

## EL ANALISIS DE SUELO COMO HERRAMIENTA PARA MONITORIZAR POSIBLES PROBLEMAS AMBIENTALES

James Beaton\*

### Introducción

Los procedimientos químicos usados para medir la capacidad que tiene el suelo para suplir nutrientes o para determinar el estado nutricional del suelo se conocen comúnmente como análisis de suelos. El principal objetivo del análisis de suelos es el de ayudar a predecir las cantidades de nutrientes que las plantas necesitan para complementar el suplemento de las reservas naturales en el suelo y así lograr una producción satisfactoria del cultivo.

Se conoce que el análisis de suelo también es un buen medio para monitorizar el destino de los nutrientes aplicados al suelo como fertilizantes, sean estos minerales o materiales orgánicos como de residuos de corral, desechos humanos, compost, leguminosas y otros cultivos de cobertura. Por esta razón se promueve entre los agricultores el uso continuo del análisis de suelo como una práctica adecuada de manejo de los cultivos (PAM). Mediante el análisis de suelo, los agricultores y los técnicos pueden determinar si es necesario añadir nutrientes y si los nutrientes aplicados mejoran la fertilidad del suelo del lote tratado o si los nutrientes añadidos se pierden de la zona radicular.

Los objetivos de este artículo son:

- Discutir los nutrientes a menudo asociados con los riesgos ambientales.
- Revisar los aspectos importantes de obtener muestras de suelo representativas.
- Proveer de información sobre recientes avances en los métodos de análisis de suelo.

### Los nutrientes de la planta y el ambiente

El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes contenidos en los fertilizantes bajo sospecha de estar involucrados en problemas ambientales.

#### Nitrógeno

El ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que es altamente móvil, puede lixiviarse del suelo a aguas profundas o puede llegar a cuerpos de aguas superficiales. A pesar de que el P es menos móvil y puede ser retenido fuertemente en el suelo, puede ser acarreado a los cuerpos de agua superficiales por medio de la erosión.

La insuficiencia de N es un problema universal de manejo de la fertilidad del suelo y la aplicación de N es una necesidad para que los cultivos crezcan satisfactoriamente. El  $\text{NO}_3^-$  es normalmente la forma de N que domina en suelos bien drenados. Generalmente está presente en concentraciones más altas que amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y se mueve libremente en la solución del suelo.

Algo del  $\text{NH}_4^+$ , que es atraído electrostáticamente a los coloides que están cargados negativamente (menos móvil), siempre está presente en el suelo. El  $\text{NH}_4^+$  es la principal forma de N inorgánico bajo condiciones de mal drenaje y es importante en la producción de arroz de inundación.

Existe creciente evidencia que demuestra que el crecimiento de las plantas a menudo mejora cuando son nutridas con una combinación de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  y no exclusivamente con una de las dos formas de N. Aparentemente los beneficios de  $\text{NH}_4^+$  tienen relación con la etapa de crecimiento de cultivo.

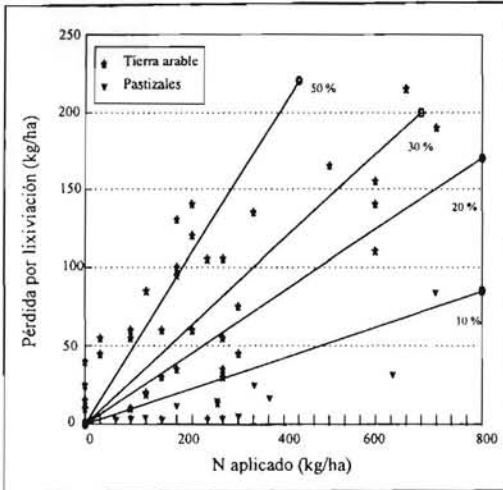
El análisis de suelo para monitorizar el impacto de la fertilización con N en el ambiente debe obviamente considerar las dos formas inorgánicas de N y su comportamiento y propiedades únicas en el suelo.

Los lotes ubicados en zonas altas son reconocidos como importantes fuentes de N, así como de P. Los resultados de varias investigaciones que han estudiado el movimiento de N saliendo de zonas altas cultivadas y pastizales se presentan en la **Figura 1**. Las pérdidas de N por lixiviación de los pastizales son generalmente mucho menores que de las zonas altas cultivadas, en gran parte debido probablemente a una absorción más continua de N durante todo el año. Además, la cobertura activa de las plantas en los pastizales consume la humedad del suelo y así reduce la cantidad de agua que está sujeta a percolación.

