

CAPITULO V

QUIMICA DE LOS SUELOS

Por: J. Orlando Argüello Tovar

1. INTRODUCCION

Las propiedades químicas del suelo resultan del proceso de formación y evolución del suelo y su conocimiento permite elaborar criterios valiosos para su clasificación y especialmente para la interpretación de las relaciones suelo-planta. Los procesos de intercambio catiónica y aniónica, que resultan de las interacciones de las fases sólida y líquida del suelo, dependen de la composición y de las características del complejo coloidal (partículas de materia orgánica, arcillas y sexquióxidos) y de la composición del suelo. Los equilibrios químicos resultantes son reversibles y varían de acuerdo a las influencias climáticas y ecológicas que actúan sobre el suelo y que también regulan la disponibilidad de los elementos nutritivos.

Para mayor entendimiento de los interesados en el tema de la química de los suelos, este trabajo se estructuró en forma sencilla y sin involucrar formulas complejas para definir los términos usualmente empleados en esta área del conocimiento, dejar las bases sentadas para profundizar en esta materia y mostrar los factores determinantes en la fertilidad de los suelos. Los temas tratados van desde el origen y evolución de los minerales del suelo, composición y distribución de las partículas del suelo e interacción con las plantas, indicando en forma general los factores determinantes de la fertilidad.

2. COMPOSICION DE LA CORTEZA TERRESTRE

De la concepción actual de la tierra sólo se conoce la superficie, llamada corteza terrestre. El radio terrestre es de unos 6000 Km. y comprende de adentro hacia afuera:

1- **Barisfera**, constituye el núcleo central, de temperatura muy elevada. El estudio de densidad media de la tierra y la de las rocas superficiales hacen suponer que ese núcleo es muy rígido y pesado. Su composición hipotética indica que predominan el hierro y el níquel, por eso denomina NIFE.

2- **Pirosfera** (1500 km.), es una capa viscosa formada por materiales en estado de fusión pastosa. Los volcanes alimentados por la pirofera arrojan lavas viscosas cuya temperatura se acerca a los 1200°C. Se da a esta capa el nombre de SIMA por su alto contenido de sílice y magnesio.

3- **Litosfera** o zona sólida de la corteza (16 Km.), recubierta en ciertos puntos por masas oceánicas llamadas hidrosferas. Se denomina SIAL por el predominio de sílice y aluminio, constituyendo junto con oxígeno y el hierro, el 87% de su volumen total. Le siguen en importancia Ca, Mg, Na y K. Estos elementos sobrepasan apenas el 1%, de participación en la composición total, y en menor proporción están Ti, P, Mn, S, Cl y C.

4- **Atmósfera**; capa gaseosa que rodea por completo la tierra en un espesor de unos 400 Km..

3. ROCAS PARENTALES O MINERALES PRIMARIOS

Ochenta elementos químicos constituyen la totalidad de las rocas madres y se presentan aproximadamente 2000 minerales, de los cuales sólo una docena son predominantes en la capa superficial de la corteza terrestre.

Las rocas parentales, de donde se originan los suelos se dividen en tres grandes grupos: Ígneas, sedimentarias y metamórficas.

1- **Las rocas ígneas** constituyen la mayor parte de la corteza terrestre y se llaman también eruptivas (fuerza), endógenas (del interior de la tierra) o magmáticas (magma, lava). Resultan del enfriamiento y solidificación de las masas de lava o magma fundidas. Dependiendo de la velocidad de enfriamiento se originan rocas de diversa textura, tamaño y ordenamiento de los cristales formados.

2- **Las rocas sedimentarias** se originan de la erosión y redepósito de productos de meteorización de rocas ígneas o metamórficas o a través de la acumulación de restos biológicos. Dichas rocas forman capas superpuestas o estratos, los cuales han perdido su horizontalidad primitiva a consecuencia de trastornos del suelo; se caracterizan por a) estratificación y b) por la presencia de fósiles. Jamás se encuentran fósiles en rocas eruptivas.

