

El muestreo de suelos: Los beneficios de un buen trabajo *

T.L. Roberts¹ y J.L. Henry²

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*

El Problema

Existe una presión constante hacia los laboratorios de análisis de suelo de proveer mejores servicios de análisis y recomendaciones de fertilización. Si bien existen distintas filosofías para las recomendaciones de fertilización, la recomendación será adecuada solamente si la muestra enviada es representativa del lote o campo muestreado. Todo el mundo reconoce la importancia de un buen muestreo de suelos, pero en muchos casos se cuestiona cuan intensivo, frecuente y a que profundidad debe ser, particularmente debido al gran interés que genera el manejo sitio-específico y la agricultura de precisión. En el siguiente artículo, se analizarán algunos de los principios básicos a tener en cuenta en el muestreo de suelos y aspectos relacionados que deben considerar los agricultores y los proveedores de servicios.

Revisión bibliográfica

La metodología básica para el muestreo de suelos fue definida hace más de 50 años por Cline (1944), y todavía no ha cambiado. Siempre se ha reconocido que los mayores errores son de muestreo más que el propio error analítico. Cline estableció: "El límite de exactitud está dado por el muestreo no por el análisis".

Al muestrear un suelo para una recomendación de fertilización, el punto central es obtener una muestra que represente precisamente el lote donde fue tomada. El objetivo es proveer una medida del nivel promedio de fertilidad del campo y una medida de la variabilidad de la fertilidad. Esta última fue siempre desechada debido a los costos que implica, pero en campos con agricultura de precisión es necesario prestarle mucha atención a dicha variabilidad de suelo.

El suelo no es homogéneo y lo caracterizan diferentes tipos de variaciones. Las propiedades del suelo, incluyendo la fertilidad, varían de un lugar a otro, e inclusive a través de los diferentes horizontes de un mismo perfil. Dado que es impracticable muestrear el campo entero, debemos confiar en extraer submuestras para estimar el nivel de fertilidad de un lote. La intensidad del muestreo para una exactitud dada, dependerá de cuan variable sea la fertilidad del campo.

* Publicado en Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N°8, Diciembre 2000.

Exactitud y Precisión

Para entender mejor el muestreo de suelos, es necesario diferenciar entre exactitud y precisión (Swenson *et al.*, 1984). La exactitud indica cuán cercano está el valor del análisis de suelo respecto del promedio real del campo. La precisión describe la reproducibilidad de los resultados. Tanto la precisión como la exactitud están determinadas por el número de muestras. Los procedimientos que resultan en muestreos con altos niveles de precisión y exactitud, garantizan una muestra que representa el campo y que cuyos resultados son reproducibles. Como ejemplo, un campo que fue muestreado 10 veces, usando un procedimiento con una exactitud del 10% (+-) y una precisión del 80%, debería tener 8 de cada 10 muestras dentro del 10 % (+-) del valor actual del campo. Las investigaciones muestran que la exactitud aumenta con el número de muestras tomadas.

Planes de muestreo

La parte más crítica en un buen programa de análisis de suelos es la obtención de una muestra que sea representativa del campo (Petersen and Calvin, 1986). Existen diferentes maneras de obtener una muestra representativa. Un esquema sencillo, y el más usado, consiste en tomar submuestras al azar a lo largo del campo, mezclándose luego para obtener una muestra compuesta que irá al laboratorio, o llevando individualmente cada submuestra a analizar. Una muestra compuesta es adecuada pero no da idea de la variabilidad del campo. El envío individual de cada submuestra es más costoso, pero provee información de la variabilidad del campo que puede afectar las recomendaciones de la fertilización.

Otro plan de muestreo implica la división del campo en sub-unidades 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 ("benchmark") es un tipo de muestreo al azar estratificado. Involucra la selección de un área pequeña (aproximadamente 1/10 de ha) considerada representativa del campo de la cual se toman muestras al azar. Este tipo de muestreo asume menor variabilidad que el muestreo de todo el campo porque el área de muestreo es menor. Las recomendaciones de fertilización son referidas al área de muestreo. Siempre que elijamos bien el sitio de muestreo, este sistema reduce costos, eliminando algunos de los problemas asociados con el muestreo de un área extensa y de gran variabilidad.

