

# EL MUESTREO DE SUELOS: LOS BENEFICIOS DE UN BUEN TRABAJO

T. L. Roberts<sup>1</sup> y J. L. Henry<sup>2</sup>

## Introducción

Existe una presión constante sobre los laboratorios de suelos por mejores servicios de análisis y recomendaciones de fertilización. Si bien existen distintas filosofías para diseñar una recomendación de fertilización, esta recomendación será adecuada solamente si la muestra enviada al laboratorio es representativa del lote o campo muestreado. Todos reconocen la importancia de un buen muestreo de suelos, sin embargo, siempre existen inquietudes sobre cuan intensivo y frecuente debe ser el muestreo y a que profundidad debe llegar, particularmente por el gran interés que genera el manejo por sitio específico o agricultura de precisión. Este artículo analiza algunos de los principios básicos del muestreo de suelos y discute algunos aspectos relacionados con esta práctica que agricultores, consultores y proveedores de servicios deben tener en cuenta.

## Objetivos del muestreo de suelos

La metodología básica para el muestreo de suelos fue definida hace más de 50 años por Cline (1944) y hasta hoy no ha cambiado. Siempre se ha reconocido que la principal causa de errores en el análisis de suelos es el muestreo, antes que errores propios de los procedimientos analíticos. Cline estableció hace mucho tiempo que "la exactitud de análisis está determinada por el muestreo antes que por el procedimiento analítico".

El objetivo principal del muestreo de un suelo para obtener una recomendación de fertilización es obtener una muestra que represente en forma precisa el estado de fertilidad del lote donde fue tomada. Lo que se busca es obtener una medida del nivel promedio de fertilidad del campo y una medida de la variabilidad de esta fertilidad. La determinación de la variabilidad fue siempre desechada debido al costo, pero en campos donde se desea iniciar o ya se tienen implantados sistemas de manejo por sitio específico es necesario prestar mucha atención a dicha variabilidad.

El suelo no es homogéneo y presenta diferentes tipos de variación. Las propiedades del suelo, incluyendo la fertilidad, varían de un sitio a otro en el campo, inclusive a través de los diferentes horizontes de un

mismo perfil. Como no es práctico muestrear el campo entero se deben extraer submuestras buscando de esta forma estimar el nivel de fertilidad de todo el lote. La intensidad del muestreo para una determinada exactitud depende de cuan variable sea la fertilidad del campo.

## Exactitud y precisión

Para entender mejor el muestreo de suelos, es necesario diferenciar entre exactitud y precisión (Swenson et al., 1984). La exactitud indica cuan cercano está el valor del análisis de suelo del contenido real del campo, y la precisión describe la reproducibilidad de los resultados. Tanto la precisión como la exactitud están determinadas por el número de submuestras tomadas en el campo. Los procedimientos con muestreos de altos niveles de precisión y exactitud garantizan una muestra compuesta que representa el campo y cuyos resultados son reproducibles consistentemente cuando se remuestrea el sitio. Como ejemplo, un campo que fue submuestreado 10 veces, usando un procedimiento con una exactitud del 10% ( $\mu$ ) y una precisión del 80%, debería tener 8 de cada 10 muestras dentro del 10% ( $\mu$ ) del valor real del campo. Investigaciones conducidas en este tópico demuestran que la exactitud aumenta con el número de submuestras tomadas.

## Formas de muestreo

La parte más crítica de un buen programa de análisis de suelos es obtener una muestra que sea representativa del campo (Peterson and Calvin, 1986). Existen diferentes maneras de obtener una muestra representativa.

El esquema más sencillo, y el más usado, consiste en tomar submuestras al azar de todo el campo. Luego se mezclan las submuestras para obtener una muestra compuesta que irá al laboratorio. También se puede llevar al laboratorio cada submuestra individual para que sea analizada. Una muestra compuesta es adecuada pero no da idea de la variabilidad del campo. El envío de cada submuestra en forma individual es más costoso, pero provee información de la variabilidad del campo que puede afectar las recomendaciones de la fertilización.

1 Potash & Phosphate Institute (PPI) – Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC), Suite 110, 655 Engineering Dr., Norcross, Georgia 30092-2837, EE.UU.

