

## UN SISTEMA DE INTERPRETACION DEL ANALISIS DE SUELOS BASADO EN LA CONCEPCION CAUSA Y EFECTO

Alvaro García<sup>1</sup>

*1Profesor Asociado y Presidente de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. A.A. 237 Palmira. E-mail: agarcia@palmira.unal.edu.co*

### RESUMEN

El uso del análisis de suelos como herramienta para el diagnóstico de la fertilidad del suelo y la recomendación de fertilizantes para los cultivos es una excelente herramienta, sobretodo si se combina adecuadamente con los análisis de tejidos y aguas para riego. Para tener éxito se debe partir de un muestreo adecuado concebido en función del tipo de cultivo a sembrar y de consideraciones tendientes a darle un uso racional al suelo y a los insumos que se puedan requerir. El número de submuestras por muestra compuesta es el primer cuidado a tener, pero la profundidad de muestreo determinada por el tipo de raíz, la composición mineralógica del suelo y el uso de maquinaria no es menos importante. El diagnóstico se debe basar en un conocimiento adecuado de la físico-química del suelo en lo referente a procesos y a productos de formación que posiblemente se van a presentar como consecuencia de los abonos, el riego y otros insumos a usar. El mantenimiento de la capacidad productiva del suelo por períodos largos de tiempo debe ser el objetivo primario de la actividad del edafólogo al frente del análisis de suelo.

### INTRODUCCION

El uso del análisis de suelos como herramienta para el diagnóstico de la fertilidad del suelo se debe basar en primera instancia en un muestreo adecuado en función del tipo de especie a cultivar y representativo de las condiciones del suelo. En el laboratorio se debe disponer de metodologías analíticas confiables seleccionadas para cumplir propósitos específicos a la luz del conocimiento actual y calibradas adecuadamente.

La interpretación de los resultados analíticos, el diagnóstico y la recomendación son las etapas más críticas en el proceso. La primera requiere un conocimiento preciso de procesos y fenómenos que se pueden presentar en un suelo de acuerdo a sus características químicas y mineralógicas las cuales pueden determinar y afectar las propiedades físicas y biológicas del suelo. Es preciso integrar racionalmente los agentes causales o procesos que condicionan la disponibilidad de los diferentes nutrimentos en un momento dado con las recomendaciones a efectuar, de modo que los fertilizantes y enmiendas cumplan con el propósito de su aplicación o sea nutrir apropiadamente a las plantas sin que ello afecte adversamente el ecosistema.

A continuación se discuten brevemente los factores que conviene considerar para un uso exitoso del análisis en cada una de las etapas mencionadas.

### CONSIDERACIONES EN CADA ETAPA

#### Etapa de muestreo

El muestreo es la etapa más débil en el uso del análisis para el diagnóstico de la fertilidad del suelo; en él se cometen errores comunes que normalmente se atribuyen al laboratorio. Así, es corriente encontrar que las personas encargadas de hacerlo no tienen ninguna capacitación ni reciben instrucciones adecuadas para ello.

Durante el muestreo se pueden apreciar detalles importantes en el aspecto del suelo tanto en la superficie como en las capas inferiores del perfil tales como color, evidencias de estados de oxidación-reducción alternados, o de encharcamiento prolongado (gleización), presencia de costras, sales, compactaciones, adensamiento, resistencia a la penetración, presencia de capas endurecidas, automulching, etc. El olor fétido indica la existencia de problemas de drenaje y los caracoles de carbonatos.

Las estratificaciones arcilla-arena presentan complicaciones para el manejo nutricional de los cultivos. Si los fertilizantes se ubican en una capa arenosa se pueden perder por lixiviación pero si lo hacen en una arcillosa

pesada sin suficiente aireación se tendrán dificultades para la absorción. El cambio abrupto en el tamaño de poros puede resultar en encharcamientos cuando las arenas reposan sobre arcillas

Es esencial tener presente que lo observado en el campo puede correlacionar con los resultados de laboratorio en forma fácil de detectar o por medio de procesos en marcha (como acidificación, alcalinización, salinización, lavado, reducción, oxidación, etc.), los cuales se deben deducir de la información analítica. También, es posible la ocurrencia de algunos procesos como consecuencia del manejo o de prácticas como la fertilización o el riego (concentración, precipitación, solubilización, fijación, etc.) o de las condiciones físico-químicas existentes como en el caso de la formación de fosfatos de Ca, carbonatos, yeso, piritas, etc. El conocimiento preciso y específico de cada sitio del terreno permite predecir, parcial o totalmente, lo que va a suceder como consecuencia de la fertilización y demás prácticas de manejo.

