



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE SUCRE  
ESCUELA DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS ESENCIALES Y TÓXICOS  
PRESENTES EN SUELOS AGRÍCOLAS DE CAÑO DE CRUZ, MUNICIPIO  
ANDRÉS ELOY BLANCO, ESTADO SUCRE  
(Modalidad Tesis de Grado)

SIMÓN ANTONIO RENGEL ZERPA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN QUÍMICA

CUMANÁ, 2017



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE SUCRE  
ESCUELA DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS ESENCIALES Y TÓXICOS  
PRESENTES EN SUELOS AGRÍCOLAS DE CAÑO DE CRUZ, MUNICIPIO  
ANDRÉS ELOY BLANCO, ESTADO SUCRE  
(Modalidad Tesis de Grado)

SIMÓN ANTONIO RENGEL ZERPA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN QUÍMICA

CUMANÁ, 2017

CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS ESENCIALES Y TÓXICOS  
PRESENTES EN SUELOS AGRÍCOLAS DE CAÑO DE CRUZ, MUNICIPIO  
ANDRÉS ELOY BLANCO, ESTADO SUCRE.

APROBADO POR:

---

Dra. Luisa Rojas de Astudillo  
Asesora

---

Dra. Sheyla Aranda  
Jurado principal

---

Dra. Iliana Jiménez  
Jurado Principal

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
LISTA DE TABLAS .....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE ABREVIATURAS .....	V
RESUMEN .....	VI
INTRODUCCIÓN .....	1
Definición de suelo. ....	1
Elementos del suelo. ....	1
Características y elementos contaminantes para el suelo. ....	4
Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES)....	6
METODOLOGÍA.....	9
Selección de los suelos en la localidad de Caño la Cruz Municipio Andrés Eloy Blanco	9
Preparación de los suelos .....	10
pH de los suelos .....	10
Digestión por microondas de los suelos .....	10
Determinación de los metales a través de la Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES).....	11
Optimización del Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) .....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	16
Determinación del pH.....	16
Digestión por microondas de las muestras de suelos.....	20
Curvas de calibración.....	22
Determinación de las concentraciones de los elementos que conforman los macronutrientes (K, Ca, Mg, Na, P y S) en los suelos.....	25
Calcio .....	26
Magnesio.....	28
Sodio .....	29
Azufre .....	30
Determinación de las concentraciones de los elementos que conforman los micronutrientes (Fe, Zn y Cu) en los suelos .....	31
Hierro .....	31
Determinación de las concentraciones de los elementos tóxicos (Cd y Pb) de los suelos. ....	35
CONCLUSIONES .....	36
HOJAS DE METADATOS .....	43

## **DEDICATORIA**

A:

Mi madre, Maribel Zerpa (†) a quien le dedico este logro con todo mi corazón.

Mi padre, Simón Rengel quien es mi motivo de superación y me brindó todo su apoyo, amor, cariño y confianza para alcanzar esta meta.

Mis hermanas Rosmary, María y Mirelsy, quienes han sido un apoyo importante a lo largo de toda mi vida.

Mis abuelas Antonia Rengel (†) y Yaneth Zerpa.

Mis tíos y tías por estar a mi lado y motivarme a alcanzar esta meta.

Mi pareja, Melkys Vargas por brindarme su apoyo en todo momento. Gracias por comprenderme y tolerarme, espero que este logro sirva como estímulo para alcanzar tus metas.

Mis hijos Andrés, Diego y mi sobrino Frainyer, espero que este logro le sirva como ejemplo para luchar por sus sueños.

Mis primos, espero que este logro les sirva de estímulo para alcanzar cada una de sus metas.

## **AGRADECIMIENTO**

A:

Dios. Por ser mí guía, a lo largo de la trayectoria de mi vida.

La universidad de oriente, en especial a Instituto de Investigaciones en Biomedicinas y Ciencias Aplicadas (IIBCA-UDO).

Dra. Luisa Rojas de Astudillo, quien durante la realización de este trabajo de investigación se convirtió en una fuente de admiración y ejemplo a seguir. Gracias por todo su apoyo, asesoría y dedicación, sin su colaboración este trabajo no hubiera sido posible.

Dra. Raquel Salazar, por incorporarme a su proyecto titulado: Diagnóstico del impacto de agroquímico sobre la salud de productores y sus familias del área de influencia agrícola municipios Rivero y Andrés Eloy Blanco, estado Sucre. PEI 2011001293.

TSU. Henry Astudillo, por su colaboración en el proceso de digestión de muestras usando microondas.

Licdo. José Luis Prin, por su colaboración en la realización de los análisis mediante espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES).

