

## VARIABILIDAD ESPACIAL DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y SU RELACION CON EL RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Vigna unguiculata* L.) EN UNA PARCELA EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS CENTRALES VENEZOLANOS

C. Bravo<sup>1</sup>, J. Cabrera<sup>2</sup>, M. Carvallo<sup>2</sup>, H. Cánchica<sup>1</sup>, E. Ramírez<sup>1</sup>, I. González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Simón Rodríguez, Instituto de estudios Científicos y Tecnológicos (IDECYT). Centro de Estudios para el Desarrollo Agroecológico Tropical (CEDAT). Avda. Mara Altos del Cuji, La Mariposa, San Antonio de los Altos, Miranda; Venezuela. CP 1204. g12brmec@uco.es

<sup>2</sup> Universidad Central de Venezuela, facultad de Agronomía, Departamento de Ingeniería Agrícola., Avda. El Limón, Maracay. miguelljc81@hotmail.com

**RESUMEN.** Se estudió la variabilidad espacial de propiedades físicas (textura, resistencia a la penetración) y químicas (pH, carbono orgánico total (COT), fósforo disponible (P)) y su relación con el rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata* L.). El estudio se realizó en un Typic Plinthustuls arenoso en la estación experimental La Iguana, Universidad Simón Rodríguez, localizada en el estado Guárico, Venezuela a 8° 25'47" N, 65° 25' 03" W y 120 msnm. Se realizó un muestreo sistemático en un parcela con un área total de 2.6 ha, previamente cultivada con *Centrosema macrocarpum*, obteniéndose 213 muestras. Se realizó un análisis exploratorio de datos y un análisis geoestadístico para estudiar los cambios espaciales de los parámetros considerados. Los resultados indican que la textura es gruesa (af), con bajos contenidos de limo, arcilla, COT, P y con un pH ligeramente ácido. La mayoría de las variables presentaron niveles adecuados de asimetría, curtosis y de relación media:mediana, sugiriendo una buena aproximación a la normalidad. Los semivariogramas de los atributos del suelo variaron ligeramente, oscilando de 4,21 a 44,47 m de correlación espacial. Los parámetros se ajustaron a un modelo exponencial con un alto nivel de dependencia espacial (<25%). En los mapas de distribución espacial se presentaron ciertas similitudes entre las propiedades químicas (pH y COT) y el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*), lo cual confirma que el rendimiento integra la influencia de muchos factores.

**ABSTRACT.** This work study the spatial variability of the physical (texture, resistance to penetration, moisture) and chemical properties such as pH, total organic carbon (TOC) and available phosphorus (P) and its relationship to bean yield (*Vigna unguiculata* L.). The study was conducted on a Sandy Typic Plinthustuls in a trial established in 2002, at the Iguana Experimental Station of the Simon Rodriguez University, located in the central region, Guárico state, Venezuela at 8° 25'47" N, 65° 25' 03" W y 120 m elevation. A systematic sampling of an approximately 20 x 7 m grid was carried out at 15 cm depth in a total area of 3 ha, previously cropped with *Centrosema macrocarpum*, collecting 213 samples. The results showed coarse texture soils (af), with low content of silt, clay, TOC, P and with a slightly acid pH. Most variables showed adequate levels of skewness, kurtosis and mean: median ratio, suggesting a good approximation to normal. The semivariograms of soil

attributes varied slightly between treatments of covers, ranging from 4.21 to 44.47 m of spatial correlation. The parameters were fitted to an exponential model with a high degree of spatial dependence (<25%). The spatial distribution showed some similarities between the chemical properties (pH and TOC) and the yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L), which confirms that crops performance was influenced by many factors.

### 1.- Introducción

La evaluación de la variabilidad espacial de atributos del suelo en sitios experimentales es de gran importancia ya que ella puede enmascarar el efecto de los tratamientos. Diversos autores (Cassel *et al.*, 2000; Lozano *et al.* 2004; Bravo, 2005) han demostrado que aun a nivel de pequeñas parcelas experimentales, la variabilidad puede ser significativa. Tradicionalmente el diseño experimental en el campo de la agronomía se basa en el diseño de bloques con tratamientos distribuidos al azar con el propósito de reducir el error experimental (Cochran y Cox, 1992), permitiendo el uso de métodos tradicionales de análisis estadísticos como el análisis de varianza, regresión, entre otros (Fagroud y VanMeirvenne, 2002). Esta consideración implica que la variabilidad espacial es aleatoria dentro de los bloques, aspecto que no siempre se cumple (Fagroud y VanMeirvenne, 2002; Johnson *et al.*, 2002). Como método alternativo para cuantificar la heterogeneidad se propone la aplicación de la geoestadística, la cual es usada para analizar la estructura de la variabilidad espacial de variables regionalizadas y para optimizar su interpolación (Fagroud y VanMeirvenne, 2002).

