

INTERSEDES

Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica



Puerto Viejo.
Pintor: Luis Obregón

Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de
Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica

Esteban Pérez López

www.intersedes.ucr.ac.cr
ISSN 2215-2458
Vol. XIV, N°29 (2013)

Consejo Editorial Revista InterSedes
Director de la Revista:
Dr. Edgar Solano Muñoz. Sede de Guanacaste

Consejo Editorial:

M.Sc. Jorge Bartels Villanueva. Sede del Pacífico. Economía
M.L. Edwin Quesada Montiel. Abarca. Sede del Pacífico. Enseñanza del Inglés
Dra. Ethel García. Sede de Occidente. Historia.
Dra. Magdalena Vásquez. Sede Occidente. Literatura
M.L. Guillermo González . Sede Atlántico. Filología
M.Ph. Jimmy Washburn. Sede Atlántico. Filosofía. Bioética
M.L. Mainor González Calvo. Sede Guanacaste. Filología
Ing. Ivonne Lepe Jorquera. Sede Limón. Administración. Turismo
Dra. Ligia Carvajal. Sede Limón. Historia

Editor Técnico: Bach. David Alonso Chavarría Gutiérrez. Sede Guanacaste.
Editora: Guadalupe Ajún. Sede Guanacaste
Pintura de caratula: “Puerto Viejo”. Autor: Luis Obregón

Consejo Científico Internacional

Dr. Raúl Fornet-Betancourt. Universidad de Bremen, Alemania.
Dra. Pilar J. García Saura. Universidad de Murcia.
Dr. Werner Mackenbach. Universidad de Potsdam, Alemania. Universidad de Costa Rica.
Dra. Gabriela Marín Raventós. Universidad de Costa Rica.
Dr. Mario A. Nájera. Universidad de Guadalajara, México.
Dr. Xulio Pardelles De Blas. Universidad de Vigo, España.
M.Sc. Juan Manuel Villasuso. Universidad de Costa Rica.

Indexación: Latindex / Redalyc/ SciELO

Licencia de Creative Commons

Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica, todos los derechos reservados.

Intersedes por intersedes.ucr.ac.cr está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica License.



Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica
Soil fertility analysis in the laboratory of chemical campus – Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica

Esteban Pérez -López ¹

Recibido: 17.07.13

Aprobado: 30.08.13

Resumen

Dado que la actividad agrícola es una de las principales fuentes de ingresos económicos para el cantón de Grecia y lugares vecinos. En las últimas décadas se ha hecho más evidente que el crecimiento urbano y en general, las actividades humanas provocan un desequilibrio en la ecología, y cada vez se hace más difícil que los cultivos se desarrollen y se obtengan buenas cosechas. Es por ello que, para un manejo adecuado del suelo es necesario conocer las cantidades de los diferentes minerales (nutrientes inorgánicos) que éste contiene, para así fertilizar los terrenos de manera adecuada y compensar la degradación de éste debido a la erosión y mala rotación de los cultivos. Debido a esto es que se incursiona en la implementación de métodos para análisis químico de fertilidad de suelos, en el Laboratorio Químico del Recinto Universitario de Grecia, con miras a brindar apoyo al sector agrícola del cantón.

Palabras clave:

Actividad agrícola – suelos – fertilidad - análisis – nutrientes – agricultura - laboratorista químico -Alajuela – Grecia - Costa Rica.

Abstract

Since agriculture is a major source of income for the canton of Grecia and neighboring places. In recent decades it has become apparent that urban growth and overall, human activities cause an imbalance in the ecology, and it is becoming more difficult for crops to develop and obtain good harvests. That is why, for appropriate land management is necessary to know the amounts of the various minerals (inorganic nutrients) it contains, thus fertilizing the land properly and compensate this degradation due to erosion and poor rotation crops. Because this is who ventures into the implementation of methods for chemical analysis of soil fertility in the Campus Chemical Laboratory of Grecia, with a view to supporting the agricultural sector of Canton.

Keywords:

agriculture, soil, fertility, analysis, nutrients, agriculture, chemical laboratory technician, Alajuela, Grecia, Costa Rica.

