

Variabilidad espacial de los suelos de la Estación Experimental del Instituto de la uva-UCLA

Soil spatial variability of the experimental station of the Instituto de la uva-UCLA

José Miguel Gómez Toro¹

¹Departamento de Suelos, Decanato de Agronomía, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Edo. Lara.

RESUMEN

A través de la utilización de índices de homogeneidad múltiple, se evaluó detalladamente la variabilidad espacial de los suelos de la Estación Experimental del Instituto de la uva de la UCLA, la cual se localiza en el valle del río Tocuyo y se ubica políticamente en el Municipio Foráneo Bolívar, Municipio Autónomo Morán del Estado Lara.

La información recopilada de 17 atributos del suelo a 0-25 cm y 25-50 cm de profundidad, se analizó estadísticamente y geoestadísticamente para determinar, por una parte, el índice de homogeneidad múltiple del área estudiada y por otro lado, para elaborar los mapas de suelos correspondientes a escala 1:2.000. Finalmente, se comprobó la calidad de los mapas obtenidos. Los resultados indican que la capa superior de estos suelos tiende a ser más homogénea e isotrópica, respecto a los atributos seleccionados, mientras que la capa más profunda tiende a ser menos homogénea y presenta una variación anisotrópica. Los atributos analizados tienen una clara dependencia espacial, incrementándose la semivarianza a medida que aumenta la separación entre los puntos de muestreo, hasta alcances o rangos de dependencia espacial, comprendidos entre 180 y 260 m.

El procedimiento metodológico propuesto para la elaboración de mapas de suelos a partir del índice de homogeneidad múltiple condujo a la elaboración de dos mapas de suelos a escala 1:2.000, los cuales resultaron de calidad aceptable. El método utilizado constituye un nuevo procedimiento para la delimitación de áreas homogéneas, especialmente en pequeños lotes donde el uso del suelo es muy intenso y donde los atributos de interés no se correlacionan con cambios externamente visibles.

Palabras Clave: variabilidad espacial, índice de homogeneidad múltiple, geoestadística.

ABSTRACT

The soil spatial variability in the Estación Experimental del Instituto de la Uva, UCLA, which is located on the Tocuyo river valley, Bolívar county, Morán district, Lara state, was evaluated in detail using multiple homogeneity indexes.

The information obtained from 17 soil properties at depths of 0-25 cm, and 25-50 cm, was statistically and geostatistically analyzed for determining the multiple homogeneity index of the study area. Likewise, soil maps at the scale of 1:2.000 were elaborated. Finally, the quality of soil maps obtained was comprobated.

The results indicated that the soil surface layer tended to be more homogeneous and isotropic with respect to the properties selected, than the subsurface layer which tended to be less homogeneous and anisotropic. The properties analyzed had a strong spatial dependence, and their semivariances increased as the separation among the sampling points did, up to a range between 180 and 260 m.

A procedure for soil mapping based on the multiple homogeneity index is proposed, and used to make two soil maps at a scale of 1:2.000, which resulted of acceptable quality. The method proved to be a new procedure for the delimitation of homogeneous areas, which are very useful for small plots under an intensive soil use and relevant soil properties do not correlate well with external visible changes.

Index words: spatial variability, multiple homogeneity index, geostatistics.

INTRODUCCIÓN

En las estaciones experimentales, a pesar de observarse con frecuencia cambios marcados en los atributos del suelo en cortas distancias y de que la información requerida debe tener una alta precisión, generalmente no se mapean los suelos con suficiente detalle. Por el contrario, se ha preferido disminuir la incidencia de la variabilidad del suelo en los ensayos mediante el proceso de aleatorización en los diseños experimentales, es decir, se ha intentado neutralizar el efecto de la variabilidad, pero se ha avanzado poco en su estudio como un elemento del suelo mismo y de su relación con los resultados experimentales (Beckett y Webster, 1971 y Moormann y Kang, 1978).

Para el estudio detallado de la variabilidad espacial de los suelos en la estaciones experimentales, no es factible el uso de la fotointerpretación como herramienta de mapeo, debido a que generalmente las unidades de suelos ocupan superficies pequeñas donde no hay límites obvios y donde los atributos de interés no se correlacionan con cambios visibles externamente (Burrough, 1986). En tales circunstancias es posible utilizar análisis geoestadísticos, los cuales usan el semivariograma y la interpolación para lograr un mapa isorrítmico de un atributo en particular (Burrough, 1986 y Mateos, 1987). Sin embargo, el suelo es una entidad compleja que se caracteriza por la presencia de múltiples atributos.

Estos planteamientos indican que debe buscarse una metodología más eficiente, que permita obtener unidades de mapeo a partir de la consideración simultánea de una serie de atributos seleccionados del suelo. En este sentido, Jaimes (1988), indica que a partir de un análisis por componentes principales, es posible definir un índice de homogeneidad que tome en cuenta simultáneamente a numerosos atributos del suelo y/o del paisaje.

Lo anteriormente expuesto constituye el marco general del presente trabajo, en el cual se pretende analizar detalladamente la variabilidad espacial de los suelos de la Estación Experimental del Instituto de la Uva de la UCLA, respecto a la consideración conjunta de 17 atributos seleccionados en función de su influencia sobre la aptitud de la tierra para el cultivo de la vid y delinear porciones que ofrezcan la mayor homogeneidad interna posible.

De acuerdo a lo señalado por Gómez (1981), Pire (1985 y 1987) y Ohep (1987), los atributos más adecuados a tener en cuenta en esta Estación Experimental son los porcentajes de arena (a), limo (l), arcilla (A), esqueleto grueso (E.G.) y de carbono orgánico (C.O.); la retención de humedad a 10 KPa (R.H.) y la densidad aparente (D.a.); la macroporosidad (Ma) y la microporosidad (Mi); la conductividad eléctrica (C.E.) y el pH; el fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) disponibles; el porcentaje de carbonato de calcio (CaCO₃) equivalente y la altura relativa (A.R.).

