

# **ANÁLISIS DE SUELO. METODOLOGÍA E INTERPRETACIÓN**

**René Bernier V.**<sup>1</sup>  
Ingeniero Agrónomo, M.Sc.  
**Pablo Undurraga D.**<sup>1</sup>  
Ingeniero Agrónomo

---

<sup>1</sup> Centro Regional de Investigación Remehue - INIA.

## ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN .....	23
ANÁLISIS QUÍMICO .....	24
RECEPCIÓN DE LA MUESTRA .....	25
SECADO AL AIRE .....	25
TAMIZADO DE LA MUESTRA .....	25
ANÁLISIS QUÍMICO .....	26
INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELO .....	26
RENDIMIENTO RELACIONADO CON EL ANÁLISIS DE SUELO .....	26
RENDIMIENTO RELACIONADO A DOSIS DE FERTILIZANTE .....	27
DOSIS DE FERTILIZANTE RELACIONADA CON ANÁLISIS DE SUELO .....	27
CATEGORÍAS DE DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES .....	27
DETERMINACIÓN DE pH .....	28
DETERMINACIÓN DE FÓSFORO (P) .....	29
DETERMINACIÓN DE BASES DE INTERCAMBIO (Ca, Mg, K Y Na) .....	29
RELACIÓN CALCIO:MAGNESIO (Ca/Mg) .....	30
RELACIÓN POTASIO:MAGNESIO (K/Mg) .....	30
EXCESO DE SODIO (Na) .....	31
DETERMINACIÓN DE ALUMINIO DE INTERCAMBIO (Al) .....	31
BIBLIOGRAFÍA .....	32

## **INTRODUCCION**

La actividad agrícola, en la actualidad, ha pasado de ser una forma de vida a una actividad de carácter empresarial y comercial, lo que ha provocado un serio deterioro del recurso suelo, y particularmente de su fertilidad, a través de una degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de éste.

Como una forma de contrarrestar la pérdida de capacidad de suministro de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, por degradación de la capa superficial de los suelos, ha sido necesario recurrir a la aplicación de productos orgánicos e inorgánicos portadores de dichos nutrientes. Cabe destacar que junto a los beneficios derivados de esta práctica, en algunos casos se ha abusado de ella, lo que ha traído como consecuencia algunos problemas de contaminación del medio, particularmente de cuerpos naturales de agua.

Sin embargo, para producir las cantidades de alimentos que la humanidad reclama no se puede dejar de utilizar los fertilizantes, lo que debe hacerse en forma racional, observando con atención los factores económicos que están involucrados.

Todas las plantas requieren de elementos nutritivos para completar su desarrollo normal. Estos elementos se denominan esenciales, y deben estar disponibles para los cultivos cuando éstos los requieran. En general, se estima que el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) representan probablemente el 90% de los problemas nutricionales del mundo, apareciendo con menos frecuencia condiciones deficitarias de los otros nutrientes.

Antes de decidir si es necesario aplicar un fertilizante y cuánto hay que aplicar, en caso que haya que hacerlo, es preciso demostrar que el suelo no es capaz de proporcionar un determinado nutriente en cantidad suficiente para alcanzar un rendimiento cercano al máximo posible en un agrosistema dado.

La función que debe desempeñar el profesional o técnico de terreno es diagnosticar la condición de suministro de los elementos esenciales del suelo y establecer las estrategias y soluciones para que el nivel de dichos nutrientes sea suficiente para el crecimiento óptimo de los cultivos.

Para cumplir con el diagnóstico se puede recurrir a diferentes métodos, entre los que destacan el análisis foliar, ensayos biológicos y el análisis de suelo.

## **ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS**

El análisis químico de suelos consiste en extraer, mediante una solución química, una fracción del total del elemento esencial para el crecimiento de las plantas y luego medir la cantidad solubilizada con procedimientos químicos adecuados. Para que esta fracción tenga un significado agronómico, es preciso que represente una proporción de lo que la planta requiere. No todos los extractantes existentes para evaluar un nutriente cumplen con esta condición. Lo adecuado de uno u otro depende de la forma en que el nutriente se encuentre en el suelo, de la forma en que se haga el análisis y del cultivo con que se trabaje.

