

Muestreo con fines de caracterización y evaluación de propiedades de los suelos
Sampling for characterization and evaluating soil properties

Zenaida Lozano Pérez,

Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, estado Aragua, Venezuela.

RESUMEN

La evaluación y caracterización de las propiedades de los suelos relacionadas con el desarrollo de los cultivos, requiere la realización de un muestreo de suelos, tanto para determinaciones posteriores de laboratorio, como para determinaciones directas en el campo. El muestreo puede estar afectado por diferentes aspectos, tales como: el método a ser usado para seleccionar los sitios de muestreo, el tipo de muestra, el tamaño de la muestra, la localización de la muestra en el campo, la localización de la

ABSTRACT

The evaluation and characterization of soil properties related of crops development requires a soil sampling. This involves both soil samples that are extracted for later determinations at the laboratory and sample sites used for direct determinations on the field. A soil sampling can be affected by different aspects, such as: the method used for selecting the sample sites, the kind of sample and the sample dimensions, the sampling locations on the field and on the soil profile, the time of sampling, and the number of replications necessary to evaluate each

muestra dentro del perfil, la época de muestreo y el número de replicaciones necesarias para evaluar adecuadamente cada propiedad del suelo.

Palabras claves: Caracterización de suelo, condiciones limitantes, muestras no alteradas, muestras compuestas.

soil property.

Key Word: Soil characterization, constrain conditions, undisturbed samples, composite sample

INTRODUCCIÓN

Para evaluar las propiedades del suelo limitantes para el desarrollo de los cultivos, es importante tener claro los objetivos y el grado de detalle en función de la escala de evaluación, ya que de estos va a depender el tipo, frecuencia y el número de determinaciones a realizar. Así mismo es importante realizar observaciones en el campo que permitan establecer criterios o evidencias de que existen condiciones limitantes tales como: presencia de sellos, costras superficiales, baja emergencia de plántulas, poca profundidad y deformación de raíces, presencia de capas endurecidas, afloramiento de horizontes subsuperficiales indeseables, distribución irregular de la humedad en la superficie y dentro del perfil, falta de respuesta a la aplicación de fertilizantes, disminución del rendimiento, entre otros (FAO, 1979). La validez de los resultados de un análisis de suelo depende básicamente del grado en que la muestra sea representativa de las condiciones que se quieren evaluar y de la precisión del método empleado. Se espera que la variabilidad encontrada se deba exclusivamente a la variación espacial de la propiedad y no a errores en el muestreo (Burke *et al.*, 1986).

El suelo es considerado un cuerpo heterogéneo que presenta una variabilidad en el sentido horizontal transversal al paisaje y vertical a lo largo del perfil de suelo, esta variabilidad es el resultado de la múltiple combinación de los factores formadores de suelo (clima, vegetación, relieve, material parental, tiempo), así como de los cambios introducidos por el hombre debido a la adopción de prácticas de cultivo. Se entiende por "muestreo" tanto la remoción de las muestras del suelo en el campo para ser analizadas en el laboratorio, como la localización *in situ* del equipo medidor en sitios seleccionados (Pla, 1990). El objetivo principal de cualquier operación de muestreo es coleccionar muestras representativas del medio que se está investigando. El procedimiento de muestreo a seguir depende de las condiciones del suelo y cultivo, así como de la finalidad del muestreo. En este trabajo se discutirán los diferentes aspectos a tomar en cuenta cuando se va a realizar un muestreo con fines de evaluación y caracterización de propiedades de los suelos.

Factores que afectan el muestreo

El muestreo está afectado por diferentes aspectos, tales como: 1) el método a ser usado, 2) el tipo de muestra, 3) el tamaño y dimensiones de las muestras, 4) la localización de la muestra en el campo, 5) la localización de las muestras dentro del perfil de suelo, 6) el número de replicaciones, y 7) la época de muestreo (Burke *et al.*, 1986).

