

Variabilidad espacial de los suelos de la unidad experimental la glorieta con fines agropecuarios

Soil spatial variability of the experimental unit “glorieta” with agricultural purposes

A.F. González-Pedraza¹, J.C. Rey² y J.L. Atencio P.¹

¹Universidad nacional Experimental Sur del Lago “Jesús María Semprum” (UNESUR); ²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

Resumen

Para evaluar la variabilidad espacial de la arena (%a), limo (%L), arcilla (%A), materia orgánica (%MO), y pH en suelos de la unidad experimental La Glorieta con fines agropecuarios, se utilizó un muestreo sistemático dirigido con puntos georeferenciados separados cada 100 m aproximadamente. Se aplicó estadística clásica y geoestadística para construir semivariogramas utilizados en la interpolación por “kriging” a fin de caracterizar la variabilidad del sector. La variación espacial de las propiedades evaluadas fue de media a baja; con una dependencia espacial entre 347,3 y 469,7m y una varianza aleatoria entre 0 y 77,83%. Hubo una fuerte dependencia espacial en %L, pH y %MO, moderada para %a y débil para %A. La granulometría del suelo mostró mayor variación en sentido este-oeste, mientras que pH y %MO variaron más de norte-sur. Estos resultados sirven de base para la ubicación de sitios experimentales y selección de cultivos apropiados para la finca.

Palabras clave: variabilidad espacial de suelos; geoestadística; interpolación por “kriging”.

Abstract

A systematic sampling directed with geo-referenced points spaced every 100 m or so was used to evaluate the spatial variability of sand (%Sa), silt (%Si), clay (%C), organic matter (%OM), and pH in soils of the experimental unit The Glorieta for agricultural purposes. Classical statistics was applied to build

semivariograms geo-statistical which were used by “Kriging” interpolation to characterize the variability of the sector. The spatial variation of the properties evaluated was from medium to low, with a spatial dependence between 347.3 and 469.7 m and a variance random between 0 and 77.83%. There was a strong spatial dependence in %L, pH and %OM, moderate to weak for %Sa and %C. The soil particle size showed greater variation from east to west, while pH and %OM varied more from north-south. These results provide a basis for experimental site location and selection of appropriate crops for the farm.

Key words: soil spatial variability, geo-statistics, kriging by interpolation.

Introducción

Muchas áreas agrícolas enfrentan graves problemas de producción, rendimiento y degradación de los suelos debido a la falta de información básica que les permita establecer programas de producción agrícola sustentables y sostenibles en el tiempo (Ovalles, 1991; Henríquez *et al.*, 2005). En estas áreas es poco usual la realización de levantamientos convencionales de suelos, especialmente por ser lentos y costosos (Ovalles, 1992; Viloría *et al.*, 2009).

Los suelos, por su parte, poseen una variabilidad natural intrínseca la cual está influenciada por la combinación de diferentes factores de formación que actúan a través del espacio y el tiempo, a saber: tamaño o extensión del área, escala de los mapas, localización espacial de la región fisiográfica, propiedades específicas del suelo y tiempo. Adicionalmente, en campos agrícolas los cambios espaciales y temporales en las características de los suelos, son afectados principalmente por el tipo de uso de la tierra.

La unidad de producción experimental La Glorietta pertenece a la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago (UNESUR) y se encuentra

Introduction

Many agricultural areas face serious problems of production, yield and degradation of soils due to the lack of basic information that allows establishing sustainable agriculture production programs and sustainable in the time (Ovalles, 1991; Henríquez *et al.*, 2005). In these areas is not common the conventional soil lifting, especially by being slow and expensive (Ovalles, 1992; Viloría *et al.*, 2009).

The soils, on the other hand, have an intrinsic natural variability influenced by the combination of different formation factors that act through the space and time, that is: size or area extension, mapping scale, spatial localization of the physiographic region, specific properties of the soil and time. Additionally, in agriculture fields, the spatial and temporal changes in the soil characteristics are mainly affected by the type of soil use.

The experimental unit “La Glorietta” belongs to the Experimental National University “Sur del Lago (UNESUR)” located in a alluvial plain which soils have formed after sediments coming from the Andean region, turning these soils into

ubicada en una planicie aluvial de desborde cuyos suelos se han formado a partir de la deposición de sedimentos provenientes de la Cordillera de los Andes, lo cual les confiere la característica de ser relativamente fértiles, pero con serios problemas de mal drenaje, asociado a la predominancia de texturas finas con alto porcentaje de arcilla (MARNR, 1978).

A pesar de ser una unidad de producción con fines de docencia, investigación y extensión, La Glorieta actualmente no posee información detallada sobre la variabilidad espacial de sus suelos. Por lo tanto, es necesario el conocimiento detallado de la condición edáfica con el fin de hacer un uso más apropiado y sustentable de tan valioso recurso y para ello se requiere de la realización de un adecuado diseño de muestreo.