### **Etapa de laboratorio**

En el laboratorio se deben usar metodologías analíticas confiables seleccionadas a la luz del conocimiento desarrollado en años recientes y bien calibradas. Así, desde que Sposito (1981) presentó en forma esquematizada y formal su punto de vista sobre las interacciones iónicas, los cationes intercambiables no se deben considerar simplemente como cationes liberados del suelo por una solución salina. El punto de vista convencional de que en un suelo húmedo los cationes intercambiables yacen en la solución del suelo o cerca de las superficies cargadas negativamente en la superficie de las partículas de suelo, de donde se les puede desplazar fácilmente usando cationes en soluciones electrolíticas ha cambiado dramáticamente en los últimos 25 a 30 años, en los cuales se ha encontrado que esa consideración simplista no es correcta debido a que los cationes extractables de esa forma pueden provenir de diferentes fuentes y solo una parte de ellos corresponde a los anteriormente denominados intercambiables, o sea, provenientes de la Doble Capa Difusa en donde son retenidos por cargas superficiales.

El esquema de Sposito (1981) permite distinguir entre los cationes retenidos por la carga superficial disociada, que corresponde a los iones convencionalmente denominados intercambiables, y aquellos cationes retenidos por fuerzas adicionales o enlaces complejos sobre las superficies o dentro de ellas. Los primeros se encuentran radicados en la Doble Capa Difusa neutralizando directamente las cargas negativas superficiales, son retenidos exclusivamente por fuerzas de atracción electrostáticas (coulombicas) y pueden ser desplazados por medio de los cationes de cualquier electrolito que se aplique al suelo.

Los cationes remanentes adsorbidos no son cationes inactivos sino que pueden contribuir al estado nutricional del suelo y, de manera significativa, a tipificar muchas de las características morfológicas de un suelo en los niveles más altos de clasificación. En suelos arcillosos el potencial eléctrico de las partículas de arcilla relativo a la solución del suelo, el cual proviene de las cargas negativas superficiales, controla decisivamente sus propiedades físicas y mecánicas

Tucker (1975 a) demostró que es posible dividir los cationes desplazados de los suelos (antes llamados intercambiables) por medio de soluciones electrolíticas en clases usando varios reactivos de carácter diferente. Se requiere un reactivo que desplace la mayor cantidad de cationes adsorbidos posible junto con los verdaderamente intercambiables. Al total de iones desplazados lo denominó cationes activos.

Es necesario que los reactivos usados para extraer los cationes disturbren tan poco como sea posible la condición natural del suelo ya que se debe minimizar cualquier cambio en la función de los componentes del suelo si se quiere tener determinaciones reales de su composición catiónica. No siempre se pueden evitar los efectos de la concentración de sales sobre la carga eléctrica del suelo, porque para efectos prácticos metodológicos se requiere una concentración de sales lo suficientemente para desplazar eficientemente los cationes del suelo. En el caso de suelos con carga dependiente del pH se pueden evitar los efectos del pH de la solución no se deben usar reactivos ácidos, alcalinos o amortiguados. En estos suelos al alterar el pH del suelo se puede cambiar la carga de algunos materiales susceptibles a ello, principalmente la materia orgánica y de los óxidos de hierro, causando una redistribución de cationes entre los sitios de intercambio y de adsorción. Adicionalmente, se sabe que la complejación y formación de iones pareados aumenta fuertemente al aumentar el pH.

La determinación de los cationes intercambiables y de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) también se ve afectada de manera considerable por la capacidad de los reactivos usados en el laboratorio para disolver algunos minerales del suelo. Trabajos de García (1985), García y Pratt (1988), Gómez y García (1988) y González y García (2001) han permitido demostrar que esto es particularmente importante en suelos con alto contenido de minerales como zeolitas, carbonatos y fosfatos de calcio, en suelos sometidos a riego con aguas duras o encalados en los cuales el efecto de la solución extractora lleva a una sobreestimación considerable del valor de dichas determinaciones.