MATERIALES Y METODOS

En un mapa de la Estación Experimental a escala 1:2.000, se ubicaron los puntos de muestreo a intervalos regulares, los cuales se determinaron a partir del análisis de un muestreo anidado o jerarquizado realizado previamente.

El muestreo se realizó a dos profundidades fijas (0-25 cm y 25-50 cm) debido a que a esas profundidades se presentan las mayores variaciones de los suelos en sentido vertical (Gómez, 1981) y la mayor proliferación de raíces de plantas de vid ocurre a una profundidad no mayor de 45 cm (Pire, 1985).

Para realizar el análisis anidado de varianza se utilizó el programa NEST del paquete geoestadístico PC-GEOSTAT (Burrough y Van Keulen, 1986).

El índice de homogeneidad múltiple se determinó utilizando las matrices de datos generados para cada profundidad considerada, tomando en cuenta el procedimiento desarrollado por Jaimes (1988) y utilizando el programa I.H. (Daza y Elizalde, 1988), el cual genera matrices de valores y vectores propios. Las matrices de valores propios son útiles para determinar el índice de homogeneidad, ya que cada valor propio o componente principal, resume la máxima variabilidad residual contenida en los datos originales (Pla, 1986).

Los semivariogramas de los componentes principales se obtuvieron a partir de los valores de las matrices correspondientes, utilizando para ello los programas SEMIVA, SEMICONV, SPHUNX Y PLOTSEM del paquete geoestadístico PC-GEOSTAT (Burrough y Van Keulen, 1986). Para la determinación de los agrupamientos con el mayor índice de homogeneidad posible, se analizaron algunos parámetros de los semivariogramas obtenidos, tales como el alcance o rango de dependencia espacial, el umbral y la pendiente (Journel y Huijbregts, 1978; Trangmar et al., 1985; Webster, 1985 y Burrough, 1986).<F14P10W1>

Para determinar si los agrupamientos logrados presentan o no la mayor homogeneidad interna posible, se compararon los índices de homogeneidad obtenidos en cada sectorización, con índices de homogeneidad que resultaron de observaciones agrupadas al azar. Para ello se seleccionaron muestras integradas por 7, 12, 20 y 35 observaciones tomadas al azar, con 12 repeticiones para cada una de ellas, se les determinó el índice de homogeneidad promedio a cada muestra y se calcularon los límites del intervalo de confianza del índice de homogeneidad múltiple promedio obtenido, con un nivel de probabilidad del 99 % (Steel y Torrie, 1985).

Las leyendas de los mapas se elaboraron tomando en cuenta el valor promedio y la variación con respecto a esa media de cada atributo estudiado y para cada unidad de mapeo obtenida en las 2 profundidades consideradas.

Para verificar si entre las unidades de mapeo obtenidas existen diferencias estadísticamente significativas, se realizó un análisis de varianza multivariado y para comprobar si se presentan diferencias entre una unidad de mapeo determinada con respecto a las demás, se compararon los valores promedios de los atributos que definen las unidades de mapeo establecidas en cada profundidad considerada, para lo cual, se tomó en cuenta el procedimiento de Chatfield y Collins (1980) y se utilizó el programa Systat (Wilkinson, 1986).

La comprobación de la calidad de los mapas obtenidos, se realizó utilizando la metodología señalada por Forbes et al. (sin fecha), citados por Viloria (1985).

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza anidado, la mayoría de los variogramas analizados indicaron que la distancia de 60 m es la más adecuada para la realización del muestreo sistemático.

Con la información recabada en el muestreo sistemático, se generaron matrices de datos de 93 filas por 17 columnas para cada profundidad considerada, a partir de las cuales se determinó el índice de homogeneidad múltiple de los suelos en el área total estudiada, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Índice de Homogeneidad Múltiple de los Suelos en el Área Total Estudiada.

| Profundidad (cm) | Número de observaciones | Índice de homogeneidad |
|------------------|-------------------------|------------------------|
| 0-25 | 93 | 30 |
| 25-50 | 93 | 22 |

En el Cuadro 1, se puede observar que para la profundidad de 0-25 cm, el índice de homogeneidad obtenido es superior al correspondiente a la profundidad de 25-50 cm, lo cual significa que los 17 atributos seleccionados, son más homogéneos, en conjunto, en el horizonte superficial del suelo, en comparación con los del horizonte subsuperficial. Esto se corresponde con las observaciones de Beckett y Webster (1971), que utilizando el coeficiente de variación como una medida de la variabilidad de los suelos, encontraron que las propiedades del suelo superficial eran más homogéneas que las del subsuelo.

La elaboración de los mapas de suelos, a partir del índice de homogeneidad múltiple, constituye el propósito principal de este trabajo. Para alcanzar tal propósito, fué necesario realizar una serie de pruebas con la información básica obtenida, lo cual requirió generar un procedimiento metodológico que permitiese obtener áreas mapeables en forma detallada a escala 1:2.000, el cual contempla los siguientes aspectos:

Agrupamiento de las observaciones en núcleos con el mayor índice de homogeneidad posible

Para la determinación de los núcleos con el mayor índice de homogeneidad posible, se estableció en primer lugar una ventana o agrupamiento mínimo, cuyo tamaño se determinó en función del alcance o rango de dependencia espacial de los semivariogramas ajustados a un modelo teórico del componente principal N 1 (Figura 1). En este sentido, el tamaño más adecuado de las ventanas resultó ser de 180 m y 260 m, para las profundidades de 0-25 cm y 25-50 cm respectivamente. Una vez definido el tamaño de la ventana, para cada profundidad considerada, se desplazó punto por punto en las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste y se determinó el índice de homogeneidad a partir de aquellos puntos de observación ubicados dentro de cada ventana. Finalmente, se seleccionaron las ventanas para cada profundidad considerada, cuyas observaciones presentaron los mayores índices de homogeneidad y que estuvieran constituidas por puntos totalmente diferentes.