A nivel mundial existen abundantes trabajos relacionados con el estudio de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo bajo diferentes ambientes edafoclimáticos y tipos de manejo, los cuales se apoyan en el uso de la geoestadística para explicar las relaciones causa-efecto. Gran parte de las investigaciones han analizado la variabilidad espacial de variables físicas y químicas para determinar la respuesta del suelo a usos específicos bajo determinadas prácticas de manejo y establecer su relación con el rendimiento de distintos cultivos (Cahn *et al.*, 1994; Ovalles y Rey, 1994; Frogbrook *et al.*, 2002; Bravo *et al.*,

2006.). Estos estudios demuestran que no existe un patrón único de distribución espacial de suelo y la misma puede ser influenciada por el manejo agrícola y la escala de muestreo. Sobre esta base, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la distribución espacial de algunos parámetros físicos y químicos del suelo y establecer su relación con el rendimiento del frijol en una parcela experimental manejada con siembra directa y cobertura de leguminosa.

## 2. Materiales y Métodos

El área de estudio está localizada en la Estación Experimental “La Iguana” de la Universidad Simón Rodríguez, Guárico- Venezuela con 8° 25’47” Latitud Norte y 65° 25’ 03” Longitud oeste (Bravo *et al.*, 2001). El clima de la zona es Tropical Isotérmico, biestacional con un período lluvioso (mayo-noviembre) y otro seco (diciembre-abril). La precipitación anual es de 1342 mm y la temperatura promedio anual tiene una media de 27,9 °C (Ponce *et al.*, 1994). El suelo es un Typic Plinthustuls arenoso, de baja a moderada fertilidad natural, con pH de 5,2 (Bravo *et al.*, 2004).

El área experimental de 2,6 ha (350 m x 75 m) esta siendo cultivada con una rotación maíz-frijol bajo siembra directa con cobertura de leguminosa (*Centrosema macrocarpum*) desde el año 2002. El muestreo se realizó en ciclo del 2008, cuando el área estaba cultivada con frijol (*Vigna unguiculata* L), cuyo manejo agronómico incluyó un pase de rotativa seguido de la aplicación de herbicida y luego la siembra y fertilización (20 kg N ha<sup>-1</sup>, 90 kg P ha<sup>-1</sup> de Fósforo y 60 kg K ha<sup>-1</sup>). Finalmente la cosecha se realizó a los setenta días después de la siembra de forma manual. El muestreo en la parcela experimental fue realizado en una malla con una separación de 20 x 7 m, totalizando 213 puntos de muestreo en la capa superficial del suelo hasta 0.15 m de profundidad. En cada punto de la retícula para las variables de suelo se seleccionó un área de muestreo de 2 x 2 (4 m<sup>2</sup>), mientras que para el rendimiento se estableció un área de 1,5 m de ancho x 2 m de largo (3 m<sup>2</sup>). Las muestras de suelo fueron secadas y pasadas por un tamiz de 2 mm antes de realizar la determinación de los parámetros físicos y químicos. El análisis textural (% arena, % de limo, % arcilla) fue determinado por el método del hidrómetro (Gee y Bauder, 1986). La resistencia a la penetración del suelo (RP) se midió con un penetrómetro de impacto de punta Cónica (Nacci y Pla, 1991). El pH del suelo fue medido en una relación suelo-agua- de 10 g de suelo y 25 ml de agua destilada. El fósforo disponible se determinó siguiendo el método de Olsen *et al.*, 1954, extraído con solución Olsen y detectado por el método colorimétrico calibrado para suelos venezolanos, el cual se utiliza como referencia para las recomendaciones de fertilizantes (López de Rojas, *et al.*, 2008). El carbono orgánico total (COT) se determinó mediante el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson y Sommer, 1982). Se realizó un análisis de la variabilidad espacial de cada una de las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del cultivo utilizando herramientas geoestadísticas para definición y ajuste de semivariograma de acuerdo con Isaak y Srivastava, (1989)

(Ec. 1):