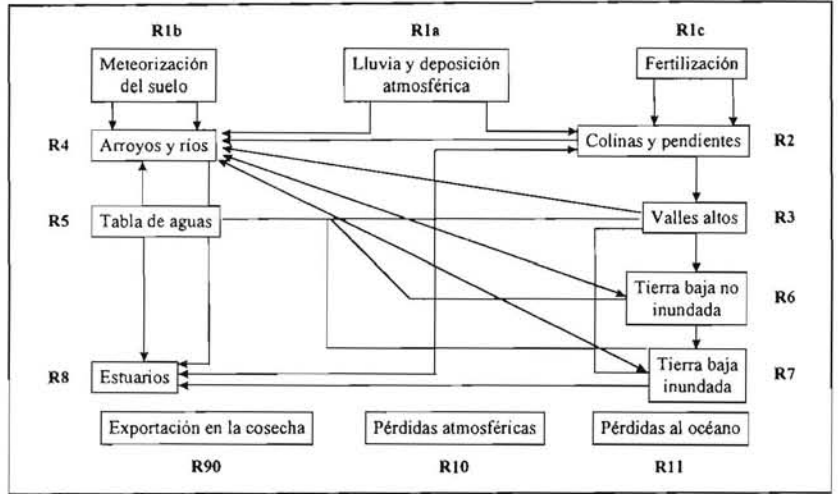
Del 10 a más del 50% del fertilizante nitrogenado añadido se lixivió de las tierras arables altas, mientras que mucho menos, de 0 a 20%, fue removido de los pastizales por lixiviación (**Figura 1**). La magnitud de estas pérdidas depende del tipo del suelo (particularmente la textura), la cantidad y frecuencia de las precipitaciones y la magnitud de la percolación.

Cierta cantidad de N perdido por lixiviación se origina de la descomposición de la materia orgánica en el suelo y la adición de N por las precipitaciones y el agua de irrigación. Esto ocurre con o sin la aplicación de fertilizante nitrogenado. Es importante indicar que los residuos de cultivos y otros materiales orgánicos, como los residuos de corral, también pueden aportar con cantidades significativas de N que se pueden perder del suelo por lixiviación.

\* El Dr. J. Beaton trabajó por muchos años en el Instituto de la Potasa y el Fósforo donde se jubiló como Presidente del PPIC. Actualmente cumple funciones de consultor privado.



**Figura 1. Relación entre el N aplicado y la pérdida de N por lixiviación de tierras altas cultivadas y pastizales (Kyuma, 1990).**



**Figura 2. Flujo de transferencia direccional de P entre áreas de diferente posición en la pendiente usada en Asia y Oceanía (Ward y Sanford, 1990).**

La importancia de aplicar el fertilizante nitrogenado en concordancia con las cantidades recomendadas en base al análisis de suelos se demuestra en la **Tabla 1**. Los niveles de  $\text{NO}_3^-$  que se descargan en los tubos de drenaje de los campos 1 a 4 son similares a aquellos de ecosistemas naturales. Las dosis de N recomendadas y aplicadas en estos cuatro campos son casi iguales a las cantidades de N removidas por el cultivo. Es interesante anotar que la pérdida de N fue menor en el campo 3 que fue tratado con la mayor dosis de N. En consecuencia, altas cantidades de fertilizante nitrogenado no resultan en problemas ambientales si el tratamiento es agronómico y científicamente prudente.

Existió una substancial pérdida de N en los campos 5 y 6 donde las dosis de fertilizantes excedieron considerablemente la cantidad recomendada.

**Tabla 1. Influencia de la aplicación de N en descarga de  $\text{NO}_3^-$  en los tubos de drenaje (Miller, 1979).**

| Lote | Dosis de N recomendada | Dosis de N aplicada | $\text{NO}_3^-$ en los tubos de drenaje |
|------|------------------------|---------------------|---|
|      | ----- kg/ha -----      |                     |   |
| 1    | 50                     | 35                  | 17                                      |
| 2    | 104                    | 92                  | 15                                      |
| 3    | 150                    | 150                 | 4                                       |
| 4    | 130                    | 110                 | 8                                       |
| 5    | 85                     | 110                 | 57                                      |
| 6    | 150                    | 200                 | 55                                      |

### Fósforo

El P tiene solubilidad y movimiento restringidos en la mayoría de los suelos tropicales donde reacciona fuertemente con otros constituyentes del suelo como los óxidos de hierro y aluminio. La mayor pérdida de P en suelos tropicales se produce por erosión del suelo que arrastra las partículas de arcilla que retienen P y las partículas de materia orgánica que también tienen P (Kyuma, 1990). La erosión causa pérdidas de P que son 100 veces mayores que la lixiviación. Sin embargo, se reconoce que la lixiviación de P es uno de los mecanismos que llevan al empobrecimiento del suelo de ciertas áreas recientemente deforestadas.