¹ Costarricense. Laboratorista Químico. Docente de la Universidad de Costa Rica, Recinto Grecia. Email: estebanperezlopez@gmail.com

Introducción

Los ecosistemas naturales muestran un equilibrio dinámico entre los organismos que lo componen y los factores y elementos del ambiente físico. Sin embargo las fuerzas naturales pueden afectar drásticamente este equilibrio, como en el caso de las erupciones volcánicas, los terremotos catastróficos, las inundaciones, los huracanes y otros tipos de desastres naturales. Ocasionalmente se presentan perturbaciones no muy drásticas, aún en los bosques primarios, que no han sido afectados por el hombre. Por ejemplo, la muerte natural de los árboles viejos o enfermos, los rayos, pequeños derrumbes o el viento producen a menudo claros en los bosques y se rompe así en pequeñas áreas de equilibrio natural (Bornemisza, 1986).

El acelerado proceso de urbanización en los últimos años como consecuencia del crecimiento demográfico, ha provocado que muchos terrenos fértiles, como los de la meseta central, se hayan destinado para la construcción. Además de la indiscriminada deforestación, que genera la degradación del suelo mediante la erosión y la lixiviación de sus nutrimentos. Esto da como resultado que disminuya la cantidad de terrenos disponibles y eficientes para las actividades agrícolas. Por lo tanto, muchos suelos de nuestro país ya no se pueden aprovechar para la agricultura debido a la mala planificación que se les ha dado.

Los factores climáticos, edáficos, geomorfológicos y topográficos, determinan la capacidad de uso del suelo, los cuales influyen directa o indirectamente en la productividad y fertilidad de los terrenos (Hernández *et al.*, 1995). Se puede afirmar que una caracterización biológica completa de un suelo (informando sobre el número de organismos, localización, actividad e interrelación con otras formas biológicas), no se ha realizado todavía. A pesar de ello los organismos son esenciales para el manejo adecuado de las propiedades físicas y de los ciclos biogeoquímicos de nutrientes en agroecosistemas (Badia, 1995).

Debido a que la actividad agrícola es una de las principales fuentes de ingresos económicos para la Región de Occidente, en las últimas décadas, las actividades humanas han provocado un desequilibrio en la ecología; cada vez se hace más difícil que los cultivos se desarrollen y se logren obtener buenas cosechas. Por eso para un manejo adecuado del suelo es necesario conocer las cantidades de los diferentes minerales (nutrientes inorgánicos) que éste contiene, para así fertilizar los terrenos de manera adecuada y compensar la degradación de éste debido a la erosión y a la mala rotación de los cultivos.

Conociendo el problema que aqueja a los suelos de la zona de occidente de nuestro país y sabido del potencial con el que cuenta el Recinto Universitario de Grecia, tanto a nivel de equipo de laboratorio como de personal calificado, donde se ofrece la carrera de Laboratorista Químico, y

además su trayectoria en el área agrícola en el cual se han impartido años atrás, las carreras de Agronomía y Economía Agrícola. Así surge la inquietud de colaborar con el sector agrícola de la región; para lo que se implementan métodos de análisis químicos de fertilidad de suelos, con el propósito de que en proyecciones futuras, se establezca el apoyo a los agricultores de la zona, brindándoles el servicio de análisis e interpretación de resultados, para el uso correcto de los suelos con fines agrícolas.

Marco teórico

El suelo es un medio complejo, caracterizado por una atmósfera interna, una economía particular del agua, una flora y una fauna determinadas y unos elementos minerales (Duchaufour, 1975). Los suelos se pueden definir como “la capa superior de la superficie terrestre donde materiales geológicos, llamados por los científicos del suelo como materiales matrices, han sufrido cambios bajo la influencia del medio ambiente del sitio pertinente” (Bornemisza, 1986).

Los principales factores que influyen en la formación de los suelos son:

- a) Factores Litológicos: son aquellos que se refieren a la naturaleza física y química de la roca madre, la cual puede ser de cualquier tipo.
- b) Factores Biológicos: son aquellos que están representados por los seres vivos (plantas, animales, microorganismos), los cuales juegan un papel importante en el desarrollo de los suelos.
- c) Factores Topográficos: son aquellos que se derivan de la ubicación geográfica de los suelos.
- d) Factores Climáticos: son los más importantes en la formación de los suelos ya que el clima establece las condiciones de temperatura y humedad.
- e) Factores Temporales: el tiempo es otro factor necesario para que el resto de los factores que influyen en la formación de los suelos puedan actuar.

