

# ANÁLISIS DE SUELOS Y SU INTERPRETACIÓN

**Ing. Eloy Molina, M.Sc.**  
**Centro de Investigaciones Agronómicas**  
**Universidad de Costa Rica**  
**eamolina@cariari.ucr.ac.cr**

El análisis de suelos es una herramienta de gran utilidad para diagnosticar problemas nutricionales y establecer recomendaciones de fertilización. Entre sus ventajas se destaca por ser un método rápido y de bajo costo, que le permite ser utilizado ampliamente por agricultores y empresas. La interpretación de los análisis se basa en estudios de correlación y calibración con la respuesta de las plantas a la aplicación de una cantidad dada del nutriente. El análisis de suelos está basado en la teoría de que existe un “nivel crítico” en relación al procedimiento analítico utilizado y a la respuesta del cultivo cuando se aplica un determinado nutriente. Cuando el nivel de un nutriente se encuentra debajo o por encima del nivel crítico, el crecimiento de la planta se verá afectado en forma negativa o positiva según dicha concentración.

Con el análisis de suelos se pretende determinar el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo, así como las condiciones adversas que pueden perjudicar a los cultivos, tales como la acidez excesiva, la salinidad, y la toxicidad de algunos elementos. El análisis de suelo permite determinar el grado de fertilidad del suelo. La fertilidad es vital para que un suelo sea productivo, aunque un suelo fértil no necesariamente es productivo, debido a que existen otros factores de tipo físico como el mal drenaje, escasa profundidad, piedra superficial, déficit de humedad, etc, que pueden limitar la producción, aún cuando la fertilidad del suelo sea adecuada. El grado de potencial productivo de un suelo está determinado por sus características químicas y físicas.

El análisis de suelos cumple con dos funciones básicas (Inpofos 1997):

- a) indica los niveles nutricionales en el suelo y por lo tanto es útil para desarrollar un programa de fertilización
- b) sirve para monitorear en forma regular los cambios en la fertilidad del suelo que ocurren como consecuencia de la explotación agrícola y los efectos residuales de la aplicación de fertilizantes

Existen muchos procedimientos analíticos para el análisis de suelos, los cuales varían según las características de los suelos, tales como su mineralogía de arcillas, el tipo de carga iónica, la Capacidad de Intercambio Catiónico, el pH, etc. Muchos de esos procedimientos fueron diseñados para condiciones específicas de suelos. Por ejemplo, en regiones de clima templado como en el hemisferio norte, predominan suelos de carga

permanente con bajo poder buffer, y muchas veces con pH alcalino. En regiones de clima tropical húmedo como las que predominan en Centroamérica, los suelos son de pH ácido o moderadamente ácido, con carga variable dependiente de pH y alta capacidad buffer. Esto causa que con frecuencia los procedimientos de análisis de suelos que son exitosos en zonas templadas no necesariamente son eficaces en suelos tropicales. Para establecer con precisión el tipo de procedimiento a utilizar, en cada región se realizan estudios de calibración y correlación de análisis de suelos con el fin de escoger el método más apropiado para las condiciones de suelos que predominan.

En Costa Rica se utiliza la solución Olsen Modificado para análisis de P, K, Fe, Cu, Zn, y Mn disponibles, y el KCl para acidez intercambiable, Ca y Mg (Díaz-Romeu y Hunter 1978). Recientemente se ha propuesto el uso de la solución Mehlich 3 para el análisis simultáneo de todos los nutrientes (Cabalceta y Molina 2006), aunque todavía no hay convencimiento de que pueda sustituir al Olsen. Los niveles críticos con estos procedimientos han sido establecidos en condiciones de invernadero para los suelos del país.

Existen varios laboratorios que brindan servicios de análisis de suelos. La elección del laboratorio debe estar basada en criterios de servicio rápido y de calidad analítica, que tenga buen respaldo técnico, experiencia y equipo moderno. Recientemente el gobierno estableció por decreto la obligatoriedad a corto plazo de contratar sólo servicios de análisis en laboratorios que tengan sus métodos acreditados con la norma ISO 17025. En Centroamérica sólo el Laboratorio de Suelos del Centro de investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica cuenta ya con 48 ensayos acreditados y en proceso de aumentar su número, lo que le brinda un gran respaldo en calidad y confiabilidad.