Existen algunas inquietudes respecto a la suerte que corre el P que entra en los cuerpos de agua mediante la erosión de partículas del suelo que

contienen P. Sin embargo, cabe indicar que la mayor parte del P retenido por las partículas se sedimenta y no actúa como un agente contaminador.

Se ha reportado que las pérdidas de P por lixiviación provenientes de las tierras altas cultiva-

das y de los pastizales son muy bajas (Kyuma, 1990). Estas pérdidas fluctúan entre 0.05 a 0.72 kg/ha para suelos arables (media de 0.23 kg/ha). Pérdidas de igual magnitud pueden ocurrir en suelos no fertilizados debido a la liberación de P durante los procesos de meteorización del material parental.

En Japón se ha establecido que las pérdidas por lixiviación de P aplicado a lotes con arroz de secano y hortalizas, en dosis 86 y 183 kg/ha respectivamente, fueron solamente de 0.5 y 1.5 kg P/ha (0.6 y 0.8 %). Esto demuestra la alta capacidad del suelo para retener P.

### Aspectos importantes del muestreo de suelos

Si se desea monitorizar posibles problemas ambientales, los programas de muestreo de suelos deben conducirse de tal forma que representen realmente las condiciones que se desea determinar. Se debe desarrollar una buena rutina de muestreo que considere los ingresos, formas presentes y salidas de nutrientes del suelo en sus diferentes formas de uso. La **Figura 2** presenta un diagrama de las transferencias direccionales de P entre áreas localizadas en diferente posición en la pendiente, utilizado en Asia y Oceanía.

Se debe también prestar atención a los aspectos prácticos del muestreo de suelo incluyendo los siguientes:

#### Momento de la toma de muestra

- Antes de sembrar el cultivo
- Antes de la aplicación de nutrientes
- A intervalos regulares después de la fertilización
- A continuación de eventos significativos de precipitación o riego
- Después de la cosecha
- En los periodos de más alta demanda de nutrientes por parte de los cultivos

#### Profundidad de muestreo

- Un poco más profundo que la capa arable (15 a 30 cm) en cultivos anuales
- Hasta profundidades de 60 a 180 cm en áreas de baja precipitación para medir  $\text{NO}_3^-$  residual
- Muestras más profundas son algunas veces necesarias en áreas de alta precipitación donde se sospecha lixiviación de  $\text{NO}_3^-$ .
- Se debe tomar en cuenta la profundidad del sistema radicular factor que está relacionado con las categorías de uso de suelo

#### Sistemas de cultivo

- Monocultivos
- Cultivos múltiples
- Cultivos intercalados
- Secuencias de rotación

#### Detalle del muestreo

- Muestreo detallado en cuadrículas en los lotes
- Muestreo de acuerdo al tipo de suelos dentro de los lotes

#### Avances recientes en el análisis de suelo

A continuación se presenta una breve discusión de algunos avances recientes en la metodología de análisis de suelos, que también pueden usarse en monitorizar posibles problemas ambientales.

#### Resinas del intercambio de iones

Un método propuesto para evitar las dificultades asociadas con el uso de

soluciones químicas para extraer cierta porción "disponible para la planta" de la cantidad total de un nutriente específico presente en el suelo, es la técnica de resina mixta de intercambio de iones (Skogley et al., 1992). Con este procedimiento se colocan en el suelo cápsulas de resina mixta de intercambio de iones que sirven como núcleos para absorber nutrientes en respuesta a la concentración y difusión de nutrientes en la solución del suelo. Esta técnica ha sido usada con éxito para el análisis rutinario de la disponibilidad de N, P, Ca, Mg y S en el suelo. Este método extrae  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ .

Van Raij et al. (1986) recomendaron el uso de resinas para extraer P, Ca, Mg y K disponibles en suelos de Brasil. Las resinas estaban saturadas con  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ . Los iones adsorbidos en la resina se remueven con  $\text{NaCl}$  1M y  $\text{HCl}$  0.1M.