3- **Las rocas metamórficas** se originan a través de cambios metamórficos por altas temperaturas (termomorfismo) y presiones (dinamorfismo) al actuar sobre algunas rocas ígneas y sedimentarias. Estos cambios comprenden un aumento de tamaño de las partículas y una reorganización de los componentes químicos para formar nuevos minerales. Pueden ser cristalinos, como las rocas eruptivas, y estratificadas como las sedimentarias.

Se pueden añadir a esta clasificación las rocas orgánicas debida a la actividad de los seres vivos, como por ejemplo la hulla, arrecifes madreporicos, etc..

4. MINERALES SECUNDARIOS DEL SUELO.

Meteorización de los minerales primarios: La meteorización agrupa una serie de procesos de desintegración y descomposición de las rocas minerales que resultan de su contacto e interacciones con la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. La acción mecánica conduce a la desintegración de las rocas y la acción química a la descomposición de los minerales presentes. Dentro del mismo proceso, se sintetizan nuevos compuestos secundarios, los que tienen una composición que difiere de los minerales primarios de donde provienen y además presentan un tamaño de partículas más pequeño, menor de 2 micras hasta tamaño molecular.

Los minerales secundarios formados por iones y moléculas liberados por la intemperización, tienden a ser pequeños y de estructura cristalina mal formada. Estos cristales tienen áreas superficiales grandes y tienden a estar cargados debido a que poseen en su seno y en sus bordes enlaces químicos incompletos que, por efecto de la energía superficial, las más pequeñas tienden a disolverse y las más grandes a crecer a expensas de las pequeñas o absorber iones para equilibrar la carga de las partículas. Los productos más importantes de la meteorización son: Sales disueltas y iones que aparecen en la solución del suelo; silicatos químicamente alterados que conservan su estructura; productos coloidales derivados de la destrucción completa de los silicatos tales como hidróxidos hidratados de Al, Fe e inclusive Si; iones silicato y aluminato que darán su origen a minerales secundarios.

Desde el punto de vista agrícola son importantes las proporciones entre los minerales del suelo que, dependiendo del tamaño relativo, se pueden clasificar como Arenas (<2-0,05mm), Limo (<0,05-0,002mm) y Arcilla (<0,002 mm); la proporción relativa entre estas partículas minerales origina la propiedad física denominada "textura del suelo", que sirve como criterio para la clasificación de los suelos.

En la mayor parte de los suelos, las fracciones de arena y limo están constituidos principalmente por minerales primarios, mientras que en éstos son apenas un constituyente menor de las arcillas.

5. EL SUELO

El suelo puede definirse como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia del clima y del medio biológico; se diferencia en horizontes y suministra, en parte, los nutrimentos y el sostén que necesitan las plantas, al contener cantidades apropiadas de aire y agua.

El suelo está constituido por cuatro componentes básicos: minerales, materia orgánica, aire y agua. La fase sólida (mineral y orgánica) ocupa hasta un 50% del volumen total. El resto lo ocupan la fase líquida (agua) y la fase gaseosa (aire), las que mantienen una proporción complementaria al llenar los poros que se originan entre los agregados y las partículas de la fase sólida.

6. FASE SOLIDA DE LOS SUELOS

La fase sólida de los suelos está constituida por minerales discretos que se encuentran ensamblados en agregados, pero susceptibles de separarse por medios químicos o mecánicos. Las partículas tienen distinta composición y estructura y generalmente difieren entre sí por su tamaño y forma; pueden ser orgánicas e inorgánicas, cristalinas o amorfas. Los componentes inorgánicos comprenden desde coloides diminutos (<2 micras) hasta partículas de grava (>2 mm) y rocas, incluyendo muchos minerales primarios y secundarios.

Materia orgánica y humus: La materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo. El edafón consiste en los organismos vivientes del suelo o sea su flora y su fauna, en el horizonte A de suelos cultivados constituye entre 10-15% de la materia orgánica. El humus está compuesto por los restos postmortales vegetales y animales que se encuentran en el suelo y que están sometidos constantemente a procesos de descomposición, transformación y resíntesis.

El contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable, alcanza desde trazas en los suelos desérticos hasta un 90-95% en los turbosos. Los horizontes A de los suelos explotados agricolamente presentan por lo general valores entre 0,1 y 10,0% de materia orgánica, cuyo contenido decrece con la profundidad en el perfil del suelo. Los suelos se pueden clasificar de acuerdo a su contenido de materia orgánica y a las necesidades de un determinado cultivo.

La importancia de la materia orgánica se explica por la influencia que ésta tiene sobre muchas características del suelo: Color; favorecimiento de la formación de agregados; plasticidad y cohesión; capacidad de retención de agua; capacidad de intercambio catiónico; regulación del pH; favorece la disponibilidad de N, P y S, a través de los procesos de mineralización, etc..

Organo-minerales del suelo: Una de las características de muchos suelos es la mezcla avanzada de los componentes orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla es mucho más que mecánica, por las interacciones entre ambas fracciones, dando origen a enlaces químicos que dan gran estabilidad a los complejos formados.

La estabilidad de los complejos organominerales depende del tipo de enlace entre las fracciones, siendo mayor cuando mayor es la actividad microbiana y la mineralización en el suelo. A través de esto se logra una mayor estabilidad de los agregados del suelo y una mejora de muchas características físicas y químicas del suelo.

7. FASES LIQUIDA Y GASEOSA DEL SUELO

El espacio de los poros del suelo depende directamente de su composición granulométrica. En general, cuando mayor sea la proporción de las partículas de arena, mayor será el espacio libre entre los agregados y el diámetro de los poros. En cambio a mayor proporción de arcillas será menor el diámetro de los poros.

Los espacios libres que quedan entre los agregados y las partículas de la fase sólida del suelo están ocupados por gases y líquidos del suelo. El aire y la solución del suelo guardan relaciones recíprocas, y al aumentar la participación de una, disminuye la de la otra.

Aire del suelo: Bajo condiciones de capacidad de campo, la proporción del aire de un suelo varía entre 30 y 40% para un suelo arenoso; entre 10 y 15% para un suelo franco y entre 5 y 15% para uno arcilloso. Se considera que un suelo que contenga entre 10 y 15% de aire está bien aireado. Los factores que influyen sobre el aire del suelo y su composición son el régimen hídrico y la actividad biológica. La composición del aire del suelo varía ligeramente en comparación con el aire atmosférico. Solamente el contenido de CO_2 aumenta (de 0,2 a 0,7%) debido a los procesos de respiración de las raíces y de los microorganismos, que se utilizan grandes cantidades de O_2 y se produce CO_2 ; en condiciones extremas se producen condiciones anaeróbicas en las cuales sólo unas cuantas especies animales y vegetales especializadas pueden desarrollarse, como por ejemplo el arroz de inundación.

Agua del suelo: El agua del suelo, al estar en permanente interacción con los minerales del suelo y por su capacidad de solubilización de sales, se constituye en un solvente apropiado para la mayoría de iones del suelo, conformando lo que se conoce como "solución del suelo".

En la química de suelos y nutrición vegetal interesa primero la composición del agua del suelo o su contenido en diferentes elementos nutritivos, pues las plantas en crecimiento toman las sustancias nutritivas de la solución del suelo -también en parte por contacto directo con la fase sólida- y estando en equilibrio con la fase sólida y gaseosa, su análisis informa hasta cierto grado sobre la disponibilidad de los nutrimentos.

8. COMPOSICION DEL SUELO Y LAS PLANTAS

Los elementos esenciales para las plantas se pueden subdividir en los que se requieren en cantidades relativamente grandes (los macronutrientes: hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno, magnesio, fósforo, azufre, potasio y calcio) y los que se requieren en cantidades pequeñas (los micronutrientes: boro, cloro, manganeso, hierro, cobre, cinc y molibdeno). El suelo se puede considerar de importancia en el suministro de todos los elementos esenciales. Aunque las plantas obtienen hidrógeno, carbono y oxígeno del aire y del agua, el suelo proporciona la capacidad de retención de agua, porosidad suficiente para que haya movimiento de O_2 y CO_2 entre las raíces de las plantas y la atmósfera.