1) Método a ser usado: la selección del método de determinación de la propiedad de suelo va a depender de las condiciones del suelo y de las condiciones operacionales. Una importante variabilidad se puede originar por el uso de métodos inapropiados, en el momento y lugar inadecuados, o por la aplicación de procedimientos técnicos complicados. Burke *et al.* (1986), señalan como ejemplo, que el método del infiltrómetro de doble anillo, ampliamente usado para medir la tasa de infiltración de agua en el suelo, funciona muy bien en suelos arenosos; sin embargo, en suelos arcillosos con presencia de grietas, las mediciones hechas cuando el suelo se encuentra inicialmente seco son muy superiores a las que se producen cuando el suelo está inundado, por lo cual el uso de el método en estas condiciones sería inadecuado. Por otro lado, Bouma (1983) al realizar una revisión sobre métodos para la determinación de conductividad hidráulica, considera que se deben tener en cuenta los siguientes aspectos para la selección del método a ser usado: a) el tiempo necesario para la preparación, ejecución y cálculos, b) los costos en personal y materiales, c) la complejidad de la determinación, y d) la exactitud del método en relación a los objetivos del muestreo.

2) Tipos de muestras: Las muestras obtenidas con fines de caracterización y evaluación de propiedades del suelo son clasificadas en dos categorías dependiendo de la alteración que sufren al ser retiradas de su lugar original: muestra alteradas o disgregadas y muestras no alteradas.

Muestras alteradas o disgregadas: comprende aquellas donde parte de ella o toda la muestra, ha sufrido una alteración tal que ha perdido la estructura que poseía *in situ*. Son extraídas de los sitios de muestreo con equipos como pala o palín, que no evitan la fractura en los planos más débiles que separan las unidades estructurales o agregados, pero sin desintegrarlos.

Muestras no alteradas: comprende tanto las que no se remueven en las determinaciones directas en el campo, ya que se coloca *"in situ"* el equipo muestreador, como las que se extraen manteniendo el mismo volumen de suelo que ocupan en condiciones de campo. Para la extracción de estas muestras se utilizan muestreadores tipo Uhland, con cilindros de aluminio cuyo diámetro dependerá del objetivo del estudio, generalmente se usan cilindros de de 5 ó 7 cm de diámetro por 5 cm de altura. Del tipo de muestra requerida dependerá el tipo de proceso de muestreo a planear.

En las Figuras, se esquematiza el procedimiento para la extracción de muestras disgregadas compuestas (Figura 1) y no alteradas (Figura 2).



Figura 1. Procedimiento para la extracción de muestras disgregadas (Fuente: Adaptado de Cuesta y Villaneda, 2005).



Figura 2. Procedimiento para la extracción de muestras no alteradas (Fotos: Zenaida Lozano, 2000)

3) Tamaño y dimensiones de la muestra El muestreo representativo juega un papel muy importante en la calidad y la utilidad de los datos analíticos. El muestreo representativo debe tener altos niveles de precisión y exactitud, que garanticen que la muestra o grupo de muestras represente las características del sitio evaluado y que los resultados sean reproducibles. La exactitud se refiere a la aproximación del valor del análisis de suelo con respecto a su valor real en campo y la precisión describe la posibilidad de reproducir los resultados. Ambos parámetros están determinados por el tamaño y dimensiones de las muestras tomadas en el campo. A medida que se incrementa el tamaño y número de las muestras, aumenta la exactitud y la precisión (Mason, 1992). El aumento de las dimensiones de las muestras se justifica como una medida para reducir la variabilidad entre las réplicas (Bouma, 1983). A modo de ejemplo, Lozano (1995) al evaluar la densidad aparente de suelos venezolanos por diferentes métodos (terrón, cilindro y hoyo o excavación), consiguió que disminuyeron las medidas de dispersión entre réplicas (desviación estándar), a medida que aumentó el tamaño de la muestra (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de densidad aparente obtenidos por diferentes métodos (Adaptado de Lozano, 1995)