2 Department of Soil Science, University of Saskatchewan, Agriculture Building 51 Campus Drive, Saskatoon, SK S7N 1J5, Canada.

Otro de los sistemas de muestreo utilizado divide el campo en subunidades dentro de las cuales se toman muestras compuestas al azar. Este es un esquema de muestreo al azar estratificado y es semejante al muestreo por paisaje o topografía del terreno. Este esquema incrementa la precisión, sin aumentar sustancialmente los costos.

El muestreo de áreas de referencia es otro tipo de muestreo semejante al del azar estratificado. Involucra la selección de una área pequeña (aproximadamente 1/10 de ha) que se considere representativa del campo que se desea muestrear. Este tipo de muestreo asume que existe menor variabilidad porque el área de muestreo es menor. Las recomendaciones de fertilización se basan en los resultados obtenidos en el área de muestreo. Si se elige bien el sitio de muestreo, este sistema es adecuado y reduce costos, eliminando algunos de los problemas asociados con el muestreo de una área extensa y de gran variabilidad.

Un sistema de muestreo muy usado actualmente es el muestreo sistemático por cuadrículas. Las muestras son tomadas a intervalos regulares en todas las direcciones en un sitio ubicado en los vértices o en el centro de la cuadrícula. Se toman varias submuestras en el sitio que luego se mezclan para hacer la muestra que va al laboratorio. Este tipo de muestreo ha sido extensamente aceptado debido a que evalúa mejor la variabilidad del suelo. Es el programa de muestreo más caro, pero entrega información muy valiosa y necesaria para la adopción exitosa de los sistemas de agricultura por sitio específico en muchas áreas del mundo.

En general, un plan ideal de muestreo debe determinar cual es la menor área que el agricultor pueda tratar como una unidad de muestreo. Se busca un compromiso entre el área mínima deseada para mejorar exactitud y la que tenga menores costos

### **Técnicas de muestreo**

Después de elegir el sistema de muestreo que reduzca la variabilidad del suelo al mínimo, se deben utilizar ciertas técnicas de muestreo que minimicen los errores que a menudo aparecen en la toma de muestras en el campo. En primer lugar, siempre es bueno asegurarse que la herramienta de muestreo esté limpia. En lo posible este instrumento debe ser fabricado en acero inoxidable, libre de herrumbre o cromados, particularmente si se tiene interés en el análisis de micronutrientes. El barreno, o cualquier otra herramienta de muestreo, debe estar bien afilado para producir un corte uniforme de todo el perfil de muestreo.

El tiempo, la frecuencia y la profundidad de muestreo

dependen de la movilidad del nutriente. Para formas móviles de nutrientes como el nitrógeno (N) como nitrato ( $\text{NO}_3$ ) o el azufre (S) como sulfato ( $\text{SO}_4$ ), el muestreo debe ser anual, a una profundidad de 60 cm, o más en algunos casos. El muestreo debe hacerse lo más cercano a la siembra, o cuando se reduce la actividad biológica (temperaturas del suelo  $<5^\circ\text{C}$ ). Para aquellos nutrientes poco móviles, como fósforo (P) y potasio (K), es suficiente muestrear a una profundidad de 15 cm y no es necesario una frecuencia anual de muestreo.

Las muestras compuestas deben conservarse en frío o deben ser transportadas inmediatamente al laboratorio. Algunos laboratorios exigen el secado previo de las muestras al aire. Tanto el secado al aire como el enfriado persiguen el mismo objetivo, prevenir la alteración en la concentración de algún nutriente por actividad microbiana. La mayoría de laboratorios tienen guías completas que explican ampliamente las técnicas del muestreo.

Finalmente, se debe recordar que generalmente una muestra pesa aproximadamente 500 gramos, esto quiere decir el 0.00005% del peso promedio de la capa superficial de una hectárea de suelo. Por esta razón no se debe subestimar la importancia de obtener una muestra de suelos representativa y luego manejarla bien.

### **Preguntas frecuentes sobre muestreo**

¿Qué impacto tiene la variabilidad del suelo en las recomendaciones de fertilización?