TSU. Moraima Carrillo, por su colaboración en el proceso de secado de muestras.

Br. Oswaldo Rodríguez, por su colaboración en el proceso de muestreo.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Componentes e insumos del ICP-OES Optima 5300 DV .....	13
Tabla 2. Valores obtenidos para la calibración del equipo en las vistas axial y radial de la posición de la antorcha, usando una solución de Mn ( $1 \text{ mg l}^{-1}$ ). .....	14
Tabla 3. Parámetros utilizados para el control de plasma.....	14
Tabla 4. Valores de pH, medidos en muestras de suelos a diferentes profundidades en soluciones de KCl y en H <sub>2</sub> O desionizada. ....	17
Tabla 5. Parámetros obtenidos para la optimización del proceso de digestión de muestras de suelos.....	22
Tabla 6. Longitudes de onda seleccionadas para cada elemento (macronutrientes, micronutrientes y tóxicos). ....	23
Tabla 7. Rangos de límites de detección y líneas atómicas (I) e iónicas (II) de cada elemento químico determinado.....	25
Tabla 8. Valores de concentraciones promedios de los elementos químicos (macronutrientes y micronutriente) a diferentes profundidades obtenidos de las muestras de los suelos determinados por el ICP-OES. ....	34

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de un Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES). .....	7
Figura 2. Zona en el mapa y fotografía del área agrícola del Caño de Cruz municipio Andrés Eloy Blanco, estado Sucre.....	9
Figura 3. Digestor de microondas, modelo Stard D. ....	11
Figura 4. Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) Optima 5300 DV.....	12
Figura 5. Alineación electrónica de la vista axial y radial de la antorcha. ....	15
Figura 6. Valores de pH en muestras de suelos superficial (0-5) cm. ....	18
Figura 7. Valores de pH en muestras de suelos a un nivel de 5-10 cm de profundidad. ....	19
Figura 8. Valores de pH en muestras de suelos a un nivel de 10-20 cm de profundidad, en KCl y en H <sub>2</sub> O desionizada. ....	20
Figura 9. Representación de los parámetros optimizados a través del programa del digestor de microondas. ....	21
Figura 10. Ecuaciones de las curvas de calibración para los elementos determinados en los suelos.....	24
Figura 11. Contenido de K en muestras de suelos en las diferentes profundidades .....	26
Figura 12. Contenido de Ca en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.....	27
Figura 13. Contenido de Mg en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.....	28
Figura 14. Contenido de Na en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.....	30
Figura 15. Contenido de S en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.....	31
Figura 16. Contenido de Fe en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.....	32
Figura 17. Contenido de Zn en muestras de suelos a nivel superficiales (0-5) cm, 5-10 cm y de 10-20 cm de profundidad. ....	33
Figura 18. Contenido de Cu en muestras de suelos a nivel superficiales (0-5) cm, 5-10 cm y de 10-20 cm de profundidad. ....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS

ppm: Parte por millón =  $\text{mg kg}^{-1} = \text{mg } 1000 \text{ g}^{-1}$

ICP-OES: Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado  
(siglas en inglés)

FAAS: Espectrometría de absorción atómica con llama (siglas en inglés)

GPS: Sistema de posicionamiento global (siglas en inglés)

S: Suelo

W: Wattio

UAP: Ultra alta pureza

RF: Generador de alta frecuencia

Cps: Cuenta por segundo

UV: Ultravioleta

VIS: Visible

I: Línea atómica

II: Línea iónica

%DER: Porcentaje de desviación estándar relativa

## RESUMEN

Con el objetivo de sentar las bases que permitan el aprovechamiento de los suelos de la región, en beneficio de la población de la localidad de Caño de Cruz municipio Andrés Eloy Blanco, ubicado en el estado Sucre. Se seleccionaron muestras de suelos representativas en el sector agrícola, los cuales son empleados para el cultivo de ocumo chino (*Colocasia esculenta*) y cacao (*Theobroma cacao*.) Las posiciones geográficas de los puntos seleccionados fueron medidas con un sistema de posicionamiento global (GPS). Las muestras de suelos fueron tomadas a diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm y de 10-20 cm). Para cada una de las profundidades, se determinó el pH. Las muestras de suelos fueron digeridas con HNO<sub>3</sub> concentrado y usando un equipo de digestión de microondas. Luego las soluciones fueron analizadas en un Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES), previamente calibrado y optimizado, para cuantificar los elementos químicos. Las concentraciones (mg kg<sup>-1</sup>) de los macronutrientes (K, Ca, Mg, Na y S) determinados en los suelos estudiados, en forma general, presentan el siguiente orden de decrecimiento: K > Ca > Mg > S > Na, excepto a nivel superficial que sigue el orden: Ca > K > Mg > S > Na; para los micronutrientes, se encontró que las concentraciones presentan, para todas las profundidades, el siguiente orden: Fe > Zn > Cu. Los valores de los macronutrientes y micronutrientes estuvieron dentro de los intervalos de valores encontrados en otros suelos agrícolas, los cuales son aceptables para los cultivos ya mencionados. No se detectaron Cd y Pb en los suelos estudiados, esto indica que estos elementos no representan peligro de toxicidad para los cultivos que se producen en la zona estudiada.

