

LA VARIABILIDAD ESPACIAL EN EL ESTUDIO DE LA CONDICION FISICA DEL SUELO

Edgar E. Madero M. ¹ - Oscar A. Herrera G. ¹
- Alirio Castaño C. ²

COMPENDIO

252

En un vertisol coherente (Hapluster típico isohipertérmico franco fino 1%) del Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (CEUNP) durante 1996-2 se utilizó labranza vertical (cincel); se estudiaron indicadores físicos a 15 - 25 cm. Para los muestreos del suelo y del rendimiento de maíz se siguió la metodología de la variable regionalizada; los resultados se analizaron utilizando los diagramas de interpolación simple (kriging). La geoestadística es muy versátil y brinda confiabilidad en los resultados. La labranza vertical en la mayor parte del área fue más favorable frente a la convencional en lo referente al acondicionamiento (mayor penetrabilidad sin degradación de las propiedades físicas) de una cama de raíces coherente. No se encontró efecto de los métodos de labranza sobre el rendimiento. Materia orgánica, arcilla y limo influyeron sobre la plasticidad y dispersión arcillosa y por ende en la respuesta del suelo a los esfuerzos mecánicos.

Palabras clave : Geoestadística, labranza vertical, vertisol coherente, propiedades físicas

ABSTRACT

THE SPATIAL VARIABILITY IN STUDIES OF SOIL PHYSICAL CONDITION

The testing procedure was carried out in 1996-2 at the experimental station of the Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira using vertical tillage (by chiseling) in coherent vertisol (Typic Hapluster isohiperthermic fine loamy 1%). Eight physical properties in depth of 15-25 cm were studied. The sampling methodology for soil physical properties and corn yield accounted the regionalized variable, and the analysis of results was carried out accounting a map of each variable. The results proved that geostatistics is versatile and give accuracy results. It showed in most of the area that vertical tillage was more favorable than conventional tillage to improve coherence (more soil penetrability without degradation) in seedbed zone. It was not found influence over corn yield. Soil organic matter clay and silt had influence over the soil response to mechanical strengths

Keys Words : Geostatistics, vertical tillage, coherent vertisol, physical properties

INTRODUCCION

En Colombia la preparación de los suelos se ha realizado de manera poco conservacionista. Los métodos y equipos de preparación se han adaptado empíricamente sin tener en cuenta la incidencia sobre el suelo y los cultivos. Fenómenos como compactación, pérdida de la estructura, erosión y otros, se pueden presentar cuando el agricultor no tiene en cuenta factores como humedad, tipo de suelo, pendiente, cultivo, etc., a la hora de preparar el suelo.

Los métodos de labranza no siempre presentan el mismo efecto sobre las propiedades físicas del suelo (González y Terreros, 1986; Meneses, 1988; Amézquita,

1991 y Carrillo *et al.*, 1997) La labranza reducida o mínima y la cero labranza parecen tener mejores efectos en suelos con arcillas volcánicas, la labranza completa parece ser apropiada en suelos con arcillas expandibles.

El trabajo que Carrillo *et al.* (1997), llevaron a cabo en un Hapluster típico isohipertérmico franco fino/franco mezclado, encontraron que la labranza vertical en dos modalidades (con arado de discos más cincel y cincel solo) proporcionó los mejores efectos sobre la compactación superficial y el endurecimiento subsuperficial.

Los efectos de los métodos de labranza sobre variables de respuesta de los cultivos tales como, longi-

¹ Profesores Asociados, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. AA. 237. ² Estudiante de Pregrado Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira

tud y penetración de raíces, estado fitosanitario, presencia de malezas, altura de plantas y rendimiento final, varían según el tipo de suelo en donde hayan sido realizados los ensayos

A escala experimental, el suelo se ha considerado por la estadística Fisheriana como un factor no controlado y cualquier variación se piensa que se puede manejar por la aleatorización de las muestras ignorando su localización. Con el análisis de la variable regionalizada (Nielsen, 1998), las muestras no se colectan al azar; con ello se puede obtener una estructura espacial de la varianza e información útil acerca del número de muestras, la época de muestreo, el lugar de muestreo, el dominio de cada muestra, la utilidad de una muestra en relación con un modelo conceptual y la utilidad de ésta en relación con la muestra.

Los principios de la geoestadística toman en cuenta la dependencia espacial entre observaciones separadas; mientras más cercanas pueden ser más similares. La tasa de cambio promedio de la variable regionalizada³ se puede estimar con la semivarianza. La semivarianza mide la similitud entre observaciones situadas a determinada distancia; mientras más similares sean las observaciones, menor es la semivarianza. La semivarianza no es más que la varianza de las diferencias de valores de una propiedad entre pares de observaciones.