La variabilidad del suelo tiene gran impacto en las recomendaciones de fertilización y como resultado se pueden obtener recomendaciones que sugieren la aplicación de cantidades elevadas de nutrientes para ciertas partes del campo y muy bajas para otras. Investigación de muestreos intensivos ha demostrado que, aún en campos uniformes, la fertilidad puede ser muy variable y que los contenidos de nutrientes no presentan una distribución normal de población. Cuando los resultados presentan una distribución normal, los datos se distribuyen de acuerdo a una curva tipo campana y el valor promedio es el valor que ocurre con mayor frecuencia. Cuando la concentración de nutrientes en el campo no sigue una distribución normal, los datos del análisis se distribuyen en forma sesgada y el valor promedio no representa el valor de mayor frecuencia o modo. Un ejemplo se presenta en la Tabla 1 con resultados de un estudio hecho en Alberta, Canadá (Penney et al., 1996), en un campo muestreado en cuadrículas de 65 x 65 m (aproximadamente 1 muestra cada media hectárea).

**Tabla 1. Comportamiento estadístico del análisis de suelo de un campo en Alberta, Canadá que se dividió en cuadrículas 65 x 65m (Penney et al., 1996).**

Año	No. de Muestras	Nutriente	Rango	Promedio	Modo
1993	58	NO <sub>3</sub>	7-134	24	11
	58	P	0-90	13	9
	58	K	119-618	293	159
	58	SO <sub>4</sub>	9-6330	597	11
1994	55	NO <sub>3</sub>	2-24	11	8
	55	P	0-104	15	9
	55	K	127-598	276	155
	55	SO <sub>4</sub>	7-9440	480	10
1995	55	NO <sub>3</sub>	4-43	20	15
	55	P	3-98	18	8
	53	K	112-499	265	183
	52	SO <sub>4</sub>	7-11800	558	22

Los valores promedio de los datos de análisis de suelo de la Tabla 1 son marcadamente mayores que los valores del modo. El modo es el valor que ocurre con mayor frecuencia y representa, por lo tanto, la mayor extensión del campo. Este ejemplo no es único y situaciones como esta ocurren frecuentemente. Los mismos investigadores encontraron, en 39 de 42 bases de datos, que el promedio era sustancialmente mayor que el modo para N, P, K y S. Esto significa que probablemente las recomendaciones hechas en estos 39 lotes pudieron haber sido bajas. Frecuentemente, los análisis de suelo sobrestiman la disponibilidad de un nutriente debido a unos pocos valores altos que están fuera del rango promedio.

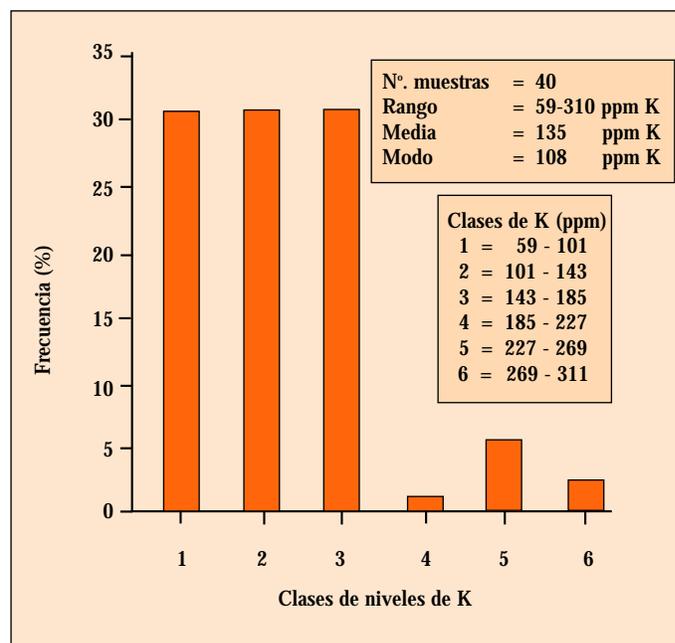
Esto se puede observar fácilmente en la Figura 1 que presenta el histograma de distribución de frecuencias de un muestreo intensivo en un campo en Alberta, Canadá. De acuerdo con las recomendaciones de la zona, el campo no necesitaría fertilización con K, pero en realidad los datos demuestran que 33% del campo necesitaría K. El área pequeña en el campo con contenidos altos de K incrementó el promedio de todo el campo.

