

### Consideraciones Generales:

La capacidad productora de un suelo se puede determinar por dos métodos generales: 1º Sembrando plantas en él; 2º Por medio de análisis químicos de fertilidad.

El primer método nos da una medida directa de las cualidades nutritivas, con la observación de la clase de cosecha obtenida. Si el suelo física, biológica, climatológica y químicamente es apropiado para el cultivo de un tipo de planta, se obtendrá una cosecha rica. Si uno de los factores antedichos es anormal, la cosecha será pobre.

Para obviar el perjuicio económico de estas experiencias, es por lo que se viene abogando, de un tiempo para acá, por el análisis racional de los suelos.

### Análisis químico.

El análisis químico es una base muy segura en los estudios agrológicos, pues los datos que suministra, aunque solo aproximados, dan una idea muy clara de las condiciones del suelo. Pero para dar datos, en lo posible, bien ceñidos a la realidad y por consiguiente de mayor utilidad para el agrónomo, son necesarias dos condiciones: regirse por un buen sistema de análisis y unificar este sistema, con el fin de trabajar siempre de idéntica manera y obtener así resultados que tengan solo una variable, el tipo de suelo, y no dos variables, el tipo de suelo y el sistema A o B de análisis empleados.

Para conseguir lo primero, un buen sistema de análisis, se han adelantado estudios sobre el modo como opera la planta en el suelo y se ha tratado de obtener en el laboratorio, por medios puramente químicos, la misma capacidad extractora de las plantas.

Los químicos agrícolas se han ocupado en obtener del suelo, por métodos prácticos, una cierta cantidad

\_\_\_\_\_ 9 \_\_\_\_\_

## SOLUCIONES EXTRACTORAS EN ANÁLISIS QUÍMICOS DE FERTILIDAD

Seminario dictado por Mario López A.,  
Químico del Departamento, en la Bi-

de nutrientes absorbibles por las plantas, cantidad que es igual, o al menos proporcional a la suministrada por el suelo en cada cosecha. Todos están de acuerdo en que el suministro total de nutrientes determinados por análisis químico total, no es una medida real de la cantidad de elementos de que pueda disponer la planta. Aún, la división entre forma aprovechable y no aprovechable es cosa muy arbitraria y a menudo muy difícil de establecer.

Hasta la fecha no se ha encontrado el extractor ideal que haga las funciones de una planta y extraiga las cantidades precisas de nutrientes necesarios para su crecimiento normal, porque cualquier forma simple de análisis químico, no podrá simular la variación de las condiciones existentes en el suelo y en la planta, durante todo el período de crecimiento de ella.

Apesar de estas dificultades técnicas, los análisis químicos dan una medida muy aproximada de la capacidad nutritiva de un suelo y de su más apropiada revalidación con fertilizantes.

### **Diferentes formas de extracción de nutrientes.**

Son cuatro las formas generales de extracción de las substancias aprovechables:

- 1º—Por simple arrastre con agua.
- 2º—Por electrodiálisis.
- 3º—Extracción con ácidos diluidos.
- 4º—Extracción con sales.

Los nutrientes aprovechables los hallamos en forma soluble en las soluciones micelares e intermicelares.

Las partículas coloidales de arcilla están cubiertas de una capa líquida, en la que se encuentran en solución los llamados cationes intercambiables. La materia coloidal del suelo obra, en este caso, como un radical ácido complejo, de muy poca solubilidad, el cual está rodeado por iones positivos, estos sí en solución dentro de la capa líquida que rodea el radical ácido complejo, arcilla, y fácilmente sustituibles por otros cationes.

En las soluciones intermicelares se encuentran los nutrientes en forma completamente libre, de modo que el agua de gravitación o el agua de capilaridad los arrastra fácilmente hacia el subsuelo o hacia las capas superiores, originándose, de esta manera, un continuo movimiento de iones, con la consiguiente variación de la concentración de los mismos, en un volumen determinado, durante un tiempo relativamente corto.

Los iones de la solución micelar, aunque fácilmente sustituibles por otros iones, oponen una casi total resistencia al arrastre con agua, ya que una fuerza mayor, fuerza de equilibrio eléctrico y tensión superficial, los liga muy fuertemente a la partícula de coloide.