El método para seleccionar un determinado extractante se denomina **CORRELACIÓN**, debido a que originalmente se utilizó esta técnica estadística para relacionar la cantidad extraída en el laboratorio de un nutriente determinado, con la cantidad del mismo absorbida por la planta o con algún parámetro de crecimiento.

La interpretación agronómica del resultado de un análisis químico utilizado con fines de diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, requiere de otras informaciones adicionales, como la relación entre el resultado analítico y el porcentaje del rendimiento máximo que es posible alcanzar con ese nivel de disponibilidad, y la respuesta que se puede esperar al aplicar un fertilizante que contenga el elemento analizado. Este procedimiento se denomina **CALIBRACIÓN** y está fundamentado en numerosos experimentos de campo, sobre diferentes suelos, para diferentes elementos nutritivos y para diferentes cultivos.

A raíz de la puesta en marcha del Programa de Recuperación de Suelos Degradados, por el Ministerio de Agricultura, que dentro de su reglamentación establece el uso del análisis de suelos para postular a algunos subprogramas, fue necesario normalizar las metodologías analíticas utilizadas por los laboratorios de suelos del país y establecer un sistema de evaluación y posterior acreditación de los mismos. Como resultado de dicho proceso se acreditaron 17 laboratorios de suelos en todo el país, de los cuales 4 corresponden a la Décima Región. El sentido de la acreditación es que todos los laboratorios registrados bajo esta norma ofrecen la misma confiabilidad en sus resultados, por lo que resulta indiferente la utilización de uno u otro servicio de análisis.

En el Laboratorio de Servicio de Análisis de Suelos de INIA Remehue (Osorno), acreditado para el Programa de Recuperación de Suelos Degradados, se deben cumplir las siguientes etapas:

- ◆ Recepción de la muestra de suelo.
- ◆ Secado al aire.
- ◆ Tamizado a través de un tamiz de 2 mm.
- ◆ Análisis químico propiamente tal.

### **RECEPCIÓN DE LA MUESTRA**

La muestra de suelo que será sometida a análisis químico con fines de diagnóstico de la fertilidad debe ser colectada de acuerdo a las estrictas normas detalladas en el capítulo anterior, observando cuidadosamente todas las etapas.

Una vez cumplida la etapa del muestreo, la muestra de suelo es enviada al laboratorio respectivo, en donde es recepcionada y registrada cuidadosamente, anotando todos los antecedentes que describen el sitio de muestreo y su entorno, datos muy importantes al momento de la interpretación y posterior recomendación de fertilizantes. Cada muestra debe ir acompañada de un formulario debidamente llenado con los antecedentes que se solicitan en él.

### **SECADO AL AIRE**

Debido a que el suelo es un complejo de factores químicos, físicos y biológicos que interactúan en forma muy dinámica, es necesario estabilizar la muestra de suelo recepcionada, de modo de que no se produzcan transformaciones indeseables, alterando la composición original de dicha muestra. Para esto se somete al secado (se debe moler si es necesario) al aire ambiente, forzándolo levemente para acelerar el proceso. De acuerdo a la humedad de la muestra, esta etapa puede durar hasta tres días.

### **TAMIZADO DE LA MUESTRA**

Los métodos convencionales de análisis de suelo establecen que la extracción de los nutrientes se debe realizar poniendo en contacto la tierra, cuyas partículas deben ser de un tamaño inferior a 2 mm, con la solución química correspondiente.

## **ANÁLISIS QUÍMICO**

El reglamento que regula el Programa de Recuperación de Suelos Degradados establece que para la aplicación del subprograma de fertilización fosfatada se requiere del análisis de suelo que establece el nivel de disponibilidad de dicho nutriente. En cambio, para aplicar el subprograma de enmiendas calcáreas, se requiere conocer la acidez del suelo a través del pH al agua y/o el porcentaje de saturación de aluminio, para lo cual es necesario determinar el pH, los contenidos de bases de intercambio (calcio, magnesio, potasio y sodio) y el contenido de aluminio intercambiable. Con estos parámetros se establece el grado de acidez actual del suelo.