El método de coleccionar muestras o hacer medidas para análisis geoestadístico se lleva a cabo de acuerdo con un plano espacial, siguiendo un muestreo o medida regionalizada, y puede ser de dos formas:

- Siguiendo transectos en cada dirección X, pudiendo ser cada punto de muestreo o medida equidistante de otro, en una distancia L denominada "Lag" (espacio).
- Siguiendo un "grid" (red o cuadrícula) en las direcciones X, Y; cada medida se puede espaciar una distancia L ("Lag") constante (Nielsen *et al.*, 1983).

El muestreo a una distancia constante no es estrictamente necesario en los dos casos, si se conoce la posición relativa de cada muestra. Los dos métodos facilitan los cálculos y análisis futuros, y tienen la ventaja de mantener constante la intensidad de muestreo. Además, existe la posibilidad de evaluar la dependencia entre observaciones y estudiar la estructura de la varianza (Reichardt *et al.*, 1986).

Con la información derivada de los semivariogramas ajustados (amplitud, umbral, varianza aleatoria), se

pueden estimar valores en los sitios donde no se coleccionaron muestras, utilizando el proceso de interpolación conocido como Kriging puntual, generándose diagramas de las estimaciones y errores asociados con la estimación (Vieira *et al.*, 1982; Nielsen *et al.*, 1983).

La interpolación ponderada, relacionada con la estructura cuantitativa de la variabilidad espacial de los valores de un parámetro ("Kriging"), la presentó Krige en 1966 para evaluar vetas mineras y la extendieron a situaciones de suelos cultivados, Webster y Burges en 1980.

Los mapas isorrítmicos basados en la interpolación ponderada Kriging se sitúan entre las técnicas de separación de unidades de suelo de relativa homogeneidad en relación con la variabilidad espacial de los valores de algún parámetro. El método de interpolación por Kriging permite obtener el "error de estipulación" para cada punto interpolado.

La función semivariograma se utiliza en la interpolación ponderada entre valores medidos en puntos diferentes en el campo, técnica que permite además, separar unidades homogéneas de algún parámetro. Unidades homogéneas diferenciadas que reciban un manejo agrícola adecuado a sus características específicas, implican en muchos casos mejores rendimientos y uso más eficiente de los recursos productivos (Gurovich, 1982).

Se pretende con esta investigación evaluar los efectos de la labranza vertical sobre un vertisol típico de la parte plana del Valle del Cauca, mediante un muestreo intensivo empleando la geoestadística para analizar algunas propiedades del suelo y visualizar geográficamente el efecto de un tratamiento sobre una variable.

METODOLOGIA

La investigación se realizó en un Haplustert típico isohipertérmico franco fino/franco mezclado 1% con alta coherencia subsuperficial (15-25 cm); ubicado en el Centro Experimental de la Universidad de Colombia Sede Palmira (CEUNP), localizado en Candelaria, Valle del Cauca, en las coordenadas geográficas 2°06' L.N. y 65°03' L.O.

Los dos tratamientos (Labranza convencional: un pase con arado de discos, cuatro pases de rastra pesada y dos de pulidor y Labranza cincel: un pase con arado cincel, cuatro con rastra pesada y dos de puli-

3 Una variable regionalizada es una función que describe un fenómeno natural geográficamente distribuido

dor) se asignaron en un orden determinado que facilitara los desplazamientos del equipo en la realización de la labranza en un área de 200 m².

El rendimiento se midió en peso de maíz - fresco por planta (g/planta) a la humedad de cosecha. Para el muestreo, primero se halló las coordenadas a cada una de las plantas y con esta información, posteriormente se procedió a estudiar la variabilidad espacial del rendimiento.

Se efectuaron los muestreos para determinar los siguientes indicadores físicos: textura, materia orgánica, humedad al momento del muestreo, penetrabilidad, densidad aparente, coeficiente de dispersión, límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad, este muestreo se realizó en condiciones cercanas a máxima retención de humedad, siguiendo una red de 100 puntos a la profundidad de 15-25 cm. La metodología de caracterización utilizada fue la descrita por González (1985).

Las características físicas del suelo y el rendimiento se analizaron con la metodología de variable regionalizada o geoestadística, empleando el programa de computadora 65*Professional versión 2.3b Copyright Gamma Design Software Inc. , 1990-199. Cada mapa se superpuso con los demás para obtener nuevos mapas que hicieran posible determinar, en primer lugar, las áreas de influencia de los coloides sobre las demás características; y posteriormente, analizar el efecto de los tratamientos.