## **1. Muestreo de suelos**

En el proceso de análisis de suelos la mayor fuente de error es en el momento de realizar el muestreo en el campo o en el invernadero. Esto por cuanto una muestra de sólo 0,5 kg representa varios millones de kg provenientes de varias hectáreas. El muestreo debe ser lo más representativo posible del área a investigar. El muestreo de suelos debe estar basado en la toma de suficiente número de submuestras de áreas no muy grandes que garanticen la mejor representación posible y que permitan disminuir el error de muestreo por efectos de la variabilidad en la fertilidad del suelo. En el cuadro 1 se presentan una serie de recomendaciones para la toma eficiente de muestras (Ramírez, 1998).

## **2. Interpretación de resultados**

La utilidad de los análisis de suelos demuestra todo su potencial para el diseño de recomendaciones de fertilización y manejo de nutrientes que busquen alcanzar rendimientos y rentabilidad altos cuando se les usa conjuntamente con otra información disponible (INPOFOS 1997).

La interpretación de los análisis de suelos se hace utilizando tablas de fertilidad que contienen los valores de referencia de los nutrientes con base en el concepto de nivel crítico. El diseño de estas tablas se realiza con información derivada de investigaciones de invernadero y campo en calibración y correlación de análisis de suelos, y con la

experiencia acumulada por laboratorios y especialistas en el tema, la mayoría vinculados al sector público y universidades. Estas tablas usualmente clasifican los contenidos de nutrientes en varias categorías: bajo o deficiente, medio o suficiente, óptimo o adecuado, y alto o excesivo.

**Cuadro 1. Criterios para la toma correcta de muestras de suelo (Ramírez 1998).**

<b>Criterio</b>	<b>Observación</b>
<b>1. Selección del área:</b> Topografía Límites naturales Vegetación o cultivo Manejo Color Textura	Se escogen áreas con características similares de topografía, con un mismo cultivo o variedad, con un manejo similar (riego, sombra, poda, sistema de siembra). Un límite natural como un camino o un río pueden separar lotes. Suelos con color y textura similar
<b>2. Tamaño de lotes</b> Cultivos perennes Cultivos intensivos Cultivos extensivos	En frutales y otros perennes: 2 y 10 has. En cultivos intensivos como hortalizas, ornamentales y flores: menos de 2 has Cultivos extensivos en riego por goteo como melón y sandía: 2-5 has Cultivos extensivos como arroz, pastos y banano : 5-10 has Cultivos extensos y homogéneos (caña de azúcar, palma, forestales): 10-20 has
<b>3. Número y tamaño de submuestras</b> Número de submuestras Tamaño de submuestras	Mínimo 15 submuestras, se mezclan entre sí y se selecciona 0.5 kg para análisis Profundidad para mayoría de cultivos: 0-20 cm Pastos: 7-10 cm Cultivos perennes y forestales: 0-20 cm y 20-40 cm
<b>4. Sitio de muestreo</b> Área de aplicación de fertilizante Entrecalle	Aleatorio en zig zag Banda de fertilización: 10-50 cm de planta en cultivos de hortalizas, y perennes de alta densidad Zona de rodaja en perennes y forestales No muestrear sitios recién fertilizados o encalados (<1 mes), caminos, trillos, cerca de edificios, áreas encharcadas Riego por goteo: zona media entre el gotero y el extremo del bulbo de humedecimiento
<b>5. Epoca de muestreo</b> Antes de siembra Áreas sembradas	1-2 meses antes de sembrar para contar con tiempo suficiente para correcciones Poco antes de inicio de lluvias Pastos: después del pastoreo Frecuencia de muestreo: 1-3 años, depende de fertilidad
<b>6. Identificación</b> Nombre empresa Ubicación Cultivo Lote o sección, fecha	Utilizar bolsas plásticas Muestras de suelo no se deterioran si pasa un tiempo prudencial sin ser enviadas al laboratorio
<b>7. Tipo de análisis</b>	Rutina: pH, Acidez intercambiable, Ca, Mg, K, P, S, Fe, Cu, Zn, Mn Muestreo primera vez: rutina + textura, materia orgánica Clasificación: anteriores + CIC y bases en acetato de amonio, densidad aparente y de partículas, curvas de retención de humedad Riego por goteo: rutina + conductividad eléctrica

En Costa Rica se utiliza las guías de interpretación de análisis de suelos desarrolladas por el CATIE (1978) y el Ministerio de Agricultura (Bertsch 1986), con algunas modificaciones realizadas por el CIA-UCR (Molina y Meléndez 2002). En el cuadro 2 se presenta la guía.