## **INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELO**

El dato que surge del análisis químico de un suelo no tiene sentido agronómico por sí mismo, porque su magnitud está asociada directamente con la solución extractante utilizada y no necesariamente con los contenidos reales de elementos esenciales en el suelo. Es por esto que es necesario contar con información adicional del entorno, del clima, del cultivo, etc. Esta información se obtiene a través del procedimiento de la CALIBRACIÓN realizada en terreno.

La calibración se realiza fundamentalmente en tres etapas diferentes, en las cuales se van relacionando los análisis de suelo con los rendimientos y con las dosis de nutriente aplicadas.

## **RENDIMIENTO RELACIONADO CON EL ANÁLISIS DE SUELO**

El resultado analítico va a tener diferente significado agronómico si se trata de un cultivo de cereal, de un cultivo de chacra o de un cultivo industrial. Esto se debe a que las plantas difieren en sus requerimientos nutricionales, por lo tanto, cada especie tiene diferente demanda de un determinado elemento para completar su normal desarrollo. Así, un mismo resultado analítico puede tener distinta interpretación agronómica. Lo mismo puede ocurrir entre diferentes suelos, toda vez que éstos presentan características químicas y físicas propias que hacen que la dinámica de los nutrientes en ellos sea particular, en términos de capacidad de suministro, de intensidad, de fijación o retención, etc.

En la primera etapa del estudio se deben seleccionar sitios (del mismo tipo de suelos) con diferentes niveles de disponibilidad del nutriente en cuestión, en los cuales se establecerá el cultivo cuya respuesta se quiere conocer.

La respuesta del "cultivo" graficada a través de una curva, está representada en términos del rendimiento relativo obtenido en los diferentes sitios, con diferente nivel en el suelo. Se observa que va siendo creciente en la medida de que el nivel del nutriente en estudio es mayor. Haciendo la relación entre el rendimiento relativo obtenido (siendo 100 el rendimiento en el sitio con mayor valor analítico) con el análisis de suelo se puede establecer cuándo un nivel es bajo, medio o alto. Será bajo cuando el rendimiento relativo es bajo y alto cuando es rendimiento es alto. Cabe mencionar que en esta etapa no se aplica el nutriente en estudio, por lo que la producción del cultivo con respecto del nutriente está basada en el suministro natural del suelo.

### **RENDIMIENTO RELACIONADO A DOSIS DE FERTILIZANTE**

En los sitios calificados como de bajo, medio y alto contenido del nutriente en estudio, se establecen los experimentos que permitirán determinar la respuesta del cultivo a dosis crecientes del elemento.

A medida que las dosis del nutriente son crecientes, los rendimientos relativos son mayores a cualquier nivel del nutriente en el suelo. Sin embargo, las respuestas en los sitios experimentales son diferentes, siendo mayor en el sitio de menor disponibilidad del nutriente y menor en el de mayor disponibilidad. Esto significa que en la medida de que el suelo esté más provisto de un nutriente determinado se requerirá una dosis menor para alcanzar un alto rendimiento. Es decir, a nivel bajo mayor respuesta y menor respuesta a nivel alto de disponibilidad.

### **DOSIS DE FERTILIZANTE RELACIONADA CON ANÁLISIS DE SUELO**

Para cada sitio (y cada nivel de disponibilidad) se obtendrá una curva de respuesta del cultivo en estudio, a dosis crecientes del nutriente. De este modo se establece a qué dosis de nutriente (o fertilizante) se obtiene un rendimiento óptimo. Este óptimo puede ser biológico o económico dependiendo de la forma del análisis de los datos.

