

# VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA EROSIÓN POR SALPIQUE EN SUELOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO PETAQUIRE

*Spatial variability of the splash erosion in soils of the Petaquire river basin*

Luisa Fernández de Andrade<sup>1</sup> y Graciano Elizalde<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Geografía, Facultad de Humanidades y Educación, UCV, Los Chaguaramos, Caracas, Venezuela.

<sup>2</sup>Facultad de Agronomía, UCV, Área Universitaria, El Limón, Maracay.

---

## Resumen

El objetivo de este estudio fué analizar la variabilidad espacial de algunos atributos de los suelos relacionados con la erosión hídrica por salpique. Para ello se utilizaron semivariogramas con el fin de identificar la presencia o no de dependencia espacial de los valores obtenidos, analizar la representatividad de la varianza, la estacionaridad del promedio, la distancia óptima de muestreo para captar la máxima variación de: a) la pérdida de suelo por efecto del salpique de la gota de lluvia; b) el índice de separabilidad; c) los porcentajes de materia orgánica y de esqueleto grueso y d) la cobertura a ras del suelo, en cada una de las unidades de muestreo. El ensayo se estableció en suelos de la estación experimental Bajo Seco, ubicada en la parroquia Carayaca del municipio Vargas del Distrito Federal. Las parcelas estudiadas representan las cuatro combinaciones posibles entre dos tipos de suelos y dos tipos de cultivos diferentes. Los tratamientos consistieron en: suelo 1 bajo durazno, suelo 2 bajo durazno, suelo 1 bajo repollo y suelo 2 bajo repollo. El suelo 1 es representativo de una parcela donde ocurre una asociación de Orthoxic Tropudults francosa fina mixta isotérmica y Aquic Tropudults francosa fina mixta isotérmica; el suelo 2 es un Typic Tropudults francosa fina mixta isotérmica. En las cuatro áreas seleccionadas (500 m<sup>2</sup> cada una) se aplicó un muestreo sistemático en cuadrícula, con una distancia entre puntos de muestreo de 5 metros. El análisis geoestadístico reveló que la mayoría de las variables estudiadas en las diferentes unidades suelo/uso, muestran un comportamiento aleatorio con una dependencia espacial de ligera a nula, exceptuando el porcentaje de materia orgánica. Se concluye, también, que las muestras necesarias para analizar la erosión por salpique en el sector estudiado, deben estar distanciadas no menos de 20 metros, porque en caso contrario hay posibilidad de subestimar la varianza.

**Palabras claves:** Variabilidad espacial, pérdida por salpique, separabilidad, uso del suelo y erosión.

## Abstract

The objective of this investigation was to identify the spatial variability, to analyze the variance representativity, the stationarity of the mean, the optimum distance of sampling for to include greater variation of: a) the soil loss by effect of splash by raindrop; b) the index of separability, c) the characteristics of soil more related to the detachment of soil by splash (the percentage of organic matter and skeletal fraction); d) the cover soil in each one of the sampling unit. The trial was established in soils of the Bajo Seco experimental station situated in the high basin of Petaquire river (Distrito Federal, Venezuela). The samples represent soil 1 with peach, soil 2 with peach, soil 1 with cabbage and soil 2 with cabbage treatments in four selecting areas of 500 m<sup>2</sup> each. It was applied. A systematic sampling with a distance of five meters between samples was applied. The geostatistical analysis revealed that all studied variables, excepting the percentage of organic matter, in the different soil/landuse units showed random behavior with no spatial dependence.

**Key words:** Spatial variability, soil loss by splash, soil, separability, soil use and erosion.

---

## INTRODUCCIÓN

Las características agroecológicas y socioeconómicas de la región Centro Norte Costera de Venezuela, determinan que allí se desarrolle una actividad agrícola intensiva, que, juntamente con otras actividades de la densa población humana, favorecen los procesos de degradación, principalmente la erosión.

La erosión hídrica es uno de los mayores problemas que afectan estas áreas montañosas. La separación de las partículas

de suelo por el impacto de las gotas de lluvia y el inicio de su transporte por el salpique, contribuyen en forma determinante en el proceso erosivo integral. La gran cantidad de factores que afectan la separabilidad de las partículas, determina su gran variabilidad, por lo cual, si se desconoce el comportamiento espacial de esta variabilidad, difícilmente pueden aplicarse modelos que permitan comprender el proceso erosivo integral.