En la evaluación preliminar de las potencialidades y limitaciones de los suelos es necesario conocer una serie de características del suelo y del ambiente que lo rodea: textura, estructura, color, drenaje, clima, vegetación natural, material parental, tipo de paisaje, relieve, posición geomorfológica, pendiente, altitud (msnm), pedregosidad, agua superficial, mesa freática, erosión (Zérega, 1995). Es necesario unificar las actividades de los organismos de investigación para reorientarlas y poner énfasis en las implicaciones que el mal uso y la explotación de los suelos pueden traer al bienestar y la salud del hombre (Caro, 1997).

La compleja naturaleza de las reacciones químicas que ocurren en los suelos ácidos, hace necesario subdividir el sistema suelo en fracciones que permitan estudiar los mecanismos que ocurren en este tipo de suelos (Salas, 1996).

El manejo de la fertilidad del suelo gobierna la nutrición de la planta y esto a su vez tiene efecto directo sobre el crecimiento y rendimiento así como en otros factores como en la susceptibilidad a las enfermedades. El manejo de nutrientes debe entonces encaminarse no solamente a lograr rendimientos altos sino también a mantener o elevar la fertilidad del suelo. Por supuesto la meta final es la de utilizar este conocimiento para integrarlo con todas las otras prácticas de manejo de cultivos en la búsqueda de rendimientos altos sostenidos y en la búsqueda de la mayor eficiencia de los insumos utilizados (Espinoza, 1996).

Materia Orgánica en los Suelos

La materia orgánica que contiene el suelo procede tanto de la descomposición de los seres vivos que mueren sobre ella, como de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene: lombrices, insectos de todo tipo, microorganismos y otros.

La descomposición de la materia transforma sus componentes en derivados inorgánicos, a este proceso se le llama mineralización, en el cual se liberan apreciables cantidades de los diferentes nutrientes mayores y menores en forma gradual y muy aprovechable para las plantas superiores. La materia orgánica que no se descompone, formará compuestos resistentes a la degradación, el conjunto de los cuales se les llama humus; esta parte de la materia orgánica tiene fuerte influencia sobre las propiedades de los suelos, como su poder de retención de humedad y de diferentes sustancias (Bornemisza, 1986).

Según Duchaufour (1975) la materia orgánica fresca es transformada poco a poco, dando lugar, por una parte, a elementos minerales solubles o gaseosos, tales como el amoníaco, ácido nítrico y dióxido de carbono, y por otra parte, a complejos coloidales que son relativamente estables y resistentes a la acción microbiana. En la composición del humus se encuentra un complejo de macromoléculas en estado coloidal constituido por proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, minerales, etc., en constante estado de degradación y síntesis. El humus, por tanto, abarca un conjunto de sustancias de origen muy diverso, que desarrollan un papel de importancia capital en la fertilidad, conservación y presencia de vida en los suelos. A su vez, la descomposición del humus en mayor o menor grado, produce una serie de productos coloidales que, en unión con los minerales arcillosos, originan los complejos organominerales, cuya aglutinación determina la textura y estructura de un suelo. Estos coloides existentes en el suelo presentan además carga negativa, hecho que les permite absorber cationes H^+ y cationes metálicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e intercambiarlos en todo momento

de forma reversible; debido a este hecho, los coloides también reciben el nombre de complejo absorbente.

Otro dato relevante con respecto a la materia orgánica es su afinidad por los metales pesados. Cuando éstos se encuentran en disolución, a menudo forman complejos orgánicos solubles, que pueden polimerizarse sobre los complejos moleculares del humus. También pueden formar directamente complejos insolubles con los compuestos del humus. De esta forma, la materia orgánica del suelo a menudo actúa como almacén de estos elementos, si bien puede transferirlos a la vegetación o a la fase acuosa si se produce su descomposición en medio ácido u oxidante.