A partir de las ventanas seleccionadas, se inició el proceso de delineación de los agrupamientos más homogéneos. Para ello

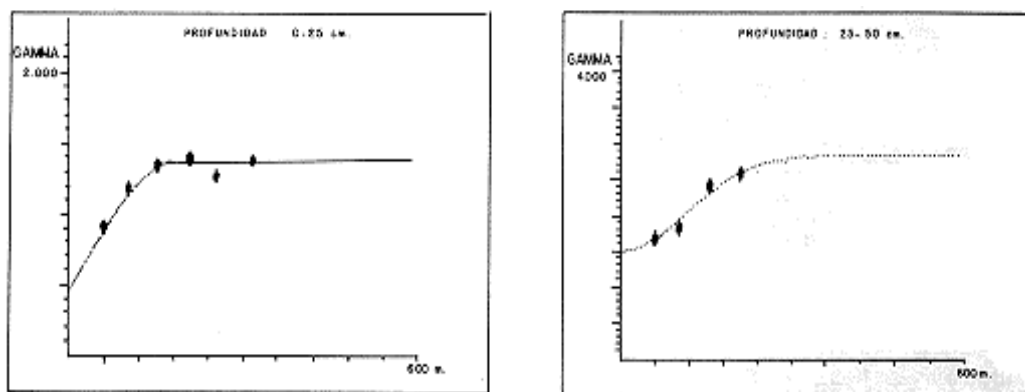


Figura 1. Semivariogramas del componente principal No. 1, ajustado a un modelo esférico (profundidad 0-25 cm) y a un modelo gaussiano (profundidad 25-50 cm).

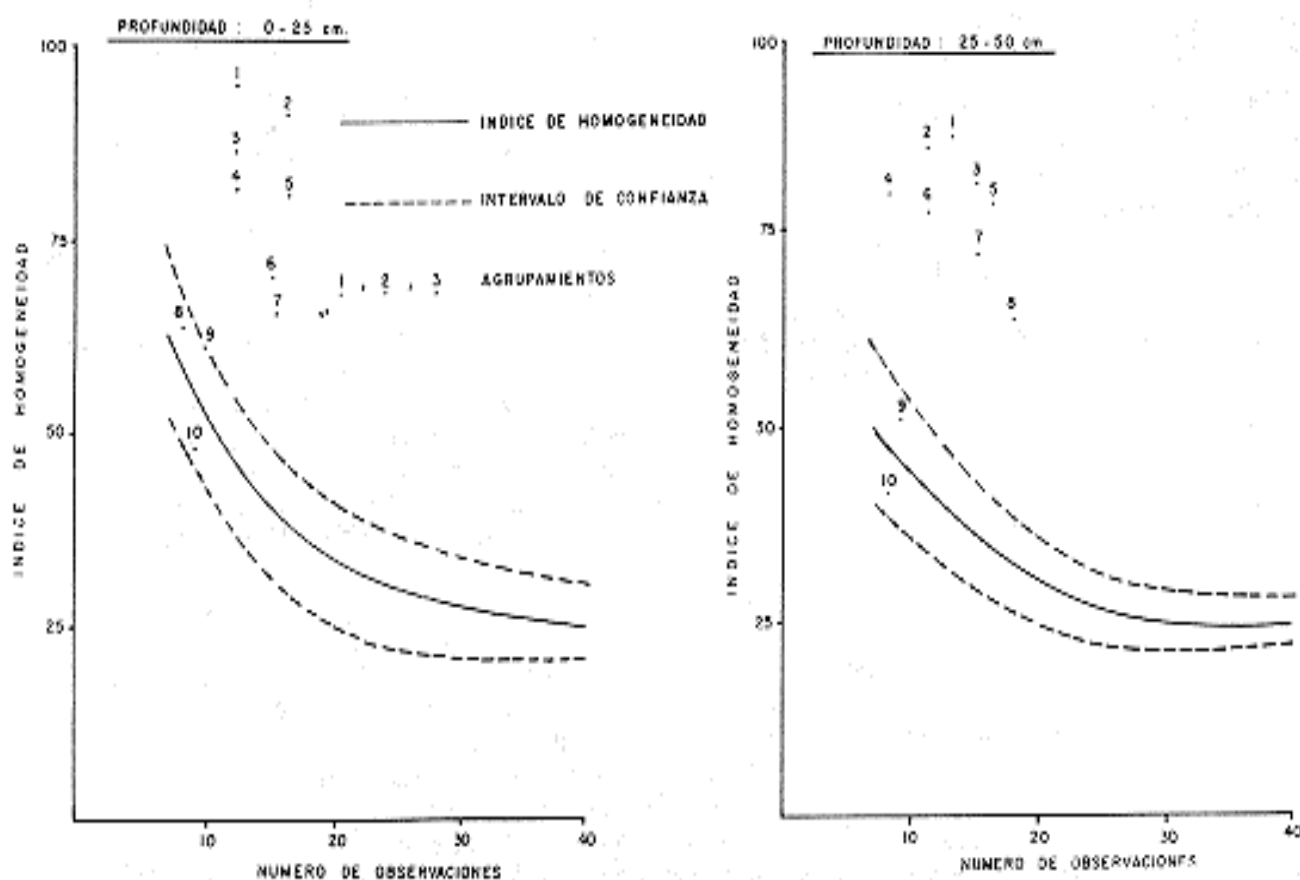


Figura 2. Variación del índice de homogeneidad e intervalos de confianza en relación al tamaño de la muestra. Índices de homogeneidad de los agrupamientos obtenidos en cada profundidad.

se tomó en consideración las direcciones de mayor y menor variabilidad, las cuales se determinaron a partir del análisis de los parámetros de los semivariogramas del componente principal No.1, en las diferentes direcciones contempladas en el paquete geoestadístico PC-GEOSTAT (Burrough y Van Keulen, 1986).