Serie de suelo	Método del terrón (2 a 5 cm ³)	Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	
		Método del cilindro (90 a 100 cm ³)	Método del hoyo o excavación (8000 a 10000 cm ³)
Barinas	1,70 (0,42) ¹⁾	1,49 (0,23)	1,54 (0,11)
Chaguaramas	1,82 (0,45)	1,58 (0,16)	1,37 (0,08)
Fanfurria	1,63 (0,53)	1,45 (0,28)	1,52 (0,11)
Guanare	1,76 (0,62)	1,27 (0,17)	1,31 (0,11)
Ospino	1,68 (0,85)	1,60 (0,37)	1,59 (0,12)
Turén	1,84 (1,02)	1,38 (0,52)	1,55 (0,07)

¹⁾ Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar

4) Localización de la muestra en el campo: La selección de los sitios de muestreo dependerá en cada caso del propósito perseguido, de la variabilidad de la población y de la segregación previa de los individuos suelo en grupos con mayor o menor grado de uniformidad. El diseño de muestreo puede ser a juicio de experto (no probabilístico) o bien aleatorio simple, estratificado o sistemático (probabilístico), tal y como lo señalan Valencia y Hernández (2002).

El **muestreo a juicio de experto**, también llamado de "sitio típico", se realiza cuando se posee información sobre la segregación de las propiedades del suelo en base a la experiencia del muestreador, y el propósito del estudio es formar una idea general de los problemas de los suelos incluidos en la unidad estudiada (Pla, 1983), a menudo constituye la base de una investigación exploratoria. En este tipo de muestreo la distancia entre los puntos no es importante (Burke *et al.*, 1986). Sus principales ventajas son la facilidad de realización y sus bajos costos, además de que se puede llevar a cabo tanto en zonas homogéneas como heterogéneas (Mason, 1992).

El **muestreo aleatorio simple** se emplea en los casos en que se dispone de poca información acerca de las características del suelo a evaluar; se basa en la teoría de las probabilidades y siempre requiere de un análisis estadístico. Los puntos de muestreo se ubican en un plano cartesiano (Xi, Yj), donde cada punto de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado (Figura 3a). Para minimizar la desviación estándar se usa una tabla de números aleatorios (Mason, 1992). Este tipo de muestreo es recomendable para áreas homogéneas menores a 5 hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la zona (Valencia y Hernández, 2002). Si las observaciones preliminares directas indican una gran uniformidad, el número de sitios seleccionados al azar puede reducirse, mientras que si existe una gran variabilidad es necesario incrementar el número de sitios por hectárea (Pla, 1983).

Cuando la población bajo estudio se puede subdividir en estratos o subgrupos que tienen cierta homogeneidad, se recomienda utilizar un **muestreo aleatorio estratificado** (Figura 3b). El requisito principal para este tipo de muestreo es el conocimiento previo de la información que permita subdividir la población, esto garantiza que los puntos de muestreo se encuentren repartidos más uniformemente en toda la zona, en función del tamaño del estrato y permite además, conocer de forma independiente las características particulares de cada estrato. Es recomendado para áreas mayores de 10 hectáreas o en lotes no homogéneos (Mason, 1992; Valencia y Hernández, 2002).

El **muestreo sistemático** es una herramienta para reducir la variabilidad de la muestra. El método consiste en ubicar sitios de muestreo cada cierta distancia, siguiendo un patrón regular preestablecido. Las distancias entre los puntos de muestreo dependerán del grado de variación observado previamente (Pla, 1983). Este tipo de muestreo puede realizarse en rejilla rectangular o polar (Figuras 3c y 3d). Puede llevarse a cabo en superficies de cualquier tamaño, dado que las muestras pueden ubicarse de acuerdo con las dimensiones y forma del terreno, a distancias equidistantes, la cual dependerá del tipo de estudio que se esté realizando (Mason, 1992; Valencia y Hernández, 2002).