Las plantas extraen normalmente sus componentes minerales del suelo. Sin embargo, las excepciones son el nitrógeno y los gases de azufre (NO_x , NH_3 y SO_2) que las hojas absorben directamente de la atmósfera; y los iones que absorben del polvo y aspersiones foliares. Estas cantidades tienen significado únicamente en atmósferas contaminadas o donde se han aplicado aspersiones para propósitos definidos.

A pesar de la variación de la concentración de los elementos esenciales en el suelo, la composición de las plantas es menos variable, en parte porque la evolución del suelo tiende a disminuir los elementos disponibles comparados con todos los elementos que componen el suelo.

En la tabla 1 se muestra hipotéticamente las relaciones entre el contenido en el suelo y el contenido relativo en las plantas, en promedios, aunque se debe destacar que ninguna de las

relaciones tabuladas son indicadoras sobre la facilidad de suministro de elementos para las plantas. Estos cálculos poco rigurosos no consideran la influencia de la atmósfera ni otros factores, tampoco los contenidos de carbono, hidrógeno y oxígeno porque estos iones no se extraen directamente del suelo.

De manera ilustrativa se puede resaltar la composición del suelos comparada con las cenizas típicas de las plantas, donde los macronutrientes no tienen relación directa con la composición del suelo, e incluso pueden estar en la naturaleza en menor proporción que algunos micronutrientes (Fe y Mn); las reservas de nitrógeno, cloro y azufre son bajas en el suelo pero se renuevan continuamente por la absorción de gas y lluvias. La absorción anual está calculada con 10 Tn ha⁻¹ de materia seca, siendo los elementos de mayor demanda Ca, K y N.

La última columna muestra el tiempo que el suelo podría suministrar ese elemento a las plantas si éstas se arrancaran totalmente durante la cosecha y no hubiera otra fuente de suministro para el suelo.

TABLA 1. Concentraciones típicas de los elementos esenciales en los suelos y relación con los requerimientos de las plantas.

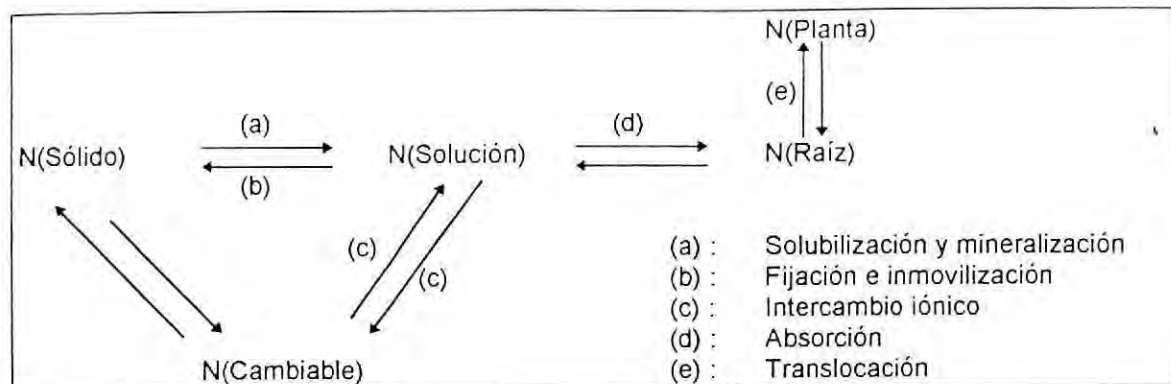
Elemento	% en peso del contenido del suelo	Contenido de la ceniza vegetal/ contenido de suelo	Absorción anual de las plantas (Kg. ha ⁻¹ año ⁻¹)	contenido del suelo/absorción anual de las plantas (años)
Oxígeno	49	--	--	--
Hidrógeno	--	--	--	--
Silicio	33	0.3	20	21.000
Aluminio	7	0.03	0.5	180.000
Hierro	4	0.1	0.5	100.000
Carbono	1	--	--	--
Calcio	1	25	50	260
Potasio	1	15	30	430
magnesio	0.6	3	4	2.000
Titanio	0.5	0.008	0.08	62.000
Nitrógeno	0.1	15	30	40
Fósforo	0.08	4	7	150
Manganeso	0.08	0.6	0.4	3.000
Azufre	0.05	70	2	320
Cloro	0.01	10	0.006	200
cinc	0.005	5	0.3	2.000
Cobre	0.002	5	0.1	1.000
Boro	0.001	50	0.003	400