Del mencionado análisis, se pudo deducir que para la profundidad de 0-25 cm, los suelos presentan una variación isotrópica; por tal razón, para la delineación de los agrupamientos más homogéneos se le agregaron y eliminaron puntos de observación a cada ventana, considerando únicamente el nivel de referencia logrado en la realización del muestreo, hasta agrupar las observaciones en 10 núcleos. En relación a la profundidad de 25-50 cm, la variación de los suelos presenta una anisotropía zonal o verdadera, es decir, que la variación de los suelos es dependiente de la dirección, lo cual permitió detectar que la dirección de mayor variabilidad de los suelos es en el sentido Noreste- Suroeste y la dirección de menor variabilidad se presenta en el sentido Noroeste-Sureste. Por tal motivo, se le agregaron puntos de observación a cada ventana seleccionada en la dirección Noroeste-Sureste y se le fueron eliminando aquellos puntos de observación ubicados en la dirección Noreste- Suroeste, hasta obtener 10 agrupamientos.

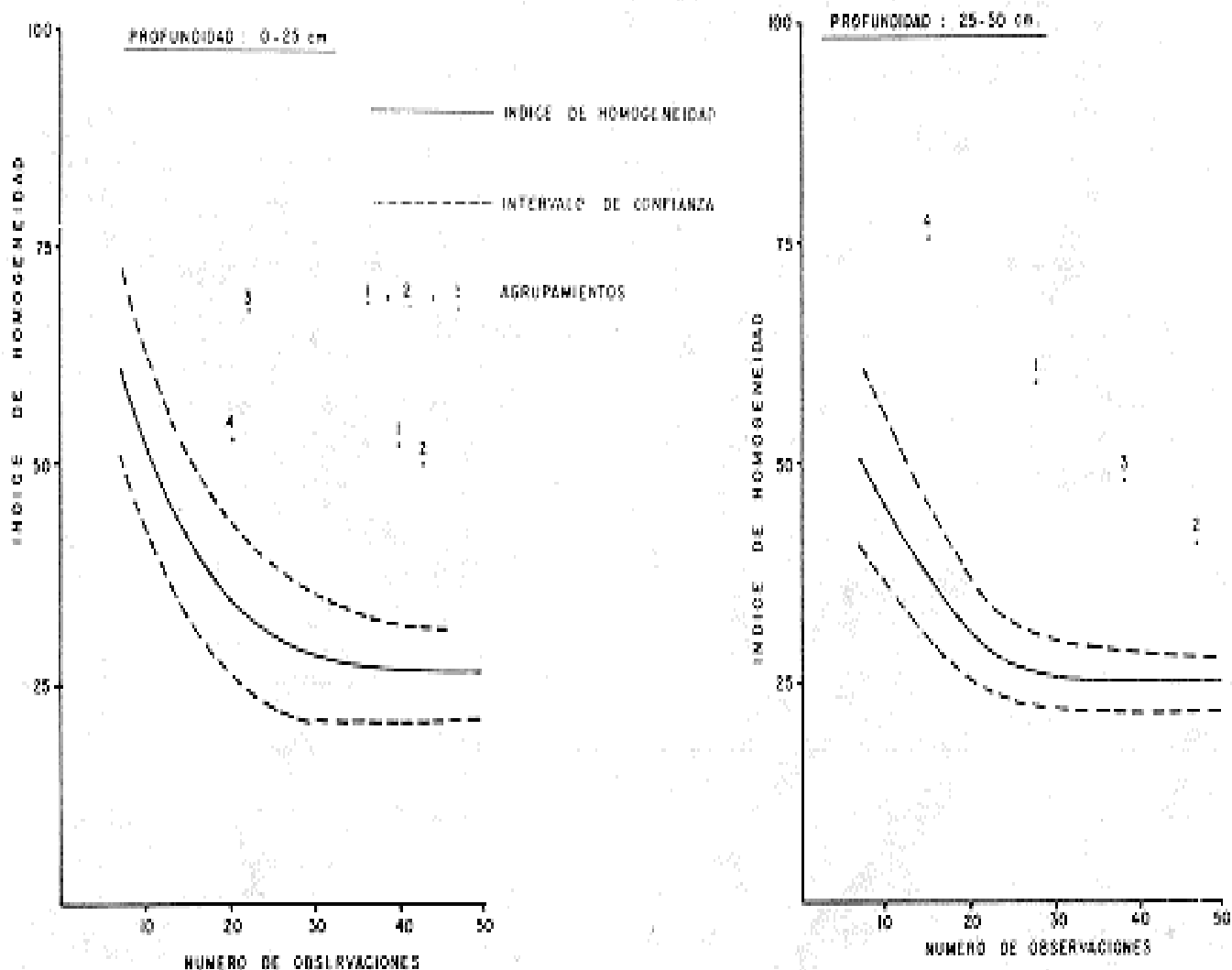


Figura 3. Variación del índice de homogeneidad e intervalo promedio e intervalos de confianza en relación al tamaño de la muestra. Índices de homogeneidad de las unidades de mapeo obtenidas en cada profundidad.

Pruebas de significación de los índices de homogeneidad obtenidos en cada agrupamiento

El valor absoluto del índice de homogeneidad no es directamente interpretable, porque depende no solo de la homogeneidad de las observaciones agrupadas, sino también del número de variables tomadas en cuenta y del número de observaciones agrupadas. Por tal razón, para comprobar si los agrupamientos logrados presentan la mayor homogeneidad interna posible, se compararon los índices de homogeneidad obtenidos en cada uno de ellos, con índices de homogeneidad que resultaron de observaciones agrupadas al azar. Para ello, se elaboró la Figura 2 la cual muestra, por una parte, la variación del promedio del índice de homogeneidad y los límites de confianza entre los cuales fluctúa dicho promedio en relación al tamaño de la muestra y por otro lado, los índices de homogeneidad obtenidos en los diferentes agrupamientos. En la Figura 2, se puede observar además que de los 20 agrupamientos obtenidos en las 2 profundidades consideradas, 5 de ellos resultaron con un índice de homogeneidad cuyo valor está por de bajo del límite superior del intervalo de confianza, lo cual significa que presentan un comportamiento similar al que correspondería si sus observaciones hubieran sido tomadas al azar.