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

en donde  $\gamma(h)$  es la varianza estimada;  $N(h)$  representa el número de pares de valores medidos  $Z(x_i), Z(x_i+h)$  separados por un vector  $(h)$ . De esta manera es posible realizar el ajuste de un modelo matemático que represente la variabilidad espacial de los parámetros estudiados. Los parámetros de ajustes son:  $C_0$  -efecto pepita;  $C_1$ -Varianza estructural y  $a$  – Alcance. El efecto pepita ( $C_0$ ) representa la variabilidad no detectada en el muestreo. La varianza estructural ( $C_0 + C_1$ ) indica hasta que punto la variabilidad de los datos se incrementa hasta que no hay mas semejanza entre la variabilidad de las muestras y el alcance ( $a$ ) muestra hasta que distancia las muestras tienen dependencia espacial. El ajuste del semivariograma fue realizado por el método descrito por Isaak y Srivastava, (1989) basado en la validación cruzada para lo cual fue usado el programa GS+ versión 5.1 (Gamma Design Software, 1998). Las variables fueron estimadas por medio del kriging ordinario (Ec. 2), utilizando el programa SURFER v.8.0 (2001).

$$\bar{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (2)$$

donde  $n$  = es el número de muestras vecinas a  $Z(x_0)$ ;  $\lambda_i$  = es el peso asignado a cada dato  $Z(x_i)$ ;  $\bar{Z}(x_0)$  = representa el valor estimado del atributo  $Z(x_0)$  y  $Z(x_i)$  = es la muestra vecina a  $Z(x_0)$ .

Para definir las distintas clases de dependencia espacial de las variables se uso la metodología propuesta por Cambardella *et al.*, (1994) en la cual la varianza de la pepita expresada como un porcentaje de la semivarianza total  $(C/(C+C_0))*100$ . En este sentido si la relación es  $\leq 25\%$  la variable se considera con elevada dependencia espacial (E), entre 25-75 % espacialmente moderada (M) y  $>$  de 75% con débil dependencia espacial (D).

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Análisis exploratorio de datos

Los estadísticos descriptivos de los parámetros de suelo y el rendimiento de frijol se muestran en las Tablas 1 y 2. Se aprecia para las variables físicas (Tabla 1) una buena correspondencia entre el valor de la media y la mediana indicando poblaciones con distribuciones simétricas. Esto fue corroborado cuando se obtuvo el coeficiente de asimetría y curtosis, donde dichas variables (% arena, % limo, % arcilla, y resistencia a la penetración,) mostraron valores que no representaron problemas para la obtención del modelo (Webster y Oliver, 2001). Para las variables químicas y el rendimiento de frijol (Tabla 2), solo el pH presentó valores de estadísticos considerados como normales, mientras que el % COT, P disponible y rendimiento mostraron ausencia de normalidad, lo cual estuvo asociado a la presencia de valores anómalos (Rey y

Ovalles, 2001).

Los valores promedios de los componentes texturales permitió clasificar el suelo como arenoso-Franco (aF), con una mayor proporción del % arena (81,61) con respecto al limo y a la arcilla, lo cual corresponde con lo descrito en estudios anteriores para la zona (Lozano *et al.*, 2004). Suelos de textura arenosa son generalmente permeables al aire, agua y raíces, pero normalmente tienen limitaciones como baja capacidad de retener agua aprovechable para las plantas y baja capacidad de nutrientes (Casanova, 2005)

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos de parámetros físicos (Textura, Resistencia a la penetración, RP) estudiados.

Estadístico	% Arena	% Limo	% Arcilla	RP	
				MPa 0-5 cm	MPa 5-15 cm
Mínimo	57.5	2.5	1.5	0.0	0.0
Máximo	89.5	26.5	26.0	1.7	1.3
Media (M)	81.6	9.6	8.8	1.2	0.9
Mediana(m)	83.0	8.5	7.5	0.8	0.8
M:m	0.98	1.1	1.1	1.4	1.3
CV	8.8	45.6	55.5	45.9	38.7
Asimetría	-1.1	0.9	1.2	-0.3	-0.1
Curtosis	0.7	0.9	1.1	-0.6	-0.9

El coeficiente de variación (CV) del porcentaje de arcilla con 55,51% y el limo con 45,64 % fueron más dispersos con respecto al porcentaje de arena (8,79 %). Las medidas de dispersión del % de arena indican que la mayoría de los datos se concentran alrededor de su valor medio y por tanto la probabilidad de encontrar un valor cercano a éste aumenta (Webster y Oliver, 2001). La resistencia a la penetración presentó un valor promedio de 1,16 MPa en la capa superficial y de 0,86 MPa en el horizonte subsuperficial, sugiriendo bajos niveles de compactación y ninguna limitación para el crecimiento de los cultivos (Bravo et al., 2004). Las medidas de dispersión de la RP mostraron un moderado CV en ambos horizontes (38 a 46 %). Las diferencias encontradas en RP se corresponden a los mayores valores medios de humedad (8,19 %) (Datos no mostrados) en el rango de 5-15cm de profundidad, sugiriendo que un mayor contenido de humedad representa una menor resistencia a la penetración, tal como ha sido descrito por Bravo *et al.*, (2004).