En relación con la evolución en el tiempo de algunos indicadores físicos del suelo, se compararon los datos del semestre agrícola 1995-2, (Carrillo et al, 1997), con los logrados en el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Labranza Convencional

El 25% del área presentó compactación de ligera a severa (Figura 1a) en lo que se refiere al aumento del índice de penetrabilidad en las zonas más húmedas; con incrementos fuertes del índice de penetrabilidad (20% del área) de 0.38 - 1.24 a 1.25 - 2.10 MPa, se presentaron incrementos en el contenido de arena más limo, de 64.48 - 66.08 a 66.08 - 67.68% y el límite plástico fue más bajo (figura 1b), factores que pesaron sobre la respuesta negativa del suelo a la labranza.

Los mapas de materia orgánica y límite plástico registraron, en el 65% del área de la parcela, relación directa (Figura 1b), lo cual indica la buena salud física del suelo y la adecuada estabilidad para resistir los esfuerzos de la labranza.

En cuanto a la evolución en el tiempo de los indicadores físicos de la labranza convencional, los tres disminuyeron sustancialmente en el área de la parcela, evolución positiva que puede atribuirse a que en 1995-2 la labranza se realizó en condiciones de humedad excesiva (Cuadro 1).

Labranza Cincel

Presentó 40% del área con ligera degradación (compactación) referenciada por los cambios del índice de penetrabilidad en los espacios de humedad constante; el área restante no mostró ninguna restricción (Figura 2); El índice de penetrabilidad incrementó de 0.42 hasta 1.68 MPa en un rango de humedad de 20.46 - 23.63%.

El porcentaje de arcilla mas limos correlacionó positivamente con la humedad en el 70% del área (no se presentan las figuras): en los casos en que este porcentaje estuvo más alto (34.67 - 35.49%), la humedad fue más alta (20.46 - 23.65%) y viceversa. Es decir, que la labranza no dio lugar a cambios en la humedad del suelo.

Cabe anotar que el suelo presentó mayor área con coeficiente de dispersión más elevado en comparación con labranza convencional y que éste estuvo en función directa con la arcilla en casi toda el área de la parcela, es decir, que esta área del terreno era la más susceptible a la degradación por acción de los esfuerzos mecánicos o del agua (Cuadro 1).

La evolución en el tiempo de los indicadores físicos mostró que la labranza cincel (Cuadro 1) se destacó por presentar un mejor cambio en el índice de penetrabilidad, el cual varió de los rangos alto y medio al rango bajo en el 95% del área; lo que probablemente se explica por el efecto acumulado en el tiempo de la acción de esta herramienta.

Concluyendo, este tratamiento favoreció significativamente el suelo, al mejorar las condiciones de afloramiento subsuperficial en toda el área, a pesar de que la fracción arcillosa no era estructuralmente muy estable.

Rendimiento de maíz

En ninguno de los dos tratamientos se encontró correlación entre compactación y rendimiento del maíz.

Con respecto a labranza convencional (figura 3a), más de la mitad del área mostró valores medios y altos, pero no se encontró correlación alguna con las áreas compactadas, ni con las demás propiedades, quizás debido a que esta labranza supera el problema de coherencia subsuperficial del suelo.