En años recientes se han desarrollado herramientas muy útiles que permiten obtener información acerca de la variabilidad espacial de los suelos de manera más rápida y a un menor costo. Estas herramientas se basan en el uso de técnicas estadísticas que permiten predecir variaciones significativas de las propiedades de los suelos y permiten estimar valores en puntos no muestreados a través del uso de interpolaciones (Scull *et al.*, 2003; Henríquez *et al.*, 2005).

Entre las técnicas disponibles para estudiar las variaciones de las propiedades de los suelos está la geoestadística, la cual se basa en la teoría de las variables regionalizadas y provee herramientas cuantitativas para su descripción y estimación (Trangmar *et al.*, 1985). Una variable regionalizada es una función de pen-

relatively fertile, but with serious drainage problems, associated to fine textures with high clay percentage (MARNR, 1978).

In spite of being a production unit with teaching, research and extension purpose, La Glorieta currently does not have detailed information about the spatial variability of the soils. Therefore, it is necessary to have a detailed knowledge of the soil condition with the aim of doing a more appropriate and sustainable use of this resource requiring an adequate sampling design.

In recent years, useful tools have developed to obtain information about the spatial variability of the soil in a fast and less expensive way. These tools are based on the use of statistical techniques that allow predicting significant variations of the soil properties and allowing estimating values in non-sample points through interpolations (Scull *et al.*, 2003; Henríquez *et al.*, 2005).

Among the available techniques to study the variations of the soil properties is the geo-statistic, based on the theory of the region variables with quantitative tools for their description and estimation (Trangmar *et al.*, 1985). A regionalized variable is a function of the space that takes one value for each point (Rangel, 1991) and is characterized by the localization, continuity and anisotropy (Ovalles, 1992). On the other hand, the spatial dependence of the properties of natural phenomena (weather, topography, soils, water, etc) might be evaluated through the semi-variance, which is the variance of differences among pairs of points separated by a particular

diente del espacio, que toma un valor para cada punto (Rangel, 1991) y está caracterizada por localización, continuidad y anisotropía (Ovalles, 1992). Por otro lado, la dependencia espacial de las propiedades de los fenómenos naturales (clima, relieve, suelos, agua, etc.) puede ser evaluada a través de la semivarianza, que no es más que la varianza de las diferencias entre pares de puntos separados por una distancia dada, y representa una medida del grado de similitud que existe entre dos observaciones situadas a esa determinada distancia (Ovalles, 1991; 1992).

El gráfico de la semivarianza contra la distancia entre observaciones se conoce como semivariograma. Generalmente, la semivarianza aumenta con los incrementos de la distancia hasta alcanzar un valor estable denominado umbral o sill, la distancia a la cual se alcanza el umbral se denomina amplitud, alcance o rango (del inglés range) y constituye la distancia hasta donde existe dependencia espacial entre las observaciones. Teóricamente, la semivarianza debería ser cero (0) cuando la distancia es cero (0), pero esto frecuentemente no ocurre, este efecto se denomina efecto nugget o aleatorio y es causado principalmente por una variación imposible de detectar a la escala de muestreo utilizada (Webster y Oliver, 1990; Ovalles, 1992).

Los parámetros de los semivariogramas (alcance, efecto nugget o aleatorio y el umbral o sill), son ajustados a modelos teóricos. Uno de los procedimientos de ajuste de modelos más usado, es el de los mínimos cuadrados ponderados (Burrough,

distance and represents a measure of the similitude degree among the two observations placed at a determined distance (Ovalles, 1991; 1992).

The semi-variance graphic against the distance among observations is known as semi-variogram. Generally, the semivariance increases with the increments of the distance until reaching a steady value named threshold or sill, this distance is called range and constitutes the distance until the spatial dependence among the observations. Theoretically, the semi-variance should be zero (0) when the distance is zero (0), but this frequently does not occur, this effect is also called nugget and is mainly caused by a variation impossible to detect the sampling scale used (Webster and Oliver, 1990; Ovalles, 1992).

The parameters of the semi-variograms (range, nugget effect and sill) are adjusted to theoretical models. One of the most used adjustment model procedures is the minimal ponderate squares (Burrough, 1991). The semi-variance value should be higher or equal to zero (0); for this reason, the semi-variogram must be a semi-defined positive conditional function. The most frequent models used in the adjustments of the semi-variograms are lineal, sphere, exponential, logarithmic, gaussiano, pure randomized effect or a combination in between (Webster and Oliver, 1990; Ovalles, 1992).

After the information generated by the semi-variogram, optimum estimates can be obtained of the regionalized variables in non-sample areas through the interpolation

1991). El valor de la semivarianza debe ser mayor o igual a cero (0); por esta razón, el modelo del semivariograma debe ser una función condicional positiva semidefinida. Los modelos más frecuentemente usados en el ajuste de los semivariogramas son el lineal, esférico, exponencial, logarítmico, gaussiano, efecto aleatorio puro o combinación de algunos de ellos (Webster and Oliver, 1990; Ovalles, 1992).