Por esta razón no se debe usar agua sola como solución extractora, pues un análisis basado en una extracción de agua como solvente, no daría sino una medida de los nutrientes disueltos en un volumen de suelo, en un momento dado; en el momento de la toma de la muestra.

### **Extracción por electrodiálisis.**

Algunos investigadores han propuesto extraer los metales intercambiables por electrodiálisis. Los cationes intercambiables, a medida que pasa la corriente, van siendo arrastrados por ella, y son sustituidos en la micela por iones hidrógeno, tornándose el suelo cada vez más ácido. Esto favorece la descomposición de silicatos y por consiguiente se hace más rico el suelo en iones fácilmente reemplazables, muy especialmente potasio, dependiendo la extracción más del tiempo que dure esta, que de la misma cantidad de cationes intercambiables presentes en el suelo al iniciar el paso de corriente eléctrica.

Por otra parte, varios cationes como calcio, magnesio y manganeso, se precipitan sobre la membrana en la cámara del cátodo, haciéndose difícil su valoración cuantitativa.

### **Extracción por ácidos diluidos.**

Otros investigadores proponen como solución extractora el ácido clor-

hídrico 0.1 normal, alegando que aún en suelos alcalinos la parte más inmediata del suelo que rodea las raíces tiene un pH bastante bajo, debido al alto contenido de ácido carbónico y otras sustancias ácidas transpiradas por la planta.

Pero ocurre que el tratamiento con ácido clorhídrico, además de solubilizar una apreciable cantidad de cationes no-intercambiables, principalmente aluminio, hierro, y manganeso, y de otros iones q' puedan interferir la buena marcha analítica, va operando sobre el suelo haciéndolo cada vez más ácido por el intercambio de cationes por iones hidrógenos, y perdiéndose, por consiguiente, esa acción buffer con que operan las raíces en su trabajo normal.

### Extracción por sales.

Para conservar ese estado poco variable de acidez durante el período de extracción de las bases de cambio, es por lo que se ha propuesto el trabajo con sales poco sensibles al cambio en pH.

La solución salina extractora no debe componerse de iones que se quieran determinar o que puedan interferir la determinación de otros iones. Además, debe tener la propiedad de aumentar la permeabilidad del suelo y no disminuirla, ya que es obvio que la planta busca trabajar el suelo en las mejores condiciones para obtener más fácilmente su sustento.

Por estudios prácticos se conoce que, en general, los metales alcalinos aumentan la dispersión del suelo, mientras que los diotriivalentes la disminuyen. Lo mismo sucede con los radicales ácidos, ya sean minerales u orgánicos; la valencia de unos y otros es función inversa de la dispersión.

Ambos, cationes y aniones, aumentan la dispersión del suelo según las siguientes relaciones:

K - NH<sub>4</sub> - Na - Mg - Ca y  
Cl - NO<sub>3</sub> - acetatos - SO<sub>4</sub> - tartratos -  
PO<sub>4</sub> - citratos.

Si observamos las series anteriores vemos que el amonio, además de poseer condiciones excelentes en cuan-

to a lo anterior, no es catión que sea necesario determinar en un análisis de fertilidad y que cuando se encuentra en un suelo, solo se presenta en cantidades pequeñísimas difíciles de determinar aún colorimétricamente. De los aniones, cumplen estas condiciones los cloruros y acetatos, principalmente.

Tenemos pues, como soluciones extractoras apropiadas, el cloruro de amonio (NH<sub>4</sub> Cl) y el acetato de amonio (CH<sub>3</sub>COO. NH<sub>4</sub>).

Esta última se usa más que la primera por dar solución buffer muy cerca al pH 7; propiedad que la hace apta para la determinación de todos los cationes intercambiables, ya que éstos son extraídos por la planta a diferentes pH, siendo imposible determinar una valoración media precisa de extracción, aunque es cosa probada que el suelo óptimo para la mayoría de las plantas tiene un pH, ácido o básico, muy cerca de 7. Si tomáramos como solución extractora el CLNH<sub>4</sub> notaríamos que el suelo tendría que contrarrestar una acción desequilibrada, ácido fuerte -base débil, lo que no sucede si usamos el CH<sub>3</sub>COO. NH<sub>4</sub>, base débil- ácido débil.