El análisis geoestadístico, mediante el uso de semivariogramas, es la herramienta adecuada para determinar si existe estructura espacial para las variables ambientales a través de la

identificación de la dependencia espacial, el rango de ésta, la distancia óptima de muestreo y el tamaño óptimo del área a muestrear.

Con el fin de establecer patrones espaciales de: a) pérdidas de suelo separado por salpique, b) índice de separabilidad, c) variabilidad de las características de suelo más relacionadas con esos procesos y, d) variabilidad de la cobertura a ras del suelo, se seleccionaron cuatro áreas de estudio. La experimentación se realizó con muestras de suelo superficial de la estación experimental Bajo Seco de la Facultad de Agronomía de la UCV, ubicada en la cuenca del río Petaquire, municipio Carayaca del Distrito Federal, localizada en las siguientes coordenadas geográficas: 10°27'22" de Latitud Norte y 67°11'55" de Longitud Oeste, entre los 1600 y 2300 m.s.n.m.

## REVISIÓN DE LITERATURA

En el estudio de la erosión hídrica se requiere conocer la cantidad de suelo que se separa por efecto del salpique, ya que el agente activo (la energía cinética de las gotas de lluvia) da origen al proceso de separación de las partículas de suelo que son aflojadas y transportadas en forma local. La separación del suelo por la lluvia es el subproceso dominante en la erosión (Meyer *et al.*, 1975). De esta forma se deduce que la estimación de las pérdidas de suelo por salpique puede considerarse como una medida de la erosión hídrica.

Varias técnicas han sido desarrolladas en las últimas décadas para medir la masa de sedimentos separada por el impacto de la gota de lluvia. Una de ellas consiste en el empleo de un cilindro lleno de suelo preparado bajo condiciones estándar. El extremo superior del cilindro es expuesto al impacto de lluvia simulada y se mide la cantidad de suelo removido por el impacto de las gotas de agua. Esta técnica es conocida como copas de salpicadura y fue desarrollada por Ellison (1947) quien, aplicando su metodología, desarrolla un índice de separabilidad que representa la relación entre la cantidad de suelo y la cantidad de arena estándar de tamaño entre 150 y 250 micras, separados por el impacto de la gota de lluvia.

Numerosos autores han comprobado que los atributos de los suelos generalmente no varían aleatoriamente en el espacio, sino que presentan diversos grados de dependencia espacial (Burrough, 1986; Beckett, 1976).

El análisis geoestadístico mediante el uso de los semivariogramas, permite identificar la presencia o no de dependencia espacial, el rango de la dependencia espacial, la distancia óptima de muestreo y el tamaño óptimo del área a muestrear para diferentes características del suelo. En un semivariograma ideal, la semivarianza crece con la distancia entre las muestras, hasta alcanzar una distancia "a" denominada rango, un valor constante igual a la varianza. Este rango es la distancia dentro de la cual existe dependencia espacial (Burrough, 1986). En ciertos casos, los semivariogramas muestran un patrón ascendente, que puede deberse al aumento de la semivarianza con la distancia (en el caso que exista una estacionaridad del prome-

dio) o, en casos de falta de estacionaridad del promedio, es el reflejo de una tendencia a la variación continua en el espacio de la propiedad estudiada. Para corregir el error producido por esta tendencia, Samra y Karnal (1990) proponen que, antes de interpretar cualquier semivariograma con patrón ascendente, se hace necesario someter los datos a un tratamiento estadístico, que ellos definen, para corregir la falta de estacionaridad del promedio, si la hubiera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experimentación se realizó sobre muestras de suelos, tomadas entre mayo y noviembre de 1992, con suelo superficial (primeros 10 cm) de la Estación Experimental Bajo Seco. Las muestras de suelo fueron tomadas en cuatro áreas de 25 x 20 metros cada una, previamente seleccionadas considerando dos tipos diferentes de usos de la tierra: cultivo permanente (durazno) y anual mecanizado (repollo) en 2 unidades de suelo diferentes. En total, el muestreo se realizó en 4 unidades que combinan los dos tipos de suelo con los dos tipos de uso: a) unidad suelo 1-uso durazno; b) unidad suelo 2-uso durazno; c) unidad suelo 1-uso repollo y d) unidad suelo 2-uso repollo.

