El suelo en la agricultura y el medio ambiente (IV)

EVALUACION DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Lurzorua nekazaritzan eta ingurugiroan gaiari buruzko laugarren emanaldi honetan, egileak lurzoruaren emankortasunaren ebaluaketaz hitzegiten digu eta lurzorua aztertzearen garrantzia azpimarratzen du, produkzio onak lortzeko eta aldi berean ingurua babesteko ezinbesteko tresna denez gero.

El suelo se analiza con múltiples objetivos, y en diferentes campos de la Ciencia y la Tecnología:

- búsqueda de recursos geoquímicos;
- con fines de ingeniería civil, en la construcción de edificios, campos deportivos y vías de comunicación;
- clasificación edafológica y cartografía de suelos;
- determinación de la fertilidad del suelo, para optimizar su rendimiento agronómico;
- en estudios de contaminación ambiental, para conocer el nivel de degradación y contaminación de los suelos.

Estos dos últimos aspectos están íntimamente relacionados, y a ellos nos referiremos al describir la utilidad del análisis de suelo, que es actualmente una herramienta imprescindible para obtener producciones óptimas de alimentos y plantas de calidad, preservando el medio ambiente.

Desde el punto de vista agronómico y medioambiental, el análisis de suelo proporciona una doble información:

- Cualitativa, que permite conocer el estado o nivel general de fertilidad del suelo, es decir, su carácter neutro, ácido o alcalino, su posible salinidad, o si el contenido en nutrientes, materia orgánica y elementos tóxicos es bajo, adecuado o excesivo;

- Cuantitativamente, el análisis fisicoquímico de suelo es la base de las modernas Recomendaciones de abonado, que establecen las cantidades de enmiendas y fertilizantes a aplicar para obtener los máximos rendimientos de cosechas de calidad, con una mínima contaminación del medio natural.

Además de las dosis de abonado necesarias para reponer las cantidades de nutrientes minerales extraídas por los cultivos, el análisis de suelo permite cuantificar las acciones correctoras o de enmienda, tales como el encalado de suelos ácidos, lavado de suelos salinos, bloqueo de contaminantes, etc.

IÑAKI CERRAJERIA

A pesar de la amplia información que proporciona el análisis de suelo, su aplicación práctica suele estar muy limitada por la confusión derivada del gran número de factores que influyen en los resultados, entre los que cabe destacar:

- muestreo del suelo;
- métodos de análisis empleados;
- criterios de interpretación de resultados.

> ***Reforestar, reducir progresivamente el uso del petróleo, analizar los suelos para emplear los fertilizantes adecuados, son algunas medidas que pueden frenar el deterioro de la biosfera.***
>
> ***F. Mayor Zaragoza***
> ***Director general de la UNESCO***

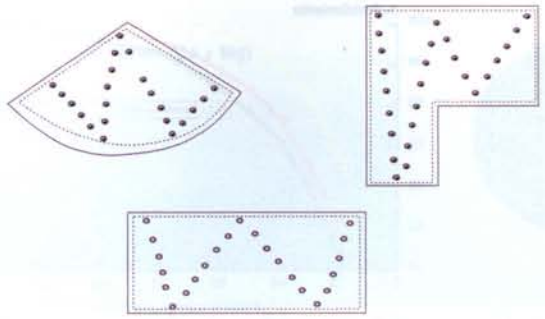
Todos estos aspectos hacen que los resultados del análisis de una misma muestra de suelo por diferentes laboratorios puedan ser muy distintos (aunque igualmente válidos), y han de ser tenidos en cuenta para que el análisis de suelo sea útil, evitando actuaciones erróneas que a menudo resultan ineficaces, e incluso perjudiciales para el nivel de fertilidad del suelo.

Toma de muestras

Desde que se toma la muestra de suelo hasta que se obtienen los resultados analíticos, pueden producirse muchos errores. Se ha comprobado que la mayor parte del error total cometido es inherente a la muestra de suelo, ya que la composición química del suelo presenta una gran variabilidad, tanto en sentido horizontal y vertical como a lo largo del tiempo.