La solución de acetato de amonio obra sobre los cationes intercambiables en la forma siguiente:

### Calcio intercambiable.

El calcio extraído por medio de la anterior solución da una medida muy aproximada de la capacidad de intercambio del suelo en este elemento. Pero para que lo anterior se cumpla es necesario que el suelo-problema esté libre o contenga muy poco CO<sub>3</sub>Ca, pues las sales de amonio tienen una gran acción disolvente sobre el carbonato cálcico. Los resultados de calcio intercambiable de un suelo rico en CO<sub>3</sub>Ca serían, por consiguiente, demasiado altos.

Para obviar lo anterior, cuando hay necesidad de analizar un suelo muy calcáreo, se determina el calcio haciendo dos extracciones con cantidades iguales de KOL 0.2 normal en 63% de alcohol etílico. El resultado de

la segunda extracción se resta de la primera. Este método de Chapman y Kelley se basa en la poca solubilidad del  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en solución alcohólica. Se supone que el suelo tiene suficiente cantidad de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  para saturar igualmente ambas porciones de extracto. El posible error debido a un reemplazamiento incompleto de calcio intercambiable en la primera parte del extracto está compensado, en gran parte, por la mayor cantidad de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  disuelto en este primer extracto.

#### **Magnesio intercambiable.**

El magnesio extraído con solución de pH 7 de acetato de amonio da una medida muy aproximada del contenido fácilmente aprovechable de este elemento en un suelo. Se tropieza sí, con la misma dificultad que con el calcio, o sea cuando el suelo que se analiza tiene buena cantidad de  $\text{CO}_3\text{Mg}$ . En ese caso se hace necesaria una extracción semejante a la del calcio, para obtener un resultado más o menos real.

#### **Potasio intercambiable.**

Si en un análisis total y en otro de fertilidad observamos que el contenido de potasio en un suelo es abundante en el primero y escaso en el segundo, ninguno de los dos dará una base concreta para conocer su fertilidad. Así, si en un análisis de fertilidad obtenemos una cantidad de potasio insuficiente para el buen desarrollo de una cosecha, no será éste un dato que nos demuestre que la cosecha q' se va a obtener presente deficiencias por falta de potasio, ya que existe un equilibrio dinámico entre las diversas formas como se presenta el potasio en el suelo, según la siguiente ecuación:

$\text{K no-intercambiable} - \text{K intercambiable} - \text{K soluble}$ .

Equilibrio afectado principalmente por 4 factores: temperatura, humedad, grado de acidez, otros cationes.

Los cationes, especialmente el calcio, solubilizan en parte el potasio en suelos de pH entre 6 y 7. Hay una

excepción a esta solubilización de potasio por cationes y son las sales de amonio. Se ha comprobado que el  $\text{NH}_4$  ejerce una acción de bloqueo en el cambio de potasio no-intercambiable al intercambiable hasta el extremo de no observarse ningún cambio en dicha solubilidad, en suelos húmedos saturados de  $\text{NH}_4$  y almacenados durante varios meses.

La temperatura y humedad desplazan la reacción anterior cuando hay desequilibrios entre las partes, o sea cuando la planta extrae del suelo K intercambiable o soluble, o cuando se ha agregado un abono potásico. Cuando se ha hecho lo último la reacción será hacia el no-intercambio. Humedecimientos o secamientos prolongados alteran el equilibrio anterior, dándose el caso de obtener resultados errados en análisis de potasio, por secamiento muy prolongado de la muestra-problema.

La acción de bloqueo ejercida por el radical  $\text{NH}_4$  sobre las diversas formas de potasio hacen a la solución de acetato de amonio ideal para su valoración cuantitativa. Únicamente habrá que tener cuidado de no extremar las temperaturas de trabajo, principalmente en el secado y volatilización de las sales de amonio, pues se ha observado que entre 500 a 600° C. ha habido períodos hasta del 25% de potasio. La temperatura de secado no deberá exceder de 400° C.

#### **Manganeso intercambiable.**

El manganeso en forma divalente es el extractable por la sol. de  $\text{CH}_3\text{COO}$ .  $\text{NH}_4$  pH 7. Si se usara en vez de ésta, por ejemplo, solución de acetato de sodio pH 4,8 se obtendrían cantidades muy altas de manganeso, pues hay reducción de manganeso por la materia orgánica del suelo con este pH.