Por las razones señaladas anteriormente, se inició un proceso de reagrupamiento de las observaciones, a través de un procedimiento de tanteo, partiendo de los agrupamientos que resultaron con índices de homogeneidad con valores por encima del límite superior del intervalo de confianza (Figura 2), hasta obtener unidades de mapeo que engloben el mayor número de observaciones posibles y cuyos índices de homogeneidad estén por encima del límite superior del intervalo de confianza. En la Figura 3, se puede observar que las unidades de mapeo obtenidas para cada profundidad considerada, presentan índices de homogeneidad con valores por encima del límite superior del intervalo de confianza, lo cual indica que son significativamente más homogéneas internamente que los agrupamientos que resultaron de observaciones tomadas al azar.

Los aspectos expuestos hasta el momento, indican que la subdivisión del área total en 4 unidades cartográficas para cada profundidad considerada, permite lograr mapas cuyas unidades deberían tener una alta capacidad para predecir los atributos del suelo contemplados en este análisis. En el Cuadro 2, se presentan los valores promedios y la variación con respecto a esa media (rango) de cada atributo analizado, para cada unidad de mapeo obtenida en la profundidad de 0-25 cm y en la Figura 4, se muestra un sector del mapa de suelos correspondiente.

Cuadro 2. Valores promedios y rangos de los atributos para cada unidad de mapeo establecida en la profundidad de 0-25

| Unidad de Mapeo | Valor | Da (gr/cm ³) | R.H. (%) | Ma (%) | Mi (%) | E.G. (%) |
|-----------------|----------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 1 | Promedio | 1.61 | 15.04 | 13.54 | 31.25 | 5.58 |
| | Rango | 1.57-1.65 | 13.52-16.56 | 10.72-16.36 | 27.91-34.59 | 2.32-8.84 |
| 2 | Promedio | 1.45 | 16.63 | 14.23 | 31.00 | 0.74 |
| | Rango | 1.40-1.50 | 15.51-17.84 | 12.62-15.84 | 28.64-33.36 | 0-1.70 |
| 3 | Promedio | 1.53 | 18.94 | 10.43 | 37.92 | 0.31 |
| | Rango | 1.48-1.58 | 1.59-20.29 | 9.37-11.53 | 36.57-39.27 | 0-0.65 |
| 4 | Promedio | 1.64 | 12.36 | 17.90 | 26.35 | 11.47 |
| | Rango | 1.60-1.69 | 11.11-13.61 | 16.20-19.60 | 23.10-29.60 | 5.96-16.98 |

| Unidad de Mapeo | Valor | a (%) | L (%) | A (%) | C.O. (%) | pH | CaCO ₃ Equiv. (%) | C.E. (dS/m) |
|-----------------|----------|-------|-------|-------|-----------|---------|------------------------------|-------------|
| 1 | Promedio | 27 | 42 | 31 | 0.99 | 7.7 | 8.62 | 1.37 |
| | Rango | 20-34 | 38-46 | 27-35 | 0.70-1.28 | 7.5-8.0 | 6.98-10.26 | 0.64-2.10 |
| 2 | Promedio | 18 | 49 | 33 | 0.92 | 7.8 | 9.86 | 1.49 |
| | Rango | 10-26 | 45-53 | 28-38 | 0.75-1.09 | 7.7-7.9 | 9.41-10.31 | 0.88-2.10 |
| 3 | Promedio | 12 | 51 | 37 | 1.13 | 7.8 | 9.64 | 2.15 |
| | Rango | 8-16 | 44-58 | 32-42 | 0.92-1.34 | 7.7-7.9 | 8.06-11.22 | 1.55-2.75 |
| 4 | Promedio | 37 | 37 | 26 | 0.82 | 7.7 | 7.88 | 0.96 |
| | Rango | 29-45 | 32-42 | 22-30 | 0.50-1.14 | 7.5-8.2 | 5.84-9.92 | 0.47-1.45 |

| Unidad de Mapeo | Valor | P (mg/kg) | K (mg/kg) | Ca (mg/kg) | Mg (mg/kg) | A.R. (m) |
|-----------------|----------|-----------|-----------|--------------|------------|---------------|
| 1 | Promedio | 32 | 341 | 7.097 | 714 | 599.13 |
| | Rango | 10-54 | 135-547 | 5.605-8.589 | 453-975 | 597.51-600.75 |
| 2 | Promedio | 15 | 173 | 7.733 | 736 | 596.96 |
| | Rango | 6.24 | 34-312 | 6.915-8.551 | 628-844 | 596.22-597.70 |
| 3 | Promedio | 37 | 231 | 8.853 | 983 | 599.64 |
| | Rango | 12-62 | 123-339 | 7.330-10.376 | 514-1.452 | 598.30-600.98 |
| 4 | Promedio | 23 | 278 | 6.340 | 584 | 599.42 |
| | Rango | 6-40 | 152-404 | 4.991-7.689 | 388-780 | 597.51-601.33 |

Comparación de las unidades de mapeo

Para probar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las unidades cartográficas definidas, se realizó un análisis de varianza multivariado. En tal sentido, para la profundidad de 0-25 cm, el valor de F resultó ser de 10,813, con una probabilidad de 0,0001 para 48 grados de libertad y para la profundidad de 25-50 cm el valor de F resultó ser de 11,728, con una probabilidad de 0,0001 para 48 grados de libertad. Todo lo cual indica que existen diferencias altamente significativas entre las unidades de mapeo establecidas en cada profundidad considerada.