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos de parámetros químicos y rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata L.*)

Estadístico	pH	Carbono	Fósforo (P) mg kg <sup>-1</sup>	Rendimiento Mg ha <sup>-1</sup>
		Orgánico Total %		
Mínimo	4.3	0.02	0.83	0.1
Máximo	6.7	4.1	4.1	2.4
Media (M)	5.3	1.0	1.7	1.1
Mediana(m)	5.2	0.9	1.5	1.1
M:m	1.0	1.1	1.2	1.0
CV	7.5	59.2	42.8	48.6
Asimetría	0.9	1.1	1.2	0.4
Curtosis	1.6	3.2	0.6	-0.1

El pH del suelo presentó un valor medio de 5,24; clasificando como medianamente ácido (Lozano, 2004), con una buena correspondencia entre el valor de la media y la mediana alrededor de la unidad. El bajo valor del

coeficiente de variación (7,48 %) indica que la mayoría de las observaciones se concentran alrededor de su valor medio, con un intervalo de variación entre 4,26 a 6,67 clasificando áreas de la parcela como extremadamente ácido a ligeramente ácido.

El contenido de carbono orgánico (% COT) presentó un valor promedio de 0,97 considerado como de nivel bajo. El coeficiente de variación fue de 59 % con intervalos de variación de 0,02 % a 4,06 %, sugiriendo áreas de la parcela con bajo contenido y otras de contenidos medios para esta clase textural (suelo arenoso). Esta variación puede ser atribuida tanto a la distribución no uniforme de los residuos como a los cambios espaciales en los componentes granulométricos, en especial con los contenidos de arena y arcilla.

El contenido medio de fósforo estuvo muy por debajo del valor crítico de 10 mg kg<sup>-1</sup> (Solis y Torrent, 1989), con un valor promedio de 1,74 mg kg<sup>-1</sup> categorizado como muy bajo. Las medidas de dispersión de esta variable mostraron un valor de CV cercano a 43 %, lo cual se correspondió con los intervalos que oscilaron desde valores muy bajos (0,83 mg kg<sup>-1</sup>) a valores bajos (4.09 mg kg<sup>-1</sup>) (Tabla 2). La distribución de los datos de esta variable pudiera estar influenciada por las subparcelas de fertilización, las cuales están basadas principalmente en el aporte o no de este nutriente mediante distintas fuentes de fertilización fosfórica.

Finalmente, el rendimiento promedio del frijol fue de 1,15 Mg ha<sup>-1</sup>, con un alto coeficiente de variación (62 %) y con intervalos con un valor mínimo de 0.1 Mg ha<sup>-1</sup> y un máximo de 2,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Debido a los altos valores de los coeficientes de asimetría y curtosis fue necesario aplicar la metodología de Tukey, (1977) para detectar valores atípicos que estuviesen incidiendo en la alta variación del rendimiento. En este sentido el CV disminuyó a 48,5 %, se redujo el valor máximo de los intervalos de variación y mejoró notablemente los coeficientes de asimetría y curtosis (Tabla 2).

### 3.2. Correlaciones entre parámetros de suelo y rendimiento de frijol.

En general, no se consiguió un grado de asociación entre las variables evaluadas y el rendimiento del cultivo, con excepción del % arena con un r:-0.46 el cual fue negativamente relacionado ( $p \leq 0.05$ ) con el rendimiento y el % limo con un grado de correlación positiva r: 0.26 ( $p \leq 0.01$ ), sugiriendo que zonas con mayor contenido de arena están asociadas con áreas de menor rendimiento, mientras que zonas con mayor contenido de limo poseen rendimientos mas altos. Algunos estudios muestran asociación entre las propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo (Daniels *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2002; Bravo, 2005), mientras que otros señalan relaciones débiles o ninguna relación (Frogbrook *et al.*, 2002). Tal situación obedece a que la variación del rendimiento del cultivo depende de la interacción de un conjunto de factores (suelos, topográficos, climáticos, entre otros) que en algunos casos pudiera estar ejerciendo

una mayor influencia que las variables consideradas en este trabajo. Los resultados sugieren que una parte de la variabilidad de los rendimientos de frijol pudiera ser explicada por los componentes texturales (arena y limo) y su variación con el componente topográfico (datos no mostrados), lo cual es consistente con los resultados obtenidos por otros investigadores (Bravo, 2005; Cox *et al.*, 2006).

3.3.- Variografía de las propiedades del suelo (físicas, químicas) y el rendimiento de frijol (*Vigna Unguiculata*).