### **CATEGORÍAS DE DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES**

De acuerdo a las normas que regulan el Programa de Recuperación de Suelos Degradados, los parámetros de suelo que se deben determinar son los siguientes:

- ♦ pH en agua
- ♦ fósforo extractable
- ♦ calcio intercambiable
- ♦ magnesio intercambiable
- ♦ potasio intercambiable
- ♦ sodio intercambiable
- ♦ aluminio intercambiable.

Además, se deben calcular la suma de bases, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y porcentaje de saturación de aluminio.

El proceso de calibración que se ha desarrollado en INIA Remehue y sobre el cual se basa el Servicio de Análisis de Suelo ha incluido nitrógeno, fósforo y potasio en las series de suelos más importantes de la Décima Región y a los cultivos de cereales y papa, además de praderas permanentes. Las categorías de disponibilidad (o índices de fertilidad) de los restantes nutrientes y cultivos se han determinado en base a experiencias puntuales y antecedentes de suelos similares de otros países.

Toda la metodología utilizada en los análisis de suelos requeridos para los diferentes subprogramas del Programa de Recuperación de Suelos Degradados, ha sido definida por una comisión ad hoc nombrada por la Sociedad Chilena de las Ciencias del Suelo a petición del Ministerio de Agricultura.

### **DETERMINACIÓN DE pH**

El pH del suelo se determina en agua, en una relación 1:2,5 suelo:agua de acuerdo a la metodología convencional. Los índices o categorías de pH se señalan a continuación:

	<b>Rango</b>	<b>Categoría</b>
pH en Agua	≤ 4,5	Extremadamente ácido
	4,6 – 5,0	Muy fuertemente ácido
	5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
	5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
	6,1 – 6,5	Débilmente ácido

Las categorías señaladas corresponden a los valores posibles de encontrar en suelos de la Décima Región, por lo tanto, no se incluyen categorías del sector alcalino de la escala.



## DETERMINACIÓN DE FÓSFORO (P)

El fósforo extractable se determina por el método de Olsen, utilizando bicarbonato de sodio, 1 M, a pH 8,5. Las categorías de disponibilidad corresponden a rangos expresados en partes por millón (ppm).

	<b>Rango</b>	<b>Categoría</b>
Fósforo Olsen	$\leq 5,0$	Muy Bajo
ppm (mg/kg)	5,1 – 10,0	Bajo
	10,1 – 20,0	Medio
	20,1 – 30,0	Adecuado
	$\geq 30,1$	Alto

## DETERMINACIÓN DE BASES DE INTERCAMBIO (CA, MG, K Y NA)

De acuerdo a los métodos convencionales, las bases de intercambio se determinan por extracción con acetato de amonio y analizadas por absorción atómica. Las diferentes categorías de disponibilidad se señalan a continuación:

	<b>Rango</b>	<b>Categoría</b>
Calcio intercambiable	$\leq 2,0$	Muy Bajo
Cmol (+)/kg	2,01 – 5,00	Bajo
	5,01 – 9,00	Medio
	9,01 – 15,00	Adecuado
	$\geq 15,01$	Alto
Magnesio intercambiable	$\leq 0,25$	Muy Bajo
Cmol (+)/kg	0,26 – 0,50	Bajo
	0,51 – 1,00	Medio
	1,01 – 2,00	Adecuado
	$\geq 2,01$	Alto
Potasio intercambiable	$\leq 0,12$	Muy Bajo
Cmol(+)/kg	0,13 – 0,25	Bajo
	0,26 – 0,51	Medio
	0,52 – 0,64	Adecuado
	$\geq 0,65$	Alto

	<b>Rango</b>	<b>Categoría</b>
Sodio intercambiable Cmol (+)/kg	≤ 0,15	Muy Bajo
	0,16 – 0,20	Bajo
	0,21 – 0,30	Medio
	0,31 – 0,40	Adecuado
	0,41 – 0,51	Alto
	≥ 0,51	Muy Alto
Suma bases intercamb. Cmol (+)/kg	≤ 3,00	Muy Bajo
	3,01 – 6,00	Bajo
	6,01 – 11,00	Medio
	11,01 – 15,00	Adecuado
	≥ 15,01	Alto