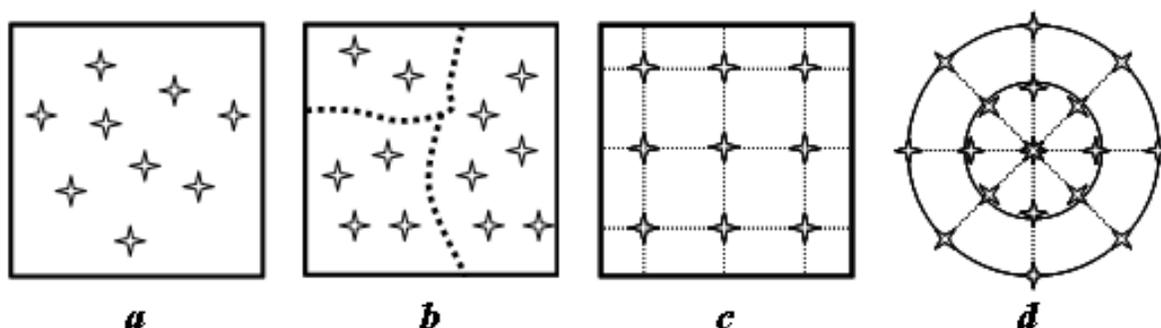


Figura 3. Diferentes esquemas de muestreo: a) Aleatorio simple, b) Estratificado, c) Sistemático rectangular y d) Sistemático en rejilla polar (Tomado de INE, 2005)

Muchos atributos del suelo varían continuamente en el espacio; esta variabilidad puede ser separada en sus componentes aleatorios y no aleatorios. La variabilidad no aleatoria es debida a cambios graduales en las propiedades del suelo con la distancia, los valores en un sitio cercano son mucho más similares que los de sitios alejados. Esta propiedad es conocida como dependencia espacial y para su caracterización se usa la teoría de las variables regionalizadas (Oliver, 1987, Crépin y Johnson, 1993). La geoestadística es la herramienta adecuada para el estudio de las variables regionalizadas, para el diseño de un eficiente programa de muestreo y para la estimación de las propiedades del suelo en sitios no muestreados (Pennock *et al.*, 2006). Esta herramienta toma en cuenta la dependencia espacial que existe entre observaciones separadas por una determinada distancia y cuya tasa de cambio puede ser estimada por la semivarianza, la cual es la varianza promedio entre observaciones vecinas espacialmente separadas a una misma distancia (Cassel *et al.*, 2000). Para el cálculo de la semivarianza se usa la siguiente expresión:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Donde Z es la variable regionalizada, $Z(x_i)$ y $Z(x_i+h)$ son los valores de las observaciones en los sitios x_i y x_i+h y N es el número de pares separados a una distancia h .

La semivarianza es una medida de la similitud entre observaciones, a mayor similitud, menor semivarianza. El gráfico de semivarianza contra distancia se conoce como semivariograma y contiene toda la información de la variable regionalizada (función que describe un fenómeno geográficamente distribuido), en términos de magnitud, escala y forma general. El semivariograma contiene información sobre la zona de influencia o zona en la existe dependencia espacial, condiciones de anisotropía y la continuidad de la variable en el espacio (Ovalles, 1992). A modo de ejemplo, en la Figura 4 se presentan los semivariogramas de variables como densidad aparente, densidad de partícula y los contenidos de limo y arcilla de un Andisol colombiano (Rodríguez-Vázquez *et al.*, 2008). De todas las variables evaluadas en este estudio, éstas fueron las que presentaron dependencia espacial, con buen ajuste a los modelos teóricos Gaussiano (densidad aparente y contenido de limo), Exponencial (densidad de partícula) y Esférico (contenido de arcilla).

5) Localización de la muestra dentro del perfil: existen diferentes formas de tomar muestras dependiendo de la homogeneidad del perfil, las más comunes son: a) muestreo a intervalos regulares, b) muestreo en horizontes pedogenéticos, y c) muestreo en capas con características más o menos homogéneas (Lobo y Lozano, 1996).