Elementos Químicos del Suelo

Los elementos del suelo requeridos en la nutrición de las plantas: Carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, son los elementos que componen las proteínas, y por lo tanto el protoplasma. Además de estos existen catorce elementos más que son necesarios para el crecimiento de algunas plantas: calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso, molibdeno, cobre, boro, zinc, cloro, sodio, cobalto, vanadio y sílice. No todos son requeridos por las plantas, pero todos se han demostrado esenciales para algunas de ellas. Estos elementos juegan un papel en el crecimiento y desarrollo de las plantas, y cuando están presentes en cantidades insuficientes pueden reducir el crecimiento y los rendimientos (Nelson y Tisdale, 1970).

Análisis Químico de Suelos

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

Cualitativamente: 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 físico-químico de suelos 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.

En términos más simples, el propósito del análisis de suelos es determinar el estado de su fertilidad e identificar los nutrimentos que podrían limitar el rendimiento de las plantas, ya sea por encontrarse en exceso o en deficiencia.

En Costa Rica, las soluciones Olsen Modificada y el KCl han sido los métodos oficiales de análisis de suelos utilizados en los últimos 20 años, a pesar de contar con pocos estudios de

calibración y correlación que respalden los niveles críticos de nutrimentos propuestos para estos agentes (Molina y Cabalceta, 1996).

El análisis químico de suelos debe ser un procedimiento práctico, y confiable para evaluar apropiadamente la fertilidad de un suelo. Este análisis se realiza utilizando disoluciones extractoras que simulan la capacidad extractora de la raíz de la planta. El procedimiento debe ser rápido, preciso y con un costo de ejecución bajo. La disolución Olsen modificado se utiliza para la extracción en suelos de Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso y Potasio. La disolución KCl 1 mol/L se utiliza para la extracción de Calcio, Sodio y Magnesio.

En los análisis de suelo rutinarios realizados en el laboratorio, se determinan las cantidades de los elementos presentes en el suelo que, teóricamente, la planta puede utilizar en forma inmediata, por lo que ese valor representa un contenido puntual y estático, que debe ser interpretado adecuadamente. El proceso de análisis de laboratorio incluye las etapas de secado, molienda, extracción de la muestra y determinación de los nutrimentos.

El secado de la muestra puede ser realizado al aire o bien en estufas a temperaturas menores de 40°C, para evitar procesos reversibles de fijación y de pérdidas. Especial cuidado se debe tener para la determinación de nitratos y amonio en el suelo, ya que la muestra debe ser procesada con la humedad de campo, por lo que debe tenerse la precaución de no meterla al horno.

La molienda de la muestra implica afinar y uniformar los agregados por una malla o tamiz de 2 mm, con el objetivo de que las muestras tengan un tamaño de partícula homogéneo. El proceso de extracción se refiere a aquella etapa de laboratorio en donde la muestra de suelo es puesta en contacto con una solución que “extrae” las formas de los nutrimentos que son disponibles para la planta.

Técnicas para la determinación química de suelos

La determinación es aquella parte del proceso de laboratorio que implica la cuantificación de los nutrimentos que fueron extraídos por la solución extractora. Los fundamentos químicos de los métodos de determinación utilizados en los laboratorios de suelos para los diferentes elementos, son principalmente la colorimetría y la espectrofotometría de absorción atómica. *La colorimetría* es una técnica para determinar la concentración de un componente de acuerdo a la intensidad de color de la solución. Generalmente, se agrega una sustancia a la muestra que origina un color cuando se combina con el componente de interés. Por lo general, la combinación es química y por lo tanto, el desarrollo del color requiere de cierto tiempo y muchas veces el color desarrollado es inestable, por lo que, en algunos análisis colorimétricos, el tiempo es muy importante para obtener resultados exactos y consistentes (CAFESA, 1995).

El fósforo se determina colorimétricamente midiendo la cantidad de luz absorbida por la muestra cuando un haz de luz (de una longitud de onda de 660 nanómetros) pasa a través de ella. Para ello se necesita que los fosfatos formen un complejo entre el fósforo (P) y un agente acomplejante (Ácido Sulfomolibdico), bajo las condiciones reducidas que provee el Cloruro Estañoso. La intensidad del color está directamente relacionada con la cantidad de P en la solución; un factor muy importante es que la estabilidad del azul de molibdeno es limitada, por lo que las lecturas deben ser realizadas preferiblemente en los primeros 60 minutos luego de generado el color azul (CAFESA, 1996).