La unidad de suelo 1, está constituida por suelos clasificados como Orthoxic Tropudults francosa fina mixta isotérmica y Aquic Tropudults francosa fina mixta isotérmica, que un análisis de agrupamiento (cluster) indicó como muy similares. El suelo 2 correspondió a un Typic Tropudults francosa fina mixta isotérmica. La información necesaria para ubicar los sitios de muestreo fue tomada de los estudios de suelos detallados realizados por Abreu y Ojeda (1984) y Henríquez y Serrano (1986).

Para la obtención de los datos de pérdidas de suelo por salpique, se desarrolló y aplicó el procedimiento metodológico de los cilindros de separación, modificando la metodología de Ellison (1947) con la cual se determina el índice de separabilidad. La metodología desarrollada consiste en el llenado del cilindro con un tomamuestra tipo Uhland de 7,5 cm de diámetro y 7,5 cm de alto, obteniéndose así una muestra de suelo no alterada que conserva las características de campo del suelo superficial (agregación, cobertura a ras del suelo, entre otras). Este cilindro se sometió a lluvias simuladas y por diferencia de peso seco antes y después de la lluvia, se calculó el suelo separado (perdido) por salpique.

El índice de separabilidad se determinó sobre muestras de suelo alterado, mediante el método de Ellison (1947), descrito anteriormente en la revisión de literatura.

El número total de datos obtenidos proviene de 120 copas de suelo alterado (30 por cada unidad suelo-uso) y el número total de cilindros de suelo no alterado fue de 360 (30 por cada unidad suelo-uso con 3 replicaciones). Cada muestra corresponde a un punto de un muestreo sistemático en cuadrículas de 5 x 5 metros, realizado en cada una de las cuatro áreas seleccionadas.

En cada una de las muestras se determinó el porcentaje de materia orgánica por combustión húmeda, el porcentaje de

esqueleto grueso (partículas mayores a 2 mm) por tamizado en seco, el índice de separabilidad (relación entre la cantidad de suelo y la cantidad de arena de tamaño entre 150 y 250 micras, separadas por el impacto de la gota de lluvia simulada), la cantidad en gramos de suelo separado por salpique y el porcentaje de cobertura a ras del suelo de las muestras no alteradas, estimado a partir del conteo de los puntos obtenidos por una malla superpuesta a la copa de suelo no alterado; se consideró “cobertura” a la presencia de piedras, trozos de tallos, hojas, por encima de la superficie del suelo.

Se utilizaron semivariogramas para identificar la presencia o no de dependencia espacial de los valores obtenidos, la representatividad de la varianza, la estacionaridad del promedio y la distancia óptima de muestreo para captar la máxima variación. En los casos de semivariogramas con marcadas tendencias ascendentes de los datos, les fue aplicada la transformación estadística recomendada por Samra y Karnal (1990), la cual permite comprobar si la tendencia ascendente es debida a la falta de estacionaridad del promedio o es el comportamiento característico de la variable en el espacio. Con los resultados obtenidos de esta transformación se elaboraron los “semivariogramas de los residuos” de las diferentes variables estudiadas. La interpretación presentada en este trabajo, se refiere siempre a este tipo de semivariograma.

Para calcular la semivarianza (tanto de los valores originales como de los transformados) y hacer los gráficos correspondientes, se utilizó un programa de macrocomandos de una hoja de cálculos (Daza, 1993).

En cada uno de los semivariogramas, además de los valores de semivarianza de los datos transformados, se graficó la varianza de la población de datos utilizados para el cálculo de las semivarianzas; esta última está representada en cada semivariograma por una línea horizontal de puntos discontinuos a la altura de la ordenada correspondiente.

Debido al número de muestras relativamente bajo, el patrón de los semivariogramas presenta fluctuaciones en los valores de la semivarianza calculados para cada distancia, sin embargo, la tendencia de los semivariogramas puede apreciarse claramente.

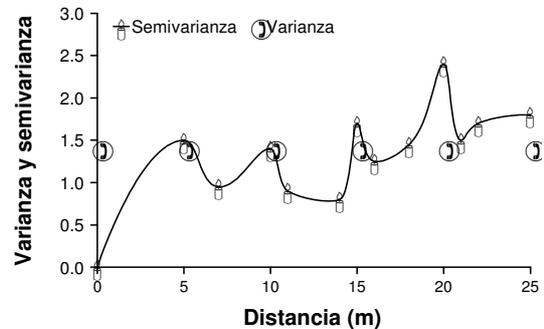
En todas las gráficas se marcó el inicio del semivariograma en el origen (abscisa 0 y ordenada 0), respetando el axioma según el cual todo objeto, en un momento dado, es siempre igual a sí mismo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de los semivariogramas se deduce lo siguiente:

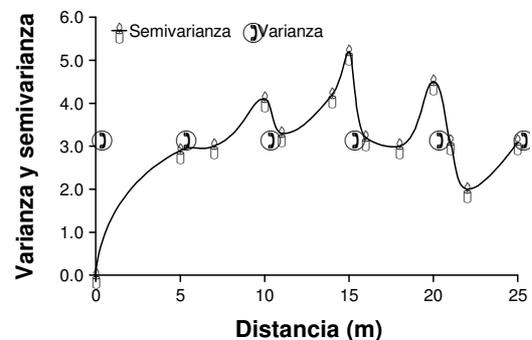
Los valores de los residuos de semivarianza de la variable “suelo separado por salpique” en los suelos 1 y 2 con uso durazno, presentan una tendencia ascendente, indicando un aumento de la semivarianza con la distancia. En el caso de la

unidad de suelo 1 (Orthoxic Tropudults francosa fina mixta isotérmica y Aquic Tropudults francosa fina mixta isotérmica), la estructura del semivariograma es compleja, donde los valores de semivarianza son independientes de la distancia entre muestras cuando ésta es menor de 15 m, pero hay dependencia espacial a partir de esa distancia (Figura 1).



**Figura 1.** Semivariograma que muestra el comportamiento de la variable “suelo separado por salpique” en el suelo 1 bajo durazno y su varianza.

En el caso de la unidad de suelo 2 (Typic Tropudults francosa fina mixta isotérmica), hay un comportamiento más ortodoxo, con un intervalo de dependencia espacial que se extiende hasta los 15 metros y luego hay independencia hasta el final del semivariograma (Figura 2).



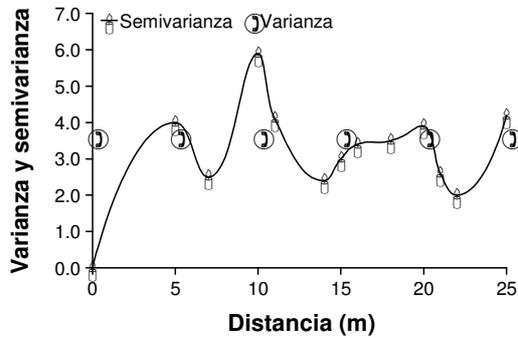
**Figura 2.** Semivariograma que muestra el comportamiento de la variable “suelo separado por salpique” en el suelo 2 bajo durazno y su varianza.

De los semivariogramas para las unidades suelo 1 y 2 con uso hortícola (repollo) se deduce que en ambos casos los datos se distribuyen al azar (Figuras 3 y 4). Se trata de valores con promedio estacionario, donde no se presenta, en el rango investigado, comprendido entre 5 y 25 m, dependencia espacial en la variable cantidad de suelo separado por salpique.

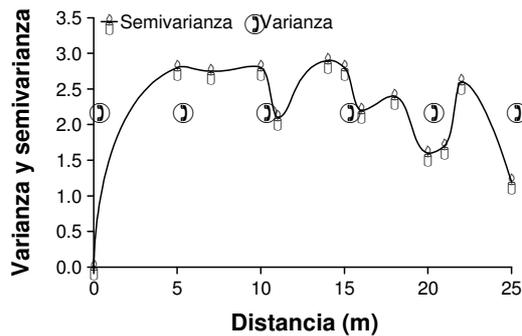
La comparación visual de la tendencia de las semivarianzas con la varianza de la muestra, indica que para captar la máxima variabilidad del suelo separado por salpique, principalmente en las unidades cultivadas con durazno, las muestras

deben estar separadas más de 15 m. entre si. Cuando el cultivo es repollo puede captarse toda la varianza de esta variable aún con muestras separadas solamente 5 metros entre si.

Estos resultados sugieren que las prácticas de manejo relacionadas con el tipo de cultivo (preparación de tierra con rotocultor y agregado de estiércol en las hortalizas) influyen más que el tipo de suelo en la variabilidad espacial de la pérdida de suelo por salpique.