Respecto de la profundidad, la materia orgánica suele acumularse y descomponerse en la superficie, lo que explica que la capa superior de los suelos no labrados sea habitualmente algo más ácida que las inferiores. En cuanto a los nutrientes minerales, el nitrato por su movilidad se distribuye uniformemente a lo largo de todo el perfil del suelo, mientras que el fósforo tiende a acumularse en las capas superiores; el potasio ocupa una posición intermedia (Tabla 1).

FIGURA 1
Toma de muestras en diferentes tipos de parcela



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2
Procedimientos utilizados para el análisis químico de suelo

Fuente: Elaboración propia.

Horizontalmente, y dada la dificultad de repartir de manera uniforme los estiércoles y fertilizantes minerales, pueden presentarse grandes diferencias en la concentración de nutrientes de un punto a otro de una superficie de cultivo. En el muestreo de un metro cuadrado de suelo se han llegado a obtener errores del 40% entre los valores de potasio de cada decímetro cuadrado.

Esta heterogeneidad del suelo es independiente del tamaño de la parcela, y explica que la muestra de suelo a analizar deba estar compuesta de un cierto número de submuestras, o porciones de suelo tomadas al azar en diferentes puntos de cada parcela homogénea, de manera que la muestra compuesta sea representativa del contenido medio de nutrientes en toda la parcela.

Cuando se observan zonas con diferente nivel de fertilidad, conviene muestrear cada zona por separado, ya que la comparación de los resultados del análisis de los suelos de ambas zonas suele facilitar la identificación de la causa de la baja fertilidad.

Como norma general, la muestra de suelo debe estar tomada a una profundidad igual a la de enraizamiento, para que represente la capa de reserva de nutrientes disponibles para la planta. En praderas se muestrea a una profundidad comprendida entre 5 y 10 cm, y en cultivos hortícolas a unos 15 cm. La muestra a analizar se compone de un mínimo de 15 submuestras, que se toman fácilmente pinchando el suelo con una sonda, a lo largo de un recorrido en W (figura 1). Ciertas determinaciones, como la de nitrógeno mineral (Nmin) en cultivos anuales, requieren un muestreo a mayor profundidad (hasta 90 cm. en algunos casos).

Por otro lado, tanto la descomposición de la materia orgánica del suelo como la solubilización de los abonos y su absorción por las plantas varían de una a otra época del año. En consecuencia, la muestra de suelo deberá tomarse al final del período de cultivo, tras la recolección, para conocer las reservas minerales del suelo y determinar el estado de fertilidad antes del comienzo del próximo cultivo. En ningún caso se tomará la muestra tras aplicaciones recientes de fertilizantes y enmiendas, que pueden conducir a interpretaciones erróneas.

El muestreo de suelos afectados por contaminación difusa debida a metales, fertilizantes y plaguicidas se realiza de manera semejante, aunque los estudios de contaminación de suelos requieren un mayor rigor estadístico en el muestreo; los suelos contaminados por focos puntuales de origen urbano o industrial se muestrean según criterios específicos, normalmente definidos al margen de las condiciones de crecimiento de las plantas.

Análisis químicos

La medida de la conductividad y el pH de una suspensión acuosa del suelo proporciona por sí misma una información muy valiosa para el diagnóstico de problemas nutricionales asociados a salinidad, o a toxicidad y bloqueo de nutrientes por exceso de acidez o basicidad. Igual que el médico completa el examen clínico auscultando y midiendo la tensión arterial del paciente, el técnico agronómico o el propio agricultor pueden determinar estos parámetros por sencillos métodos de

TABLA 1
Variación de la concentración de nutrientes con la profundidad

	Profundidad cm.	pH	Fósforo mg/l	Potasio mg/l
Siembra directa	0-2,5	6,0	66	409
	2, 5-5	6,9	56	390
	5-7, 5	7,3	21	324
	7,5-10	7,3	15	280
	10-20	7,3	14	264
Arado superficial	0-2,5	6,9	60	428
	2, 5-5	7,1	57	365
	5-7, 5	7,3	43	309
	7,5-10	7,4	24	299
	10-20	7,5	16	280
Labrado	0-2,5	7,7	23	336
	2, 5-5	7,7	24	339
	5-7, 5	7,6	24	320
	7,5-10	7,7	22	295
	10-20	7,7	26	301

Fuente: J. Archer (1985).