9. DINAMICA DE SUMINISTRO DE NUTRIENTES

La nutrición inorgánica de las plantas depende esencialmente del flujo de nutrientes desde el suelo hacia la planta vía raíz; para describir este proceso de gran complejidad, por los componentes e interacciones que intervienen, es necesario plantear modelos o ecuaciones, aproximados, que tomen en cuenta todos los componentes involucrados.



Para explicar la nutrición mineral de las plantas se ha formulado una ecuación (Friedy Brooschart) que plantea la dinámica nutricional en el sistema suelo-planta por la interacción de "cinco fases o estados", donde N representa un nutriente cualquiera:



La ecuación así planteada supone un sistema abierto en EQUILIBRIO DINÁMICO permanente, REVERSIBLE en cada una de sus etapas o "fases" cuya explicación en términos de nutrientes a la planta se explica así:

(a) Por procesos de "solubilización" (meteorización) para sólidos minerales y "mineralización", de los complejos orgánicos, se liberaran nutrientes de la "fase sólida" a la solución del suelo.

(b) Los iones de la "fase solución" del suelo pueden ser transformados a formas sólidas complejas no aprovechables. Si el complejo resultante es de naturaleza mineral se denomina "fijación", cuyo mecanismo es en esencia físico-químico. Si el resultante es orgánico se denominará "inmovilización" y el proceso resultante es de naturaleza bioquímica.

(c) La concentración iónica de la fase líquida (solución del suelo) es muy pequeña en condiciones normales y los nutrientes se agotan con rapidez, entonces se produce un reabastecimiento nutricional debido al intercambio iónico, desde la fase cambiable del suelo, resultante del equilibrio químico del sistema. La "fase cambiable" son los aniones y cationes que están absorbidos electroquímicamente a la carga superficial que tienen los coloides del suelo (humus y arcillas), y que pueden intercambiarse activamente con la solución del suelo.

(d) La acumulación de nutrientes "absorción" en la raíz y su posterior translocación (e) a la parte aérea de la planta para su transformación metabólica, es el resultado de la interacción de los iones nutritivos en la solución del suelo con las superficies radiculares, "fase raíz".

10. CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE NUTRIENTES DEL SUELO A LAS PLANTAS

Es necesario especificar la capacidad de suministro de nutrientes del suelo en tres criterios básicos diferenciados que dependen del factor tiempo:

1- Criterio Intensidad: Este parámetro se relaciona con la actividad iónica de los nutrimentos en la solución del suelo, la cual depende de la concentración de los mismos en la fase líquida: N (solución). Al igual que la acidez activa la intensidad o actividad de los nutrientes en solución se expresa en términos de potenciales químicos, cuyos principios son iguales a los del pH. Este parámetro no es constante en el sistema suelo-planta porque está sujeto a fuertes variaciones causadas por: Remoción de nutrientes por el cultivo; tasa de liberación y acomplejamiento de nutrientes desde y hacia la fase sólida del suelo; magnitud del lavado o lixiviación y grado de utilización de nutrientes por los microorganismos (inmovilización). El parámetro intensidad solo

cuantifica la disponibilidad de los nutrientes en un momento dado del ciclo de vida de la planta, pero no expresa la capacidad del suelo para suministrar nutrientes durante todo el ciclo vegetativo del cultivo.

