

CARACTERIZACIÓN ESPACIAL DE LA COMPACTACIÓN EN TERRENOS AGRÍCOLAS DE CIAT, COLOMBIA

SPACE CHARACTERIZATION OF THE COMPACTION IN AGRICULTURAL LANDS OF CIAT COLOMBIA

Carolina Becerra M.¹, Edgar Madero M.², Oscar Herrera G.², Edgar Amézquita A.³

RESUMEN

Durante el 2001, en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se estudió la compactación en suelos vertisoles, molisoles y alfisoles, aplicando los métodos de krigging puntual de la Geoestadística y la técnica de superposición en Arc-view, para las propiedades físicas: humedad gravimétrica, densidad aparente, resistencia a la penetración. Además, se evaluó el contenido de materia orgánica y textura, en campo y laboratorio a profundidad superficial (2,5 cm) y a profundidad variable (10-30 cm).

El fenómeno de la compactación fue determinado por relaciones directas entre humedad-densidad y humedad-resistencia a la penetración, mientras que relaciones inversas implicaron compactación ligera a nula.

La materia orgánica y textura influyeron en el contenido de humedad, densidad y resistencia a la penetración, estrechando interrelaciones que explican el comportamiento del suelo frente a la labranza.

Las zonas de compactación moderada representaron más del 60% del área de muestreo y menos del 40% de zonas de compactación ligera a nula.

Palabras claves: Compactación, Geoestadística, propiedades físicas de los suelos.

ABSTRACT

During 2001, the compaction of vertisols, molisols and alfisols were determined using patterns of punctual krigging of geostatistics and the overlapping technique of GIS-Arcview, based on five physical characteristics: gravimetric soils moisture, bulk density, cone penetration resistance. Additionally the content of organic matter content and texture, were determined on field and laboratory at two depths: 2,5 cm and a depth between 10 and 30 cm.

The compaction phenomenon was determined by direct relations between soil moisture and density, soil moisture and cone penetration resistance, while inverse relations imply slight compaction or non compaction.

The organic matter and texture determined on laboratory, they influenced the contents of soil moisture, bulk density and cone penetration resistance, establishing interrelations that explain soil behavior as an effect of tillage methods.

The areas of moderate compaction represents more than 60% of sampling area; slight compaction and non compaction areas represents less than 40%.

Key words: compaction, geostatistic, physical characteristics of soils.

¹ Ingeniero Agrícola, egresada de Universidad Nacional de Colombia (UNAL).

E-mail: carolbema@hotmail.com

² Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNAL-Colombia.

³ Unidad Física de Suelos, CIAT-Colombia.

I. INTRODUCCIÓN [1, 2]

El presente estudio forma parte del macroproyecto: «Indicadores sencillos de degradación y coeficiente de sostenibilidad en vertisoles de la parte plana del Valle del Cauca», cuya área disciplinaria es la física de suelos; el mismo que es integrado por miembros investigadores de la Universidad Nacional de Colombia y CIAT. De acuerdo a lo anterior, siguen los resultados preliminares del macroproyecto, ya que establece distribuciones espaciales de características como: penetrabilidad y contenido de materia orgánica, determinando cambios posibles en humedad y susceptibilidad a la compactación en suelos característicos del valle geográfico del río Cauca.

Este proyecto estima posibles áreas de compactación en 144 hectáreas representativas de suelos vertisoles, molisoles y alfisoles. Además, determina la variabilidad espacial de las propiedades físicas: humedad gravimétrica, densidad aparente, resistencia a la penetración, materia orgánica y textura, generando mapas preliminares de compactación para las primeras tres propiedades, bajo una nueva propuesta metodológica fundamentada en la matriz de Herrera y Madero (2000), y procesada bajo el enfoque de la Geoestadística y los sistemas de información geográfica.

Las propiedades físicas mencionadas determinan el movimiento y retención de agua; así mismo, mantienen disponibles los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo de la vida en el suelo. Este último es un cuerpo natural formado por mezclas de partículas orgánicas e inorgánicas, que como recurso natural ha sido objeto de estudio durante muchos años, el cual es susceptible a los continuos procesos de labranza, sobrepastoreo y obras de infraestructura inadecuadas, que pueden deteriorarlo y erosionarlo.