TABLA 2
Indices de conductividad y nutrientes, según ADAS

Indice	Conductividad (µS / cm.)	Nitrógeno nítrico (mg/l)	Fósforo (mg/l)	Potasio (mg/l)	Magnesio (mg/l)
0	1900-2200	0-25	0-9	0-60	0-25
1	2210-2400	26-50	10-15	61-120	26-50
2	2410-2600	51-100	16-25	121-240	51-100
3	2610-2700	101-150	26-45	241-400	101-175
4	2710-2800	151-250	46-70	401-600	176-250
5	2810-3000	251-350	71-100	601-900	251-350
6	3010-3300	> 350	101-140	901-1500	351-600
7	3310-3700		141-200	1501-2400	601-1000
8	3710-4000		201-280	2.401-3600	1001-1500
9	> 4000		> 280	> 3600	> 1500

Fuente: MAFF (1987).

campo con los modernos pHímetros y conductivímetros de bolsillo, y emitir un diagnóstico, o excluir algunas causas de la baja fertilidad del suelo, antes de recurrir al análisis de laboratorio.

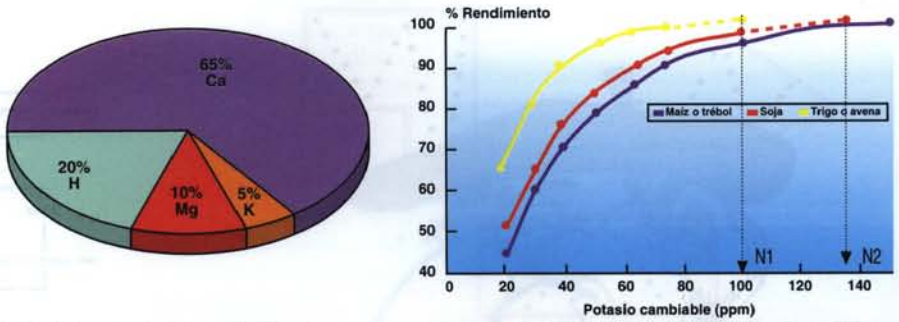
Para los principales nutrientes minerales, interesa conocer la fracción activa que se halla disponible o asimilable para la planta. Con este fin, se emplean dos tipos de métodos: extracto de saturación y suspensiones (figura 2). La interpretación de los análisis es muy diferente según se utilice uno u otro tipo de técnicas, por lo que las describiremos brevemente.

Extracto de saturación. En este método, que se halla muy difundido en Australia y Estados Unidos, se determina la concentración de nutrientes en la solución acuosa del suelo en condiciones de saturación, es decir, cuando todos los poros están llenos de agua. Para ello, se añade a la muestra seca de suelo la cantidad de agua justamente necesaria para preparar una pasta saturada, de la que se extrae la solución acuosa en la que se determinan los diferentes parámetros.

Suspensiones. Los métodos de suspensión se emplean preferentemente en la mayoría de los países europeos, y a ellos nos referiremos en lo sucesivo. Se mide un peso o volumen de suelo seco, al cual se añade un volumen de agua destilada (para pH y conductividad) o de una solución acuosa, que extrae por agitación tanto la fracción de nutriente soluble en agua como las formas de reserva disponibles durante el período de crecimiento de la planta. Las soluciones extractantes universalmente empleadas en la actualidad son las de bicarbonato sódico (método Olsen) para el fósforo, y sales de amonio que desplazan del Complejo de Cambio el potasio, calcio y magnesio.

Dependiendo de que se parta de un peso o de un volumen de suelo, las unidades de expresión de los resultados vendrán dadas en mg/kg de suelo (partes por millón, ppm) o en mg/litro de suelo. Como las raíces exploran volúmenes y no pesos de suelo, y el empleo de volúmenes facilita enormemente la realización de los análisis, actualmente se tiende a referir los análisis a volúmenes de suelo. No obstante, el paso de una a otra unidad es muy sencillo, si se conoce la densidad aparente de laboratorio.

FIGURA 3
Modelos de interpretación del análisis de suelo



a) Proporciones de cationes cambiables

b) Niveles de suficiencia (N1, N2) para diferentes cultivos

Fuente: SSSA (1987).