Para confirmar si existen diferencias entre una unidad de mapeo determinada con respecto a las demás, se compararon los valores promedios de los atributos que definen las unidades cartográficas establecidas en cada profundidad considerada. Para lo cual se elaboró la Figura 5, graficando las dos primeras variables canónicas, obtenidas a partir de la información proporcionada en las salidas del programa SYSTAT (Wilkinson, 1986), utilizando para ello un intervalo de confianza de 99 %, el cual está representado en la mencionada Figura por un círculo con centro en el promedio de cada 3 unidad de mapeo y radio, donde n es el número de n observaciones correspondientes a cada unidad. En la Figura 5 se puede observar, por una parte, que los círculos no se superponen y por otro lado, que los mismos están separados entre sí por una distancia considerable, lo cual indica que existe una probabilidad del 99 % de que cada unidad de mapeo sea una entidad diferente a las demás.

Comprobación de la calidad de los mapas de suelos

La evaluación de la realidad de campo, mediante un muestreo completamente aleatorizado, indica que los mapas obtenidos son de calidad aceptable, debido a que la "pureza" y la proporción de suelos "fuertemente contrastantes", son adecuados en relación a los atributos seleccionados. Por lo tanto, los mapas obtenidos permiten predecir adecuadamente los rangos de valores probables de los atributos examinados en cualquier sitio de interés dentro del área estudiada.

En la Figura 6, se presenta un diagrama que sintetiza el conjunto de actividades desarrolladas en este trabajo para analizar la variabilidad espacial de los suelos y para la elaboración de mapas detallados de suelos a partir de la utilización de Índices de Homogeneidad Múltiple.

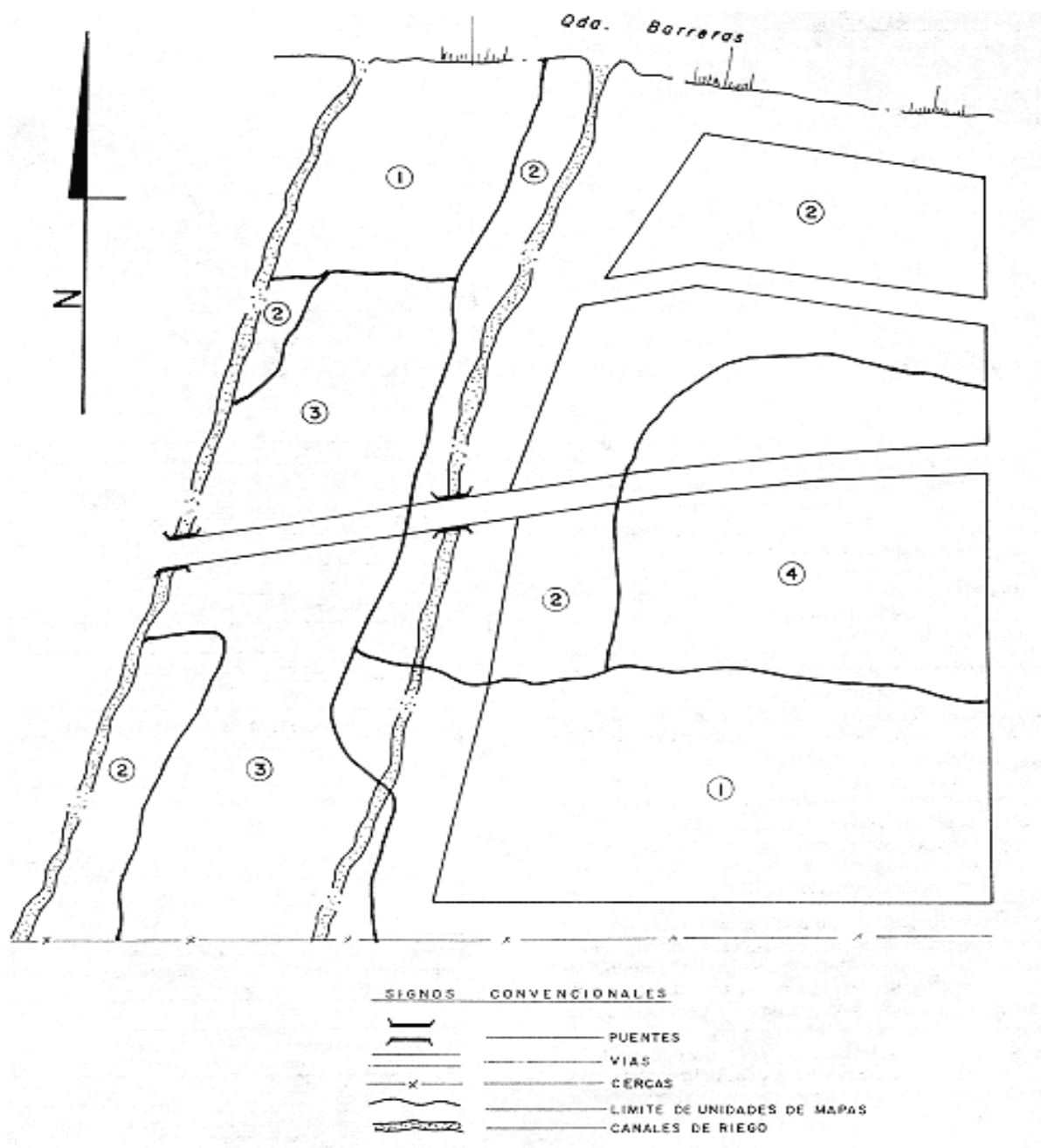


Figura 4. Sector del mapa de suelos a escala 1:2.000, correspondiente a la profundidad de 0.25 cm.