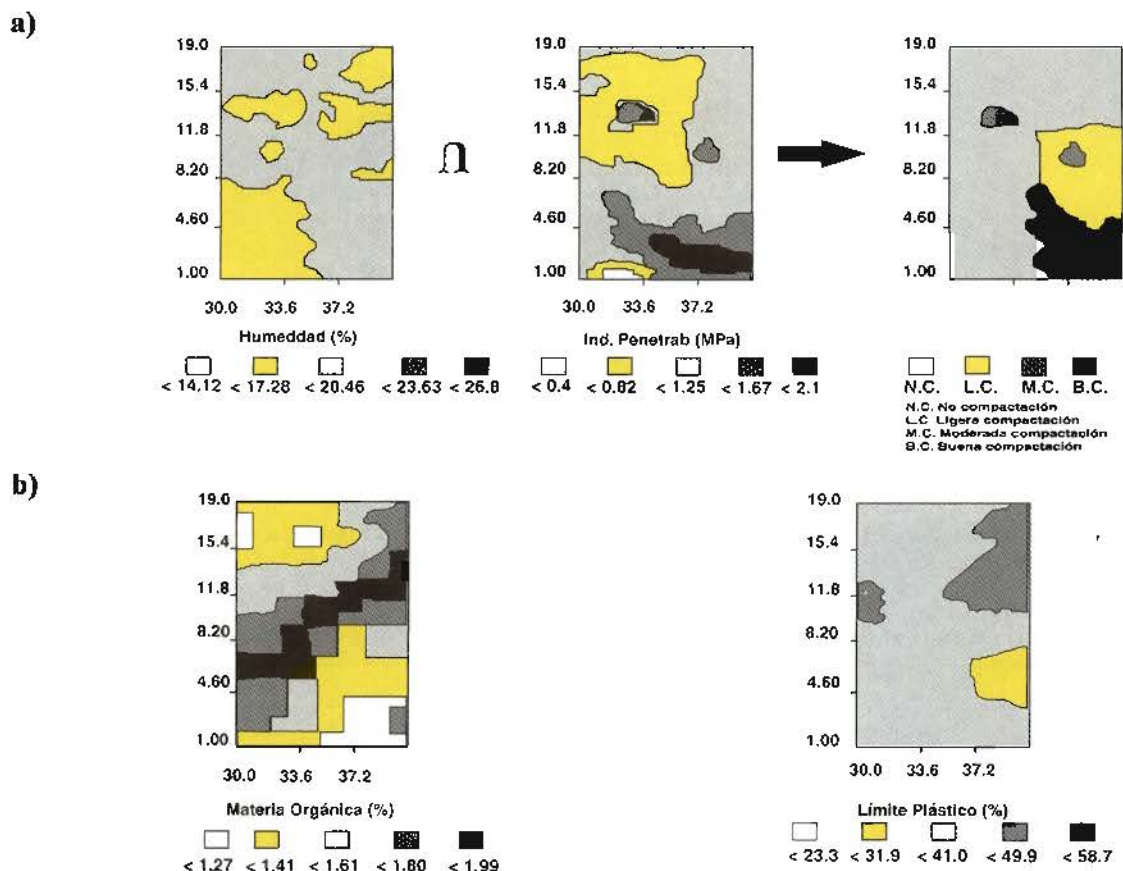


Figura 1: Mapas de humedad, índice de penetrabilidad y compactación (derivado de las dos anteriores) (a), y mapas de materia orgánica y límite plástico (b) con labranza convencional 15 - 25 cm (distancia en m).

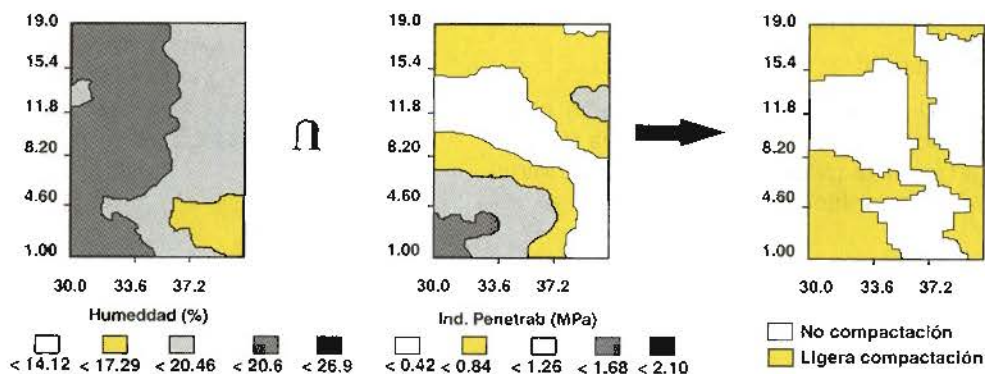


Figura 2: Distribución geográfica del contenido de humedad, índice de penetrabilidad y área de restricción con labranza vertical de 15 - 20 cm.

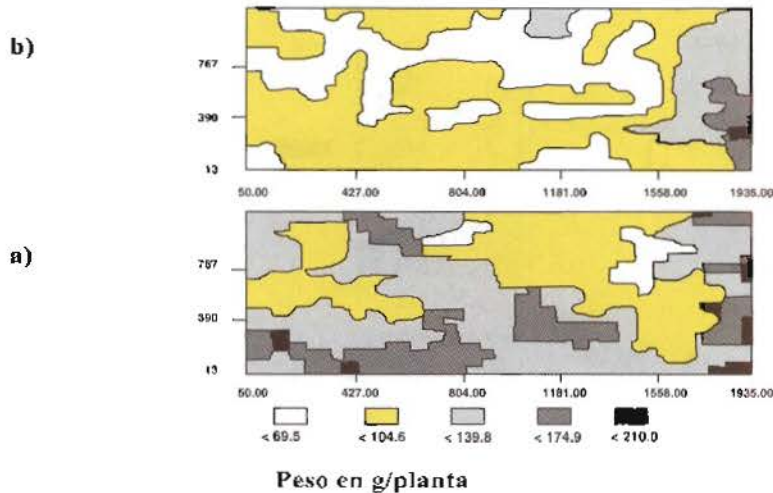


Figura 3: Distribución espacial de la cosecha de maíz (a) En labranza convencional (b) En labranza de cincel. (distancia en cm).