Pero no basta con disponer de los resultados de un análisis de suelo, ya que es necesario conocer la correspondencia entre los resultados de los análisis y el crecimiento del cultivo, en las condiciones locales (tipos de suelos, climatología). Esta relación, que se establece mediante ensayos experimentales de campo, se conoce como calibración de los análisis de suelo. En nuestra Comunidad disponemos de técnicas de análisis de suelo convenientemente calibradas para suelos de pradera (véase Manejo eficiente de la fertilidad del suelo de praderas, SUSTRAI, 30, 50-52). Sólo cuando no se dispone de dicha información, se recurre a adaptar las calibraciones de otras regiones o países de condiciones ambientales semejantes.

Interpretación de los análisis de suelo

Es importante tener presente que, en relación a la acidez y los nutrientes disponibles, existen diferentes filosofías o criterios de interpretación de los análisis de suelo que, partiendo de un mismo resultado, conducen a distintas recomendaciones de fertilización. Resumiremos brevemente las más importantes, que son:

- **Proporciones de cationes cambiables.** Parte de un modelo del suelo ideal, aceptando que existe una relación óptima de las concentraciones de cationes nutrientes en el Complejo de Cambio (figura 3a). Según este criterio, las proporciones ideales de calcio, magnesio y potasio que darían el máximo crecimiento serían 65%, 10% y 5%, respectivamente; el objetivo de la fertilización es aportar las cantidades necesarias para alcanzar dichos porcentajes. Sin embargo, los resultados experimentales de las últimas décadas indican que pueden conseguirse idénticos rendimientos con proporciones muy diferentes de los citados cationes, siempre que se encuentren en cantidades suficientes.

Este modelo, tradicionalmente empleado por los fabricantes de fertilizantes y, por desgracia, con una gran implantación en el Estado español, recomienda cantidades de abono innecesariamente elevadas, por lo que ha sido abandonado en la mayoría de los países. Resulta más adecuado para predecir las necesidades de encalado de suelos minerales ácidos, en los que existe una estrecha relación entre el pH y la acidez cambiable (o lo que es equivalente, entre el pH y el porcentaje de saturación

TABLA 3
Recomendaciones de fertilizantes (g/m²) para el abonado de fondo de tomates de plantación temprana en invernadero

	Indice de nitrato, fósforo, potasio o magnesio						
	0	1	2	3	4	5	>5
Nitrato amónico	30	15	-	-	-	-	-
Superfosfato triple	150	140	130	110	80	45	-
Sulfato potásico	720	670	610	500	370	185	-
Sulfato magnésico	510	480	430	350	260	150	-

Fuente: MAFF (1987).

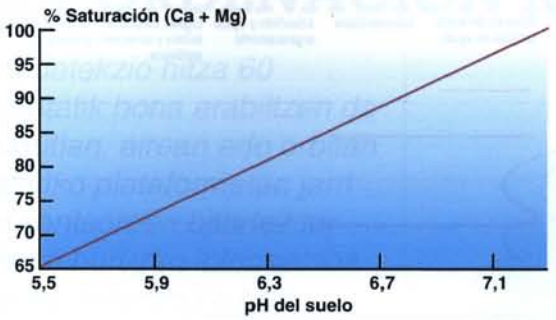
TABLA 4
Necesidades de agua (l/m²) para el lavado de las sales

Tipo de suelo	Indice de conductividad						
	<3	3	4	5	6	7 (a)	>7 (a)
Arenoso	Nada	15	20	25	35	50	65
Otros suelos	Nada	20	25	35	50	70	90

(a) Si la conductividad antes del lavado es superior al Indice 6, debe controlarse nuevamente tras el lavado, para asegurarse de que se ha reducido a un nivel satisfactorio.

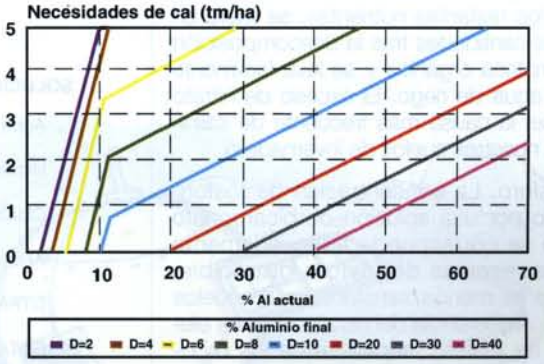
Fuente: MAFF (1987).

