

¿Por qué hay confusión en la interpretación de los análisis químicos de suelos en México?*

J. Etchevers-Barra¹, J. Padilla Cuevas¹, C. Hidalgo Moreno¹, y A. Tasistro²

Introducción

El diagnóstico del estado nutrimental de los suelos, es decir, la estimación de su capacidad para abastecer de nutrientes a los cultivos ya sea por sus características químicas naturales o por el efecto residual del manejo previo, en particular la adición de fertilizantes y enmiendas, es fundamental para alcanzar los rendimientos máximos posibles en un agroecosistema. La capacidad máxima de producción de un agroecosistema puede ser modificada por intervención antrópica si se corrigen algunos factores de la producción, como son: abastecimiento de agua, profundidad de enraizamiento, adición de enmiendas, etc. A cada rendimiento máximo posible le corresponde una demanda nutrimental que tiene que ser suministrada por el suelo y, en caso de no ser suficiente, se debe suplementar mediante la adición de productos fertilizantes orgánicos o inorgánicos. El diagnóstico de esa capacidad de suministro de nutrientes esenciales (y a veces de elementos tóxicos) es a lo que se aspira al medir en el laboratorio, en una muestra de suelo, con un indicador de disponibilidad mediante el empleo de técnicas químicas específicas. La interpretación, esto es, entender el significado de los resultados de estos indicadores, es lo que muchas veces genera cierta confusión. Lo que el método químico provee no es la cantidad real disponible de un nutriente, sino un índice que se asocia con el valor verdadero de lo que el cultivo puede adquirir. Dicho índice puede ser mayor o menor que esa cantidad, por eso se habla de que es un indicador. Para poder inferir la disponibilidad se requiere haber transitado por diferentes pasos previos que comienzan con la certeza de haber generado la información previa. Esto es: i) haber seleccionado la solución química adecuada para la extracción, ii) haber relacionado el resultado del análisis químico con una probabilidad de respuesta a la aplicación de un fertilizante (esto es haber establecido la clase de fertilidad), y finalmente iii) haber considerado el rendimiento esperado, porque la interpretación es función de éste parámetro. Por ejemplo, 3-4 ppm de P-Olsen son totalmente inadecuadas para producir 10 toneladas de maíz, pero son más que suficiente para una producción de 2 toneladas de grano de este cultivo. Resulta entonces, que la interpretación requiere de un entendimiento del sistema de producción, de un conocimiento profundo de la teoría química que hay detrás de cada uno de estas técnicas y de los aspectos agronómicos (correlación y calibración).

Hay que dejar en claro que el diagnóstico y la corrección de los problemas nutrimentales constituyen sólo una parte

de un plan destinado a abastecer correctamente de todos los factores de crecimiento manejables requeridos para alcanzar los rendimientos máximos posibles. Factores como agua, energía, sanidad, genotipo, condiciones físicas del sustrato, etc., son tan fundamentales como la nutrición misma. Estos factores de crecimiento se ubican asociados a los tres componentes fundamentales del sistema de producción: atmósfera, suelo y cultivo, y deben ser comprendidos a cabalidad para alcanzar el éxito en la producción; esto es, se requiere entender cómo funciona el sistema suelo-cultivo-atmósfera y, en particular, la naturaleza de las interacciones (flujos) que se dan entre estos tres componentes. El resultado de estas interacciones se traducirá finalmente en la producción de biomasa.

El diagnóstico a que nos referimos hoy sólo toca el aspecto nutrimental. Hay otro diagnóstico, que llamaremos general o de campo, que permite identificar la intensidad en que se encuentran presentes los tres componentes del sistema arriba mencionados y sus factores asociados, y la manera de cómo éstos afectan el desarrollo del cultivo y la producción. En conclusión, la producción de biomasa y del producto de interés para el ser humano está determinada por la capacidad del agroecosistema dado de satisfacer la demanda nutrimental y de otros factores de la producción, del cultivo en cuestión. Por lo general, las magnitudes de dichas demandas necesarias para alcanzar los rendimientos máximos posibles son conocidas; pero lo que generalmente no se conoce es la proporción de dicha demanda que puede ser ofertada naturalmente por el agroecosistema. El diagnóstico, sin entrar en detalles, proporciona elementos para acercarse a estimar esta oferta natural. Así, se pueden hacer diagnósticos que resulten útiles para identificar los factores de orden edáfico, fisiológico, hídrico, nutrimental, etc. que pudiesen restringir la producción.