El problema de sitios dentro del campo con altos contenidos de un nutriente puede ser especialmente crítico en el caso de S, nutriente con el cual es frecuente la variabilidad extrema (ver Tabla 1). Bastaría que solamente una o dos submuestras tengan contenidos altos de S para sobrestimar el contenido total en el campo y los resultados del análisis no serían útiles. Esta variabilidad obliga a cuestionar la validez de un valor alto de S, ya que no conoce si este alto contenido representa a todo el lote o son una o dos submuestras que contaminan la muestra general.

¿Si los nutrientes móviles deben muestrearse hasta 60 cm, por qué algunos laboratorios recomiendan muestreos más superficiales?

La respuesta se relaciona con la variabilidad del suelo y el número de submuestras necesarias para obtener una muestra representativa. Es difícil estimar el contenido de NO<sub>3</sub> o de SO<sub>4</sub> en profundidad a partir de una muestra superficial. Las muestras tomadas a mayor profundidad pueden no correlacionar bien con las muestras superficiales (Tabla 2). Estos resultados indican que el muestreo a 0-30 cm no puede ser usado para predecir los niveles de N a mayores profundidades. Esto no significa que el muestreo superficial sea malo. Las muestras superficiales son más fáciles de obtener que las muestras a profundidad y tienen menor posibilidad de errores. Cuando se muestrea a profundidad, la compactación en el barreno y la contaminación con suelo superficial que cae de las paredes del hoyo de muestreo puede introducir errores significativos que el operador no conoce. Una cosa paga por la otra, la muestra superficial puede ofrecer una mejor representación del promedio del campo, pero no puede cuantificar la disponibilidad a mayor profundidad.

La respuesta se relaciona con la variabilidad del suelo y el número de submuestras necesarias para obtener una muestra representativa. Es difícil estimar el contenido de NO<sub>3</sub> o de SO<sub>4</sub> en profundidad a partir de una muestra superficial. Las muestras tomadas a mayor profundidad pueden no correlacionar bien con las muestras superficiales (Tabla 2). Estos resultados indican que el muestreo a 0-30 cm no puede ser usado para predecir los niveles de N a mayores profundidades. Esto no significa que el muestreo superficial sea malo. Las muestras superficiales son más fáciles de obtener que las muestras a profundidad y tienen menor posibilidad de errores. Cuando se muestrea a profundidad, la compactación en el barreno y la contaminación con suelo superficial que cae de las paredes del hoyo de muestreo puede introducir errores significativos que el operador no conoce. Una cosa paga por la otra, la muestra superficial puede ofrecer una mejor representación del promedio del campo, pero no puede cuantificar la disponibilidad a mayor profundidad.

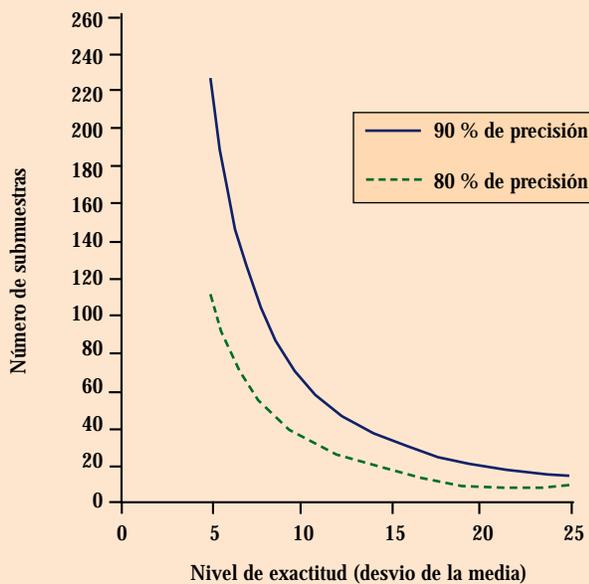


**Figura 1. Distribución de frecuencias de análisis de K en un campo en Mundare, Alberta, Canadá muestreado con una cuadrícula de 65 x 65 m (Penney et al., 1996).**