FIGURA 4
Relación entre el pH y el porcentaje de saturación por calcio y magnesio



Fuente: SSSA (1987).

FIGURA 5
Cálculo de la dosis de encalado en función del porcentaje de aluminio cambiable inicial y final (D)



Fuente: F. Mombiela (1984).

por calcio y magnesio, figura 4).Suelen considerarse como óptimos los valores de pH próximos a 6,5 para el cultivo de hortalizas y a 6,0 para suelos de pradera. Por debajo de pH 5,5 es necesario aplicar cal al suelo para neutralizar el efecto tóxico del aluminio presente en el Complejo de Cambio. La figura 5 permite calcular la dosis de cal necesaria para reducir la acidez cambiable hasta diferentes porcentajes. En ausencia de aluminio cambiable, la dosis de encalado dependerá del pH del suelo y de su poder amortiguador.

- **Niveles de suficiencia**. Contrariamente al anterior, este modelo se basa en considerar que, independientemente de las proporciones en que se encuentren, existe para cada nutriente un valor de concentración, por encima del cual no aumenta el crecimiento de las plantas. El objetivo del abonado es alcanzar dicho nivel de suficiencia en cada nutriente, para que el rendimiento del cultivo no se vea limitado. El nivel de suficiencia, que se determina a través de la calibración del análisis de suelo, depende del cultivo (figura 3b) y del tipo de suelo, principalmente de su textura. Este modelo proporciona recomendaciones de abonado sensiblemente inferiores al anterior, siendo en la actualidad el método adoptado mayoritariamente por universidades y organismos públicos independientes.

En el sistema del Servicio de Asesoramiento y Desarrollo Agrario (ADAS) del Ministerio de Agricultura inglés (MAFF), los resultados del análisis de suelo se agrupan en diferentes intervalos o Indices (Tabla 2); cuanto mayor sea el valor del Indice, menor es la dosis de fertilizante recomendada (Tabla 3). En este método, que describiremos a continuación, el nivel de suficiencia o mantenimiento, al cual se aplican las cantidades extraídas por el cultivo, corresponde al Indice 2 ó 3 para fósforo y potasio en suelos de textura media.

Recomendaciones de fertilización

Salinidad y lavado de sales

Extrayendo en el laboratorio las sales solubles del suelo con elevados volúmenes de agua (1:5 es la proporción habitual), existe el riesgo de que algunas sales que, como el yeso, son poco solubles en las condiciones reales de campo, se disuelvan y den falsas lecturas de salinidad. Para evitarlo, el ADAS emplea como extractante una solución acuosa saturada de yeso (cuya conductividad a 20ºC es de 1960 µS/cm), en relación de volúmenes 1:2,5. Con ello se evita la disolución del yeso que pudiera haber en el suelo, pero el origen de la escala de conductividad se desplaza desde cero hasta el valor de 1960 (Tabla 2). La Tabla 4 da las cantidades de agua necesarias para el lavado de las sales del suelo, en función del Indice de conductividad y del tipo de suelo.

Nutrientes

Nitrógeno mineral. El nitrógeno es el nutriente más difícil de controlar por análisis de suelo, debido a la dificultad de estimar la cantidad liberada en la mineralización de la materia orgánica. La medida del nitrógeno mineral (nítrico más amoniacal) en muestras tomadas a profundidades comprendidas entre 30 y 90 cm. (método Nmin), es particularmente útil como estimación de la cantidad de nitrógeno disponible para cultivos anuales, en suelos que han recibido frecuentes aplicaciones de abonos orgánicos. El nitrógeno amoniacal se oxida rápidamente a nitrato, por lo que la concentración de este último suele ser muy superior.