A partir de la información generada por el semivariograma se pueden obtener estimados óptimos e insesgados de las variables regionalizadas en sitios no muestreados, a través del método de interpolación conocido como kriging. El kriging es un método de interpolación basado en medias ponderadas de los valores observados de una propiedad Z dentro de una región, que permite obtener el error asociado al estimado, a través del cálculo de la varianza para cada punto interpolado (Trangmar *et al.*, 1985; Webster and Oliver, 1990).

Dada la necesidad de conocer los suelos de la unidad de producción experimental La Glorieta, se planteó como objetivo principal estudiar la variabilidad espacial de algunas de sus propiedades físicas y químicas mediante el uso de técnicas geoestadísticas con el fin de hacer una mejor planificación de uso y manejo para el desarrollo de ensayos experimentales que permitan la transferencia de tecnologías y ofrecer alternativas para los suelos de la región.

Materiales y métodos

El estudio se llevó cabo en la unidad de producción experimental La

method known as kriging, based on ponderate means of observed values of a Z property in a region, which allows obtaining the associated error to the estimate, through the variance calculus for each interpolate point (Trangmar *et al.*, 1985; Webster and Oliver, 1990).

Due to the need of knowing the soils of the experimental production unit La Glorieta, the aim of this research was to study the spatial variability of some its physical and chemical properties using geo-statistics with the objective of creating a better planning of its use and handle for the development of experimental essays that allow the transfer of technology and offer alternatives for the soils of the region.

Materials and methods

The research was carried out in the experimental production unit La Glorieta, located in Colón parish, Zulia state, Venezuela. The farm occupies a total surface of 286 h, out which 236 are committed to the agriculture. The life area corresponds to a tropical dry forest, the landscape is an alluvial plain with overflows, which soils have formed after the sediment deposition coming from the Andes, and dragged by the Escalante River (MARNR, 1978).

The selection of the sampling points was done after the analysis and interpretation of aerial photographs at a scale 1:25000, on which five possible soil units were divided in function of the variability observed. Later, a systematic guided sample was performed taking a total of 67 samples

Glorieta, ubicada en el municipio Colón, estado Zulia, Venezuela. La finca ocupa una superficie total de 286 ha, de las cuales 236 están dedicadas a la producción agrícola. La zona de vida corresponde a un bosque seco tropical, el paisaje es de una planicie aluvial de desborde, cuyos suelos se han formado a partir de la deposición de sedimentos provenientes de la Cordillera de los Andes, acarreados por el río Escalante (MARNR, 1978).

La selección de los puntos de muestreo se hizo a partir del análisis e interpretación de fotografías aéreas a escala 1:25000, sobre las cuales se separaron cinco posibles unidades de suelo en función de la variabilidad observada. A partir de allí se realizó un muestreo sistemático dirigido y se tomaron un total de 67 muestras del primer horizonte genésico de suelo, distribuidas en las cinco unidades con una distancia aproximada de entre 50 y 100 m. Se seleccionó esa cantidad de muestras porque ser económicamente viable y, a su vez, porque permitió una cobertura de toda la finca. La dirección y distribución de los puntos de muestreo se hizo siguiendo la separación de las cinco unidades diferenciadas en las fotografías aéreas. El número de muestras por unidad de suelo seleccionada dependió principalmente de su tamaño. Se tomaron cuatro muestras en la unidad más pequeña, ocho y nueve para las unidades de tamaño intermedio y 23 muestras para la unidad más grande. Las muestras de suelo fueron sometidas a las siguientes determinaciones analíticas: porcentaje de arena (a), limo (L) y arcilla (A) por el método del hidrómetro (Gee y Bauder, 1986); pH en una rela-

of the first reproductive soil horizon, distributed in the five units with an approximate distance from 50 to 100 m. That quantity of soil was selected by being affordable, and because it allowed covering the entire farm. The distribution of the sampling points was done following the separation of the five units differentiated in the aerial photographs. The number of samples per selected soil unit mainly depended on its size. four samples were taken in the smallest unit, eight and nine for the intermediate units and 23 samples for the biggest unit. The soil samples were submitted to the following analytical determinations: sand percentage (s), silt (sl) and clay (C) by the hydrometer method (Gee and Bauder, 1986); pH in a soil-relation 1:2.5 (McLean, 1982 and percentage of organic matter (OM) according to Walkley and Black (1934).

For the statistical analysis of the data the basic statistics were calculated (means, maximum and minimum values, variation coefficient and standard deviation) using the Infostat program (Di Rienzo *et al.*, 2011), with the aim of evaluating the characteristics and tendencies of the data. Subsequently, a geo-statistic analysis was done, calculating the semi-variance of the variables evaluated in the farm with the following equation (figure 1).