Los semivariogramas (Fig.1) con sus respectivos parámetros geoestadísticos (Tabla 3) describen que los atributos estudiados presentaron carácter transicional, con incrementos en los valores de semivarianza con la distancia hasta alcanzar un máximo (Umbral), donde la semivarianza se hace estable, ocurriendo una transición de una condición de dependencia espacial a otra donde esta desaparece, lo cual indica la ocurrencia de correlación espacial entre observaciones ( Rey y Ovalles, 2001).

**Tabla 3.** Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas isotrópicos de los atributos de suelo y cultivo del frijol (*Vigna unguiculata*) en la parcela con cobertura de *Centrosema macrocarpum* (CM).

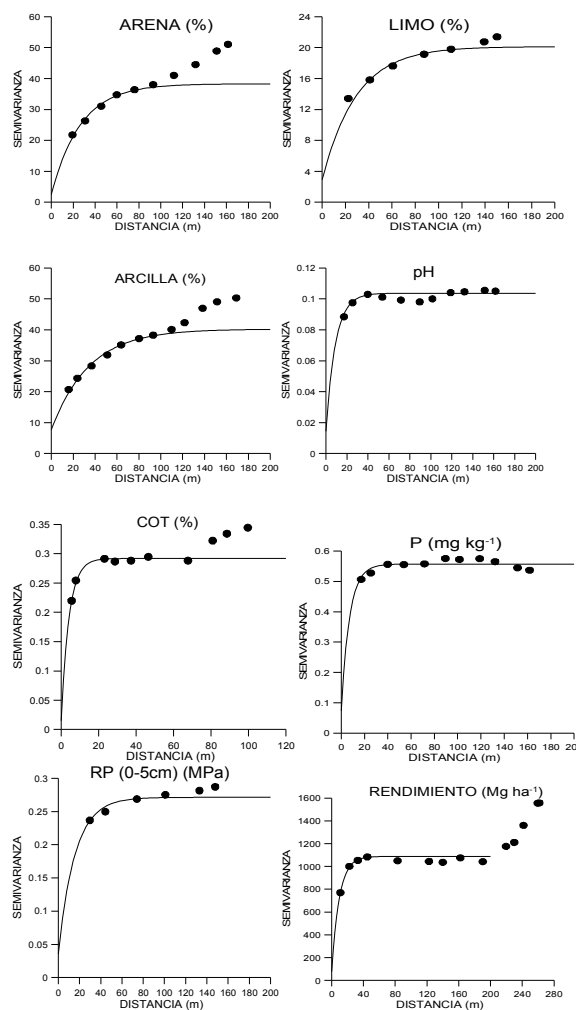
Variable	Modelo	Co	Co+C	a(m)	NDE
Arena (%)	E	2.60	35.72	26.78	7.14
Limo (%)	E	2.91	17.21	29.44	16.9
Arcilla (%)	E	7.70	32.53	34.50	23.7
pH	E	0.014	0.089	9.06	16.1
COT (%)	E	0.015	0.277	4.15	5.5
P (mg kg <sup>-1</sup> )	E	0.074	0.48	7.12	15.2
RP (0-5cm) (MPa)	E	0.036	0.24	15.67	15.1
RP (5-15cm) (MPa)	E	0.0143	0.098	12.80	14.6
Rend (Mg ha <sup>-1</sup> )	E	76.32	1012.4	9.41	7.5

Co= Varianza Aleatoria; Co+C = meseta; a= alcance; NDE= Nivel de dependencia espacial. COT= Carbono orgánico total; P= Fósforo disponible; RP= Resistencia a la penetración.

Los parámetros evaluados se ajustaron a un modelo exponencial (Tabla 3). El efecto pepita (Co) obtenido para las variables granulométricas (% arena, % limo; % arcilla), estuvo muy por debajo de la varianza total con porcentajes de 7%, 16 % y 24 % para arena, limo y arcilla respectivamente. Tales resultados indican que gran parte de la variabilidad mostrada en los datos, pudo ser descrita por el esquema de muestreo utilizado, lo cual se corroboró al comparar el bajo valor obtenido en el error experimental (efecto pepita) con el valor de la meseta, tal como ha sido señalado por Avendaño *et al.*, (2004) y Bravo (2005).