El plan de diagnóstico y el manejo nutrimental

La estructuración de un plan de manejo, del cual forma parte el análisis químico de suelo, consta de varios pasos. El primer paso es conocer, en profundidad, cómo funciona el sistema de producción respectivo. Nutrimentalmente hablando hay que entender cuáles son los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas y cuáles los nocivos, cómo son adquiridos éstos por las plantas, cómo son transportados ya estando en su interior, en qué concentraciones deben estar en los tejidos de los cultivos para que no restrinjan su crecimiento, etc.

¹ Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México, México. Correo electrónico: jetchev@colpos.mx

² International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia. Correo electrónico: atasistro@ipni.net

* Adaptado del trabajo original presentado en el XXXVIII Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo. 24-29 de Noviembre de 2013, La Paz, B.C.S., México.

El segundo paso del plan es conocer las técnicas de diagnóstico apropiadas para cuantificar la intensidad de los factores no controlables y de los controlables. Entre estos últimos se incluye el estado nutricional del sistema de producción y, en particular, entender si el suelo o sustrato va a proporcionar los nutrientes en la cantidad requerida por el cultivo (condiciones que dependen del tipo de cultivo y del rendimiento esperado). Esto último dependerá también de la capacidad de la planta para hacer uso de ese recurso. Del análisis que se haga resultará si hay que aplicar algún elemento o realizar alguna práctica para eliminar factores limitantes, de modo de llevarlos a niveles adecuados. Es obvio por lo dicho, que es preciso conocer de antemano los umbrales o rangos de suficiencia/deficiencia de los nutrientes, tanto presentes en el suelo como en la planta que pueden provocar disminuciones en la producción de los cultivos. Sin ellos es imposible tomar medidas correctivas precisas.

El tercer componente del plan se refiere a entender la dinámica, que experimentan los factores de crecimiento. Algunos, como una deficiencia de nitrógeno (N) o la presencia de un pie de arado, pueden corregirse rápidamente, sin embargo otros son muy difíciles de modificar (como puede ser la textura del suelo). En el caso de los factores nutricionales hay que conocer la química detrás de la disponibilidad de un elemento en el suelo (fijación, mineralización, volatilización, lixiviación, etc.) y como corregirla. Es de escasa utilidad corregir un fenómeno cuya efectividad pudiese estar controlada por un tercer factor. Un ejemplo de ello sería la adición de un fertilizante amoniacal en la superficie de un suelo calcáreo.

Esto lleva a responder las preguntas cruciales: ¿Cuánto, cuándo, dónde y qué tipo de fertilizante se debe aplicar? Conocer y saber aplicar las tecnologías de uso de los fertilizantes es el cuarto componente.

Finalmente el quinto componente del plan nutricional se refiere a los aspectos económicos de la fertilización: ¿Es rentable la recomendación técnica que se ha hecho?

Análisis químico de suelos

Variables que requieren de correlación y calibración

El análisis químico de los suelos consiste, generalmente, en pasar a la forma soluble mediante el uso de una solución química o una resina de intercambio, una fracción del total del elemento presente en una muestra de suelo y luego evaluarla mediante procedimientos analíticos adecuados. Este procedimiento se emplea tanto para variables que tienen interpretación directa como para las que requieren ser seleccionadas para que representen la fracción que la planta puede adquirir (mediante la correlación y debida aplicación de un protocolo analítico) y posteriormente deberán ser calibradas (es decir, se establecerán clases de fertilidad de suelos). Estas últimas variables generalmente se refieren a fracciones del total presente en el suelo, que pueden ser solubilizadas. Una

solución química puede disolver cualquier forma que sea soluble en el reactivo químico base de la solución y no necesariamente aquella parte a que la planta puede tener acceso durante su ciclo de vida o una parte de él. Cuando se hace una extracción, la solución química actúa en todas las superficies accesibles de la muestra (generalmente molida a 2 mm) que pueda alcanzar. Sin embargo, en condiciones de campo muchos de esas superficies que pueden liberar nutrientes nunca serán alcanzadas por las raíces o los pelos radicales de ésta. En consecuencia, una interpretación correcta del análisis químico, además de considerar el resultado de éste, necesariamente debe tomar en cuenta la naturaleza (abundancia, extensión, distribución espacial) del sistema radical del cultivo.