With the semivariance, semivariograms were obtained and adjusted to theoretical models using the program Variowin (Pannatier, 1996) to obtain the parameters of the variation model: range, nugget effect and sill (figure 2) (Webster and Oliver, 1990; Ovalles, 1992).

ción suelo agua 1:2,5 (McLean, 1982) y porcentaje de materia orgánica (MO) según Walkley y Black (1934).

Para el análisis estadístico de los datos se calcularon los estadísticos básicos (medias, valores máximos y mínimos, coeficiente de variación y desviación estándar) por medio del programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011), a los fines de evaluar las características y tendencias de los datos. Posteriormente se realizó un análisis geoestadístico, mediante el cual se calculó la semivarianza de las variables evaluadas en la finca, con la siguiente ecuación (figura 1).

Con la semivarianza se obtuvieron semivariogramas que fueron ajustados a modelos teóricos, usando el programa Variowin (Pannatier, 1996) para obtener los parámetros del modelo de variación: alcance, efecto nugget o aleatorio y el umbral o sill (figura 2) (Webster y Oliver, 1990; Ovalles, 1992).

Los diversos parámetros derivados de los modelos teóricos de los semivariogramas (alcance o rango, umbral o sill, nugget) se utilizaron en el proceso de interpolación por kriging puntual, a través del cual se obtuvo el

The different parameters derived from the theoretical models of the semi-variograms (range, sill, nugget) were used in the interpolation process by accurate kriging, obtaining the associate error of the estimate, calculating the variance for each interpolate point. The values used for the calculus were measured according to their spatial dependences, in order to reduce the error as minimum as possible (Trangmar *et al.*, 1985). This allowed estimating the values of the variables considered in non sample areas to characterize spatially the estimations for each of the soil attributes using the Geographic Information System Arc View GIS 3.2 (1996).

Results and discussion

According to the exploratory data analysis, the soils presented a high clay percentage, acid to slightly acid pH and medium to high contents of organic matter. The physical attributes %sl and %s presented the highest variation coefficients, while the pH of the soil presented the lowest variation (table

$$\gamma_{(h)} = \frac{1}{2N} \sum_1^n [Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2$$

Dónde: Y(h)= semivarianza; N= número de pares; Z(x)= valor de una propiedad en un lugar X; Z(x+h) = valor de una propiedad a una distancia h del lugar X.

Figura 1. Ecuación para el cálculo de la semivarianza de las variables físicas y químicas evaluadas (Webster y Oliver, 1990).

Figure 1. Equation for calculating the semi-variance of the evaluated physical and chemical variables (Webster and Oliver, 1990).

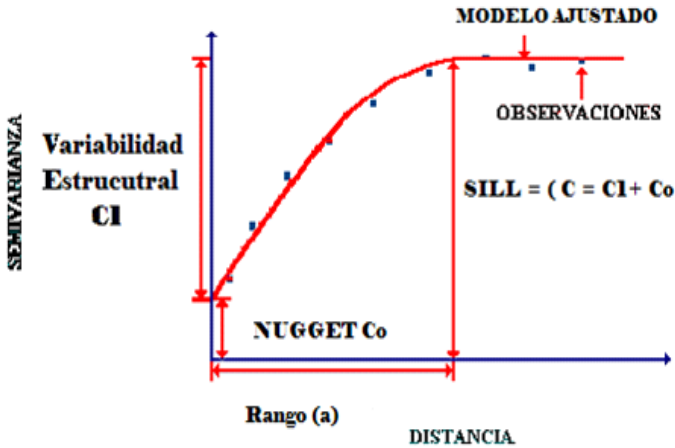


Figura 2. Semivariograma donde se ilustra la semivarianza contra la distancia entre observaciones (Webster y Oliver, 1990; Ovalles, 1992).

Figure 2. Semi-variogram where the semi-variance is illustrated against the distance among observations (Webster and Oliver, 1990; Ovalles, 1992).

error asociado al estimado, mediante el cálculo de la varianza para cada punto interpolado. Los valores utilizados para el cálculo fueron ponderados de acuerdo a sus dependencias espaciales, para reducir el error al mínimo posible (Trangmar *et al.*, 1985). Esto permitió estimar valores de las variables consideradas en sitios no muestreados para caracterizar espacialmente la variabilidad presente en el sector. De esta manera se lograron obtener los diagramas de las estimaciones para cada uno de los atributos del suelo mediante el uso del Sistema de Información Geográfica Arc View GIS 3.2 (1996).

De acuerdo con el análisis exploratorio de los datos los suelos presentaron un alto porcentaje de arcilla, pH ácido a ligeramente ácido y conte-

1). These results show the presence of a differential variation of the evaluated soil properties, which highlight the importance of knowing the spatial behavior.

In figure 3 are presented the semi-variograms calculated for %C, pH and %OM. Only the semivariograms of these variables are presented by being the ones with more influence on the general behavior of the soils. There are observed a transitive effect, that is, an increment of the semi-variance to the distance until its stabilization, indicating the presence of the spatial dependence.