A intervalos regulares: este método se usa cuando no se aprecian variaciones a lo largo del perfil o cuando tenemos conocimiento de que el suelo es muy uniforme (Figura 5a).

En horizontes pedogenéticos: cuando se colectan por separado los horizontes producto de la génesis del suelo. El muestreo por horizonte reduce la variación de las propiedades del suelo (Figura 5b).

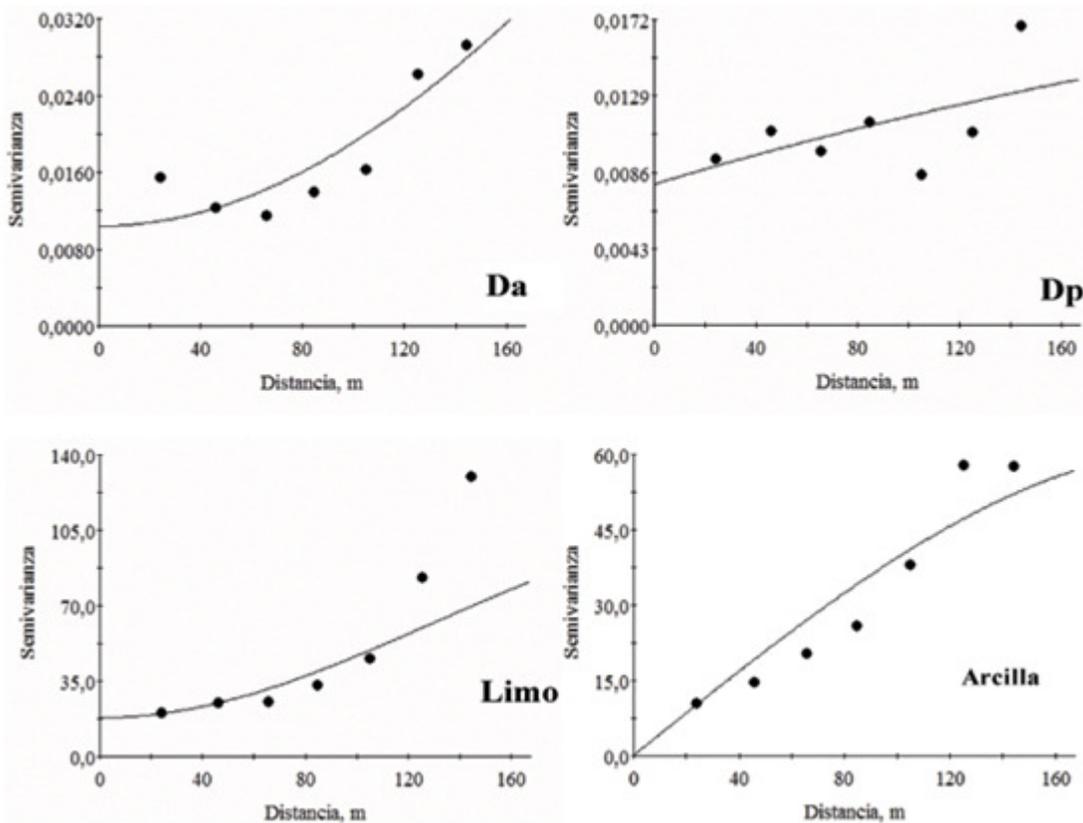


Figura 4. Semivariogramas donde se aprecia la dependencia espacial de las variables: Densidad aparente (Da), densidad de partícula (DP), contenido de Limo y contenido de arcilla (Tomado de Rodríguez-Vázquez, 2008)