La interpretación general de los valores del cuadro 2 se realiza de la siguiente forma (Kass 1996):

- Si el contenido de un elemento es “bajo” se espera respuesta a la aplicación de un fertilizante que contenga dicho elemento. Si el valor del pH es bajo se recomienda la aplicación de encalado
- Si el contenido es “medio” o “intermedio”, se asume que la respuesta a la aplicación de un fertilizante que contenga dicho elemento no es significativa en un incremento en producción. La respuesta al fertilizante aplicado que contiene el elemento evaluado puede ser errática, y no responde, necesariamente, a la cantidad de fertilizante aplicado
- Si el contenido es “óptimo” o “alto” significa que no hay respuesta a la aplicación del fertilizante que contenga este elemento

En algunos casos el contenido alto de un elemento podría resultar fitotóxico para la mayoría de las plantas, por ejemplo en el caso de la acidez intercambiable y el % de saturación de acidez. También la alta concentración de un elemento puede afectar en forma negativa la absorción de otro, como es el caso de las relaciones antagónicas entre Ca, Mg y K.

La tabla de interpretación contiene una guía general ya que no establece diferencias por grupos de suelos ni cultivo (Bertsch 1995). Este factor es una limitante de esta técnica de diagnóstico ya que los suelos varían muchos en sus características físicas y químicas y esto puede tener repercusión en los resultados analíticos. Por otro lado, las plantas tienen diferentes requerimientos nutricionales y hábitos de crecimiento que causan que algunas tengan necesidad de una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, y que por lo tanto los niveles críticos generales sean insuficientes para satisfacer sus exigencias nutricionales. Este factor importante que indica que el análisis de suelos no es definitivo y que en ocasiones puede resultar menos efectivo de lo que se espera.

Las unidades de concentración comúnmente usadas en los análisis de suelos son:

cmol(+)/l o kg = meq/100ml o g  
mg/l o kg = ppm o ug/ml

El contenido de Ca, Mg, K, y acidez intercambiable se expresa en cmol(+)/l, y los valores de P, S, Fe, Cu, Zn y Mn en mg/l o ppm.

La interpretación del análisis de suelos debe tener una secuencia lógica de valoración

de los resultados, cuyo objetivo será llegar a una conclusión que permita establecer una recomendación de fertilización y encalado (Bertsch 1995). Se inicia con una valoración de los problemas de acidez y el posible uso de encalado si amerita. Se identifica las relaciones de cationes intercambiables, y los contenidos de otros nutrientes como P y micronutrientes. Se hace un estimación del comportamiento del N, y finalmente se elabora una conclusión en la que se ordenan los problemas en orden jerárquico.

**Cuadro 2. Tabla de interpretación de análisis de suelos (Molina y Meléndez 2002).**

		<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Alto</b>
<b>pH</b>		<b>&lt; 5</b>	<b>5 - 6</b>	<b>6 - 7</b>	<b>&gt; 7</b>
<b>Ca</b>	cmol/L	<b>&lt; 4</b>	<b>4 - 6</b>	<b>6 - 15</b>	<b>&gt; 15</b>
<b>Mg</b>	cmol/L	<b>&lt; 1</b>	<b>1 - 3</b>	<b>3 - 6</b>	<b>&gt; 6</b>
<b>K</b>	cmol/L	<b>&lt; 0.2</b>	<b>0.2 - 0.5</b>	<b>0.5 - 0.8</b>	<b>&gt; 0.8</b>
<b>Acidez</b>	cmol/L		<b>0.3 - 1</b>	<b>&lt; 0.3</b>	<b>&gt; 1</b>
<b>S. A.</b>	%		<b>10 - 30</b>	<b>&lt; 10</b>	<b>&gt; 30</b>
<b>P</b>	mg/L	<b>&lt; 12</b>	<b>12 - 20</b>	<b>20 - 50</b>	<b>&gt; 50</b>
<b>Fe</b>	mg/L	<b>&lt; 5</b>	<b>5 - 10</b>	<b>10 - 50</b>	<b>&gt; 50</b>
<b>Cu</b>	mg/L	<b>&lt; 0.5</b>	<b>0.5 - 1</b>	<b>1 - 20</b>	<b>&gt; 20</b>
<b>Zn</b>	mg/L	<b>&lt; 2</b>	<b>2 - 3</b>	<b>3 - 10</b>	<b>&gt; 10</b>
<b>Mn</b>	mg/L	<b>&lt; 5</b>	<b>5 - 10</b>	<b>10 - 50</b>	<b>&gt; 50</b>
<b>B</b>	mg/L	<b>&lt; 0.2</b>	<b>0.2 - 0.5</b>	<b>0.5 - 1</b>	<b>&gt; 1</b>
<b>S</b>	mg/L	<b>&lt; 12</b>	<b>12 - 20</b>	<b>20 - 50</b>	<b>&gt; 50</b>
<b>MO</b>	%	<b>&lt; 2</b>	<b>2 - 5</b>	<b>5 - 10</b>	<b>&gt; 10</b>
<b>RELACIONES CATIONICAS</b>		<b>Ca/Mg</b>	<b>Ca/K</b>	<b>Mg/K</b>	<b>(Ca+Mg)/K</b>
		<b>2-5</b>	<b>5-25</b>	<b>2.5-15</b>	<b>10-40</b>