The semi-variograms were adjusted to theoretical models (sphere), with the aim of obtaining the parameters derived from the geostatistical analysis. In table 2, can be

nidos medios a altos de materia orgánica. Los atributos físicos %L y %a presentaron los coeficientes de variación más altos, mientras que el pH del suelo presentó la menor variación (cuadro 1). Estos resultados reflejan la presencia de una variación diferencial de las propiedades de suelo evaluadas; lo cual acentúa la importancia de conocer su comportamiento espacial.

Resultados y discusión

En la figura 3 se presentan los semivariogramas calculados para %A, pH y %MO. Solamente se presentan los semivariogramas de estas variables, por ser las más influyentes sobre el comportamiento general de los suelos. En ellos se observa un efecto transitivo, es decir, un aumento de la semivarianza con la distancia hasta estabilizarse, indicando la presencia de dependencia espacial.

En la figura 3 se presentan los semivariogramas calculados para %A, pH y %MO. Solamente se presentan

observed that the range of spatial dependence (s) fluctuated from 347.3 and 469.7m; with a randomized component or nugget effect (%Co) from 0 to 77.83%.

According to Cambardella *et al.*, (1994), if the evaluated variable has a randomized variance (Co) lower to 25%, it indicates a strong spatial dependence; therefore, approximately 15 samples must be taken to form a compound sample (table 2).

A Co from 25 to 75%, mentions a moderate spatial dependence of the evaluated variable; thus, 20-25 sub-samples must be taken approximately, lastly, if the Co is higher to 75%, the spatial dependence of the variable is low; consequently, 30 sub-samples must be selected (Cambardella *et al.*, 1994). According to Cambardella *et al.*, (1994), these values mention a strong spatial dependence for the variables %OM, pH and %sl, moderate spatial dependence for %s and a weak spatial dependence for %C (figure 3). The degree of spatial dependence allows establishing the

Cuadro 1. Valores mínimos y máximos de los promedios, desviaciones estándar (DS) y coeficientes de variación (CV) para las variables evaluadas.

Table 1. Minimum and maximum values of averages, standard deviations (SD) and variation coefficients (VC) for the evaluated variables.

Variable	Media	Min	Max	DS	CV(%)
A (%)	67,16	20	97,5	17,85	26,57
L (%)	21,98	2,5	65	13,22	60,14
a (%)	10,86	0	47,5	8,33	76,73
pH	5,05	4,17	6,27	0,44	8,72
MO (%)	5,01	1,76	11,69	1,83	36,51

Min: valor mínimo, Max: valor máximo, A: arcilla, L: limo, a: arena, MO: materia orgánica, DS: desviación estándar y CV: coeficiente de variación.

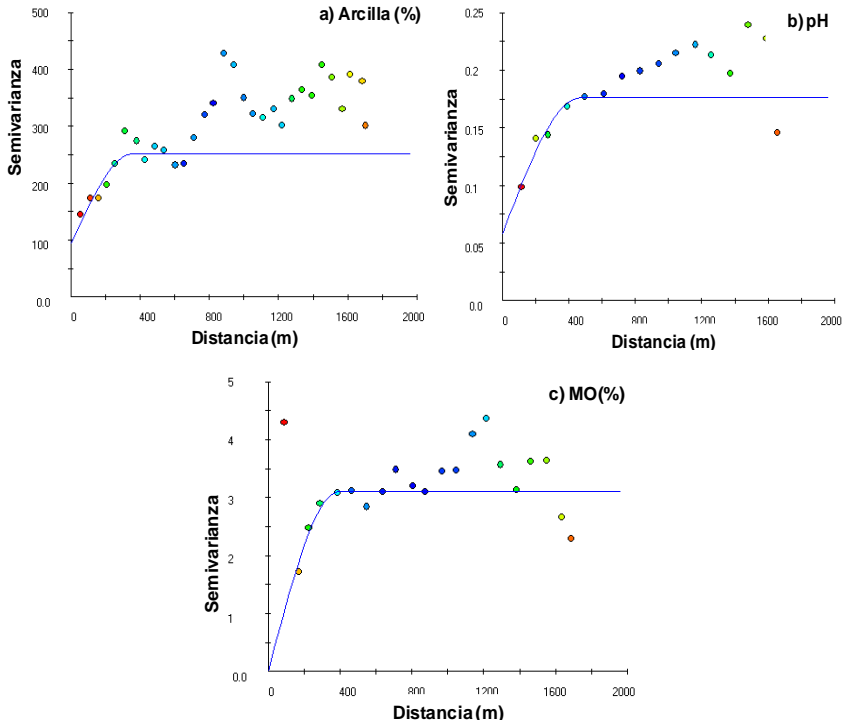


Figura 3. Semivariogramas experimentales (•) y teóricos (-) correspondientes a: a) % de arcilla, b) pH y c) materia orgánica (%MO).