Dependiendo de la posición del elemento nutricional en el suelo, se denomina la fracción respectiva; así si el elemento se encuentra en forma soluble, esta fracción se llamará soluble, si está en forma intercambiable, la fracción se llamará de esta manera, etc. Aunque generalmente en la solución de extracción coexisten varias fracciones, hay una que resulta dominante. La cantidad extraída de estas fracciones contrasta con los contenidos totales. Estos últimos no se relacionan con el abastecimiento u oferta nutricional que puede hacer el suelo a un cultivo y no tienen mayor valor como indicadores de la fertilidad del suelo. Son solo ciertas fracciones las que se pueden correlacionar con lo que la planta adquiere. Los experimentos de correlación deben hacerse preferentemente en condiciones controladas (invernadero), con los cultivos de interés, siguiendo normas experimentales de trabajo en macetas debidamente aceptadas, y realizando la cosecha al mismo estado fenológico en que se realizará la cosecha del cultivo en campo. Ello implica, por ejemplo, trabajar con tamaños de macetas que sean *ad hoc*. Generalmente se considera un coeficiente de correlación (r) aceptable entre las dos variables independientes (resultado de laboratorio e indicador biológico-químico medido en el experimento en macetas) de aproximadamente 0.8 o mayor, para que la interpretación del resultado señale que la fracción medida sea indicadora de disponibilidad de lo que la planta puede adquirir. Sólo en dicho caso podremos llamar a la fracción extraída, como "fracción disponible". Debe quedar claro que lo que uno mide mediante un análisis de este tipo es un indicador de la disponibilidad y no la cantidad de nutriente (kg ha^{-1}) que el suelo puede aportar a la planta.

Esta medida es a veces usada por los laboratorios para hacer más comprensible el resultado, pero es una práctica que debería abandonarse porque crea confusión. Es común escuchar esta aseveración e inclusive constatar que tales resultados analíticos se incluyen en planillas de cálculo para formular recomendaciones de fertilizantes, lo cual es un profundo error. Consecuentemente, no cualquier solución de extracción descrita en la literatura es apta para evaluar la disponibilidad de un nutriente. Desgraciadamente en México se han hecho pocos

trabajos de correlación, lo cual hace que la interpretación de un análisis pudiese no ser correcta. En general, se han adoptado soluciones basadas en opinión de expertos o procedimientos analíticos que han demostrado cierta validez universal. Por ejemplo, en la mayoría de los casos, la extracción de bases intercambiables se hace con acetato de amonio (1 N, pH 7), aunque usarla en suelos alcalinos con carbonato de calcio libre es un error; la de fósforo (P) extraíble se realiza en suelos ácidos con una solución ácida (Bray-1) y en suelos neutros y alcalinos con bicarbonato de sodio (0.5 M, pH 8.5). Hay fundamentos químicos para esta decisión, pero no podemos llamar a esas fracciones P disponible, porque en la mayoría de los casos no han sido debidamente correlacionadas la cantidad absorbida de un nutriente y el nivel de análisis de suelo.

Si bien es posible transformar un valor de análisis de suelo expresado en unidades como partes por millón (ppm) o miligramos por kilogramo (mg kg^{-1}) de suelo, a kilos de nutriente absorbible por cada ppm o mg kg^{-1} de nutriente extraíble, la operación requiere de un conocimiento preciso de cuantos kilos de un nutriente puede absorber un cultivo por cada unidad de concentración indicada por el análisis de suelo. Esto sólo puede hacerse con experimentos muy bien controlados. Esto constituye un nuevo campo de investigación en el cual se carece de mucha información.