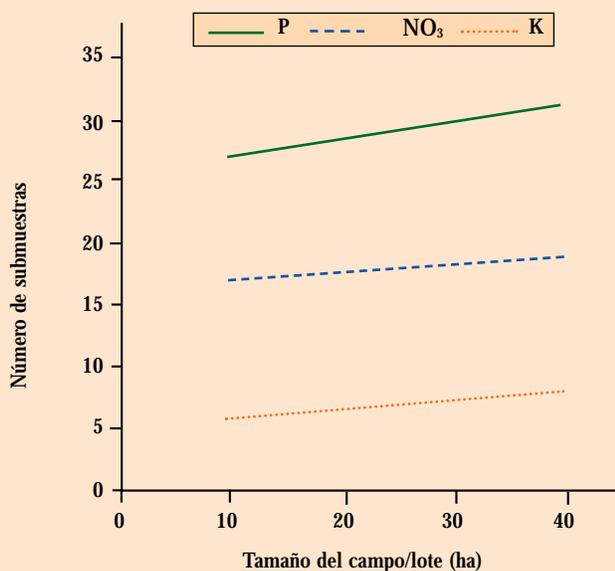
**Tabla2. Correlación ( $R^2$ ) entre valores de  $\text{NO}_3$  a distintas profundidades de muestreo en suelos de Saskatchewan (Henry, 1991).**

Sitio	0-30 vs 30-60 cm	0-30 vs. 60-90 cm	30-60 vs. 60-90 cm
Pederson (primavera)	0.05	0.20	0.16
Carlson (primavera)	0.43	0.09	0.31
Keg (primavera)	0.14	0.01	0.08
Keg (otoño)	0.30	0.13	0.15
Niska (otoño)	0.08	0.02	0.29

Es importante recordar que una muestra de suelo provee de un índice de nutrientes disponibles que se correlaciona con el crecimiento de las plantas. La absorción de N por la planta puede igual tener una muy buena correlación con el N a una profundidad de 0-30 cm que con el de 0-60 cm (Gelderman et al., 1988). Además, el N en el suelo por debajo de los 30 cm no tiene un efecto mayor en la recomendación de fertilización como el N en los primeros 30 cm (Carefoot et al., 1989).



**Figura 2. Número de submuestras requeridos para obtener una muestra compuesta para analizar  $\text{NO}_3$  con varios niveles de exactitud y precisión (Swenson et al., 1984).**



**Figura 3. Relación entre el tamaño del lote y el número de submuestras necesarias para obtener una muestra de suelos con un nivel de exactitud del 15% y una precisión del 80 % (Swenson et al., 1984).**

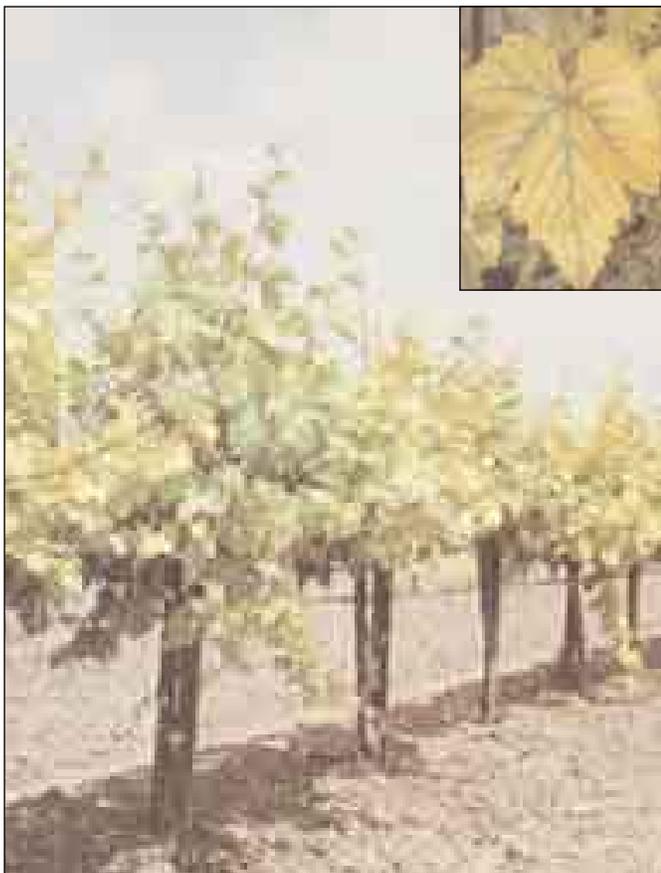
¿Cuál es el número de submuestras necesario para que una muestra de suelo sea representativa