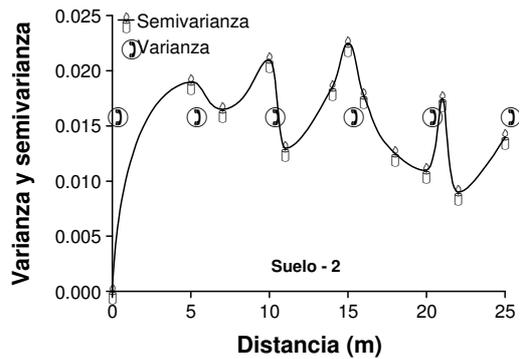
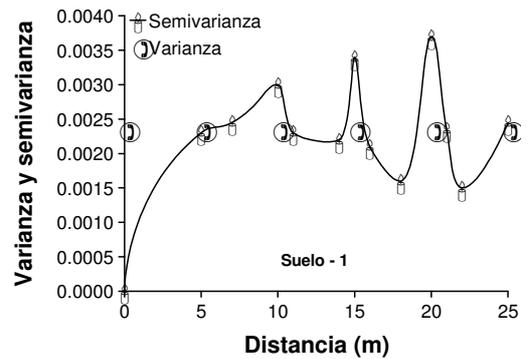
**Figura 3.** Semivariograma que muestra el comportamiento de la variable “suelo separado por salpique” en el suelo 1 bajo repollo y su varianza.



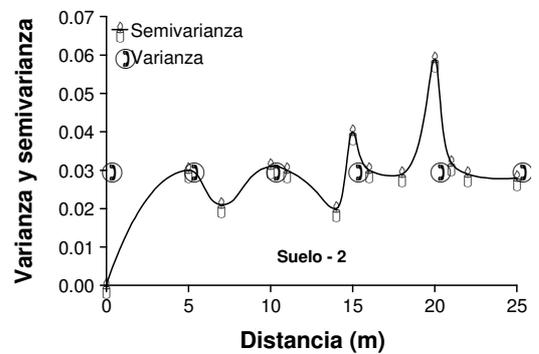
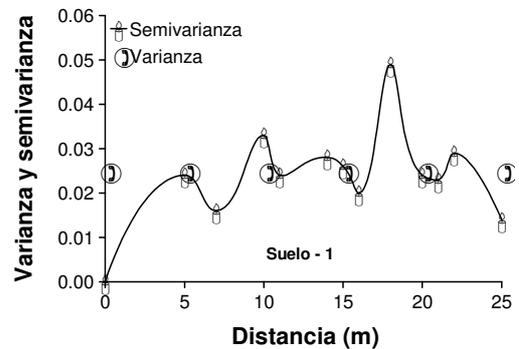
**Figura 4.** Semivariograma que muestra el comportamiento de la variable “suelo separado por salpique” en el suelo 2 bajo repollo y su varianza.

Los valores de los residuos de semivarianza de la variable “índice de separabilidad” en las diferentes unidades estudiadas, indicaron que las variables en las unidades bajo uso permanente presentan una distribución espacial aleatoria, lo cual es indicativo de su independencia espacial (Figura 5).

En las unidades bajo uso hortícola, se presenta una ligera tendencia al aumento de la semivarianza con la distancia, existiendo, por lo tanto, una dependencia espacial, también ligera, que establece la necesidad de espaciar las muestras por lo menos 15 a 20 m para captar la máxima varianza (Figura 6). Estos resultados también sugieren que las prácticas de manejo relacionadas con el tipo de cultivo influyen más que el tipo de suelo en la variabilidad espacial del índice de separabilidad.

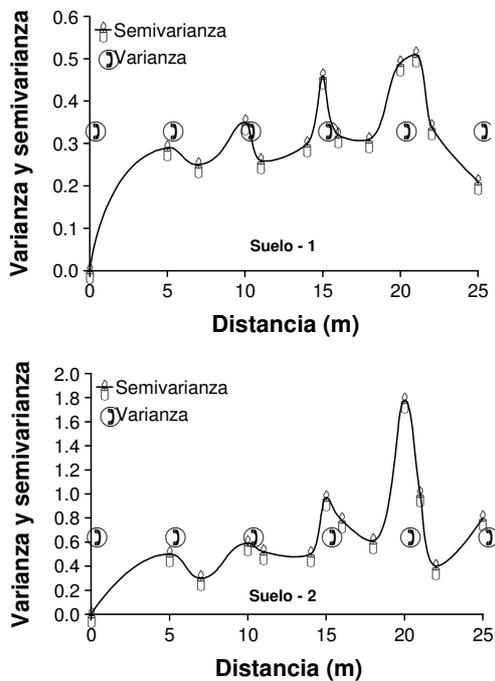


**Figura 5.** Semivariogramas que muestran el comportamiento de la variable “índice de separabilidad” en los suelos 1 y 2 bajo cultivo permanente (durazno) y su varianza



**Figura 6.** Semivariogramas que muestran el comportamiento de la variable “índice de separabilidad” en los suelos 1 y 2 bajo cultivo hortícola anual (repollo) y su varianza.