Por otra parte, la *absorción atómica* es una técnica moderna y muy versátil que se puede usar para medir las concentraciones de varios elementos, especialmente metales. Las concentraciones se determinan en solución a través de la absorción de luz y una curva de calibración. Los átomos de un elemento absorben la luz y la longitud de onda que los átomos absorben es muy específica, hasta el punto que cada elemento tiene su propia lámpara (CAFESA, 1995).

El Ca, Mg, K y los elementos menores, son determinados por absorción atómica; la metodología de determinación se fundamenta en medir la cantidad de energía que es absorbida y posteriormente liberada por un átomo, cuando sus electrones periféricos son excitados y vuelven a su nivel energético normal. Esta energía absorbida, es medida y comparada con un haz de referencia producido por una lámpara. El instrumento requiere ser calibrado con una curva patrón específica para el elemento (CAFESA, 1996). Individualmente la concentración de cada uno de estos elementos, tiene una función diferente en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

La Acidez del Suelo (el pH)

En los suelos se debe distinguir entre la acidez actual y la acidez total o potencial; la primera expresa la concentración en iones H^+ , actualmente disociados, de las soluciones del suelo; la segunda corresponde a la suma de los iones H^+ de cambio (o Al^{3+} que liberan H^+) que acompañan a las moléculas absorbentes, es decir que no están actualmente disociadas, pero que se disocian progresivamente a medida que se produce la neutralización.

La acidez actual: se expresa por el pH, o cologaritmo de la concentración de iones H^+ , en estado libre en las soluciones del suelo. Este varía entre 0 y 14, correspondiendo la neutralidad a un pH 7; los suelos medianamente ácidos presentan un pH de 5 a 6; los suelos muy ácidos tienen un pH inferior a 5; por el contrario, los suelos calizos, los suelos con álcalis, tienen un pH superior a 7 y presenta reacción básica.

La acidez total: sólo puede ser medida por volumetría, corresponde a la cantidad de cationes metálicos necesarios para saturar el complejo absorbente, es decir para reemplazar la totalidad de los iones H^+ (o Al^{3+}) de cambio. Esta acidez total no tiene relaciones inmediatas con el pH: si se comparan dos suelos con pH 5, uno arenoso y el otro rico en arcilla y en materia orgánica, será necesario aproximadamente veinte veces más cantidad de cal para neutralizar el segundo que para neutralizar el primero.

Metodología

Los análisis de fertilidad de suelos se desarrollaron en el Laboratorio de Química del Recinto de Grecia, de la Universidad de Costa Rica. Para tal investigación se recolectaron muestras de suelo, en los alrededores del campus universitario, según el procedimiento de muestreo comprendido en (Días y Hunter, Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero).

Luego las muestras se sometieron al proceso de análisis de laboratorio, el cual incluye las etapas de secado, molienda, extracción de la muestra y determinación de los nutrientes. El procedimiento de análisis se realizó según (Días y Hunter, Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero) y (Lassaga, Lord y Vásquez, Metodología para análisis de suelos, plantas y aguas). Sin embargo para algunas determinaciones fue necesario adaptar modificaciones: para la determinación de calcio, magnesio, potasio, fósforo, hierro, cobre, zinc y manganeso se realizó una agitación durante 3 minutos a velocidad lenta, en un agitador mecánico horizontal. También en la preparación de los patrones de fósforo, las concentraciones obtenidas se modificaron a la mitad del valor especificado. Como se mencionó anteriormente, los métodos químicos utilizados en los laboratorios de análisis de suelos para los diferentes elementos, son básicamente: la colorimetría (análisis de fósforo) y la técnica de absorción atómica (determinación de calcio, magnesio, potasio y elementos menores).