El número de submuestras está relacionado con la precisión y exactitud. Para obtener una muestra representativa del campo se recomienda un mínimo de 20 submuestras, pero se debe recordar que la exactitud se incrementa con el número de submuestras. La Figura 2 presenta los datos de un estudio realizado en Dakota del Norte, en el cual se evalúa el número de muestras necesario para alcanzar un cierto nivel de exactitud para el análisis del  $\text{NO}_3$ . Se requieren cerca de 60 submuestras para alcanzar una exactitud de  $\pm 10\%$  y una precisión del 90%. Sin embargo, un muestreo de esta exactitud no es necesario para la mayoría de las recomendaciones de fertilización. Por otro lado, menos de 10 submuestras son necesarias para lograr una exactitud del 20%  $\pm$  y una precisión del 80%, pero este nivel de exactitud no es aceptable para una recomendación de fertilización confiable. Entre 20-30 submuestras proveen una exactitud y precisión adecuada para recomendaciones de fertilización.

¿El tamaño del lote afecta la exactitud de una muestra de suelo?

Trabajos de investigación han demostrado que el número de submuestras se incrementa muy poco a medida que se incrementa el tamaño del lote. Por ejemplo, los datos de Dakota del Norte que se presentan en la Figura 3 indican que existe un ligero incremento en el número de submuestras a tomarse cuando se incrementa el tamaño del lote, pero que este incremento no es proporcional al incremento del tamaño del lote. Resultados similares se han documentado en otros estudios. Es más importante determinar el tamaño del lote para un muestreo correcto teniendo en cuenta los factores discutidos anteriormente.

Continúa.. Pág. 13



**Foto 13. Clásicos síntomas de deficiencia de Fe. La hoja toma un color amarillento mientras las nervaduras permanecen verdes.**



**Foto 14. Deficiencia de Mn que aparece como una clorosis entre las nervaduras de la hoja.**

## Manganeso (Mn)

### Funciones del Mn en la planta

El Mn actúa como activador de enzimas que participan en los procesos de crecimiento. Además, interviene en la formación de clorofila.

### Síntomas de deficiencia de Mn

Los síntomas se inician en las hojas viejas como un amarillamiento entre las nervaduras. La clorosis es más acentuada en las nervaduras primarias y secundarias dando la apariencia de espina de pescado (Foto 14)..

## El muestreo de suelos: Los Beneficios ... cont.

### Bibliografía

Carefoot, J.M., J.B. Bole and T. Entz. 1989. Relative efficiency of fertilizer N and soil nitrate at various depths for the production of soft white wheat. *Can. J. Soil Sci.* 69:867-874.

Cline, M.G. 1994. Principles of Soil Sampling. *Soil Sci.* 58:275-288.

Gelderman, R.H., W.C. Dahnke and L. Swenson. 1988. Correlation of several soil N indices for wheat. *Commun, Soil Sci. Plan Anal.* 19(6): 755-772.

Henry, J.L. 1991. Nutrient requirements of irrigated crops. Annual Progress Report. Saskatchewan Water Corporation.

Penney, D.C., R.C. McKenzie, S.C. Nolan and T.W. Goddard. 1996. Use of crop yield and soil-landscape attribute maps for variable rate fertilization. In *Proceedings Great Plains Soil Fertility Conference, Denver, Colorado.* 6:126-140.

Petersen, R.G. and L.D. Calvin. 1986. Sampling In a. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1.2<sup>nd</sup> Ed. Agronomy* 9(1): 33-51.

Swenson, L.J., W.C. Dahnke, and D.D. Patterson. 1984. Sampling for soil testing. North Dakota State University, Dept. of Soil Sci., Res. Report No. 8.