2- Criterio de Capacidad: Se define como la cantidad de nutrimentos en posición de liberarse desde la fase sólida y cambiante de la solución del suelo durante el ciclo de vida de la planta. Este flujo puede efectuarse por tres grupos de procesos: Intercambio iónico, mineralización de los compuestos orgánicos y solubilización de los sólidos minerales.

3- Criterio de Restitución: Se refiere a la potencialidad de un suelo para suministrar nutrimentos a los cultivos en términos de muchos años. Se explica porque en la medida que disminuye la concentración de un nutrimento en la solución del suelo, por absorción de las plantas, se generará un flujo de nutrientes desde la fase cambiables y no cambiante -más soluble- tendiente a restaurar la pérdida y recuperar el balanceamiento del sistema.

11. FACTORES QUE AFECTAN EL SUMINISTRO DE NUTRIENTES

Para medir la disponibilidad de un nutrimento e interpretar los resultados obtenidos es necesario conocer las reacciones físico-químicas del nutrimento en el medio estudiado. Por otro lado, se requiere conocer los factores que afectan la habilidad de la planta para absorber aquellos nutrimentos presentes en la superficie de la raíz, lo cual depende en muchos casos de la especie de planta o aún de la variedad o híbrido dentro de una misma especie.

Agronómicamente pueden ser múltiples los factores que afectan el desarrollo de los cultivos, como problemas físicos que limiten la expansión de las raíces, temperatura, humedad, daños por plagas, etc.. Desde el punto de vista químico los equilibrios de los elementos nutritivos son seriamente afectados por el pH del suelo, humedad y condiciones de oxidación-reducción, por intercambio de gases de la atmósfera con el aire del suelo.

pH del suelo: La reacción del suelo (medida como pH) que define las condiciones de acidez y alcalinidad, es primordial para recomendar el uso de los suelos, especialmente bajo una meteorización avanzada resultan suelos ácidos con posible toxicidad de algunos elementos nutritivos así como problemas de salinidad en los suelos alcalinos de regiones áridas.

El pH por sí solo no tiene efecto directo sobre el desarrollo de las plantas. En suelos ácidos, $\text{pH} < 5,5$, el Al^{+++} y Mn^{++} son muy solubles y alcanzan concentraciones tóxicas, conociéndose que el aluminio puede afectar a las plantas al inhibir la división celular, aparentemente. En general la condición ácida del suelo reduce la disponibilidad del calcio (Ca), magnesio (Mg), molibdeno (Mo) y fósforo (P). La condición ácida incrementa la disponibilidad del hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu) y cinc (Zn). El nitrógeno (N) es más disponible entre pH 6,0 y 7,0.

Algunos aniones como los nitratos (NO_3^-) y cloruros (Cl) son muy solubles y generalmente no forman compuestos insolubles con los constituyentes del suelo. Por su parte el anión sulfato (SO_4^{--}) actúan en forma similar a los nitratos y cloruros en suelos neutros o alcalinos, pero tienden a absorberse en suelos ácidos.

El potencial Redox: La oxidación-reducción es una reacción de intercambio de electrones entre un donador y un aceptor. Es de gran importancia por afectar la concentración de los nutrientes del suelo. Está relacionado con la aireación del suelo, dependiendo de la porosidad y contenido de humedad del suelo y respiración microbial. Los nutrimentos susceptibles de cambio de estado de oxidación en el suelo son C, H, N, S, Fe, Mn Y Cu.

Balance entre nutrientes: El rango de nutrientes adecuado para el crecimiento de los cultivos depende de la concentración de un nutrimento específico en el suelo y la concentración respecto a los demás nutrimentos. Aún cuando un nutriente esté en el nivel adecuado, puede ser afectado e

inducirse deficiencias por efecto del aumento de concentración de otro elemento, produciéndose un desbalance nutricional en la plantas. Aunque no es bien conocido el mecanismo de antagonismo entre iones, se resaltan algunas interacciones entre:

Zn, por antagonismo con P, N, Mg, Fe, Mn y por Cu.

Cu por Mo y por Fe.

Fe con P, Mn, y con Mo.