### Etapa de interpretación y diagnóstico

Desde hace muchos años se ha procurado hacer la interpretación de los resultados analíticos recurriendo a la comparación de sus valores con los niveles que se encuentran en tablas producidas por el antiguo Programa de Suelos del ICA para varios cultivos y las cuales fueron el resultado de la actividad y apreciación de sus investigadores durante muchos años. Para varios cultivos y con base en los resultados de pruebas experimentales realizadas a lo largo y ancho del país se calificaron los niveles encontrados en el suelo como bajos medios o altos. Las mismas tablas facilitan la recomendación de las dosis de fertilizantes a aplicar. Este sistema, que ha facilitado la nutrición de los diferentes cultivos por varias décadas, es realmente un sistema apreciativo que necesita refinamiento mediante la aplicación del conocimiento que se tenga acerca de las condiciones particulares de clima, suelo, relieve de la región y del nivel de tecnología que usa el productor.

**Tabla 1. Análisis de suelos de varias localidades del Valle del Cauca**

Sitio	pH	CE dS/m	Ca ----- cmol(+)kg <sup>-1</sup>	Mg ----- cmol(+)kg <sup>-1</sup>	K ----- cmol(+)kg <sup>-1</sup>	Na ----- cmol(+)kg <sup>-1</sup>	Suma	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup> ----- cmol(+)L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> ----- cmol(+)L <sup>-1</sup>	Suma	RAS	Psat %
Had. Palestina	9.0	1.85	2.0	1.0	0.14	16.6	19.7	0.6	7.85	4.2	10.42	23.1	3.56	142.2
Had. La Selva	8.2	10.91	11.0	30.0	0.08	76.7	117.8	0.0	2.6	4.2	116.7	123.5	16.93	44.3
Hda. Argelia	8.3	7.24	21.0	27.0	1.33	58.4	107.7	0.0	4.1	6.3	72.9	83.2	11.9	46.9
Hda. Zarzal	8.0	11.6	27.5	57.7	5.1	47.4	137.5	0.0	2.3	24.1	49.9	76.2	7.27	57.1
Caucayá	8.9	6.0	1.12	1.8	0.38	57.6	60.9	0.8	4.4	1.3	54.5	61.0	47.6	80.0
La Tertulia	8.1	1.4	6.95	6.3	0.79	3.8	17.8	2.4	6.9	2.2	6.27	17.8	1.48	90.0
El Vergel	6.5	4.9	17.5	20.8	0.19	7.2	45.6	0.0	0.6	0.4	76.9	77.9	1.64	100.0

**Tabla 2. Análisis de suelos ácidos de varias regiones de Colombia**

Carácter.	Zarzal	Obando	San Marcos	Guaranda	Caucasi	S. Jacinto	Nechí
pH	6.10	6.10	4.90	6.03	5.75	5.91	5.56
M. O. (%)	4.07	2.84	1.15	1.17	2.14	1.85	1.81
P (mg/kg)	21.1	12.6	13.1	33.3	2.90	11.7	21.0
Al (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )			2.40		1.80		
S (mg/kg)	464.4	8.40	20.0	105.0	9.33	214.0	20.0
Ca (cmol (+)kg <sup>-1</sup> )	24.8	18.3	18.5	3.00	8.50	10.0	10.5
Mg (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	15.0	5.75	13.5	6.25	11.5	10.5	8.5
Na (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	1.57	0.31	0.43	0.23	0.28	0.32	0.34
CIC (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )			35.1				
S.B. (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	42.1	24.8	32.8	9.57	22.3	20.9	19.5

En muchas oportunidades se han detectado fallas e inconsistencias en su uso apareciendo las recomendaciones en unos casos como insuficientes y en otros como excesivas, o no se consiguen los resultados esperados. Ello se debe en realidad al uso en forma simplista de dicho conocimiento. Existen consideraciones de fondo sobre el uso del análisis de suelos y sobre la correlación de sus resultados con las prácticas de fertilización y con las producciones esperadas, las cuales se discuten a continuación.