Cuadro 1. Resultados obtenidos de los análisis de suelos en el Recinto de Grecia

PARÁMETRO	Unidad Medida	CONTROL 1	CONTROL 2
Calcio	cmol/L	6.64 ± 0.18	1.99 ± 0.11
		6.46 - 6.82	1.88 - 2.10
Magnesio		1.45 ± 0.08	1.30 ± 0.03
		1.37 - 1.53	1.27 - 1.33
Potasio		2.15 ± 0.02	0.15 ± 0.01
		2.13 - 2.17	0.14 - 0.16
Acidez extraíble		0.239 ± 0.037	0.269 ± 0.019
		0.202 - 0.276	0.250 - 0.288
CICE*	cmol/L	10.5	3.7
Hierro	mg/L	73.8 ± 4.1	34.8 ± 4.4
		69.7 - 77.9	34.4 - 39.2
Fósforo		1.7 ± 1.3	1.90 ± 0.46
		0.4 - 3.0	1.44 - 2.36
Materia orgánica	% m/m	8.7 ± 1.20	0
		7.50 - 9.90	0
Nitrógeno		0.385 ± 0.032	0.0212 ± 0.0021
		0.0353 - 0.417	0.0191 - 0.0233
Cobre	mg/L	5.30 ± 1.49	2.18 ± 0.25
pH	---	6.091 ± 0.020	5.865 ± 0.138
		6.071 - 6.111	5.727 - 6.003

*CICE: Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva (Ca, Mg, K, Acidez extraíble).

Fuente: Elaboración propia

Discusión de resultados

Es indispensable establecer los niveles críticos para cada elemento, con el fin de interpretar los resultados de un análisis de suelos. Para Bertsch (1987) el nivel crítico de un elemento es la concentración extraída del suelo por encima de la cual existe una alta probabilidad de no obtener incrementos sensibles en la producción, mientras que valores inferiores muy probablemente corresponderán a producciones pobres.

Acidez extraíble y pH:

Como se observa en el cuadro 1, Los resultados obtenidos de acidez extraíble, tanto para el control 1, como para el control 2, se encuentran en niveles bajos (inferior a 0,50 cmol/L).

De acuerdo con Bertsch (1987) el primer dato indicador sobre el estado nutricional y la acidez del suelo es el pH. El pH determinado en agua se refiere a la acidez de los iones H_3O^+ y Al^{3+} que se encuentran en la solución del suelo. Los problemas de acidez en los suelos se presentan en pH menores a 5.5, ya que el aluminio se vuelve soluble y por lo tanto es capaz de causar toxicidad a las

plantas dañando directamente las raíces. Los resultados obtenidos en el control 1, con respecto al pH son favorables, el promedio fue de 6,091, y el control 2, un promedio de 5,865. Esto muestra que el estado de los suelos analizados se encuentra en el nivel óptimo (pH de 5,5 a 6,5), ya que el aluminio no es muy soluble a los valores de pH encontrados, no hay problemas de toxicidad que puedan afectar el buen desempeño de las raíces en las plantas (Bertsch 1987).

Cationes Cambiables o bases (Ca, Mg, K)

El valor de Calcio y Magnesio expresado en un análisis de suelo corresponde a la cantidad total de nutrimento que está disponible a las plantas, el absorbido a la superficie coloidal, y el que está en solución (Bertsch, 1987). Los resultados de calcio para los controles variaron mucho. El promedio del control 1, fue de 6,64 cmol/L, valor que se encuentra dentro del rango de valores medio, el cual según la teoría va de 4,1 a 20,0 cmol/L. El resultado obtenido para el control 2, es de 1,99 cmol/L, valor que está por debajo del nivel óptimo de dicho metal en los suelos. Los resultados de magnesio obtenido para los dos controles es muy parecido y se encuentran dentro del nivel óptimo que va desde 1 a 10 cmol/L. El valor promedio de magnesio para el control 1, fue 1.45 cmol/L, y el control 2, un valor de 1,30 cmol/L.

El valor de potasio para el control 1, es de 2.15 cmol/L, cuyo valor está muy por encima del intervalo óptimo (de 0,2 a 1,5 cmol/L), en cambio el control 2, se le determinó un valor de 0,15 cmol/L que se encuentra por debajo de lo requerido.