Para dichas variables el alcance se obtuvo a los 27 m (% arena), 29 m (% limo) y 35 m (% arcilla) con una elevada dependencia espacial (< 25 %), según Cambardella *et al.*, (1994). Los semivariogramas de la resistencia a la penetración (RP) mostraron alcance que osciló de 12 a 16

m. Al observar el NDE para las dos variables se registró un efecto pepita relativo entre 5 y 15 %, sugiriendo una elevada dependencia a distancias muy cortas. De la evaluación de las propiedades químicas consideradas se observó que los semivariogramas tanto del pH y COT presentaron un carácter anidado, indicando que la variabilidad es dependiente de la escala y probablemente refleje el efecto de la variabilidad de cada subparcela de fertilización. Para estas variables el alcance fluctuó de 4 m (pH), 7 m (COT) y 9 m (P) (Tabla 3), con un efecto pepita relativo entre 5 y 16 %, lo cual indica la presencia de una elevada dependencia espacial (<25 %).



**Fig. 1.** Semivariogramas isotrópicos de los parámetros de suelo y del rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*, L) con sus respectivos modelos ajustados en la parcela estudiada.

El semivariograma del rendimiento de frijol (Fig. 1) y los parámetros del modelo ajustado (Tabla 3), al igual que el resto de las variables se ajustó a un modelo exponencial, con un alcance de 9,4 m y una elevada dependencia espacial (7,54 %). La estructura espacial del rendimiento de frijol presentó una buena similitud con la estructura de las propiedades químicas evaluadas tales como: carbono orgánico total, pH y el contenido de fósforo (Fig. 1). El segundo incremento en la varianza a 200 m indica la

presencia de uno o más factores no identificados que generan esta tendencia (Cassel *et al.*, 2000).

### 3.4. Mapas de las propiedades del suelo (físicas y químicas) y del rendimiento de frijol (*Vigna Unguiculata L*) para la parcela entera con cobertura *Centrosema macrocarpum*.

Los mapas de variabilidad espacial de las propiedades del suelo y rendimiento del frijol se muestran en la Fig 2. En dichos mapas se puede visualizar que los valores más altos del % arena se presentan hacia la zona sur y los menores en la parte central, teniendo un comportamiento inverso con el % de limo y arcilla, lo cual es esperable al ser inversamente proporcionales estas variables. Dichas relaciones fueron confirmadas mediante las correlaciones, arrojando valores de  $r: -0.73$ . La pérdida de arcilla generalmente se produce en la parte más alta y se depositan en las zonas bajas, lo que pudiera afectar el contenido de humedad, la RP, el contenido COT y otros atributos de relevancia (Rey y Ovalles, 2001; Lozano *et al.*, 2004). Si bien, el suelo es arenoso, la estructura de variación del % arcilla puede favorecer en algunas áreas una mejor disponibilidad de nutrientes y mayor almacenamiento de humedad, lo cual pudiera incidir en la variación del rendimiento del cultivo.

El mapa de pH del suelo muestra valores que oscilan de 4,7 a 5,9 clasificados de mediana a ligeramente ácidos. Gran parte de la superficie de la parcela registró valores de 5,4 con pequeños agregados cuyos valores de pH estuvieron por encima de 5,5 hasta alcanzar el valor máximo de 5,6. Los resultados de esta variable caen dentro de un rango para condiciones tropicales donde la mayoría de los nutrientes pueden estar disponibles para las plantas (López de Rojas, 2008).

La representación de las estimaciones del COT muestra que gran parte de la parcela presenta valores cercanos al 1 %, con pequeños agregados distribuidos de manera aleatoria con valores de 1,4 a 2,2 %. La distribución de esta variable no presentó una estructura espacial parecida al rendimiento del cultivo ni siguió unas características topográficas definidas. El COT del suelo constituye uno de los indicadores más usados para evaluar su calidad y en el trópico su conservación se considera como un factor crítico para sistemas sostenibles (Casanova, 2005). A pesar de ser un ensayo de labranza conservacionista donde se usa cobertura y no se perturba el suelo, el COT en toda el área de la parcela registró valores considerados de bajos a medianos. Esto probablemente se deba por un lado, a que gran parte de los residuos de cosecha son retirados para su utilización en la alimentación del ganado, dejando pocos residuos para su incorporación, y por otro, que en suelos arenosos hay mayor oxidación y descomposición de la materia orgánica.

En relación al fósforo (P), la metodología usada para determinar la fracción disponible fue la de Olsen, tomando como base un gran número de estudios de correlación y calibración donde se relaciono la fracción disponible con la respuesta del cultivo en distintas condiciones agroecológicas de Venezuela (López de Roja et al., 2008).

