asimismo, se agradece a los revisores y el editor de la revista Terra, cuyos comentarios fueron de utilidad para el mejoramiento de este artículo.

LITERATURA CITADA

- Ball, D.A. 1992. Weed seedbank response to tillage, herbicides, and crop rotation sequence. *Weed Sci.* 40: 654-659.
- Buhler, D.D. 1998. Tillage systems and weed population dynamics and management. pp. 223-246. *In:* Hatfield, J.L., D.D Buhler y B.A. Stewart (eds.). *Integrated weed and soil management*. Ann Arbor Press. Chelsea, MI.
- Burgess, T.M. y R Webster. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. *J. Soil Sci.* 31: 315-331.
- Cardina, J., D.H. Sparrow y E.L. McCoy. 1995. Analysis of spatial distribution of common lambsquarters (*Chenopodium album*) in no-till soybean (*Glycine max*). *Weed Sci.* 43: 258-268.
- Cardina, J., D.H. Sparrow y E.L. McCoy. 1996. Spatial relationships between seedbank and seedling populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and annual grasses. *Weed Sci.* 44: 298-308.
- Cardina, J., G.A. Johnson y D.H. Sparrow. 1997. The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed Sci.* 45: 364-373.
- Cassel-Sharmasarkar, F., S.H. Sharmasarkar, R. Zhang, G.F. Vance y S.D. Miller. 1999. Micro-spatial variability of soil nitrate following nitrogen fertilization and drip irrigation. *Water, Air, and Pollution* 116: 605-619.
- Coble, H.D., F.M. Williams y R.L. Ritter. 1981. Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) interference in soybeans (*Glycine max*). *Weed Sci.* 29: 339-342.
- Coronado N., R. y F. de J. Sánchez P. 1993. Discusión de cuatro métodos estadísticos para definir el patrón espacial en poblaciones ecológicas. *Agraria* 9: 87-97.
- Figueroa S., B. y F.J. Morales F. 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Postgraduados-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Chapingo, México.
- Francis, Ch., A. Jones, K. Crookston, K. Wittler y S. Goodman. 1986. Strip cropping corn and grain legumes: A review. *Am. J. Altern. Agric.* 1: 159-164.
- Gamma Design Software. 1998. GS+ ver.3.1, P.O. Box 201, Plainwell, MI 49080.
- Gandah, M., A. Stein, J. Brouwer y J. Bouna. 2000. Dynamics of spatial variability of millet and yields at three sites in Niger, West Africa and implications for precision agriculture research. *Agric. Syst.* 63: 123-140.
- Halstead, S.J., K.L. Gross y K.A. Renner. 1993. Geostatistical analysis of the weed seed bank. *Weed Science Society of America Absts.* 33: 50.
- Isaaks, E.H. y R.M. Srivastava. 1989. *Applied geostatistics*. Oxford University Press. New York.
- Johnson, G.A. 1994. Model parameterization, parametric sequential sampling, and geostatistical analysis of weed seedling populations. Ph.D. Diss., University of Nebraska. Lincoln, NE.
- Johnson, G.A., D.A. Mortensen y A.R. Martin. 1995. A simulation of herbicide use based on weed spatial distribution. *Weed Res.* 35: 197-205.
- Johnson, G.A., D.A. Mortensen y C.A. Gotway. 1996. Spatial and temporal analysis of weed seedling populations using Geostatistics. *Weed Sci.* 44: 704-710.
- López S., E., K.Y. Okuda y C.M. Cervantes L. 1987. "Negro Veracruz", nueva variedad de frijol para las zonas central y sur del estado de Veracruz. *Fitotecnia* 9: 49-56.
- Medina G., G., J.A. Ruiz C. y R.A. Martínez P. 1998. Los climas de México: Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Libro Técnico 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Norte. Guadalajara, Jalisco, México.
- Morishita, M. 1962. Id-index. A measure of dispersion of individuals. *Res. Popul. Ecol.* 4: 1-7.
- Núñez G., S. y N. Carrizales M. 1986. Arreglos topológicos de frijol con maíz en el centro de Chiapas. *Fitotecnia* 8: 126-138.
- Paxton, K.W. y D.R. Laverigne. 1991. An economic analysis of reduced tillage cotton production. *Louisiana Agric.* 34(4): 8-9.
- Pérez T., H. 1998. Guía para cultivar frijol en el estado de Zacatecas. Folleto para Productores 1. Campo Experimental Calera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Calera V.R., Zacatecas, México.

- Pierson, F.B. y J.R. Wight. 1991. Variability of near-surface soil temperature on sagebrush rangeland. *J. Range Manag.* 44: 491-497.
- Popay, A.I. y E.H. Roberts. 1970. Ecology of *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik and *Senecio vulgaris* L. in relation to germination behaviour. *J. Ecol.* 58: 123-139.
- Rees, D.G. 1995. Essential statistics. Third Edition. Chapman and Hall. New York.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2001. Estadísticas de Producción de Cultivos Básicos 2001. Delegación Zacatecas.
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT User's Guide. Release 6.12. Cary, NC.
- Schweizer, E.E., D.W. Lybecker y L.J. Wiles. 1998. Important biological information needed for bioeconomic weed management models. pp. 1-23. *In:* Hatfield, J.L., D.D Buhler, y B.A. Stewart (eds.). Integrated weed and soil management. Ann Arbor Press. Chelsea, MI.
- Solórzano V., E. 1983. Período crítico de competencia entre malezas y frijol de riego en Pabellón, Ags. *Fitotecnia* 5: 75-89.
- Thomas, A.G. y B.L. Frick. 1993. Influence of tillage systems on weed abundance in Southwestern Ontario. *Weed Technol.* 7: 699-705.
- Triplett, G.B., Jr. y D.M. van Doren, Jr. 1977. Agriculture without tillage. *Sci. Am.* 236: 28-33.
- Villar S., B. 1989. Genotipo, fecha de siembra, y reducción del riesgo de sequía en frijol de humedad residual. *Rev. Fitotec. Méx.* 12: 136-146.
- Young, F.L., D.L. Wyse y R.J. Jones. 1984. Quackgrass (*Agropyron repens*) interference on corn (*Zea mays*). *Weed Sci.* 32: 226-234.