Relaciones Catiónicas:

De acuerdo con Bertsch (1987) el contenido de cationes mayores en el suelo (Ca, Mg y K) puede estar en cantidades relativamente altas, y sin embargo, ofrecer malas posibilidades de absorción de los mismos para la planta debido a que se encuentran en proporciones desequilibradas. Los resultados obtenidos para los controles en la relación catiónica Ca/Mg son diferentes. El control 1, presentó un valor de 4,6 que es adecuado, ya que el intervalo de balance se encuentra entre 2 a 5, y el control 2, presentó un valor de 1,5 por lo tanto esta en desbalance. En la relación Mg/K, el control 1, presentó un valor de 0,67 el cual es demasiado bajo con respecto al intervalo de balance que va de 2,5 a 15, el control 2, presentó un valor de 8,7, de tal manera que se encuentra dentro del balance de esta relación catiónica. En la relación Ca/K, el control 1, presentó un valor de 3,1, de manera que está en desbalance, ya que el intervalo de balance va de 5 a 25. El control 2, presentó un valor de 13,3, por lo tanto se encuentra en balance.

Para la relación catiónica (Ca+Mg)/K el intervalo de balance se encuentra entre 10 y 40. El control 1, presentó un valor de 3,8, por lo tanto se encuentra en desbalance. El control 2, se encuentra en balance con un valor de 21,9. De las cuatro relaciones catiónicas evaluadas

anteriormente, el control 1 sólo se encontraba balanceado para una relación catiónica, en cambio el control 2 se encontraba balanceado en tres relaciones catiónicas.

Capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE):

La capacidad de intercambio de cationes efectiva corresponde a la sumatoria de los meq/100mL de Ca, Mg, K y acidez extraíble, es el índice más directo de las potencialidades nutricionales del suelo. De acuerdo con Bertsch (1987) un valor de CICE inferior a 5 cmol/L se considera bajo; entre más alto sea este índice mayor capacidad de nutrición tiene el suelo. El control 1 se encuentra con un valor de 10,5, o sea tiene una cantidad adecuada de iones, y el control 2 presentó un valor de 3,7, de manera que se encuentra por debajo del valor adecuado.

Fósforo (P):

De acuerdo con Bertsch (1987), la deficiencia de fósforo puede asociarse con el pH y con los contenidos de Al, Fe y Ca. En el ámbito de pH de 5,6 a 6,5 el P adquiere su máxima solubilidad. Valores de pH menores o ácidos favorecen la precipitación de fosfatos de aluminio y de hierro, como sucede en los suelos Ultisoles, y valores mayores, la formación de fosfatos de calcio, como ocurre en los Vertisoles.

Para los controles analizados, se encontraron valores de pH alrededor de 6, esto indica que el fósforo se encuentra en forma soluble en dichos suelos. Sin embargo los resultados obtenidos muestran niveles bajos de fósforo, ya que el control 1, presentó un valor de 1,7 mg/L, y el control 2, un valor de 1.9 mg/L. Ambos niveles son muy inferiores al intervalo óptimo que va de 10 a 40 mg/L de P.

Elementos menores (Hierro y Cobre):

El intervalo óptimo de hierro (Fe) va de 10 a 50 mg/L, por lo tanto el control 1, se encuentra con un exceso de Fe, ya que presentó un valor de 73,8 mg/L. El control 2, se encuentra con un valor adecuado de 34,8 mg/L. Con respecto al cobre (Cu), el intervalo óptimo se encuentra entre 1 y 20 mg/L. Por lo tanto, los dos controles se encuentran en niveles adecuados, con valores de 5,30 mg/L para el control 1, y 2,18 mg/L para el control 2.

Materia orgánica (MO) y Nitrógeno (N₂):

Los contenidos de MO descienden con la profundidad y un valor será alto o bajo según el tipo de suelo. El control 1, presentó un valor de 8,7 %m/m, y el control 2, un valor de 0 %m/m. Esto se debe a que el control 1, fue tomado de un terreno con mucha vegetación, en cambio el control 2, se tomó de un suelo sin vegetación, lo que puede haber originado un nivel de 0 %m/m de MO. En el análisis de N₂, como es de esperar en relación con los resultados de materia orgánica, el contenido de N₂ para el control 1, fue de 0,385 %m/m, y el control 2 con un valor más bajo de 0,0212 %m/m.

Los valores de MO y N₂ son directamente proporcionales, y claramente se ve en los resultados para ambos controles.