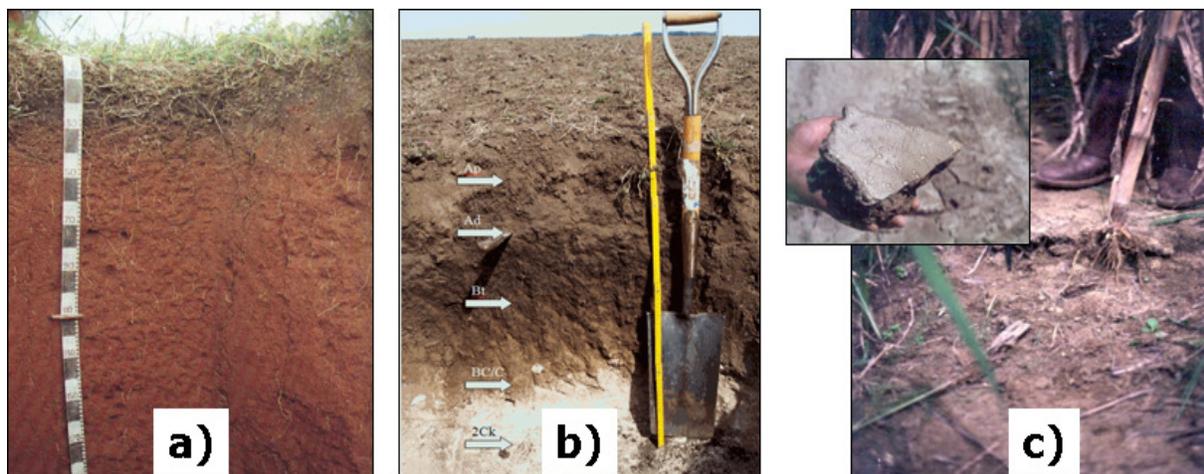


Figura 5. Perfiles de suelo con: a) características uniformes, b) horizontes pedogenéticos bien diferenciados (Fotos: Juan Carlos Rey, 2004), c) capas de características físicas contrastantes: sello superficial y capa compactada (Fotos: Deyanira Lobo, 1995).

En capas con características más o menos homogéneas: en algunos casos un horizonte genético puede presentar diferencias estructurales debido al manejo (Ej. sello superficial, capa compactada), por lo que es necesario muestrearlos por separado (Figura 5c).

Desde el punto de vista de caracterización con fines de diagnóstico, muchas veces resulta más importante muestrear en capas de características o comportamiento similar frente al manejo, como capas compactadas por el uso de implementos agrícolas, sellos y costras superficiales, etc. Al momento de la toma de la muestra en campo, también es importante tener en cuenta los límites entre las capas u horizontes (regulares o irregulares).

6) Número de replicaciones: el número de replicaciones es una función de la exactitud requerida. Cuando existen estudios previos del área a caracterizar, y con ello un conocimiento preliminar de la variabilidad, se puede determinar el número de muestras necesarias para determinar el valor medio de un atributo determinado, a través de la siguiente expresión (Montiel y Blanco, 2001):

$$n = \frac{(t^2 * CV^2)}{r^2}$$

Donde: **n** es el número de muestras a coleccionar, **t** es el valor del estadístico “**t**” de Student para un nivel de probabilidad “**P**” y “**n-1**” grados de libertad, **CV** es el coeficiente de variación conseguido en el muestreo preliminar (%) y **r** es el rango de precisión aceptable, expresado como porcentaje del promedio (%). Los valores de coeficiente de variación del parámetro pueden ser calculados de mediciones realizadas en el área o extraídos de la bibliografía, tal y como los que se señalan en el Cuadro 2.

Esta expresión ha sido utilizada en muchos trabajos sobre variabilidad y diseño de muestreo. Lozano (1995), determinó el número de repeticiones necesarias para evaluar algunas propiedades físicas del suelo, consiguiendo que para parámetros con una alta variabilidad intrínseca como conductividad hidráulica saturada, se deben tomar 89 muestras, con un rango de precisión aceptable del 30%; mientras que en parámetros como la porosidad total y el contenido de humedad, se obtienen valores confiables con menos de 10 réplicas (Cuadro 3).