En los semivariogramas correspondientes a los “porcentajes de materia orgánica” corregidos por la transformación de Samra y Karnal (1990) en cada una de las unidades suelo/uso (Figuras 7 y 8) se puede observar una tendencia al ascenso directamente proporcional a la distancia entre muestras. Ello indica que la materia orgánica no se distribuye al azar, sino que tiene un grado medible de dependencia espacial, con un rango comprendido aproximadamente entre 15 y 25 metros.

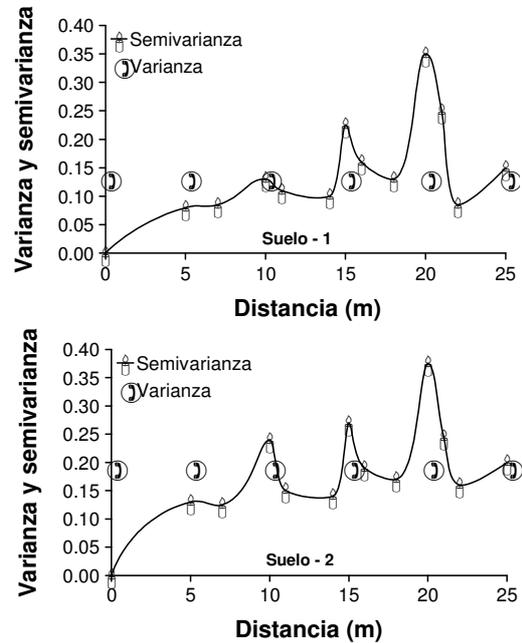


**Figura 7.** Semivariogramas que muestran el comportamiento de la variable “porcentaje de materia orgánica” en los suelos 1 y 2 bajo cultivo permanente (durazno) y su varianza.

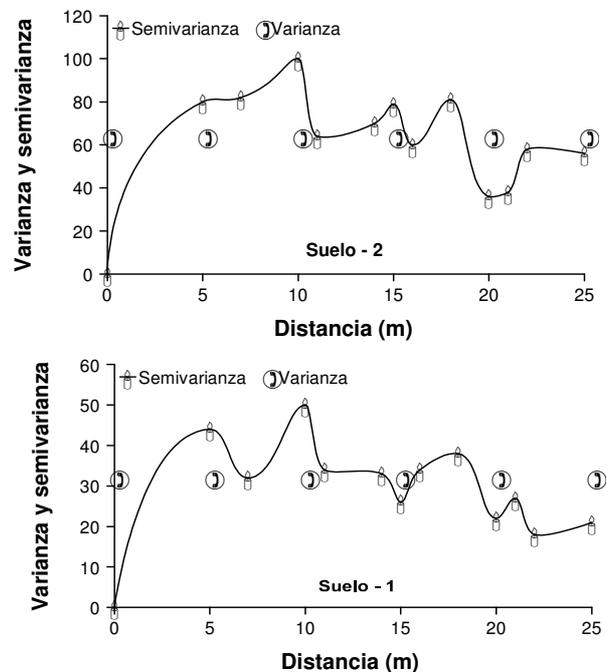
La varianza por sí sola no es representativa de la dispersión real de los valores, porque en todos los casos, los puntos distanciados menos de 10 o 15 m son más similares entre sí que aquellos más distanciados. De acuerdo a los resultados, el muestreo óptimo para estimar la máxima variación con el menor número de muestras, sería una malla con puntos separados entre 15 y 25 m. Para la interpretación de este resultado debe ser tomado en cuenta que ambos tipos de manejo incluyen el agregado de materia orgánica (estiércol). Posiblemente dicha práctica explica la similitud del comportamiento espacial de esta variable entre tipos de uso.