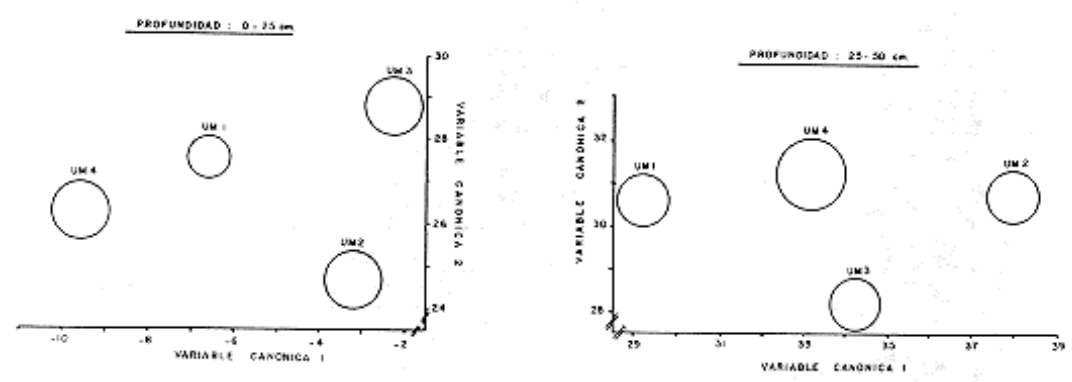


Figura 5. Valores promedio de las unidades de mapeo, usando las dos primeras variables canónicas y un intervalo de confianza del 99%, para cada profundidad

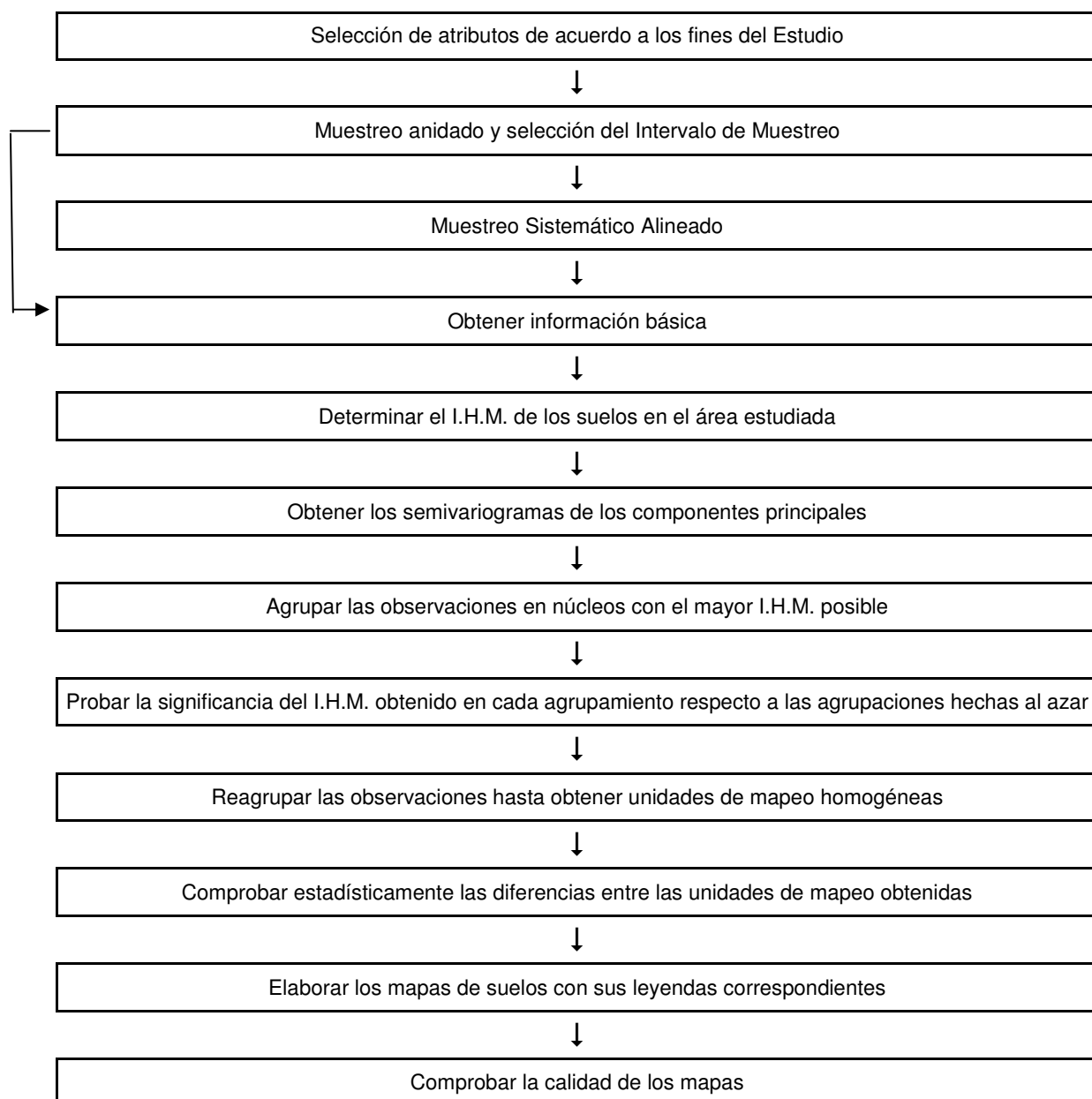


Figura 6. Procedimiento para elaborar mapas detallados de suelos a partir del Índice de Homogeneidad Múltiple (I.H.M.)