Figure 3. Experimental (•) and theoretical (-) semi-variograms correspondent to: a) % of clay, b) pH and c) organic matter (%OM).

los semivariogramas de estas variables, por ser las más influyentes sobre el comportamiento general de los suelos. En ellos se observa un efecto transitorio, es decir, un aumento de la semivarianza con la distancia hasta estabilizarse, indicando la presencia de dependencia espacial.

Los semivariogramas fueron ajustados a modelos teóricos (esférico), con la finalidad de obtener los parámetros derivados del análisis geoestadístico. En el cuadro 2 se pue-

debe observar el efecto de la intensidad de muestreo. En este aspecto, Gilabert *et al.*, (1990) también propone tomar de 15 a 30 muestras compuestas, especialmente cuando se trata de una recomendación de fertilidad para fines agrícolas.

Con la interpolación por kriging, los parámetros derivados de los modelos de los semi-variogramas (rango, sill y nugget) se utilizaron con el fin de estimar los valores de las propiedades consideradas en los lugares no muestreados, y para realizar una caracterización espacial.

Cuadro 2. Parámetros de los semivariogramas compuestos de las variables evaluadas.**Table 2. Semi-variogram parameters composed from the evaluated variables.**

Variable	a (m)	Co	Co+C1	%Co
A (%)	357,5	92,71	251,51	36,86
L (%)	347,3	2,88	134,68	2,14
a (%)	347,3	55,69	71,55	77,83
pH	469,7	0,057	0,175	32,57

de apreciar que los rangos o alcances de dependencia espacial (a) fluctuaron entre 347,3 y 469,7m; con un componente aleatorio o efecto nugget (%Co) entre 0 y 77,83%.

Según Cambardella *et al.*, (1994), si la variable evaluada presenta una varianza aleatoria (Co) menor de 25%, indica una fuerte dependencia espacial, por lo tanto, deberán tomarse alrededor de 15 submuestras para formar una muestra compuesta (cuadro 2).

Un Co entre 25 y 75%, señala una moderada dependencia espacial de la variable evaluada, por lo tanto, se deben tomar entre 20-25 submuestras aproximadamente; y por último, si el Co es superior a 75%, la dependencia espacial de la variable en estudio es baja, y en consecuencia, se deben tomar 30 submuestras (Cambardella *et al.*, 1994). De acuerdo con los criterios señalados por Cambardella *et al.*, (1994), estos valores señalan una fuerte dependencia espacial para las variables %MO, pH y %L, moderada dependencia espacial para %a y una débil dependencia espacial para %A (figura 3). El grado de dependencia espacial permite establecer la intensidad

de la variabilidad en el área. Asimismo, los diagramas de las estimaciones fueron obtenidos para cada uno de los atributos evaluados del suelo (figura 4).

Aunque cuando todos los suelos de la unidad experimental son arcillosos, se observa una importante diferenciación del contenido de arcilla (50 a 86%), y con una mayor variación en el E-W del área estudiada, que corresponde a la dirección de la inclinación general del área (figura 4a). Sin embargo, el pH y la variabilidad de la materia orgánica (%OM) presentaron una mayor variación de N-S, con valores de pH más altos donde el %OM es mayor, tal vez debido al efecto de la materia orgánica sobre la reacción del suelo (figuras 4b y 4c).

Al comparar los diagramas de estimación por Kriging con la separación de las unidades del suelo en las fotografías aéreas, se observó una alta coincidencia entre las unidades del suelo inicialmente seleccionadas y las separaciones representadas en los diagramas. Esto permite mencionar que el método de interpolación por Kriging representa una técnica útil para diferenciar espacialmente las unidades del suelo, y especialmente, para dividir las unidades de manejo. En este sentido, el análisis de la variabilidad espacial de la unidad experimental

de muestreo. A este respecto, Gilabert *et al.*, (1990) también proponen tomar entre 15 y 30 muestras compuestas, especialmente cuando se trata de recomendaciones de muestreo de suelo con fines de fertilidad.

Para la interpolación por kriging puntual se utilizaron los parámetros derivados de los modelos teóricos de los semivariogramas (alcance, umbral y nugget), con el fin de estimar valores de las propiedades consideradas en sitios no muestreados y caracterizar espacialmente la variabilidad presente en el sector. De esta manera se obtuvieron los diagramas de las estimaciones para cada uno de los atributos del suelo evaluados (figura 4).

Aun cuando todos los suelos de la unidad experimental son arcillosos, se aprecia una diferenciación importante del contenido de arcilla (50 a 86%), observándose una mayor variación en el sentido E-O del área estudiada, la cual se corresponde con la dirección de la pendiente general del área (figura 4a). Sin embargo, la variabilidad del pH y el %MO presentó una mayor variación en sentido N-S, apreciándose valores más altos de pH donde %MO es más alto, debido posiblemente al efecto que ejerce la materia orgánica sobre la reacción del suelo (figuras 4b y 4c).