Analizando los semivariogramas correspondientes al atributo “porcentaje de esqueleto grueso” (Figuras 9 y 10) para las 4 unidades de muestreo, se evidencia un comportamiento aleatorio, por lo tanto no existe una dependencia espacial, lo que correspondería a una distribución al azar de esta variable. En los dos tipos de manejo, la varianza indica que el suelo 1 es más homogéneo que el 2, en cuanto al porcentaje de esqueleto grueso, bajo un mismo uso. Además, la varianza de los suelos bajo uso hortícola es menor que bajo uso permanente. Este resultado concuerda con la costumbre de proceder habitualmente al despiedre con más intensidad y cuidado en las parcelas para

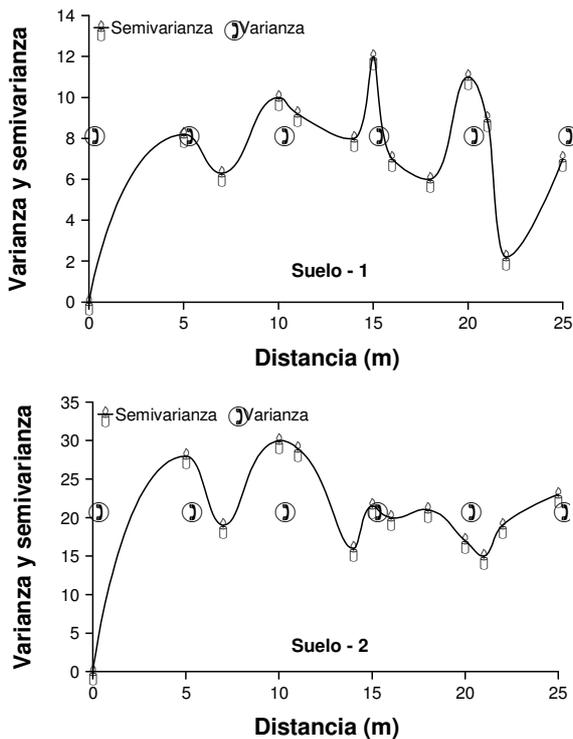
hortalizas, que requieren manejo más intensivo. Por otra parte, la semivarianza indica que las muestras distanciadas entre 20 y 25 m son más similares entre sí que las más cercanas; ello refleja, también, la costumbre de apilar las piedras en fajas o montones en los bordes de los canteros o paños, determinando por lo tanto, una distribución heterogénea del esqueleto grueso.



**Figura 8.** Semivariogramas que muestran el comportamiento de la variable “porcentaje de materia orgánica” en los suelos 1 y 2 bajo cultivo hortícola (repollo) y su varianza.



**Figura 9.** Semivariogramas que muestran el comportamiento de la variable “porcentaje de esqueleto grueso” en los suelos 1 y 2 bajo cultivo permanente (durazno) y su varianza.



**Figura 10.** Semivariogramas que muestran el comportamiento de la variable “porcentaje de esqueleto grueso” en los suelos 1 y 2 bajo cultivo hortícola (repollo) y su varianza.

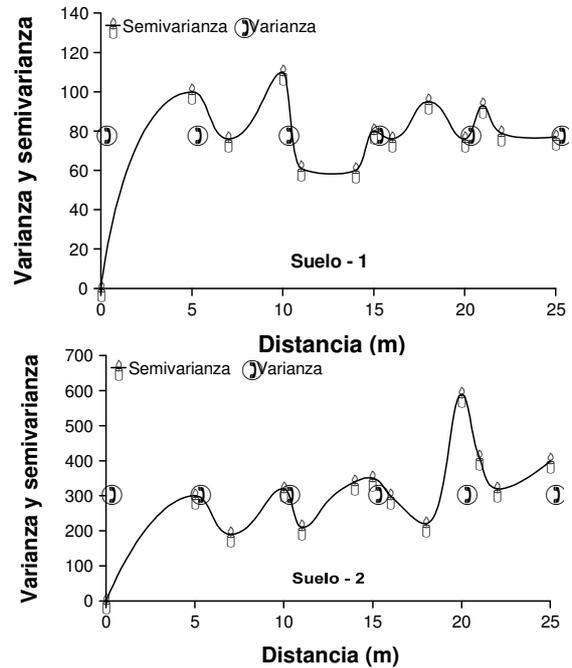
En los semivariogramas de los datos porcentuales de “cobertura total a ras del suelo” de las unidades suelo 1 y 2 bajo uso permanente (durazno), la transformación de Samra y Karnal (1990) dio como resultado una tendencia aleatoria en el caso del suelo 1/durazno, mientras que en el suelo 2/durazno se evidencia una cierta dependencia espacial de la cobertura a ras del suelo con la distancia, aún después de la corrección indicada (Figura 11).