Bajo el enfoque de desarrollo sostenible, se requiere corregir y mejorar las prácticas de manejo y conservación, así como racionalizar el uso y manejo del suelo, tanto en planicie como en zonas de ladera.

II. CONSIDERACIONES GENERALES

2.1. Compactación

De acuerdo con Herrera y Madero (2000), es un fenómeno natural que expresa la respuesta del plasma del suelo a las fuerzas dispersivas del agua, acelerado con el uso y manejo de suelos y aguas,

contrario a la creencia de que la compactación se origina únicamente por el tráfico de maquinaria, a un contenido elevado de humedad edáfica.

2.2. Humedad gravimétrica

De acuerdo con Masiero *et al.* (1996), representa un parámetro de calificación y comparación, respecto a la conservación del agua, estimación que es afectada por una gran variación, producto de la heterogeneidad del suelo.

2.3. Densidad aparente

De acuerdo con Forsythe (1980), es una relación entre la masa seca al horno de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan. Además, permite estimar el grado de compactación cuando se conoce la porosidad del suelo [3].

2.4. Resistencia a la penetración

Esta propiedad indica la profundidad del suelo y depende de múltiples factores como el tipo de suelo, el contenido de humedad y la densidad aparente.

2.5. Materia orgánica [4]

La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, SSSA (1979) citada por Mckean (1993), la define como la fracción del suelo que incluye los residuos de plantas y animales, macro y microbióticos en todas las etapas de descomposición, incluyendo el humees del suelo que es bastante resistente.

2.6. Textura

Corresponde a la distribución de tamaño de las partículas. Puede ser un indicador de la susceptibilidad de la compactación. Por ejemplo, la arcilla, presente en muchos suelos, tiene muchas propiedades coloidales que favorecen la retención del agua y mejoran la estructura del mismo.

2.7. Geoestadística

El programa GS+ Gamma Design, versión 5,1, provee herramientas para analizar las características, humedad, densidad aparente y resistencia a la penetración, en los sitios de muestreo. Emplea la técnica de la semivarianza y krigging puntual.

La semivarianza determina la variación de una propiedad física determinada entre pares de observaciones y se grafica mediante un semi-variograma. Una vez generado, se procede a interpolar mediante el krigging puntual, generando valores en áreas cercanas al punto de muestreo.

2.8. Arc-view

El programa de sistemas de información geográfica, Arc-view (versión 3,1) provee las herramientas para superponer los mapas generados por la geoestadística, ligadas a la matriz de relación mostrada, planteada por Herrera y Madero (2000). (Tabla 1). De esta manera, los nuevos mapas generados mostrarían el grado de compactación, según dicha matriz.

III. MATERIALES

GPS. Empleado para determinar los puntos maestres; se utilizó el sistema de posicionamiento global (GPS), empleando un equipo PRO XR, antena compact dome, receptor Pro XR, un adaptador, colector de datos, cables y batería.

Suelos. En el estudio, se consideraron cuatro clasificaciones de suelos, correspondientes a tres órdenes (alfisoles, molisoles, vertisoles). De acuerdo con Mejía (1989), sus principales características son [5]:

- a) *Typic pellustert.* Suelos vertisoles con alto contenido de arcilla, régimen de humedad ústico (relativamente seco). Generalmente, los suelos son superficiales a moderadamente profundos, limitados por horizontes salinos o sódicos, con drenaje imperfecto y presencia de concreciones calcáreas y ferromangánicas en el subsuelo.
- b) *Fluventic haplustolls.* Suelos molisoles con alto contenido de materia orgánica; presenta alta saturación de bases. Son suelos muy productivos, con alto contenido de carbono orgánico.
- c) *Petrocalcic Natrustalf.* Suelos alfisoles con horizonte petrocálcico y régimen ústico. Son suelos livianos y comúnmente ácidos.
- d) *Cumulic haplustolls.* Suelos con menos del 50% de arena, régimen de humedad ústico.

Núcleo para humedad y densidad. Se empleó un juego de seis anillos de hierro acerado de 5 x 5 cm para la toma de muestras en campo.