Las resinas remueven continuamente cualquier ion que entre en la solución, previniendo de esta forma el establecimiento de equilibrio de iones entre la fase sólida y la solución. Debido a este modo de acción, se cree que las resinas son un índice universal de la disponibilidad relativa de los nutrientes. Esto contrasta con las extracciones con una solución química que tienen restricciones, debido a su capacidad de remover solamente los nutrientes que están presentes en la solución del suelo y ciertas fracciones específicas de los nutrientes en la fase sólida.

#### Membranas de intercambio de iones

Se ha reportado que membranas mixtas de intercambio de iones y cationes proveen un índice simple, rápido y simultáneo de la disponibilidad relativa de N, P, K y S en el suelo (Shoenau et al., 1992). Se considera que esta extracción de nutrientes simula muy de cerca la acción de las raíces de la planta. Por esta razón se cree que el procedimiento de la membrana de intercambio aniónica y catiónica es superior a la extracción de

nutrientes con soluciones químicas, especialmente para P y K.

Tiempos de extracción y elución (remoción de iones de membrana) tan cortos como 15 minutos son satisfactorios. Las planchas de membrana de intercambio se cortan en tiras de 46 x 10 mm para aniones y de 40 x 14 mm para cationes. Si estas tiras son tratadas cuidadosamente pueden usarse repetidamente y se pueden conducir más de 500 extracciones con una sola sin ningún deterioro físico o pérdida de efectividad.

En la Figura 3 se presenta un ejemplo de la correlación estrecha entre el método de la membrana de intercambio de iones y un extractante químicos convencional de P.

#### Método modificado de la solución extractante Kelowna

La solución modificada Kelowna compuesta de  $\text{HoAc}$  0.25N,  $\text{NH}_4\text{F}$  0.015N y  $\text{NH}_4\text{Oac}$  0.25 N, utilizada en una relación suelo-solución de 1:10 y un tiempo de agitación de 5 minutos, ha tenido éxito en la provincia de British Columbia, Canadá para medir el contenido de  $\text{NO}_3^-$ , P y K disponibles en el suelo. Esta solución parece ser también satisfactoria para la extracción de  $\text{SO}_4$  (Gough, 1993).

Continúa en la pág. N° 12

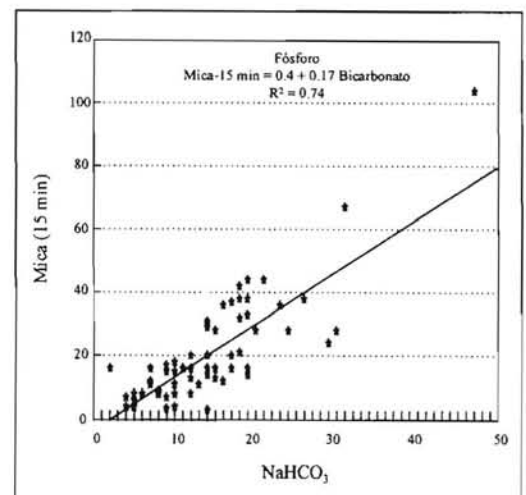


Figura 3. Relación entre el P extraído con el procedimiento de la membrana de intercambio aniónico y catiónico (MICA) y un extractante común ( $\text{NaHCO}_3$ ) (Shoenau et al., 1992).

Bibliografía

Kyuma, K. 1990. Protection of the environment: Sustained agriculture, sustained ecosystems. P. 57-71. In International Rice Research Institute (1990). Phosphorus requirement for sustainable agriculture in Asia and Oceania. P. O. Box 933, Manila, Philippines.

Miller, M. H. 1979. Contribution of nitrogen and phosphorus to subsurface drainage water from intensively cropped mineral and

organic soils in Ontario. J. Environmental Quality 8(1):42-48.

Potash & Phosphate Institute. 1991. Facts from our environment. Atlanta, Georgia. 44pp.

Shoenau, J. J., W.Z. Huang and P. Qian. 1992. Soil fertility analysis using ion exchange membranes. P., 32- 39. In 1992 Great Plain Soil Fertility Conference Proceedings. Denver, CO. March 3-4. 1992.

Skogley, E. O., J. W. Bauder, B. E. Schaff and D. J. Sieler. 1992. PST vs. Olsen soil test for predictions phosphorus availability

p. 35-44. In Proceedings of the Western Phosphate and Sulfur Workgroup Conference. Anchorage, Alaska . August 6-8, 1992.

Ward, J. And R. Sanford. 1990. Group IV. Agricultural inputs to phosphorus transfers. P. 10-44. In International Rice Research Institute (1990). Phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania. P. O. Box 933, Manila, Philippines. ♣