Esta etapa requiere habilidad para correlacionar los rasgos indicadores observados en el campo en la etapa de muestreo con los resultados analíticos y poder así llegar a un diagnóstico acertado de la fenomenología

físico-química del suelo y de su posible efecto sobre la nutrición de las plantas. Si se usa como procedimiento una confrontación rigurosa de cada uno de los parámetros o características analizados contra cada uno de los diversos procesos químicos, físico-químicos y biológicos en los cuales participar se puede llegar a conclusiones precisas. Es decir, se debe utilizar un sistema de interpretación que relacione causa y efecto en forma precisa.

En primer lugar se debe estudiar la reacción del suelo, considerada como la determinación de más importancia y significación ya que su valor (pH) puede dar luz sobre procesos tales como acidificación, alcalinización, sodificación, precipitación, volatilización y condiciones que favorecen su ocurrencia, posibles productos de formación, disponibilidad de algunos nutrientes, eficiencia de la fertilización, pérdidas o inactividad de fertilizantes, tipo e intensidad de la actividad biológica.

En suelos ácidos el Al intercambiable puede complejar el fósforo para formar compuestos bastante insolubles limitando su aprovechabilidad por la planta al tiempo que su toxicidad limita el crecimiento de la planta en suelos fuertemente ácidos. Los óxidos de hierro desempeñan un papel similar. El manganeso también puede llegar a niveles tóxicos.

Los organismos responsables de la descomposición y mineralización de la materia orgánica pueden resultar afectados por la acidez tanto en número como en actividad. Así, por ejemplo, se reduce considerablemente la fijación simbiótica de N :También se pierde efectividad de los herbicidas aplicados al suelo cuando el pH del suelo es muy bajo.

Por último se debe anotar que los suelos arcillosos muy ácidos presentan problemas de agregación con la consecuente pérdida de permeabilidad y aireación. También se ha encontrado aumento en la facilidad de lixiviación del K.

Elementos como el Ca y el Mg pueden ser deficientes cuando la CIC del suelo es extremadamente baja y la disponibilidad de P y Mo se reducen considerablemente. La disponibilidad del P es máxima a valores de pH entre 5.5 y 6.5 y la del Mo aumenta exponencialmente al aumentar el pH.

Cuando el pH aumenta y llega a la alcalinidad la disponibilidad de fósforo, hierro, manganeso, cobre, boro y cinc disminuye. El tipo de microorganismos predominante en un suelo dado también depende de la reacción del suelo. En suelos ácidos predominan los hongos y en los cercanos a la neutralidad o a valores de pH ligeramente alcalinos las bacterias. Las fluctuaciones del pH debidas a causas diversas como el riego con aguas duras o a la aplicación de fertilizantes de residuo ácido, por ejemplo, producen alteraciones de la actividad microbiana y del tipo de microorganismos presentes.

En condiciones alcalinas, en suelos con altos contenidos de Ca y Mg o regados con aguas duras ricas en bicarbonatos o en presencia de una alta presión de CO<sub>2</sub> (alta actividad biológica o suelos con porosidad restringida o sin continuidad), se pueden producir compuestos de Ca y/o Mg tales como carbonatos y formación de fosfatos de Ca (monocálcico, bicálcico, tricálcico) que se precipitan a medida que, por efecto de la concentración de la solución causada por la evapotranspiración, exceden su producto de solubilidad.

Los suelos magnésicos, comúnmente llamados suelos de relación Ca:Mg invertida, presentan una reacción alcalina cuyos valores de pH no pasan, generalmente, de 8.4. En ellos debido a su alto contenido de arcillas expandibles, a su poca porosidad y a la carencia de continuidad de los pocos poros de tamaño medio o grande existentes, al tipo de materiales que les dieron origen y a su posición fisiográfica en los basines de ríos como Cauca o Sinú lo que causó su desarrollo en condiciones hidromórficas, predominan los iones sulfato que favorecen la formación de MgSO<sub>4</sub> el cual amortigua el efecto de los iones básicos reduciendo el pH. Esta situación se deben evaluar cuidadosamente para determinar la necesidad de aplicación de enmiendas y de suplementos nutricionales para satisfacer las necesidades de los cultivos.