Un plan de muestreo muy usado es el sistemático o de grilla. Las muestras son tomadas a intervalos regulares en todas las direcciones. Este tipo de muestreo ha sido extensamente aceptado debido al potencial de incremento en la exactitud de los análisis de suelos. Es el programa de muestreo más caro, pero provee información muy valiosa acerca de la variabilidad del campo siendo la herramienta necesaria para la adopción exitosa de los sistemas de agricultura de precisión en muchas áreas.

En definitiva, el plan ideal de muestreo debería incluir la menor área posible que el agricultor pueda tratar como una unidad. Generalmente, existe un compromiso entre el área mínima deseada para la mejor exactitud y la aceptada por menores costos.

Técnica del muestreo

Además de elegir el plan de muestreo para reducir la variabilidad al mínimo, los errores de muestreo pueden ser minimizados siguiendo técnicas de muestreo adecuadas. En primer lugar, siempre es bueno asegurarse la limpieza del muestreador, en lo posible fabricado en acero inoxidable, libre de herrumbre o cromados, en especial para el análisis de micronutrientes. En segundo lugar, dicho barreno debe estar en lo posible bien afilado para producir un corte uniforme de todo el perfil de muestreo.

Tanto el tiempo, como la frecuencia y la profundidad dependen de la movilidad del nutriente. Para nutrientes móviles como el nitrato o sulfato, el muestreo debe realizarse con una frecuencia anual a una profundidad de 60 cm o mayor en algunos casos. El momento de muestreo debe ser 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 y potasio, es suficiente con una profundidad de 15 cm y no es necesario una frecuencia anual de muestreo.

Luego de la toma de muestras, las mismas deben ser conservadas en frío o transportadas inmediatamente al laboratorio. Algunos laboratorios exigen el secado al aire previo de las muestras extendiéndolas en capas finas. Tanto el secado al aire como el enfriado persiguen el mismo objetivo, que es prevenir la alteración en la concentración de algún nutriente por los microorganismos.

Los laboratorios de análisis de suelos proveen guías completas de las técnicas del muestreo de suelos. Recordemos que por lo general una muestra pesa aproximadamente 500 gramos, o sea el 0,00005% del peso medio de la capa superficial de una hectárea. La importancia de obtener una muestra de suelos representativa y manejarla adecuadamente no debe ser desestimada.

Preguntas más frecuentes

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

La variabilidad del suelo tiene un gran impacto en las recomendaciones de fertilización pudiendo resultar en recomendaciones elevadas o reducidas. Muchos estudios de muestreos intensivos, aún en campos uniformes, muestran que la fertilidad puede ser muy variable y que los resultados no muestran una distribución de población normal. 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 de mayor ocurrencia. Cuando los

resultados no siguen una distribución normal, los datos se distribuyen en forma sesgada y el valor promedio no representa el valor de mayor frecuencia o modo. Un ejemplo se observa en la Tabla 1 con resultados de un estudio hecho en Alberta (Canadá) en un campo muestreado en grillas de 65 m X 65 m (aproximadamente 1 muestra cada media hectárea).

Tabla 1. Descripción estadística del análisis de suelo con una grilla de 65*65 m de un campo de Alberta (Canadá) (Penney *et al.*, 1996).

Año	N° de Muestras	Nutriente	Rango -----ppm	Promedio -----	Modo -----
1993	58	N-NO ₃	7-134	24	11
	58	P	0-90	13	9
	58	K	119-618	293	159
	58	S-SO ₄	9-6330	597	11
1994	55	N-NO ₃	2-24	11	8
	55	P	0-104	15	9
	55	K	127-598	276	155
	55	S-SO ₄	7-9440	480	10
1995	55	N-NO ₃	4-43	20	15
	55	P	3-98	18	8
	53	K	112-499	265	183
	52	S-SO ₄	7-11880	558	22

Los valores promedio de análisis de suelo de estos datos son marcadamente mayores que los valores del modo. El modo es el valor de mayor frecuencia de ocurrencia y, por lo tanto, representa el mayor porcentaje del campo. Este ejemplo no es único. Los mismos investigadores encontraron que en 39 de 42 bases de datos analizadas, el promedio era sustancialmente mayor que el modo para nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S), lo cual implica que las recomendaciones pudieron haber sido bajas.