Los semivariogramas de los porcentajes de cobertura total en el uso hortícola (Figura 12), indican un comportamiento aleatorio, por lo tanto no hay dependencia espacial en ninguno de los dos suelos. En el semivariograma de la cobertura vegetal a ras del suelo para la unidad suelo 1/repollo, se presenta que a mayor distancia entre las muestras hay mayor similitud entre ellas. Ello refleja una situación similar a la encontrada respecto al porcentaje de esqueleto grueso y comentada en párrafos anteriores; en este caso pareciera que existe una estructura formada por las muestras que se encuentran a menos de 15 metros, cuya varianza es aproximadamente 85 y otra estructura integrada por muestras separadas más de 15 metros, cuya varianza es del orden de 55.

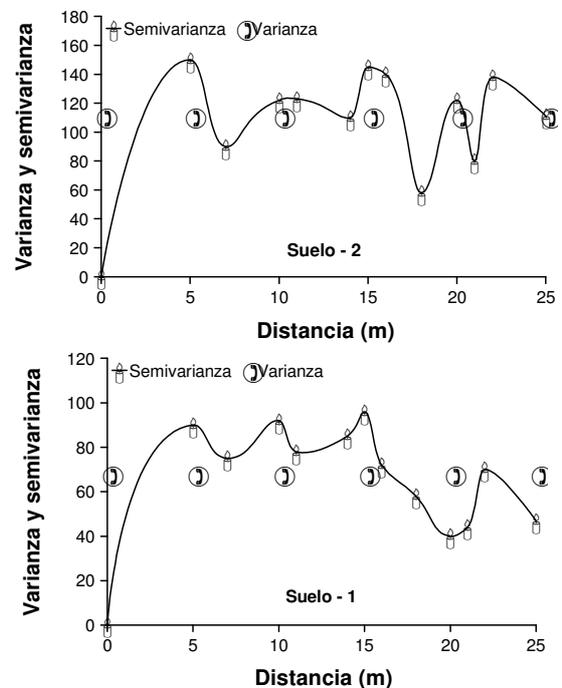
### CONCLUSIONES

El análisis geoestadístico reveló que la mayoría de las variables estudiadas en las diferentes unidades suelo/uso, exceptuando principalmente el porcentaje de materia orgánica, muestran un comportamiento aleatorio con una ligera a nula dependencia espacial. Los resultados muestran que las prác-

ticas de manejo influyen sobre el comportamiento espacial de las pérdidas de suelo por salpique y el índice de separabilidad, así como sobre la varianza del porcentaje de esqueleto grueso.



**Figura 11.** Semivariogramas que muestran el comportamiento de la variable “porcentaje de cobertura a ras del suelo” en los suelos 1 y 2 bajo cultivo permanente (durazno) y su varianza.



**Figura 12.** Semivariogramas que muestran el comportamiento de la variable “porcentaje de esqueleto grueso” en los suelos 1 y 2 bajo cultivo hortícola (repollo) y su varianza.

La materia orgánica no mantiene su promedio estacional y posee dependencia espacial, independientemente del tipo de suelo y de manejo.

Dadas las características de los semivariogramas, las muestras necesarias para analizar la erosión por salpique en el sector estudiado, deberían estar distanciadas no menos de 20m, ya que a menor distancia, la incidencia de la dependencia espacial constatada en algunas de las variables analizadas, determinará una subestimación de la varianza calculada.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento obtenido para esta investigación por parte del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela.

#### LITERATURA CITADA

**Abreu, X. y E. Ojeda.** 1984. Los suelos de la Estación Experimental Bajo Seco. Cotas 1720 a 1900 m.s.n.m. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay, Venezuela. 204 páginas.

**Beckett, P.** 1976 Soil Survey. Agric.Progr. 51:33-49.

**Burrough, P.** 1986. Principles of geographical information systems land resources assessment. Clarendon Press Oxford.

**Daza, M.** 1993. Cálculo de semivarianza por medio de hojas de cálculo. Inédito.

**Ellison, W.** 1947. Soil erosion. Soil Sci. Am. Proc. 12: 479-484.

**Henríquez, M. y J. Serrano.** 1986. Estudio agrológico detallado de la Estación Experimental Bajo Seco. Cotas 1900-2300. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay, Venezuela. 142 páginas.

**Meyer, L., G. Foster y S. Nicolov.** 1975. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. Trans. ASEE 18: 905-104 p.

**Samra, J. y V. Karnal.** 1990. Spatial dependence of soil reclamation. Soil Technology. Vol. 3: 153-165.