pH en agua

Ca, Mg y acidez o Al extraíbles con KCl 1M.

P, K, Fe, Cu, Zn y Mn extraíbles con Olsen Modificado

B y S extraíbles con Fosfato de Calcio.

Materia orgánica (MO) con digestión húmeda

## 2.1 Identificación de problemas de acidez

La acidez intercambiable corresponde a Al y el H intercambiables y en la solución del suelo, que son los que pueden perjudicar el crecimiento de las plantas. Cuando el valor de acidez intercambiable es mayor de 0,5 cmol(+)/l, algunas plantas pueden presentar problemas moderados de crecimiento, y un contenido mayor a 1 cmol(+)/l se considera muy alto. El valor óptimo de acidez intercambiable debería ser inferior a 0,3 cmol(+)/l.

La saturación de acidez es una medida del porcentaje del complejo de intercambio catiónico que está ocupado por Al e H. El valor de saturación de Al o acidez intercambiable es el

mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez. Cada cultivo, variedad o cultivar tiene su grado de tolerancia a la acidez, lo cual depende de las características genéticas de la planta. La saturación de acidez (SA), se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$\% SA = \frac{\text{Ac. Int}}{\text{CICE}} \times 100$$

Donde, la Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva (CICE) representa la sumatoria de  $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Al} + \text{H}$ . Los dos últimos elementos se consideran como la Acidez Intercambiable (Ac. Int.). Es común aceptar que valores de saturación de acidez mayores al 10% afectan negativamente el crecimiento de especies vegetales poco tolerantes a la presencia de Al, mientras que el valor de 60% se considera como el máximo para especies tolerantes a la acidez del suelo. El valor deseable para la mayoría de las plantas oscila entre 10 y 25%.

El pH del suelo está directamente relacionado con el % de saturación de acidez, ya que el Al intercambiable precipita cuando el pH es superior a 5.5. Cuando el pH está por debajo de ese valor, la solubilidad del Al se incrementa, al igual que el riesgo de causar toxicidad a las raíces. Un suelo con pH inferior a 5 se considera muy ácido, y el pH óptimo para la mayoría de los cultivos debería estar entre 6 y 7, aunque muchos cultivos de origen tropical pueden crecer bien con un pH de 5,5 a 6.

En síntesis, el diagnóstico de problemas de acidez en los suelos debería fundamentarse en el resultado de un análisis de suelos, cuya interpretación se realiza con base en cuatro criterios principales: pH, suma de bases, acidez intercambiable y % de saturación de acidez, (cuadro 2) los cuales en conjunto determinan la magnitud de los problemas de acidez en un suelo.

## 2.2 Contenido de bases intercambiables y relaciones catiónicas

El contenido de bases intercambiables (Ca, Mg y K) define en gran parte el grado de fertilidad del suelo, especialmente el de los dos primeros. Los suelos fértiles se distinguen porque tienen altos contenidos de Ca y Mg, mientras que los suelos muy ácidos generalmente presentan deficiencias de Ca y Mg. Entre más alto el contenido de Ca y Mg, mejor es la fertilidad del suelo. Si el suelo presenta una suma de bases inferior a 5  $\text{cmol}(+)/\text{l}$  se considera que es de baja fertilidad, de 5-12  $\text{cmol}(+)/\text{l}$  es de fertilidad media, y más de 12  $\text{cmol}(+)/\text{l}$  es alta fertilidad.

Durante la interpretación también se evalúa las relaciones entre los cationes Ca, Mg y K para determinar si existe algún desequilibrio. Para esto se calcula los cocientes de la división matemática de los contenidos en  $\text{cmol}(+)/\text{l}$  de estos elementos. Por lo general el antagonismo principal que se presenta es la relación de Ca y/o Mg con respecto a K.