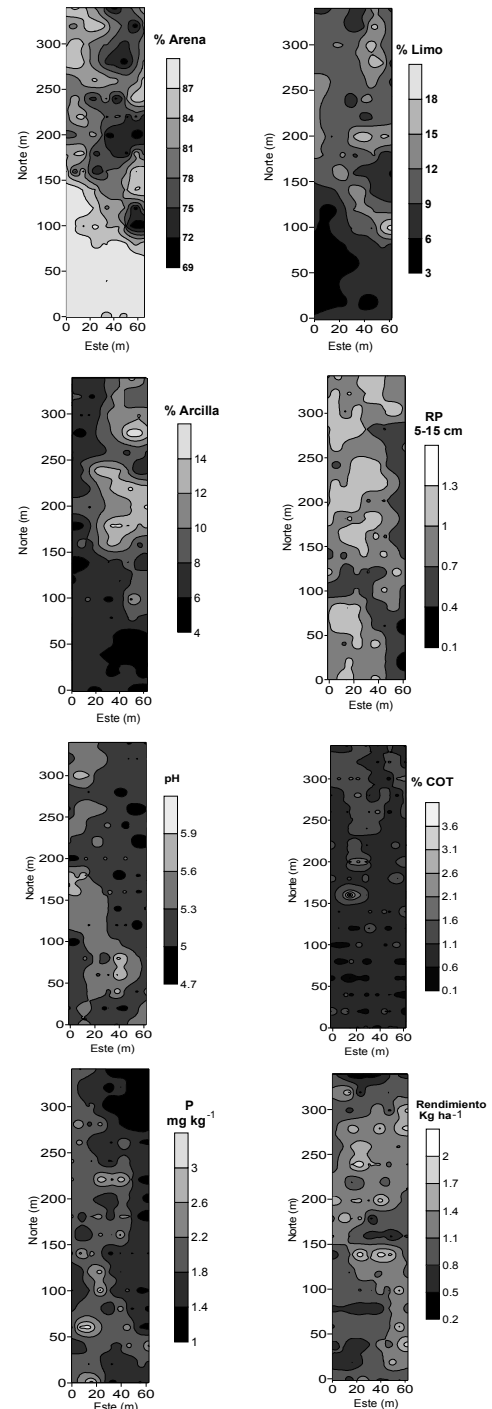


Fig. 2. Mapas de variabilidad espacial para las propiedades del suelo estudiadas (Textura, RP, pH, COT, P) y rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata L*) en la parcela experimental.

En base a ello, cuando se visualiza el mapa de distribución del P, no se observa un patrón definido. Gran parte de la parcela estuvo representado por valores que fluctuaron entre 1,4 y 2,2  $\text{mg kg}^{-1}$ , con algunos agregados con mayor concentración de fósforo (3,2  $\text{mg kg}^{-1}$ ), sin embargo en ambos caso categorizados como muy bajos, a pesar de que en esta parcela se viene desarrollando un ensayo a largo plazo que contempla la aplicación de una

dosis alta de fósforo.

Finalmente, la distribución espacial del rendimiento de frijol presentó valores que fluctuaron de 0,2 a 2 Mg ha<sup>-1</sup>. Gran parte de la parcela registro rendimientos que oscilaron de 0,6 a 1,2 Mg ha<sup>-1</sup>, mostrando alguna distribución en pequeños agregados, cuyo valores están por encima de los promedios de rendimiento de la zona. Distintas causas pueden incidir en la variación del rendimiento, pero fundamentalmente se puede clasificar en dos categorías, las que pueden ser controladas y las que no pueden ser controladas (Johnson *et al.*, 2002). En nuestro caso el rendimiento de frijol presentó poca relación con los parámetros de suelo. Estos resultados confirman que el rendimiento es un parámetro que depende de muchos factores y aun dentro de una misma condición de manejo la respuesta depende de otros factores limitantes de la producción distintos a los considerados en este estudio

#### 4.- Conclusiones

Los atributos estudiados presentaron un alto nivel de dependencia espacial, sugiriendo la necesidad de considerar la variabilidad espacial en parcelas experimentales. La aplicación de la geoestadística para la caracterización espacial de los parámetros evaluados representa una ayuda importante para interpretar los resultados de los ensayos que se vienen realizando en esta parcela, en especial la distribución de los componentes granulométricos. Los parámetros físicos y químicos considerados presentaron de baja o ninguna correlación espacial con el rendimiento de frijol, sin embargo, los mapas de distribución de las variables texturales (arena, limo) presentaron cierta correspondencia con algunas zonas del rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*), lo cual pudiera influir sobre la variabilidad de los rendimientos. No obstante se confirma que la variación espacial del rendimiento depende de un conjunto de factores y los parámetros de suelo sólo representan uno de ellos.

*Agradecimiento.* Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) y al IDECYT de la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez por todo el apoyo logístico y económico que hicieron posible las evaluaciones en campo y laboratorio.