El número total de cationes verdaderamente intercambiables que un suelo puede retener se denomina Capacidad de intercambio Catiónico o CIC. Mientras mayor sea la CIC más cationes puede retener un suelo. La CIC depende de la cantidad y tipo de arcillas y del contenido de materia orgánica (MOS) presentes en el suelo. En suelos muy meteorizados y con contenidos bajos MOS los valores de la CIC son bajos

Un suelo con un alto contenido de arcillas de tipo 2:1 puede retener más cationes intercambiables que un suelo con un bajo contenido de arcillas. La CIC aumenta a medida que aumenta la MOS de modo que un suelo menos meteorizado puede presentar valores de la CIC considerablemente altos a medida que aumenta su contenido de MO. Los suelos arcillosos con un alta CIC pueden retener una gran cantidad de cationes y prevenir la pérdida potencial por lixiviación (percolación). Los suelos arenosos, de baja CIC, retienen pequeñas cantidades de cationes. Esto hace que la época y las dosis de aplicación sean consideraciones importantes al preparar programas de fertilización. Así, no es aconsejable aplicar N y K en suelos muy arenosos en la época de lluvias; mejor aún, es conveniente considerar el fraccionamiento para reducir las pérdidas y proporcionar los nutrimentos en las épocas de mayor demanda nutricional (Inpofos, 1997).

Es importante anotar que algunos suelos ricos en minerales arcillosos expandibles (2:1) como illita, montmorillonita y vermiculita tienen una alta capacidad de retener entre sus láminas los iones  $K^+$  y  $NH_4^+$ . Esta retención es selectiva en algunos casos y en otros las arcillas no presentan preferencia por alguno de los dos propiedades que se debe tener en cuenta al planear una fertilización con alguno de los dos, secuenciándola según el caso para maximizar la aprovechabilidad del otro según la necesidad del cultivo (García, 2001).

Otra medida importante es el porcentaje de saturación de bases o sea el porcentaje de la CIC ocupado por los cationes básicos. Este parámetro se utilizó en el pasado para desarrollar programas de fertilización con la idea de que ciertas relaciones son necesarias para asegurar la absorción adecuada de nutrimentos por los cultivos para obtener óptimos rendimientos. Sin embargo, la investigación científica ha demostrado que las relaciones entre cationes tienen poca utilidad en la gran mayoría de los suelos agrícolas. En condiciones de campo, las relaciones entre nutrientes pueden variar ampliamente sin efectos negativos, si los nutrientes están presentes individualmente en el suelo a niveles suficientes para soportar un crecimiento óptimo de las plantas (Inpofos, 1997).

Se acostumbra usar la suma de bases corregida por solubles como medida de la CIC, denominándola CIC efectiva. Hoy se sabe, de acuerdo con las teorías de la Doble Capa Difusa sobre distribución de cationes en la superficie de cambio, que la CICE no es una medida correcta de la CIC. Adicionalmente, se conoce que las soluciones extractoras usadas en el laboratorio para extraer los cationes intercambiables Ca, Mg, Na y K como el Acetato de Amonio 1N a pH 7.0 pueden disolver algunos minerales que son insolubles en agua (carbonatos, zeolitas, etc.) dando un resultado sobrevalorado que no puede corregirse. Su uso en lugar de la CIC determinada hace fácil obtener valores de saturación individual de iones y de su suma que no excedan del 100%.

Además de beneficiar al suelo mejorando varias de sus propiedades y procesos el contenido de materia orgánica es indicativo de efectos de tipo variado en el suelo y sugiere cual puede ser su causa. En el trópico aumenta con la altura y disminuye con la temperatura, por lo que un contenido elevado en suelos como los de las Costas, los Llanos Orientales o los valles interandinos se puede deber a situaciones de baja actividad microbiológica como son los encharcamientos, el mal drenaje interno o la acumulación de pesticidas. Por el contrario, niveles excesivamente bajos pueden ser indicativos de dispersión causada por Na o Mg o de condiciones texturales inadecuadas como es el caso de los arenosos.

La MOS contiene cantidades apreciables de nutrimentos por lo que se considera como una fuente de ellos que requiere de transformación o mineralización, lo cual implica un proceso lento realizado por microorganismos que requieren alguna cantidad disponible de los nutrientes para sus procesos metabólicos. Ello implica la posibilidad de inmovilización temporal de elementos como N, P, S y microelementos durante la mineralización y la necesidad de suplementar al suelo con los mismos cuando se hacen aplicaciones masivas de materiales orgánicos con alto contenido de carbono para evitar la deficiencia a los cultivos.