Cada catión (intercambiable) debe encontrarse en el complejo de intercambio entre ciertos límites porcentuales, que son los siguientes:

Calcio	(Ca)	60 a 80% de la CIC
Magnesio	(Mg)	10 a 20% de la CIC
Potasio	(K)	2 a 6% de la CIC
Sodio	(Na)	0 a 3% de la CIC

Cabe mencionar, además, que estos cationes deben encontrarse en determinadas relaciones, como las que se indican a continuación.

#### **RELACIÓN CALCIO: MAGNESIO (CA/MG)**

Un exceso de calcio (Ca) intercambiable puede interferir la absorción del magnesio (Mg) y del potasio (K). Si la relación Ca/Mg, expresados ambos en cmol(+)/kg, es mayor de 10, es posible que se produzca una deficiencia de magnesio. La relación óptima Ca/Mg es alrededor de 5.

#### **RELACIÓN POTASIO: MAGNESIO (K/MG)**

La relación K/Mg debe estar comprendida entre 0,2 y 0,3. Si esta relación es mayor de 0,5 pueden producirse deficiencias de magnesio por efecto antagónico de potasio. En cambio, si la relación es de alrededor 0,1, se puede producir una deficiencia de potasio inducida por el magnesio.

## EXCESO DE SODIO (NA)

Un exceso de sodio produce deficiencias de calcio y de magnesio. Cuando el sodio está en una proporción mayor al 10% de la CIC pueden existir problemas de salinidad de tipo sódico.

## DETERMINACIÓN DE ALUMINIO DE INTERCAMBIO (AL)

El Al de intercambio se determina por extracción con cloruro de potasio (KCl) y análisis por espectrofotometría de absorción atómica. Las categorías de disponibilidad y de porcentaje de saturación de aluminio, por tratarse de elementos agrónomicamente negativos, deben considerarse en forma inversa a la de los cationes de intercambio. Es decir, los valores bajos son más deseables que los altos.

El porcentaje de saturación de aluminio se calcula determinando la proporción de Al de intercambio que se encuentra en la CICE, siendo la CICE la suma de los cationes de intercambio más el Al intercambiable.

	<b>Rango</b>	<b>Categoría</b>
Aluminio intercambiable cmol (+)/kg	$\leq 0,10$	Muy Bajo
	0,11 - 0,25	Bajo
	0,26 - 0,50	Medio
	0,51 - 0,80	Alto
	$\geq 0,81$	Muy Alto
Saturación Aluminio %	$\leq 1,09$	Muy Bajo
	1,10 - 3,09	Bajo
	3,10 - 6,09	Medio
	6,10 - 12,09	Alto
	$\geq 12,10$	Muy Alto

## **BIBLIOGRAFIA**

- Etchevers B., J. P. Anzastiga, V. Volke y G. Etchevers. 1986.** Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación de fósforo disponible en suelos del Estado de Puebla. *Agrociencia* 65:161-178.
- Etchevers B., J. 1991.** La función del laboratorio en el diagnóstico de la necesidad de fertilizantes. Enfoques tradicionales y modernos del análisis químico de suelos. *ADIFAL* marzo-abril: 21-27.
- Etchevers B., J.J. Rodríguez y A. Galvis. 1991.** Generación de recomendaciones de fertilización mediante el enfoque sistémico racional. *Terra* 9:3-10.
- Guerrero G., Andrés. 1996.** El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.
- López R., J. y López M., J. 1990.** El diagnóstico de suelos y plantas (Métodos de campo y laboratorio). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 363 p.
- Rodríguez S., José. 1993.** Manual de fertilización. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile, 362 p.
- Rouse R., D. 1968.** Soil test theory and calibration for cotton, corn, soybeans and coastal bermudagrass. Agricultural Experiment Station. Auburn University. Auburn, Alabama, U.S.A. Bulletin 375, 67 p.