12. ANALISIS DE SUELOS

El análisis de suelos es una herramienta indispensable para el agricultor que emplea prácticas adecuadas de manejo de cultivo para obtener rendimientos altos, sostenidos en el tiempo y rentables económica y socialmente; se puede deducir el estado de disponibilidad de nutrientes para las plantas, indicándose la suficiencia o deficiencia que un cultivo encontrará para su desarrollo y del conocimiento y experiencia del asistente técnico depende la interpretación, diagnóstico de fertilidad y recomendaciones sobre uso y manejo del suelo.

Para que el análisis de suelos cumpla los objetivos planteados debe estar fundamentado en los siguiente:

Investigación: es una fase primordial para sustentar el análisis de suelos, requiere el estudio de las variables que intervienen en la fertilidad, adaptación de variedades vegetales y respuesta de las mismas a los nutrientes del suelo, sean originados por los minerales nativos o de los aplicados a partir de diversas fuentes naturales o industriales. La investigación permite sentar las bases del conocimiento sobre las metodologías analíticas, específicas para extraer parcial y selectivamente los nutrientes disponibles la nutrición vegetal; elaborar tablas de probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes para lograr un determinado nivel de rendimiento en la cosecha y, así, establecer el nivel de suficiencia o deficiencia de suministro de nutrientes, denominado "nivel crítico".

Aplicación práctica: Los resultados obtenidos en la fase anterior tienen aplicación práctica para la mayoría de usuarios de los servicios que prestan los laboratorios de análisis de suelos, con fines agrícolas, que proporcionan información sobre la capacidad de suministro nutricional de los suelos. Para ello, es indispensable realizar un buen muestreo del suelo, siguiendo instrucciones generales que cambian dependiendo de la variaciones visuales que se observan en el terreno como cambio de topografía, textura, color, drenaje y cultivo a establecer, de manera que la muestra sea lo más representativa del suelo de interés.

La calidad del muestreo y los métodos empleados para extraer y determinar la concentración de elementos nutricionales del suelo son complementados por la información existente sobre niveles críticos nutricionales para los cultivos; así se asegura el diagnóstico de fertilidad y pueden indicarse las recomendaciones acertadas sobre el uso y manejo del suelo y la necesidad de aplicar o restringir el uso de fertilizantes.

BIBLIOGRAFIA

- BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A.. 1993.** Química del Suelo. Ed. Limusa. México, D.F., México. 370 p.
- BONCIARELLI, F.** Agronomía. Ed. Academia. León, España **TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. and BEATON, J.D.. 1985.** Soil Fertility and Fertilizers. 4ª ed. McMillan. New York, USA.
- FASSBENDER, H. W.; BORNEMIZSA, E.. 1987.** Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. 2ª ed.. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José, Costa Rica. 420 p.
- GUROVICH, LUÍS ALBERTO. 1985.** Fundamento y Diseño de Sistemas de Riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José, Costa Rica. 433 p.
- HAMLIN G. JONES. 1990.** La Irrigación del Futuro. Mundo Científico, Vol. 10, No. 104, p 804-810. España.
- HERAS, RAFAEL. 1985.** Recursos Hidráulicos, Síntesis, Metodologías y Normas. Edita, Cooperativa de Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España. 359 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1986.** Manual de Riego y Drenaje. Santafé de Bogotá, Colombia.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1993.** Manual de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas Para Riego. Manual de asistencia No. 47. Santafé de Bogotá, Colombia. 236 p.
- PRIMAVESI, ANA. 1984.** Manejo Ecológico del Suelo. 5ª ed. Trad. Del Portugues por Silvio Lorendegui. El Ateneo. Buenos Aires, Argentina. 499 p.
- SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO. 1994.** Fertilidad de Suelos - Diagnóstico y Control-. Santafé de Bogotá, Colombia. 528 p.
- SUAREZ M., GUILLERMO. 1984.** Calidad del Agua para Riego. Boletín didactico. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Bogotá, Colombia.
- WINTER, E.J.. 1979.** El Agua , el Suelo y la Planta. 2ª ed., Editorial Diana, S.A.. México, D.F., México. 221 p.