Penetrógrafo. Empleado para determinar la resistencia a la penetración. Herramienta cuyo sensor es ingresado al suelo y registra manualmente, de acuerdo a un tambor de registro.

Implementos para determinar materia orgánica. Se empleó ácido sulfúrico y dicromato de potasio, en proporciones de 20 a 10 ml por cada 0,5 g de suelo.

Tabla 1. Matriz de relación.

Densidad Apparente	Humedad								
Resistencia Penetración	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9
5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9
6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9
7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9
8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9
9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9

Fuente: HERRERA Y MADERO, 2000.

Donde:

- Suelo compacto a moderadamente compacto 
- Suelo moderado a ligeramente compacto 
- Suelo ligeramente compacto a normal 
- Suelo sin compactación 

Implementos para determinar textura. Se empleó hidróxido y hexametáfosfato de sodio con implementos de laboratorio, para determinar esta propiedad.

IV. METODOLOGÍA

El Centro Internacional de Agricultura Tropical se encuentra ubicado geográficamente a 30°30'N y 76°21'O, en el municipio de Palmira, departamento del Valle del Cauca, a 30 km al este de Santiago de Cali. Dicha institución, registra cuatro tipos de suelos representativos del Valle del Cauca, ellos son: Typic Pellustert, Cumulic Haplustoll, Petrocalcic Natrustalf y Fluventic Haplustoll. Esta información es esencial para la interpretación de la variabilidad espacial de la compactación. En la actualidad, CIAT cuenta con un uso y manejo de 520 ha, distribuidas en cultivos de arroz, caña, frijol, maíz, yuca, frutales, guaduales, pastos y lagos. Normalmente, la labranza practicada es de conservación y con cobertura de rastrojo y reducida, con frecuentes rotaciones de cultivo, para cuidado del suelo.

Para efectos del estudio, se siguió la determinación de los puntos muestrales al azar, con la intención de homogeneizar las unidades de los mapas.

Las propiedades físicas se establecieron a profundidad en superficie (2,5 cm) y variable (10-30 cm). Así:

- *Humedad gravimétrica.* Determinada en campo, con el método del núcleo y llevada a laboratorio para determinar la razón porcentual entre la diferencia de pesos dividido en su respectivo peso seco.
- *Densidad aparente.* Determinada en campo, con el método del núcleo; y llevada a laboratorio para determinar la razón entre la masa del suelo seco y el volumen total.
- *Resistencia a la penetración.* Determinada en campo, con el Penetrógrafo de campo y cuyos valores se registraron en formatos a profundidad variable.
- *Materia orgánica.* Determinada en laboratorio, mediante el método de Walkley y Black.

Una vez generada la anterior información, se determinó los mapas de propiedades, mediante la Geoestadística. Los mapas de densidad aparente y resistencia a la penetración fueron superpuestos con los de humedad a dos profundidades, mediante el programa Arc-view.

Los nuevos mapas generados se ligaron de acuerdo a la matriz mostrada a continuación:

La figura anterior establece, en general, que las relaciones inversas son indicadores de suelos sanos; y las directas, indicadores de suelos con algún grado de compactación y alteración de la estructura. A un contenido de humedad y resistencia a la penetración altos, el suelo podría estar compacto a moderadamente compacto. Si la relación disminuye, el suelo podría no presentar algún grado de compactación.

V. RESULTADOS

Siguiendo la metodología establecida, se generaron mapas a partir de cada propiedad física. Cada color expresa un rango específico; y los valores numéricos al costado derecho expresan el comportamiento de las propiedades frente a cada profundidad, tal como se muestra en las siguientes figuras:

Análisis 1. En ambos mapas, se observa que gran parte de la zona de muestreo tiene coloración verde con tonalidad media a oscura, indicando que las humedades fluctuaron de 20 a 30%.

Análisis 2. Se observó valores altos de densidad para ambos mapas. De esta forma, se interpreta que un aumento en profundidad garantiza un aumento de la densidad aparente.

Análisis 3. Se observaron valores relativamente bajos para ambos mapas. Es importante establecer que esta propiedad y la densidad aparente mostraron relaciones directas; en caso haya aumento de una, la otra tenderá a comportarse de igual manera y viceversa.