Cuadro 2. Coeficientes de variación (% CV) para diferentes parámetros físicos de los suelos. (Adaptado de Barber, 1995 y Pennock *et al.*, 2006)

Parámetro	CV (%)	Nivel	Referencia
Densidad aparente	6 – 9	Bajo	Gumaa (1978)
	6 – 8	Bajo	Nielsen <i>et al.</i> (1973)
	3 – 10	Bajo	Barber y Díaz (1985)
	3 – 16	Bajo	Barber y Romero (1989)
	1,7 – 6,5	Bajo	Barber (1989)
Resistencia al Penetrómetro	14 – 20	Bajo – Moderado	Barber y Díaz (1985)
	20 – 74	Moderado	Barber y Romero (1993)
	11 – 34	Bajo – Moderado	Barber (1987)
	5 – 15	Bajo	Barber (1988)
	2 – 21	Bajo – Moderado	Barber (1989)
Tasa mínima de infiltración en 60 minutos	83 – 198	Muy Alto	Barber y Romero (1993)
	8 – 22	Bajo – Moderado	Turner y Sumner (1978)
	80 – 109	Muy Alto	Barber (1989)
	54 - 64	Alto	Barber y Díaz (1985)
	34 – 41	Moderado - Alto	Barber y Díaz (1985)
Retención de humedad			
0,1 bares (10 kPa)	20 – 40	Moderado	Gumaa (1978)
0,3 bares (33 kPa)	19 – 21	Moderado	Barber (1989)
15 bares (1500 kPa)	33 – 51	Moderado - Alto	Barber (1989)
Conductividad hidráulica saturada	100	Muy Alto	Willardson y Hurst (1965)
	190	Muy Alto	Gumaa (1978)
	86 – 110	Muy Alto	Nielsen <i>et al.</i> (1973)
Conductividad hidráulica no saturada	280 – 420	Muy Alto	Nielsen <i>et al.</i> (1973)
Profundidad de raíces	6 – 17	Bajo – Moderado	Orellana (1990)
	3	Bajo	Barber y Romero (1993)
	15	Moderado	Morales (1991)

Cuadro 3. Número de repeticiones necesarias para evaluar algunos parámetros relacionados con las posibilidades o limitaciones de mecanización, emergencia de plántulas y desarrollo y profundización de raíces (Tomado de **Lozano, 1995**)

Propiedad evaluada	Rango de CV (%)	% CV elegido	Estadístico "t"	R(%)	n
Densidad aparente	2 – 10	6	2,57	5	10
Conductividad hidráulica	85 – 150	110	2,57	30	89
Cohesión en seco	25 – 85	35	4,30	30	25
Tasa de infiltración	8 – 198	80	2,20	30	28
Resistencia a la penetración	25 – 65	40	2,09	20	17
Porosidad total	8 – 16	12	2,57	10	7
Contenido de humedad	5 – 20	10	4,30	20	5
Profundidad de raíces	3 – 17	15	2,20	10	11

7) Época de muestreo: Finalmente, la época de muestreo va a depender de los objetivos del estudio y de la facilidad o dificultad para la toma de las muestras. Las muestras disgregadas se pueden tomar en cualquier momento, pero las no alteradas es conveniente tomarlas cuando el suelo se encuentre a un contenido de humedad cercano a capacidad de campo. Independientemente del momento en que se realice el muestreo o determinación, es importante hacer referencia al contenido de humedad del suelo (Lobo y Lozano, 1996).

CONCLUSIONES

Con el muestreo de suelo se pretende obtener información confiable sobre un cuerpo de suelo específico y aunque las muestras son colectadas para obtener información sobre la población, la calidad de esta información va a depender del cuidado que se tome para la colección de las muestras, por lo que el factor más crítico es la toma de la **muestra representativa**. Los conceptos expuestos en este trabajo deben entenderse como una guía general que permite a quien toma la muestra, adoptar criterios claros para enfrentar los casos particulares que se presenten a nivel de campo. El método de muestreo se debe seleccionar en base a los objetivos del estudio y es posible que la mejor opción sea una mezcla de tipos de muestreo (selectivo, sistemático y al azar). Lo importante es que el esquema seleccionado sea lo suficientemente flexible para permitir ajustes durante las actividades de campo.