La extracción con acetato de amonio da una medida muy precisa del manganeso intercambiable, especialmente para diagnósticos de toxicidad en suelos ácidos o de pobre aireación. Para determinar deficiencias de manganeso hay q' añadir un reductor sua-

ve a la solución de acetato de amonio y así obtener un dato total del manganeso intercambiable y fácilmente reducible.

### **Hidrógeno de cambio.**

Como solución extractora del ion hidrógeno se viene empleando, con regular éxito, solución 0.2 N de acetato decalcio. El hidrógeno reemplazado por el calcio es valorado con hidróxido de sodio 0,2 N, empleando bromothimol- azul, como indicador.

Se podría obtener el dato de hidrógeno de cambio del residuo de extracción de las bases de cambio por acetato de amonio. Se haría un lavado con alcohol y luego un tratamiento con solución de CLNa, valorando el amonio por su reacción con reactivo de Nessler, pero el alcohol de lavado siempre arrastra cierta cantidad de  $NH_4$  del coloide.

Además, el intercambio de iones H se obtiene más fácilmente por Ca que por  $NH_4$ , ya que el grado de retención de los cationes por la arcilla sigue la siguiente serie:

H - Ca - Mg - K -  $NH_4$  - Na.

### **Fósforo aprovechable.**

Un análisis de fósforo total no da una medida que pueda relacionarse con la cantidad de fósforo que pueda aprovechar una planta en el período de su crecimiento, ya que los fosfatos son firmemente retenidos por el suelo. La cantidad de fósforo fácilmente asimilable depende casi exclusivamente de las propiedades del suelo y sólo en muy pequeña escala del trabajo de las raíces sobre los componentes fosfóricos del mismo.

Para conocer el fósforo fácilmente asimilable no hay un extractor más o menos standard ya que hoy día se vienen empleando innumerables métodos. El más sencillo sería el arrastre con agua, pero se obtiene cantidades tan pequeñas de fósforo que se hace imposible su valoración ya sea por el método colorimétrico más sensible, máxime que los extractos acuosos principalmente de suelos de textura fina son coloreados.

Si utilizamos soluciones alcalinas como extractoras, obtenemos altos resultados en fósforo debido a posibles hidrólisis de fosfatos de hierro, aluminio, calcio, y magnesio.

Otra clase de extracción sería por medio de ácidos diluidos, especialmente ácidos minerales, ya que los ácidos orgánicos tienen la propiedad de formar complejos con los cationes di y trivalentes, que son los que fijan al ion fosfato en el suelo. Se ha observado que el  $H_2SO_4$  0.002 N, amortiguado en su pH con  $(NH_4)_2SO_4$ , extrae una cantidad de fósforo soluble muy aproximada a la que en realidad contiene un suelo. Esta es una de las soluciones extractoras más aconsejadas por los investigadores.

El fósforo obra de manera muy diferente según el pH del suelo, así: Entre pH muy ácidos, especialmente de 2 a 5, la retención del fósforo se debe principalmente a la absorción sufrida por los hidróxidos de hierro y aluminio o por la disolución gradual de sales de hierro y aluminio y su reprecipitación como fosfato.

En pH de 4.5 a 7.5 el fósforo es retenido por la arcilla debido a ciertas reacciones de superficie las cuales son independientes de la cantidad total de fosfatos.

En pH de 6 a 10 la retención del fósforo es debida principalmente a precipitación de fosfatos de calcio y magnesio.

No obstante, la mínima acción de retención del ion fosfato por el suelo ocurre bajo pH un poco ácido y de ahí el por qué empleen los ácidos diluidos con sales amortiguadoras, para conseguir la más acertada valoración del fósforo asimilable.

### **Conclusión.**

Por consiguiente, cualquier método analítico que se adopte es esencialmente empírico y requiere, para que tenga un buen valor ecológico, una rigurosa standarización. O sea un control perfecto de relación suelo-solución extractora, tiempo de extracción, temperatura y concentración de la solución extractora.

Se ha tratado aquí, someramente, el modo como operan las principales soluciones extractoras empleadas en los análisis de fertilidad, no con el fin de hacer objeciones al empleo de algunas de ellas, sino más bien, con el objeto de demostrar la imperiosa necesidad de unificar los métodos de análisis químicos de suelos.

— ◊ —