#### 5.- Bibliografía

Avendaño, F. Pierce, J., Schabenberger O. y Melakerberchan, H. 2004. The spatial distribution of soybean cyst nematode in relation to soil texture and soil map unit. *Agr. J.* (96): 181-194.

Bravo, C., Lozano, Z., Hernández, R., Piñango, L. y Moreno, B. 2004. Efecto de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabanas con siembra directa de maíz. 16(3): 163-172 p.

Bravo, C. 2005. Influencia de algunos factores edáficos en la producción vegetal bajo diferentes sistemas agrícolas en el sur de España. Trabajo de Grado Doctoral. Córdoba, España, Universidad de Córdoba. 209 p.

Bravo, C., Ordoñez, R., González, P., Giráldez J. y Agüera, J. 2006. Algodón: Variabilidad espacial de las propiedades físico-químicas del suelo y su relación con el rendimiento. *Revista de agricultura de*

*conservación.* 2: 39-42

Cahn, M., Hummel, J. y Broker, B. 1994. Spatial analysis of soil fertility for management site-specific. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 58: 1240-1248

Cambardella, C., Moorman, T., Novak, J., Parkin, T., Karlen, D., Turco R. y Konopka, E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.

Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela, Facultad de Agronomía 75-88.

Cassel, D., Wendroth, K. y Nielsen, D. 2000. Assessing spatial variability in an agricultural experiment station field: Opportunities arising from spatial dependence. *Agronomy Journal.* 92: 706-714.

Cochran, W. y Cox, C. 1992. *Experimental designs*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Nueva York.

Cox, M., Gerard, P. y Abshire, M. 2006. Selected soil properties' variability and their relationships with yield in three Mississippi fields. *Soil Sci.* 171: 541-551

Daniels, M., Delaune, P., Moore, P., Mauromow-Takos, A., Chapman S. y Langston, J. 2001. Soil phosphorous variability in pastures: Implication for sampling and environmental management strategies. *J. Environ. Qual.* 30: 2157-2165.

Fagroud, M. y VanMeirvenne, M. 2002. Accounting for soil spatial autocorrelation in the design of experimental trials. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1523-1528

Frogbrook, K., Oliver, M., Salahi M. y Ellis, R. 2002 Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. *Soil Use and Management.* 18: 1-9.

Gamma desings. 1998. GS+. *Geostatistical software for the agronomic and biological science.* Version 5.1. Plainwell, Michigan.

Gee, G. y Bauder, J. 1986. Particle size análisis. En : *Methods of Soil Science.* Klute, A. (ed). American Society of Agronomy, Madison. 383-411 p.

Golden Software Inc. 2001. Surfer, version 8. Golden, USA.

Isaac, E.H. y Srivastava, R.M. 1989. *An Introduction to applied geostatistic.* Oxford University Press, New York.

Johnson, R., Downer, R., Bradow, J., Bouer, P. y Sadler, E. 2002. Variability in cotton fiber yield, fiber quality and soil properties in southeastern Coastal Plain. *Agron. J.* 94: 1305-1316.

López de Rojas, I., Alfonso, N., Gómez, N., Navas, M. y Yañez, P. (2008). *Manual de alternativas de recomendaciones de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela.* Maracay, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 400 p. (Serie B, No 18).

Lozano, Z., Bravo, C., Ovalles, F., Hernández, M., Moreno, B., Piñango, L. y Villanueva, J. 2004. Selección de un diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro*, 16(1), 61-72 p.

Nacci, S. y Pla, I. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP. Serie B, N° 17. Maracay (Venezuela). 40 p.

Nelson, D. y Sommer, L. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En : R.H. page and D.R. Keeny (eds). *Methods of soil. Analysis, II. Chemical and microbiological proprieties.* 2da ed. Soil Sci. America Madison.

Olsen, S., Cole, C., Watanabe, F. y Dean, L. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. Department of Agriculture, EE.UU. Cir. No.939.

Ponce, M. E., González, V., Brandín, J. y Ponce, M. 1994. Análisis de vegetación asociada a una toposecuencia en los llanos centro-orientales de Venezuela. *Ecotrópicos* 7(2):11-22.

Rey, J. y Ovalles, F. 2001. Efecto de técnicas exploratorias de los datos en estimaciones Kriging de propiedades del suelo. *Agronomía Trop.* 51:81-106

Solis, P. y Torrent, J. 1989. Phosphate fractions in Calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 462-466.

Tukey, J. 1977. *Exploratory data analysis.* Addison-Wesley, Reading, Mass, USA. 688 p.

Webster, R. y Oliver, M. A. 2001. *Geostatistics for environmental Scientists.* John Wiley, Chichester, England.