Según Betsch (1987) cada fracción de la materia orgánica juega su propio papel dentro del suelo, por lo que sería importante saber la cantidad que existe de cada una y su grado de actividad, sin embargo, con el valor que suministra un análisis de suelo es imposible ir más allá de una estimación global.

De acuerdo con los factores que afectan la velocidad de mineralización, un alto contenido de materia orgánica puede o no implicar un alto suplemento de nutrimentos. En términos generales, puede decirse que la condición ideal para un suelo, es un alto contenido de materia orgánica.

Consideraciones finales

- Una prueba de análisis de suelos debe ser rápida, reproducible y barata, proveer un índice de la disponibilidad de nutrimento y relacionar el índice, al requisito nutricional del cultivo de interés.
- Desde que se toma la muestra de suelo hasta que se obtienen los resultados analíticos, pueden producirse muchos errores, que se ha comprobado que la mayor parte del error total cometido, es inherente a la toma de 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.
- Con respecto a la profundidad del suelo, 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 (Ansorena, 1995). La profundidad a la cual sea tomada la muestra, es un aspecto que influye excesivamente en los resultados obtenidos del análisis; ya que conforme aumenta la profundidad del suelo, disminuye la cantidad y calidad de los nutrientes.
- 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 y el potasio ocupa una posición intermedia en el suelo.
- Para el manejo adecuado del suelo es necesario conocer las cantidades de los diferentes minerales que éste contiene, para así fertilizar los terrenos de manera adecuada y compensar la degradación de éste debido a la erosión y mala rotación de los cultivos.
- Como norma general, la muestra de suelo debe ser tomada a una profundidad igual a la de enraizamiento, para que represente la capa de reserva de nutrientes disponibles para la planta.

- Las causas más importantes de la degradación química de los suelos han sido el manejo inadecuado y la deforestación, mientras que las actividades industriales contribuyen en gran medida a la polución de los suelos.

Referencias bibliográficas

- Ansorena, J. (1995). El Suelo en la Agricultura y el Medio Ambiente. Laboratorio Agrario. Departamento de Agricultura y Medio Ambiente. Diputación Foral de Gipuzkoa. Vol. IV, N°38 - 3^{er} trimestre. Recuperado de http://www.fraisoro.net/articulos/38_34_38.pdf
- Badia V, D. (1995). *Biología del Suelo*. Geórgica (4): 235-259.
- Bertsch, F. (1987). *Manual para interpretar la fertilidad de los suelos en Costa Rica*. 2° ed. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 78 p.
- Bornemisza, E; Fornier, L; Carazo, E; Bonilla, A. (1986). Setiembre Científico 3: *Suelos y Agricultura en Costa Rica*. Editorial UNED. San José, Costa Rica. 51p.
- CAFESA. *Agronoticias: Boletín informativo*. Diciembre, 1995.
- CAFESA. *Agronoticias: Boletín informativo*. Agosto, 1995.
- Caro L, H. (1997). *El Suelo, un recurso natural que debemos cuidar*. Luna Azul 3(4): 32-33, julio.
- Duchaufour, P. (1975). *Manual de Edafología*. Primera edición. Editorial Toray - Masson S.A. Barcelona, España. 476p.
- Espinoza, J. (1996). "Relación entre la fertilización mineral, la materia orgánica y los microorganismos del suelo". *Memoria II. Congreso de Suelos*: 119-128.
- Hernández G, J; Villalobos S, C; Mojica B, F. (1995). *Diagnóstico de los Suelos de Fincas en la Cuenca Río Segundo*. Imágenes 2(4): 77-82, mayo.
- Molina E; Cabalceta G. (1996). Avances en Análisis de Suelos en Costa Rica. *Memoria II. Congreso de Suelos*. Resumen 236:146.
- Salas, R. (1996). El Aluminio en la relación Suelo Planta. *Memoria II. Congreso de Suelos*: 109-113.
- Tisdale, S y Nelson, W. (1970). *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Primera edición. Editorial Montaner y Simón S.A. Barcelona, España. 760p
- Zérega L. (1995). *Metodología para caracterizar preliminarmente a un suelo en campo*. Fonaiap Divulga 12(47): 2-6, enero-febrero.