Lo anterior es particularmente importante cuando se incorporan al suelo residuos vegetales con alto contenido de lignina, cuando los residuos son abundantes o cuando se hace labranza cero o reducida ya que algunos nutrimentos, particularmente N y S, pueden llegar a ser limitantes. Hasta que se consiga un equilibrio en el suelo se deben prevenir las deficiencias mediante adición de cantidades adecuadas a las necesidades de la especie que se va a cultivar. Los excesos también deben prevenirse por lo cual las aplicaciones de elementos como el N no deben superar los requerimientos del cultivo más los de la mineralización para prevenir las pérdidas de  $N-NO_3^-$  y la contaminación de acuíferos.

La materia orgánica se caracteriza por su capacidad para retener elementos menores. Es ávida por cobre pero retiene también cinc, hierro y manganeso en orden de preferencia de mayor a menor. En suelos derivados de cenizas volcánicas su degradación biológica conduce a la producción de ácidos húmicos altamente corrosivos que son el principal agente meteorizante en los suelos y que atacan las arcillas, los minerales primarios y la alofana liberando Al, Fe y Si que causan más acidez.

Las condiciones de reducción dan lugar a pérdidas y transformaciones de nutrimentos que pueden llegar a ser tóxicos para las plantas. Cuando no hay aire en el suelo los organismos anaeróbicos se encargan de la descomposición de la materia orgánica utilizan en sus procesos de respiración el oxígeno combinado en forma de nitratos, óxidos hidratados de Fe y Mn y sulfatos, causando pérdidas de N y S en forma gaseosa, acumulaciones de formas tóxicas para las plantas como H<sub>2</sub>S y liberación de Fe y Mn solubles. Como resultado de la descomposición incompleta de los materiales orgánicos se producen fermentos y ácidos orgánicos como butírico, maleico, propiónico, valérico, etc., alcoholes metano e hidrógeno gaseosos que afectan las raíces de las plantas y su actividad. En suelos propensos a encharcamiento o con niveles freáticos superficiales no es conveniente hacer adiciones de materia orgánica.

La presencia de iones con capacidad dispersante como el Na y, bajo ciertas condiciones, el Mg, tiene dos efectos principales y algunos otros asociados. En primera instancia, su concentración elevada causa toxicidad directa a la planta y desbalances nutricionales y en segundo lugar afecta negativamente las propiedades físicas del suelo, especialmente la capacidad de permitir el movimiento de agua y gases. En el suelo se pueden observar indicios como alta plasticidad, dispersión y expansión, presencia de costras y películas de arcillas y materia orgánica dispersa, encharcamientos y mal drenaje, relieve gilgai, sellamiento superficial, afloramiento de sales, concreciones calvas, etc. En las aguas de drenaje y en las estancadas es posible observar una coloración pardo amarillenta proveniente de la materia orgánica dispersa.

Las sales en cantidad excesiva afectan principalmente la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas. En el suelo se pueden observar afloramientos o calvas de color blanquecino.

### **UN SISTEMA DE INTERPRETACION BAJO LA CONCEPCION DE CAUSA Y EFECTO**

Considerando todo lo anterior se ha producido un matriz que trata de facilitar la interpretación considerando una considerable cantidad de los factores y procesos que pueden intervenir en un momento dado para determinar la fertilidad del suelo bajo análisis y que se discutieron previamente. Inicialmente, se ha limitado a la consideración de los principales factores químicos, los cuales se clasifican inicialmente en dos categorías bajo o alto en el caso de los elementos nutricionales y la materia orgánica y ácido o alcalino en el caso del pH. La confrontación de cada uno de las propiedades contra las demás permite encontrar los posibles procesos que pueden ocurrir. A este sistema se le ha denominado Sistema de Interpretación causal y de precisión del análisis de suelos (SICPAS) y se presenta en la tabla 3.

### **RESUMEN**

La interpretación del análisis de suelos lejos de ser una simple labor de comparación con niveles críticos determinados o estimados para una especie en particular involucra la consideración de muchos factores del suelo. Puesto que el suelo es un cuerpo natural dinámico sometido a las leyes de la termodinámica y a multitud de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en ambientes diversos que los condicionan o modifican, la interpretación del análisis no debe ser rígida sino dinámica y considerar todos las posibles situaciones. Se propone un sistema de interpretación de tipo causal que apunta a proporcionar un mejor entendimiento del suelo y sus procesos.