La interpretación agronómica del resultado de un análisis químico, que se practica con un método apropiado para tener un indicador de la cantidad de nutrimento que la planta puede extraer del suelo, es decir, que ha sido debidamente correlacionado, precisa de otro conocimiento. Este conocimiento es la relación que se debe establecer entre el resultado del análisis químico de un nutriente conducido en el laboratorio con el rendimiento que puede alcanzar un cultivo en condiciones de campo o la posibilidad de respuesta que se puede esperar a su aplicación (Bray, 1945). Al procedimiento empleado para establecer esta relación se le denomina calibración y requiere la ejecución de numerosos experimentos de campo que permitan medir la variabilidad espacial y temporal de la respuesta del cultivo. Esta calibración es sinónimo de establecimiento de clase de fertilidad, la cual como se indicó, sólo puede hacerse en condiciones de campo.

En México se han realizado muy pocas calibraciones, por lo que, en ausencia de esta información para condiciones locales, la interpretación se hace tomando prestados resultados de calibraciones hechas en otras partes del mundo, lo que se denomina extrapolaciones. Este procedimiento interpretativo conlleva error, ya que no se sabe si las condiciones de suelo, cultivo, genotipo, rendimiento máximo alcanzable, clima, etc., en el agroecosistema en el que se hizo la calibración son las mismas que se encuentran localmente en donde haremos la extrapolación. Los mejores resultados de este

ejercicio se lograrán cuando el cultivo, el tipo de suelo, las condiciones de manejo y el clima de la zona de origen de los datos sean similares a la de la zona donde se pretende utilizarlos.

Por lo dicho anteriormente, para generar buenas interpretaciones y recomendaciones con base en el análisis de suelo, se debe contar con procedimientos apropiadamente seleccionados y adecuadamente calibrados. Esta es la base del éxito de un programa de análisis de suelo con un enfoque tradicional. De no contar con ellos, la interpretación sólo puede hacerla una persona con experiencia, que conozca el tema y con el cuidado ético de señalar que su interpretación está basada en su opinión como experto y no en las sólidas bases que demanda los principios del análisis químico de suelo.

Variables que tienen interpretación directa

Hay un conjunto de determinaciones químicas que realizan los laboratorios destinados a hacer análisis químico de suelo con propósitos de fertilidad que no requieren de correlación ni calibración local. Estas determinaciones incluyen el pH del suelo, la conductividad eléctrica, el contenido de N Kjeldahl (impropiamente denominado N total), carbono fácilmente oxidable, carbonato de calcio libre, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable, aluminio intercambiable, porcentaje de saturación de bases, relación de adsorción de sodio, porcentaje de sodio intercambiable y determinaciones ocasionales como aluminio, manganeso y silicio extraíble en diferentes soluciones químicas. Ninguna de estas determinaciones indica directamente la disponibilidad de un nutriente esencial para un cultivo, sin embargo, permiten construir la naturaleza del ambiente químico del suelo. De ahí se pueden hacer una gran cantidad de inferencias basadas en las experiencias preliminares. La característica de estas determinaciones es que tiene una validez casi universal, por lo que su interpretación sólo requiere de tablas con los valores límites de las distintas clases que se han generado mayoritariamente de manera arbitraria. Un problema que a veces puede surgir es que existan varias tablas interpretativas para una misma variable. Un caso típico es el la reacción del suelo, ya que varios autores han establecidos diferente número de clases con límites que, por lo general, no coinciden. La solución en tales situaciones es escoger el que mejor se ajuste a la condición que a uno le interesa diagnosticar. Así tener una escala con 10 o más clases de pH no parece tener mucho sentido, porque el significado agronómico de los límites no se relaciona con prácticas posibles de manejo. Quizás en el ejemplo dado bastaría con 3 ó 5 clases, que permitan tomar medidas prácticas de manejo.

Comentarios acerca de las recomendaciones basadas en análisis químico de suelo

La cantidad de nutriente a aplicar es una información que se recaba mediante otra aproximación metodológica. No

es posible deducirla directamente del resultado de un análisis químico de suelos, a menos que se cuente con información preliminar que haya relacionado las dosis óptimas económicas (DOE) con los resultados de análisis debidamente seleccionados y calibrados.