En cultivos intensivos de invernadero, la medida del nitrógeno nítrico a 15 cm. de

TABLA 5
Interpretación del análisis de nitrato en suelos y sustratos minerales de invernadero

Indice de nitrato	Nitrógeno nítrico (mg/l)	Interpretación
0	0-25	Bajo para suelos de invernadero.
1	26-50	Intervalo satisfactorio para lechuga y crisantemo.
2	51-100	Rango satisfactorio para tomate, pepino, crisantemo, pimiento, berenjena y apio.
3	101-150	Nivel satisfactorio para claveles.
4	151-250	Innecesariamente alto para cualquier cultivo en suelo mineral.
5	251-350	Excesivo para cultivos en suelos minerales; satisfactorio en suelos de turba.
6	>350	Excesivo para cualquier cultivo.

Fuente: MAFF (1987).

TABLA 6
Recomendaciones de fertilización de fondo para cultivo de tomate en invernadero

Parámetro	Análisis	Indice	Recomendaciones
Conductividad	3180	6	Lavado con 50 l/m2 de agua
N nítrico	358	6	Nada
Fósforo	89	5	45 g/m2 de superfosfato triple
Potasio	527	4	370 g/m2 de sulfato potásico
Magnesio	158	3	350 g/m2 de sulfato magnésico

Fuente: Elaboración propia.

profundidad proporciona una estimación razonable de la reserva de nitrógeno del suelo (Tabla 5). Pero los resultados han de ser interpretados con precaución, ya que su contenido en el suelo varía mucho: en relación a los restantes nutrientes, se libera en grandes cantidades tras la descomposición de la materia orgánica y se lava fácilmente con el agua de riego. El exceso de nitrato suele ser la causa más frecuente de salinidad en nuestros suelos de invernadero.

Fósforo. La concentración de fósforo extraído por una solución de bicarbonato sódico se corresponde adecuadamente con las reservas de fósforo disponible, aunque es menos satisfactoria en suelos ácidos. A diferencia del nitrato, valores elevados de fósforo, superiores a los recomendados, no deben originar problemas, ni se pierden por lavado con el agua de riego, quedando acumulados en el suelo en forma de reserva.

Potasio y magnesio. La principal limitación del análisis de potasio disponible para cultivos extensivos es su incapacidad para medir la contribución del subsuelo, en suelos con elevadas reservas de potasio. Valores superiores a 800 mg/l, además de innecesarios, suelen contribuir a la salinidad del suelo y pueden inducir carencia de magnesio (la relación entre las concentraciones de potasio y magnesio no debe ser superior a 4).

A modo de ejemplo, la Tabla 6 ilustra de manera resumida la forma de efectuar una Recomendación de fertilización en base al análisis de suelo, a partir de los datos de las Tablas 2 a 5. De las cantidades recomendadas de fertilizantes deben descontarse las aportaciones de nutrientes efectuadas con los abonos orgánicos.

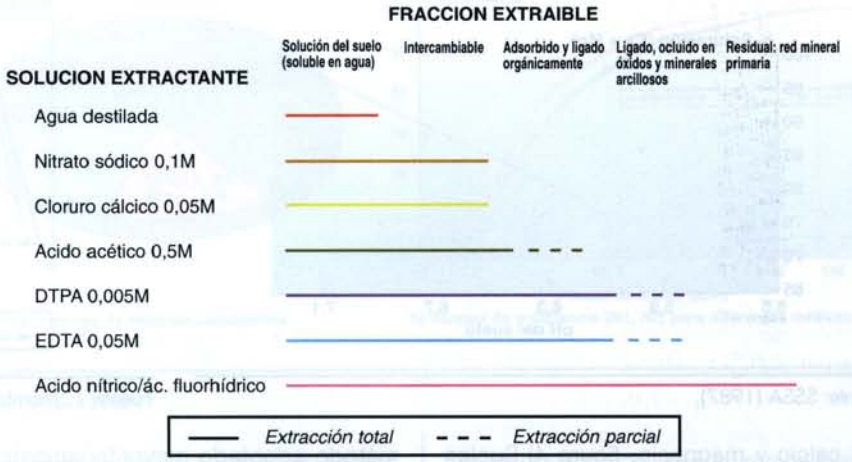
Micronutrientes y contaminantes

El análisis de suelo también resulta útil cuando se sospecha que la baja fertilidad de un suelo es debida a la carencia de algún oligoelemento. Las más habituales (boro, hierro y manganeso) suelen presentarse por bloqueo en suelos de pH elevado a consecuencia del sobreencalado, más que por una deficiencia en el suelo. Interesa, por tanto, conocer la fracción disponible para las plantas, más que las cantidades totales en el suelo.