CONCLUSIONES

Para la elaboración de los mapas de suelos, a partir del índice de homogeneidad múltiple, se generó un procedimiento metodológico que permitió obtener áreas mapeables detalladamente a escala 1:2.000. El procedimiento contempla, en primera instancia, el análisis del rango de dependencia espacial de los semivariogramas del componente principal No. 1, a partir del cual se obtuvo el tamaño de una ventana para cada profundidad considerada. Se pudo detectar, a partir de los semivariogramas, que la capa superior de los suelos del área estudiada tiende a ser más homogénea e isotrópica, mientras que la capa más profunda, tiende a ser menos homogénea y con una variación dependiente de la dirección. A partir de esa información se agruparon las observaciones en núcleos con el mayor índice de homogeneidad posible.

Como el número de observaciones que conformaron los distintos agrupamientos es diferente, para poder interpretar el significado del valor absoluto del índice de homogeneidad obtenido en cada núcleo, fué necesario compararlos con índices de homogeneidad que resultaron de distintos números de observaciones agrupadas al azar. Ello permitió detectar que las observaciones de algunos núcleos iniciales presentaron un comportamiento similar a aquellas tomadas al azar. Por lo tanto, fué necesario reagruparlas hasta obtener unidades de mapeo significativamente más homogéneas que los agrupamientos que resultaron de observaciones tomadas al azar.

Los resultados obtenidos indican que es posible delinear áreas significativamente diferentes con una alta homogeneidad respecto a un conjunto de atributos considerados simultáneamente (muchos de ellos no necesariamente tomados en cuenta por la taxonomía de suelos) y lograr de esta manera unidades de mapeo que son diferentes en relación a las cualidades de la tierra consideradas como relevantes para el uso y manejo de los suelos del área estudiada. De esa forma, las delineaciones podrían servir de guía en la realización de ensayos experimentales, relacionados con el establecimiento de prácticas agronómicas.

La evaluación de la realidad de campo mediante un muestreo completamente aleatorizado, demostró que los mapas obtenidos permiten predecir adecuadamente los rangos de valores probables de los atributos examinados en cualquier sitio de interés dentro del área estudiada, para cada profundidad considerada.

Es indispensable comprobar si el procedimiento metodológico propuesto para la delimitación de áreas homogéneas es aplicable en otras condiciones, especialmente en áreas pequeñas y que requieran de una información de alta precisión.

AGRADECIMIENTO

Al doctor Graciano Elizalde, quien con su gran optimismo y disposición en la orientación, revisión y sugerencias en todas las etapas de la investigación, permitió la culminación del presente trabajo.

Igualmente quiero manifestar mi gratitud a la doctora Laura Pla y al doctor Francisco Ovalles, por sus valiosas ideas y sugerencias durante el desarrollo del trabajo.

A la Estación Experimental del Instituto de la Uva de la UCLA, por permitir que este trabajo se llevara a cabo en sus campos experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BECKETT, P.H. y R. WEBSTER. 1971. Soil variability: a review. *Soil and Fertilizers*, 34: 1-15.
- BURROUGH, P.A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford University Press, Oxford. 193 p.
- BURROUGH, P.A. y J.VAN KEULEN. 1986. PC-GEOSTAT. A geostatistical package for microcomputer. Dept. Physical Geography, University of Utrecht. The Netherlands. 97 p.
- CHATFIELD, C. y A.J. COLLINS. 1980. Introduction to multivariate analysis. Chapman and Hall. London-New York. 246 p.
- DAZA de E, M. y G. ELIZALDE. 1988. Programa I.H. para la determinación del índice de homogeneidad mediante microcomputadoras. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. UCV, Maracay. Inédito.
- GOMEZ, J.M. 1981. Estudio de suelos detallado de la Estación Experimental del Instituto de la Uva. Departamento de Suelos, Escuela de Agronomía. UCLA. Barquisimeto. 52 p.
- JAIMES, E. 1988. Estimación de la entropía propia de sistemas pedogeomorfológicos mediante índices de homogeneidad. Tesis Doctorado. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Postgrado en Ciencia del Suelo. 250 p.
- JOURNEL, G.A. y Ch. J. HUIJBREGTS. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, London. 303 p.
- MATEOS, A. 1987. Spatial analysis of soil properties for crop modelling in Venezuela. Tesis Maestría. Agricultural University of Utrecht, Woseimsen. 70 p.
- MOORMANN, F.R. y B.T. KANG. 1978. Microvariability of soil in the tropics and its agronomic implications with special reference to west Africa. In: Diversity of soils in the tropics. *Soil Sci. Soc. Am., Spec. Publi.*, 34:29-43.
- OHEP, C.A. 1987. Efecto de la labranza sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo y su incidencia sobre el comportamiento del cultivo de pimentón (*Capsicum annum* Var Yolo-Wonder) en el Tocuyo, Edo Lara. Tesis Maestría. CIDIAT, Mérida. 176 p.
- PIRE, R.C. 1985. Densidad longitudinal de raíces y extracción de humedad en un viñedo de El Tocuyo. Instituto de la Uva. UCLA. Barquisimeto. 53 p.
- PIRE, R.C. 1987. Relaciones suelo-agua-atmósfera y su efecto sobre el desarrollo de la vid en la zona de El Tocuyo. Escuela de Agronomía. UCLA. Barquisimeto. 74 p.
- PLA, L. 1986. Análisis multivariado de componentes principales. Sec. Gen. O.E.A. Prog. Reg. de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washintong, D.C. 87 p.
- STEEL, R.G. y J.H. TORRIE. 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. Traducido al Español: R. Martinez (2da Edición) McGraw-Hill. 622 p.
- TRANGMAR, B.B., R.S. YOST y G. UEHARA. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Adv. in Agronomy, Vol. 3, Academic Press, London.
- VILORIA, J. 1985. Correlación de suelos en el estudio semidetallado de la depresión del lago de Valencia. Tesis Maestría. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Postgrado en Ciencia del Suelo. 154 p.
- WEBSTER, R. 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, 3:1-70. Springer- Verlag, New York.
- WILKINSON, L. 1986. Systat: the system for statistics. Evanston, IL: SYSTAT, INC. 249 p.