La determinación de las clases de fertilidad requiere realizar muchos experimentos de campo para cubrir la variabilidad temporal y espacial—en especial en suelos que tienen niveles de disponibilidad que cubren todo el espectro posible, desde casi nula a elevada—en los que se mide el rendimiento relativo que se alcanza con la aplicación de dosis crecientes de un nutriente. Estos rendimientos relativos se relacionan con los resultados de los análisis químicos de muestras colectadas en los mismos sitios. A partir de dichas curvas se establecen clases de fertilidad que tienen límites arbitrarios y que responden a la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes (respuestas altas, medias, bajas u otras). Un propósito adicional es definir la DOE (que siempre es inferior a la dosis óptima fisiológica), que se puede usar como base para deducir las recomendaciones de fertilidad. Estas DOE son dependientes de factores económicos como son el precio del producto y de los insumos en el mercado. Así, el valor del análisis químico de suelo propiamente correlacionado y calibrado, cumple un doble propósito: sirve para diagnosticar el estado de fertilidad del suelo (deficiente, adecuado, excesivo) y cuando relacionado con la respuesta a la aplicación de dosis crecientes de fertilizantes en experimentos de campo, puede servir para formular una recomendación de fertilización. Sin embargo, como las DOE varían en función de la relación entre el precio de los productos y el precio de los insumos, deben hacerse ajustes periódicos, a menos que la relación entre ambos se mantenga constante. Actualmente en México no existe información actualizada de este tipo, que relacione análisis químicos de suelo bien conducidos con las DOE, aunque en algunos sectores del país se definieron dichas DOE, pero no han sido ajustadas a las nuevas condiciones de mercado.

Consideraciones finales

Los análisis químicos de suelo son una valiosa herramienta para diagnosticar la capacidad de abastecimiento de nutrientes a los cultivos, siempre y cuando se hayan seguido los protocolos agronómicos debidamente establecidos (selección de procedimiento, establecimiento de clases de fertilidad, relación de los resultados de análisis químico con probabilidad de respuestas a la aplicación de fertilizantes en el campo bajo diferentes condiciones, establecimiento de dosis óptimas económicas). Sin embargo, dichos protocolos escasamente se han realizado en México, por lo que la interpretación y las recomendaciones se hacen siguiendo otros procedimientos, que pudiesen tener cierta validez si son conducidos por profesionales experimentados.

Se concluye, que si el país quiere posicionarse en un nivel moderno de uso de esta valiosa herramienta debe comenzar con una seria campaña de formación de recursos humanos, que permitan superar 70 años de atraso en este campo, e integrar otras técnicas complementarias que permitan evitar contaminación ambiental, mal uso de los fertilizantes, despilfarro de recursos económicos, importaciones innecesarias y un avance significativo en la materia.

Bibliografía

- Bray, R.H. 1945. Soil plants relationships. II Balanced fertilizer use through soil test for K and P. *Soil Science* 60:463-473.
- Chapman, H.D. 1966. (Ed.). *Diagnostic criteria for plant and soils*. Homer Chapman, Riverside, California.
- Etchevers, J.D., P. Anzastiga, V. Volke, y G.G. Etchevers. 1986. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación del fósforo disponible en suelos del Estado de Puebla. *Agrociencia* 65:161-178.
- Etchevers, J.D. 1991b. La función del laboratorio en el diagnóstico de las necesidades de fertilizantes. Enfoques tradicionales y modernos del análisis químico de suelo. *ADIFAL*, Marzo-Abril, 21-27. México D.F.
- Etchevers, J.D., J. Rodríguez, y A. Galvis. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. *TERRA* 9:3-10.
- Etchevers, J.D., V. Volke, A. Galvis, y J. Rodríguez. 1990. Metodologías utilizadas para generar recomendaciones de fertilización, pp. 287-320. In: R. Jasso I., M. Montes H. y C. Hernández Y. (ed.) *Aprovechamiento del agua y los fertilizantes en las regiones áridas*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- Ortega, T.E. 1963. Correlación entre métodos de análisis químicos del fósforo aprovechable por las plantas y los rendimientos relativos del maíz. *Agricultura Técnica en México* 2(4):148-151.
- Peck, T.R., y P.N. Soltanpour. 1990. The principles of soil testing, pp. 1-9. In: *Soil testing and plant analysis*. 3ª. ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Peverill, K.I., y L.A. Sapparrow. 1999. *Soil analysis. An interpretation manual*. CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria, Australia.
- Rodríguez, S.J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 291 p.
- Sumner, M.E. 1999. *Handbook of Soil Science*. Taylor & Francis. 2148 p. 🌱