En suelos contaminados, la concentración de algunos micronutrientes (cinc, cobre, etc) y de otros metales pesados no necesarios para los cultivos (plomo, cadmio, etc) puede ser excesiva, afectando al crecimiento vegetal y acumulándose en las plantas en cantidades tóxicas. Aunque la concentración total de dichos metales en el suelo proporciona una indicación general cualitativa del nivel de contaminación, es esencial conocer su biodisponibilidad, es decir, la posibilidad de que causen un efecto (positivo o negativo) a un organismo específico.

FIGURA 6

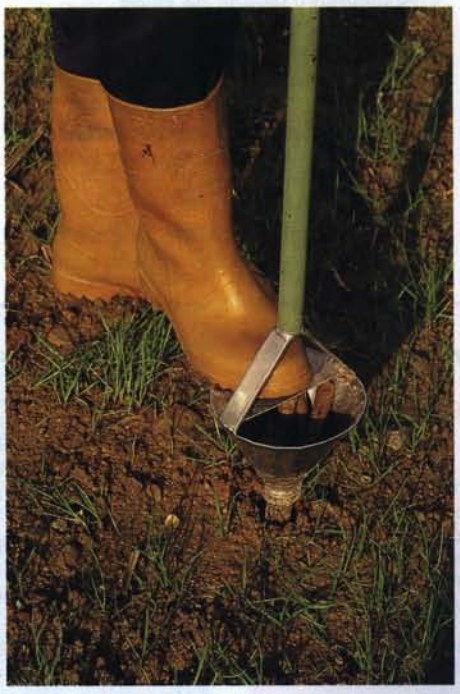
Capacidad de diferentes extractantes para extraer elementos de la distintas fases



Fuente: Alloway (1994).

En el campo de la contaminación ambiental por metales, el análisis de suelo sirve para conocer tanto la Contaminación potencial de los suelos (concentración total de metal superior a la natural), como los perjuicios reales de un elevado nivel de Polución (elevada biodisponibilidad). Por ejemplo, la presencia de perdigones de plomo en un suelo supone una forma de contaminación, que no se considera polución hasta que se solubilice una fracción suficiente, que afecte a las plantas o a los organismos vivos del suelo.

Para la medida de la biodisponibilidad se utilizan soluciones acuosas de diferente poder extractante, que extraen distintas fracciones del metal presente en el suelo (figura 6). En los estudios de especiación se emplean sucesivamente diferentes soluciones de poder extractante creciente en una extracción secuencial por etapas (por ejemplo, agua, nitrato sódico y DTPA), lo que permite diferenciar cada una de las especies o formas de metal: en solución acuosa, complejo de cambio y ligado a la materia orgánica.



JAVIER ANSORENA

Muestreo del suelo con una sonda.

Por su excelente adaptación al análisis de rutina de un número elevado de muestras, los análisis fisicoquímicos de suelo son los más habituales. Pero en los últimos años se están desarrollando diferentes técnicas de caracterización microbiológica de los suelos que presentan un futuro prometedor, ya que permiten determinar directamente los efectos de la polución debida a metales, plaguicidas y otros contaminantes, a través de su influencia en la biomasa y la actividad microbiana del suelo.

También el análisis foliar o de planta, por sí mismo y como complemento al análisis de suelo, constituye una valiosa herramienta para conocer el nivel de fertilidad de los suelos, ya que la absorción de nutrientes y contaminantes por la planta es una medida directa de su disponibilidad en el suelo. El método DRIS, basado en el análisis foliar, se utiliza a menudo para la fertilización de frutales y otros cultivos en que las elevadas profundidades de enraizamiento limitan el conocimiento de las reservas de nutrientes en el suelo. ❑

Javier Ansorena Miner
Laboratorio Agrario
Departamento de Agricultura y Medio Ambiente
Diputación Foral de Gipuzkoa