### 2.3 Contenido de P y S

El P es un elemento de gran importancia en la nutrición de las plantas y con frecuencia presenta limitaciones en la fertilidad de los suelos. El contenido de P disponible en el suelo se expresa en mg/l o ppm, siendo el nivel crítico de 10 mg/l, lo que significa que existe 10 kg de P por cada millón de kg de suelo. La mayoría de los suelos vírgenes o poco explotados presentan bajo contenido de este elemento. Los suelos muy ácidos como los Ultisoles rojos, y los suelos de origen volcánico como los Andisoles, presentan alta capacidad de fijación de P que disminuye aún más su disponibilidad para las plantas. Sólo los suelos que han sido manejados con cultivos intensivos durante muchos años y con dosis altas de fertilizantes, llegan a alcanzar valores altos de P, como ocurre con suelos cultivados con hortalizas y plantas ornamentales. El nivel crítico de P es más alto cuando se trata de cultivos anuales de rápido crecimiento, como en el caso de la papa donde se ha establecido un nivel de 50 mg/l, o el melón donde se ha propuesto un valor de 30 mg/l, y en términos generales el valor mínimo debería ser de 20 mg/l en suelos con cultivos intensivos bajos sistemas de fertirrigación.

El S es un elemento limitante en suelos de origen aluvial con altos contenidos en Ca y Mg, y en suelos con baja concentración de materia orgánica. Su determinación no siempre se realiza de rutina en los análisis de suelos ya que por lo general los laboratorios cobran un cargo extra por su análisis. El nivel crítico de S es de 12 mg/l.

### 2.4 Contenido de micronutrientes

Los micronutrientes se presentan en cantidades muy pequeñas en los suelos y los procedimientos de análisis con frecuencia no son tan efectivos para determinar su contenido disponible real. El Zn es el elemento que resulta más confiable en el análisis utilizando la solución extractora de Olsen Modificado, siendo su nivel crítico de 3 mg/l. Es el micronutriente que con más frecuencia se presenta deficiente en suelos del país. El Cu rara vez presentan niveles bajos en los suelos, a menos que sean muy arenosos y bajos en materia orgánica. La mayoría de los suelos presentan contenidos adecuados de Fe y Mn, y su concentración es alta en muchos suelos ácidos y de origen volcánico. El Olsen Modificado tiende a sobrestimar la disponibilidad de estos nutrientes, debido a que el extractante ataca la materia orgánica liberando parte del Fe y Mn que se encuentra acomplejado en ella. El análisis de Fe y Mn tiende a presentar valores erráticos, por lo que los resultados son más útiles para determinar riesgo de toxicidad que para evaluar deficiencias.

No existe un procedimiento confiable para el análisis de B disponible en los suelos, por lo que los resultados sólo sirven como valores de referencia y no resulta práctico utilizarlos para definir recomendaciones. En este caso resulta más confiable el análisis foliar.

## 2.5 Contenido de materia orgánica

La materia orgánica es el residuo de plantas y animales incorporados al suelo, y se expresa en %. El contenido de materia orgánica es un índice que permite estimar en forma aproximada las reservas de N, P y S en el suelo, y su comportamiento en la dinámica de nutrientes (Kass 1996). La materia orgánica mejora muchas propiedades químicas, físicas y microbiológicas que favorecen el crecimiento de las plantas. Los suelos con menos de 2% de materia orgánica tienen bajo contenido, y de 2 a 5% es un contenido medio, siendo deseable que el valor sea superior a 5%.

## 3. Bibliografía

Bertsch, F, 1986, Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica, San José, Universidad de Costa Rica, 86p,

Bertsch, F. 1995. La Fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, ACCS. 157 p.

Cabalceta, G., Molina, E. 2006. Niveles críticos de nutrimentos en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. Agronomía Costarricense (en prensa).

Díaz-Romeu, R., Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 68p.

Instituto de la Potasa y el Fosfato. 1997. Manual Internacional de la Fertilidad del Suelo. INPOFOS, Quito, Ecuador. sp.

León, L.A. 2001. Evaluación de la fertilidad del suelo. In Fertilidad de suelos: diagnóstico y control, 2° ed. por F.S.Silva, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. p. 155-183.

Lorenz, O.; Maynard, D. 1988. Knott's Handbook for vegetable growers. 3° ed. John Wiley and Sons, New York. 456 p.

Kass, D. 1996. Fertilidad de Suelos. Editorial EUNED, San José, Costa Rica. 272 p.

Molina, E. y Meléndez, G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo.

Ramírez, F. 1998. Muestreo de suelos para diagnóstico de fertilidad. Boletín Técnico ACCS, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. 6 p.