Frecuentemente, los análisis de suelo sobrestiman la disponibilidad de un nutriente debido a unos pocos valores altos fuera del rango promedio. Esto se puede observar fácilmente en el histograma de distribución de frecuencias proveniente de un muestreo intensivo en Alberta en la Figura 1. De acuerdo con las recomendaciones zonales, el campo no necesitaría fertilización con K, sin embargo, el 33% del campo necesitaría K. El área pequeña con altos valores de K ("outliers") magnificó el promedio de todo el campo.

El problema de los "outliers" puede ser especialmente crítico en el caso de S, donde la variabilidad extrema es normal (ver Tabla 1.). Con sólo 1-2 submuestras de suelo que den altos valores, se estaría sobrestimando de tal forma que los resultados del análisis no serían útiles. Esta variabilidad nos obliga a cuestionarnos a cerca de la validez de un valor alto de S, ya que uno no conoce si es alta la fertilidad del lote/campo o son 1-2 submuestras que contaminan la muestra general.

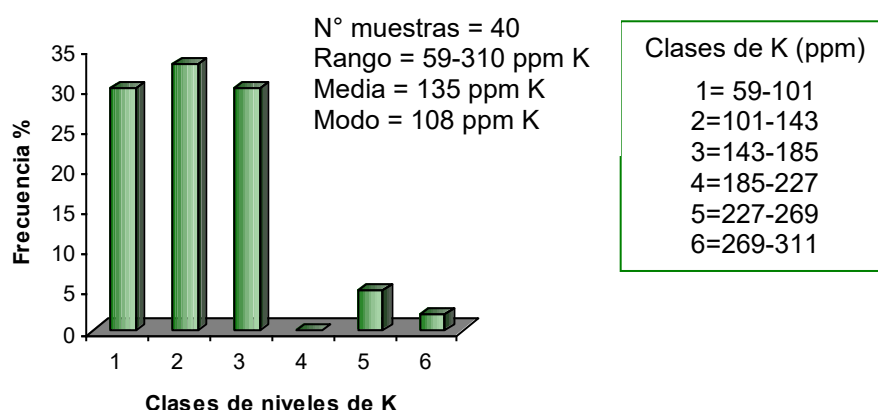


Figura 1. Distribución de frecuencias de análisis de K según una grilla de muestreo (65*65m) en Mundare, Alberta (Penney *et al.*, 1996).

¿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 muestras necesario para obtener una muestra representativa. Resulta difícil estimar el N-NO₃ o S-SO₄ en profundidad a partir de una muestra superficial. Las muestras en profundidad pueden estar pobremente correlacionadas con las superficiales (Tabla 2).

Tabla 2. Correlación (R²) entre valores de N-NO₃ 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

Estos resultados no indican que el muestreo a 0-30 cm sea malo, por el contrario, estas muestras son de fácil obtención y de menor error que las muestras profundas. En el muestreo profundo de suelos, la compactación en el barreno y la mezcla de suelos con la capa superficial puede introducir un gran error no conocido por el operador.

Es importante recordar que el muestreo de suelo provee un índice de nutrientes disponibles que se correlaciona a su vez con el crecimiento de las plantas. La absorción de N puede tener una correlación más alta con N a 0-30 cm que a 0-60 cm (Gelderman *et al.*, 1988). Por otro lado, el N en el suelo por debajo de

los 30 cm no afecta tanto la recomendación de fertilización como el N en los primeros 30 cm (Carefoot *et al.*, 1989).

¿Cuál es el número mínimo de submuestras (“piques”) necesario para que una muestra de suelo sea representativa?