Al comparar los diagramas de las estimaciones por kriging con la separación que se hizo de las unidades de suelo sobre las fotografías aéreas, se pudo constatar una alta coincidencia entre las unidades de suelo seleccionadas inicialmente y las separaciones representadas en los diagramas. Esto permite señalar que el método de interpolación por Kriging representa

production unit “La Glorieta” using these techniques, allow as a base for the decision-making related to the most accurate location of the experimental plots, according to the land conditions and adjusted to the exigencies of the experimental design (more or less clayey soils, acid soils or slightly acids) that would simplify the comprehension of the results of investigations, orientate future sampling plans and the handle and that would allow the technology transfer to analogue areas close to the experimental unit.

Conclusions

The research showed clayey soils, with strong reaction to slightly acid and medium to high contents of organic matter. The diagram analysis of the estimations by Krigin for the represented variables, allows detecting a higher variation of the granulometry from east to west; meanwhile for the pH and %OM, the variability was higher from north to south. Therefore, the selection on the location, size and orientation of the experimental plots must be done considering the heterogeneity found, selecting those places where the variability in the distribution of the values be the lowest. From the point of view of the fertility recommendations of the soil, approximately 30 compound samples from each experimental unit must be taken, considering the weak spatial dependence found in %s, especially by the effect of this variable in the rest of the soil variables.

End of english version

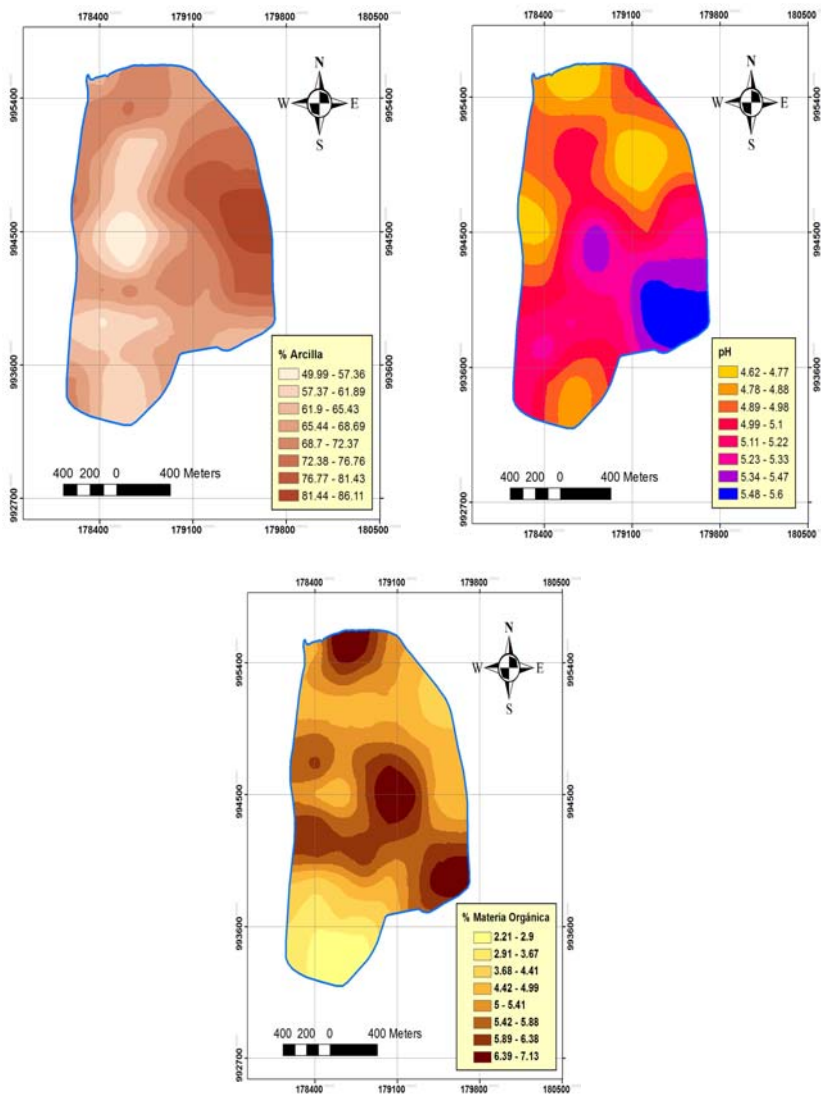


Figura 4. Diagrama de las estimaciones por Kriging correspondientes a: (a) % Arcilla; b) pH y c) materia orgánica (% MO).