### **BIBLIOGRAFIA**

- Instituto Colombiano Agropecuario. 1981. Fertilización de diversos cultivos 4ª aproximación. Ica, Bogotá, 56p.
- García, A. 1995. Diagnóstico y control de la fertilidad en suelos afectados por sales y sodio. Fertilidad de Suelos, Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Pp:489-505

- García, A. 1999. Diagnóstico y manejo de la fertilidad en suelos alcalinos del Valle del Cauca. Memorias Seminario Técnico Manejo de suelos y fertilización en el cultivo de la caña de Azúcar. Tecnicaña-Monómeros Colombo Venezolanos. Cali pp: 19-33
- Inpofos. 1997. Manual Internacional de fertilidad de suelos. Inpofos, Quito y México pp:1.1-9
- Sposito, G. 1981. the operational definition of the zero point of charge in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 292-7
- Tucker, B.M. 1975. The partition of basic exchangeable cations. Aust. J. Soil Res. 13, 77-89.
- Tucker. B.M. 1985. Laboratory procedures for soluble salts and exchangeable cations in soils. CSIRO Australia. Technical paper No. 47, 1-36.

**VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo**

**Tabla 3.- Procesos que se pueden presentar en el suelo y que explican posibles respuestas al manejo**

Mg Bajo	Mg alto	Na bajo	Na alto	pH ácido	pH alcalino.	MOS Baja	MOS Alta	S Bajo	S Alto	Ca Bajo	Ca alto	
				pH ácido								
				pH alcalino.								
				MOS Baja	0,10,12	5ab,7,8,9,10						
				MOS Alta	0,2,3,4,5b,8,9	5ab,11						
				S Bajo	0, 6a	5a,6ac,8,9,10,11	1,10	13				
				S Alto	1,3,4,5b,12	6bc,8,9,11,12	3,4,5ab,6,8,9,12	0,2,3,4,5ab,6,8,9,12,13				
				Ca Bajo	0,3,4,5ab,8,9,10,14	5b,8,9,10,11	0,10	0,2,3,4,5,10	0,2,10,13	0,3,4,6ab,10,12		
				Ca Alto	3,4,5ab,6ab,7	5a,6ac,8,9,11	7,11	1,2,3,4,7,11,13	6ab,10,11,13	0,6a,11,12		
				Mg Bajo	0,3,4,10	5a,6abc,10,11	0,10	0,2,3,4,5,10	0,2,10,13	0,3,4,6ab,10,12	0,2,6,14	7,10,11,13
				Mg Alto	3,4,6ab,8,9,12	5a,6abc,8,9,11,12	7,11	1,2,3,4,7,11,13	6ab,10,11,12,13	0,4,5ab,6ab,8,9,12,13	8,9,10,12	5a,6abc,11,13
0,1,2,10	8,11			Na Bajo	0,1,3,4	5a,6abc,7,8,11	0,1	1,2,3,13	1,10	0,3,5b,6a,10,12,13	0,1,2,10,14	5a,6abc,10,11,13
5a,6abc,8,11,13	5a,6abc,8,9,10,11,12,13			Na Alto	3,4,5ab,6ab,8,9,12	5a,6abc,8,9,11,12	5,6abc,8,9,11,12,13	3,4,5,6abc,8,9,11,12,13	5ab,6abc,8,9,10,11,12,13	0,3,4,5b,6a,8,9,10,11,12,13	5ab,6ab,8,9,10,11,12,13	5a,6abc,8,9,10,11,13

**Convenciones: 0 = Acidez; 1= suelo normal; 2= altura 3= Reducción; 4= Sulfato ácido; 5= Volatilización- denitrif. 5a= N, 5b=S 6 = Precipitación: a= Yeso, b= CaCO<sub>3</sub>, c= fosfatos; 7= Encalado; 8= PmgI alto; 9= PSI alto; 10= Deficiencia Nut. 11= Alcalinidad; 12= Toxicidad o desbalance Nut.; 13= Mineralización deficiente; 14= Fijación de P.**