El número de “piques” que se tome está relacionado con la precisión y exactitud. Un mínimo de 20 submuestras se recomienda para obtener una muestra representativa de todo el campo. Pero recordemos que la exactitud se incrementa con el número de “piques”. Esto lo podemos observar en 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 de N-NO_3^- del suelo (Fig. 2). Cerca de 60 submuestras se requieren para alcanzar una exactitud de $\pm 10\%$ y una precisión del 90%. De todos modos, este tipo de muestreo de gran exactitud no es necesario para la mayoría de las recomendaciones de fertilización. Menos de 10 submuestras son necesarias para lograr una exactitud del 20% y una precisión del 80%, pero este nivel de exactitud no es recomendable para una recomendación de fertilización confiable. Entre 20-30 submuestras proveen una exactitud y precisión adecuada para recomendaciones de fertilización.

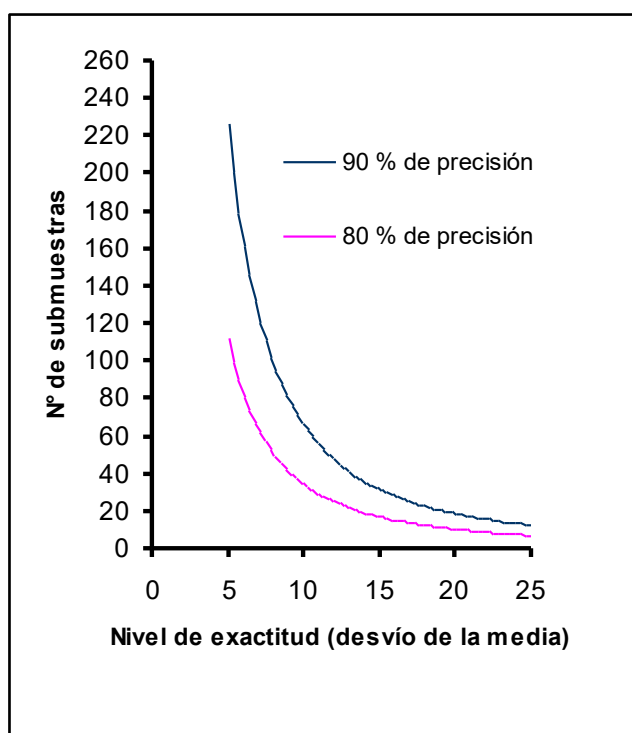


Figura 2. Número de submuestras requeridos para una muestra compuesta de N-NO_3^- con varios niveles de exactitud y precisión (Swenson *et al.*, 1984).

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

En realidad, según los investigadores, el número de submuestras requeridas incrementa muy poco con el tamaño del campo/lote, como se ve en un ejemplo en Dakota del Norte para tres nutrientes distintos (Fig. 3).

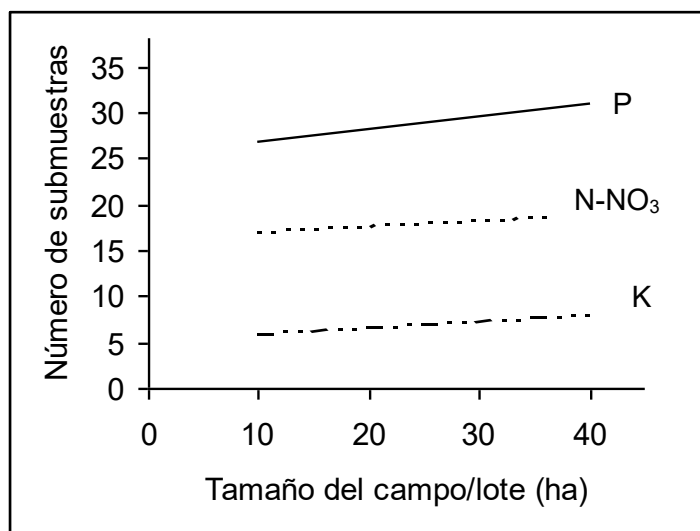


Figura 3. Relación entre el tamaño del campo/lote y el número de submuestras requeridos para una muestra de suelos con un nivel de exactitud del 15% y una precisión del 80% (Swenson et al., 1984).

Referencias

- 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. 1944. 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. 2nd 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 N° 8.