CUADRO 1. Evolución en el tiempo de tres indicadores físicos en dos tratamientos de labranza

Propiedades Físicas	Prof. (cm)	Convencional				Cincel			
		1995-2		1996-2		1995-2		1996-2	
		%Area	Calific.	%Area	Calific.	%Area	Calific.	%Area	Calific.
Humedad (%)		75	Media	75	Media-Baja	95	Media	50	Media
		25	Alta	25	Baja	5	Media-Baja	50	Media-Baja
I. Penetrabilidad MPa	15-25	65	Medio	70	Bajo	85	Medio	80	Bajo
		35	Alto	30	Medio	15	Alto	20	Medio
Coeficiente de Dispersión (%)		75	Medio	100	Muy Bajo	55	Medio	70	Medio-Bajo
		25	Alto			45	Alto	30	Bajo

En cuanto a labranza cincel tampoco se encontró correlación del rendimiento de maíz fresco, en términos generales bajo en toda el área, con las áreas compactadas o con la labranza (figura 3b), quizás porque los cambios físicos fueron muy estrechos.

Variabilidad espacial

Las características con mayor dependencia espacial, analizada desde los puntos de vista de la relación umbral/nugget (semivarianza total/semivarianza intrínseca) y de la autocorrelación, fueron humedad al mo-

mento del muestreo e índice de penetrabilidad; la primera fue muy alta con L. convencional y la segunda, con L. cincel. Para materia orgánica y rendimiento de materia fresca de maíz hubo mayor dependencia espacial con L. cincel, pero en los dos tratamientos su variabilidad fue relativamente baja. Estos resultados están indicando que las dos últimas variables requieren submuestreos alrededor de cada punto con el fin de disminuir el efecto nugget.

BIBLIOGRAFIA

AMEZQUITA, E. et al. Efecto de la labranza en algunas propiedades físicas en un suelo andino. *En: Suelos Ecuatoriales*. S.C.C.S. Vol. 21, No. 1 (1991), p.68-75

CARRILLO, A. L.; HERRERA, O. A. y MADERO, E. E. Alivio físico de un Vertisol Ustico mediante prácticas mecánicas y su efecto so-

bre la producción de soya *Glycine max* Merr. *En: Acta Agronómica*, Vol. 47, No. 2 (1997), p.32-38.

GONZALEZ, A. Suelos Agrícolas: Notas de laboratorio. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1985. 201 p.

GONZALEZ, W. y TERREROS, G. Producción de soya bajo tres

sistemas de labranza. Palmira, 1986, 94 p. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia.

GUROVICH, L. A. Estructura de la variabilidad espacial de las propiedades hidrodinámicas de los suelos. En: Ciencia e Investigación Agraria, Chile, Vol 9, No. 3 (1982), p. 243-254.

HAYHOE, H.; DWYER, L.; BALCHIN, D and CULLEY, L. Tillage effects on corn emergence rates. En: Soil and Tillage Research, 26, No. 3 (1993), p. 45-53.

MENESES, O. 1988. Efecto de cuatro de sistema de labranza e incorporación de abono verde sobre las propiedades físicas de un suelo del CNIAP. Palmira, 1988, 111 p. Tesis (M. Sc). Universidad Nacional de Colombia.

NIELSEN, D. R.; TILLOTSON, P.M. and VIERA, S.R. Analysing field measured soil water properties. En: Agr. Water Manag., Amsterdam, Vol. 6, No. 2 (1983), p. 93-109.

NIELSEN, D. Uso del análisis multivariado en la investigación agrícola. 3. Escuela Latinoamericana de Física de Suelos - ELAFIS, 1998. Sin publicar.

REICHARDT, VIERA, S.R. LIBARDI, P. L. . Variabilidad espacial de solo e experimentacao de campo. En: Revista Brasileira de ciencia do solo. Vol. 10, No. 1 (1986), p. 1-6.

VIEIRA, W. R.; HATFIELD, J. W. y NIELSEN, D. R. Spatial variability of field measured infiltration rate. En: Soil Sci. Soc. Am J., Vol 45, No. 5 (1982), p. 1082-1086.

WEBSTER, R. And BURGESS, T. M. Optimal interpolation and isorithmic mapping of soil properties. III Changing drit and universal kriging. En: J. Soil Sc. Vol 31, No. 2,(1980), p. 505-524.