LITERATURA CITADA

- Barber, R.** 1995. Procedimientos y metodologías para investigación sobre labranzas. *En:* I Curso sobre sistemas de labranza y conservación de suelos. San Juan de los Morros (Venezuela) 24 y 25 de abril de 1995. 18 p.
- Bouma, J.** 1983. Use of soil survey data to select measurement techniques for hydraulic conductivity. *Agr. Water Managem.* 6:177-190.
- Burke, W; D. Gabriels y J. Bouma.** 1986. Soil structure assessment. A.A. Balkema Rotterdam/Boston (USA). 92 p.
- Cassel, D.K., O. Wendroth y D.R. Nielsen.** 2000. Assessing spatial variability in an Agricultural Experiment station Field: Opportunities arising from spatial dependence. *Agronomy Journal.* 92:706 .

- Crépin, J. y R. Johnson.** 1993. Soil sampling for environmental assessment. In: Soil Sampling Methods and Analysis. Carter (Ed). Chapter 2. Canadian Society of Soil Science. pp. 5-18.
- Cuesta M., P.A. y E. Villaneda.** 2005. El análisis de suelos: Toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera. En: Manual técnico - Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones caribe y valles interandinos. Red de Recursos Forrajeros Corpoica. pp 1-12.
- FAO.** 1979. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. Roma (Italia) 86 p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE).** 2005. Muestreo y caracterización de un sitio. Capítulo 3. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, México 9 p. (Online: www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/459/cap3.html). Consulta 15/01/2009).
- Lobo, D. y Z. Lozano.** 1996. Metodologías para la evaluación de propiedades físicas y diagnóstico de condiciones limitantes. En: Memorias del Curso-Taller Suelos con limitaciones físicas. Evaluación, diagnóstico y manejo. Impacto en la productividad de los sistemas agrícolas de Venezuela. Mérida (Venezuela) 19 al 23 de julio de 1995. R. López y F. Delgado (Eds). pp. 55-64.
- Lozano, Z.** 1995. Calibración de métodos de campo para la evaluación de limitaciones físicas. Trabajo de Grado de Maestría en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay. 151 p.
- Mason, B.** 1992. Preparation of soil sampling protocols: Sampling techniques and strategies. United States Environmental Protection Agency, Washington. 169 p.
- Montiel, A.M. y R. Blanco.** 2001. Métodos de optimización de muestreo en los estudios de las propiedades físicas del suelo. En: Edafología. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, Volumen 8, pp 41-49.
- Oliver, M.** 1987. Geostatistics and its application to soil science. Soil and Management 3(1):8 – 19.
- Ovalles, F.** 1992. Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad. FONAIAP, Instituto de Investigaciones Agrícolas Generales. Maracay. Serie B. 44 p.
- Pennock, D., T. T. Yates y J. Braidek.** 2006. Soil Sampling Design. In: Soil Sampling and Handling. Patter-son y Carter (Eds). pp 1-15.
- Pla, I.** 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance N° 32, Rev. Fac. de Agronomía, UCV-Maracay (Venezuela). 91 p.
- Pla, I.** 1990. Methodological problems to evaluate soil physical degradation. Trans. 14 th International Congress of Soil Science. Kyoto (Japón). pp. 96-100.
- Rodríguez-Vázquez, A., M. Aristizábal-Castillo y J. Camacho-Tamayo.** 2008. Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip y Kostiakov en un suelo Ándico. Eng. Agric. 28(1): 64-75.
- Valencia, I.E. y B.A. Hernández.** 2002. Muestreo de suelos, preparación de muestras y guía de campo. Universidad Autónoma de México. Facultad de estudios Superiores de Cautitlán, México, 131 p.