En lo referente a la distribución de la compactación por combinación en Arc-view, en el área total de muestreo (213,75 ha), presentó un 60% de ligera a moderada compactación, basada en las relaciones: humedad-densidad y humedad-resistencia, las cuales están identificadas por cuatro tonalidades de azul, desde el más claro en zonas no compactas hasta el más oscuro en zonas con alto grado de compactación.

En superficie y a profundidad variable, un alto porcentaje de área corresponde a una compactación moderada a ligera, identificado por la tonalidad más fuerte.

Análisis 4. En superficie, se encontró un alto porcentaje de suelo compacto a moderadamente com-

pacto. A profundidad, un alto porcentaje de suelo presentó de moderada a ligera compactación.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- La humedad juega un papel importante en el fenómeno de la compactación, ya que al labrar el suelo en condiciones inadecuadas, genera alguna forma de adensamiento y encostramiento. También la precipitación representa riesgo para suelos con estructura degradada o poca cobertura vegetal. El impacto de las gotas de lluvia genera una película de agua que obliga a infiltrar las fracciones texturales, primero arena, posteriormente limos y arcilla.
- La humedad en superficie y a profundidad variable, presenta más del 70%, en valores medios (20-30%), mientras la densidad aparente presenta este mismo porcentaje en valores superiores (1,65-2,00 g/cm³). Es importante resaltar que la presencia de arcillas expansivas mejora la capacidad de retención de humedad; y a altos contenidos de humedad, se espera disminución de la resistencia a la penetración y de densidad aparente. Sin embargo, en suelos vertisoles de CIAT, se presentó un 55% de relaciones directas entre humedad-densidad, indicando problemas de drenaje y presencia de zonas compactas.
- La relación humedad-resistencia determinó posibles problemas de endurecimiento y limitaciones de drenaje e intercambio catiónico.
- El fenómeno de la compactación, presente en más del 60% del área de muestreo, obedece a varios factores:
 - El riego o drenaje puede estar facilitando la acumulación de algunos elementos como carbonatos que causan desplazamiento de arcillas, aumento o disminución de la humedad, densidad aparente y resistencia a la penetración.
 - La profundidad efectiva baja. Valores medios a altos de resistencia a la penetración en profundidades inferiores a los 10 y 20 cm, con contenidos de humedad bajos (<20%).
 - Los caballones adecuados al suelo, los cuales indican el movimiento y desplazamiento del suelo, por efecto de la labranza.

- La observación en campo de un horizonte superficial arenoso, de espesor inferior a los 10 cm.
- Presencia de grietas en la capa arable, así como de superficies de deslizamiento en profundidad, en un porcentaje superior a 60%.
- Los datos encontrados para cada relación de materia orgánica y la fracción arcillosa, con las propiedades físicas de estudio, aseveran en la mayoría de casos una estrecha relación entre la superficie y la profundidad variable.

VII. CONCLUSIONES

1. Gracias al sistema de información geográfica Arc-view y a la Geoestadística, se estimó un 60% de áreas compactas a moderadamente compactas y de moderadas a ligeramente compactas.
2. De acuerdo a las relaciones: humedad-densidad y humedad-resistencia, se generaron cuatro mapas de compactación.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. FORSYTHE, WARREN. (1980). *Manual de Laboratorio de Física de Suelos*. San José, Costa Rica: IICA, p. 46-69.
2. HERRERA, OSCAR; MADERO, EDGAR. «Notas de clase». Universidad Nacional de Colombia. 2000.
3. MASIERO, BEATRIZ; ARCE, JUAN M.; MARELLI, HUGO J. (1996). *Variabilidad de la Humedad del Suelo*. Informe Técnico N.º 120. Argentina: Estación Experimental Agropecuaria Marco Juárez. p. 9.
4. McKEAN, SHEILA. (1993). «Manual de Análisis de Suelos y Tejido Vegetal». En: *Guía teórica y práctica de metodologías*. Documento de trabajo N.º 19. CIAT. Palmira. p. 21-24.
5. MEJIA, LEONIDAS. (1989). «Generalidades sobre la estructura, principios básicos, criterios de clasificación y nomenclatura de la taxonomía de suelos del U.S.D.A.» En: *Suelos Ecuatoriales*. Vol. 15. p. 49-84.