Figure 4. Estimation diagram by Krigin corresponding to: (a) % of clay; b) pH and c) organic matter (%OM).

una herramienta muy útil para diferenciar espacialmente unidades de suelo y, sobretodo, separar unidades de manejo. En ese sentido, el análisis de la variabilidad espacial de los suelos de la unidad de producción experimental La Glorieta mediante el uso de estas técnicas sirven de base para la toma de decisiones relacionadas con la ubicación más acertada de parcelas experimentales, de acuerdo con las condiciones del terreno y ajustadas a las exigencias del diseño experimental (suelos más o menos arcillosos, suelos ácidos o ligeramente ácidos) que faciliten la comprensión de los resultados de las investigaciones, permitan orientar futuros planes de muestreo y manejo y permitan la transferencia de tecnología a áreas análogas cercanas a la unidad experimental.

Conclusiones

El estudio reflejó suelos arcillosos, con reacción fuerte a ligeramente ácida y contenidos medios a altos de materia orgánica. El análisis de los diagramas de las estimaciones por Kriging para las variables representadas permitió detectar una mayor variación de la granulometría en sentido este a oeste, mientras que para el pH y %MO, la variabilidad fue mayor de norte a sur. Por lo tanto, la selección sobre la ubicación, tamaño y orientación de las parcelas experimentales debe hacerse tomando en consideración la heterogeneidad encontrada, seleccionando aquellos sitios donde la variabilidad en la distribución de los valores sea más baja. Desde el punto de vista de recomendaciones de fertilidad de los suelos, se deberán tomar alrededor de

30 muestras compuestas en cada lote experimental, tomando en consideración la débil dependencia espacial encontrada en %A, especialmente por el efecto que ejerce esta variable sobre el resto de las variables de suelo.

Literatura citada

- ArcView GIS 3.2. 1996. The Geographic Information System for Everyone. Versión 3.2 by Environmental System Research Institute (ERSI). New York. Product ID: 825921104087.
- Burrough, P. 1991. Sampling design for quantifying map unit composition. En: *Sp-a-ti-a-l V-a-r-i-a-b-i-l-i-t-i-e-s of Soils and Landforms*. Mausbach, M.J. y L.P. Wildind, Editores. 270p.
- Cambardella, C., T. Moorman., J. Novak., T. Parkin., D. Karlen., R. Turko y E. Konopka. 1994. Fieldscaled variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves., M.G. Balzarini., L. González., M. Tablada y C.W. Robledo. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Gee, G.W. y J.W. Bauder. 1986. Particle-size Analysis. En: Klute, A. (Ed.); "Methods of soil analysis: part I-Physical and mineralogical methods". Agronomy. Second edition, number 9; American Society of Agronomy and Soil Science Society of America; Wisconsin; United States of America. Pp 383-412.
- Gilabert De Brito, J. I. López De Rojas y R. Pérez De Roberti. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia (Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad). FONAIAP - CENIAP. Serie D No. 26. Maracay. Venezuela. 164p.
- Henríquez, C., R. Killorn., F. Bertsch y F. Sancho. 2005. La geoestadística en el estudio de la variación espacial de la

- fertilidad del suelo mediante el uso del interpolador kriging. *Agronomía Costarricense* 29(2): 73-81.
- MARNR, 1978. Hacia un plan rector de ordenación del territorio. Zona Sur del Lago de Maracaibo. Serie informe Técnicos DGPOA/IT/16. Caracas.
- McLean, E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. En: Page, A.L., R.H. Miller y D.R. Keeney. (Eds.); "Methods of soil analysis: part II-Chemical and microbiological properties". Agronomy monograph number 9; American Society of Agronomy and Soil Science Society of America; Wisconsin; United States of America. Pp. 199-224.
- Ovalles, F.A. 1991. Evaluación de la variabilidad de suelos a nivel de parcela para el establecimiento de lotes experimentales en el Estado Cojedes. *Agronomía Tropical* 41(1-2): 5-21.
- Ovalles, F.A. 1992. Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad. Maracay, VEN. FONAIAP. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Instituto de Investigaciones Agrícolas Generales. SERIE B. 44p.
- Pannatier, Y. 1996. VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D, Springer-Verlag, New York.
- Rangel, A.L. 1991. Introducción a los métodos de estimación para variables regionalizadas. Universidad Central de Venezuela. Postgrado de Estadística. Facultad de Agronomía. Maracay. 20p. (Mimeo).
- Scull, P., J. Franklin., O.A. Chadwick. y D. McArthur. 2003. Predictive soil mapping: a review. *Prog. Phy. Geog.* 27: 171-197.
- Trangmar, B.B., R.S. Yost y G. Uehara. 1985. Application of Geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38: 45-94.
- Viloria, J., Y. Núñez., G. Machado., G. Elizalde y M. Pineda. 2009. Variación espacial del suelo y el paisaje en la cuenca alta del río Güey, estado Aragua, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (UCV)* 35(2): 67-78.
- Walkley, A. y A. Black. 1934. An examination of the digestion method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Webster, R. y M.A. Oliver. 1990. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford University Press. New York. 307p.