# INTRODUCCIÓN

## **Definición de suelo.**

A lo largo de la historia el suelo ha recibido una serie de definiciones que dependen del punto de vista del investigador que la realiza. En general éste se considera como un cuerpo natural y dinámico localizado en la superficie de la corteza terrestre, constituido de materiales minerales y orgánicos, agua y aire donde se desarrollan las raíces de las plantas, cuyas propiedades físicas, químicas y biológicas son el resultado de la interacción entre el material parental, los organismos vivientes, el clima y el relieve a través de tiempo (Blanco, 2003; Espinoza *et al.*, 2008; Till, 2010 CASAFE, 2012).

La abundancia de ciertos elementos en los suelos y otros materiales superficiales se determina no sólo por el contenido de los elementos de la roca madre u otros depósitos de origen de los materiales, sino también por los efectos de los factores climáticos y biológicos y por las influencias de las actividades agrícolas e industriales. La combinación de estos factores en un área determinada da lugar a una variabilidad en el contenido de cada elemento en la superficie del suelo (Kabata-Pendias, 2004).

## **Elementos del suelo.**

Muchos de los elementos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de plantas, animales y seres humanos, aunque también pueden ser tóxicos si se superan ciertos umbrales. Están presentes en concentraciones relativamente bajas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suelos y plantas; en general todos los elementos son tóxicos si se ingieren o inhalan en cantidades suficientemente altas o por largos períodos de tiempo (Plant *et al.*, 2001).

Los elementos más abundantes en los suelos pueden clasificarse en cuatro categorías, de acuerdo con la forma química en que se encuentran en las soluciones del suelo: cationes ( $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ), metales nativos (Hg, V), halogenuros ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ), y organo complejos (Ag, As, Hg, Se, Te, Tl). Estas categorías no se excluyen mutuamente, porque algunos elementos pueden presentarse con más de una forma. Normalmente Cr, Ni, Pb, y Zn varían entre 1 - 1500

mg kg<sup>-1</sup>, Co, Cu y As entre 0,1 y 250,0 mg kg<sup>-1</sup>, y en menores proporciones Cd y Hg 0,01 – 2,00 mg kg<sup>-1</sup> (Bowen, 1979; Torres *et al.*, 2010; Salinas, 2006).

De todos los elementos encontrados en suelos, hay 17 que se consideran como muy tóxicos y, a la vez, fácilmente disponibles en muchos suelos en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad. Éstos son: Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl y Zn. De ellos, diez son expeditamente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos. Éste es el caso de: Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Tl (Novotny, 1995). Esto ha ocasionado, que en las últimas décadas se ha presentado una acumulación antropogénica de estos elementos por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo (Giuffré *et al.*, 2005). Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g cm<sup>-3</sup> cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos) (García y Dorronsoro, 2005), aunque en esta definición, encajan también elementos esenciales para las plantas como Fe, Cu, Mn y Zn u otros esenciales para los animales, como Co, Cr o Ni que a elevadas concentraciones pueden ser tóxicos (Mendoza, 2006).

Las plantas han desarrollado mecanismos muy específicos para absorber, translocar y acumular nutrientes; sin embargo, algunos metales y metaloides aunque no son esenciales para los vegetales son absorbidos, transportados y acumulados debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos esenciales (Gutiérrez *et al.*, 2007). Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado dependiendo de la especie vegetal, de las características y del contenido de los metales en el suelo. Las plantas pueden adoptar diversos comportamientos frente a la presencia de metales en su entorno (Ruiz y Armienta, 2012). Las especies hiperacumuladoras son capaces de acumular más de 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de metal en su biomasa aérea y son útiles en procesos de fitoextracción de metales en suelos contaminados por actividades mineras (González *et al.*, 2008).

El suelo también constituye un recurso que debe preservarse, tanto por su función como soporte de las actividades humanas y biológicas, como por su papel de filtro físico, químico y biológico de las aguas de infiltración, bajo condiciones climáticas estables, el suelo puede alcanzar su equilibrio. Pero cuando uno de los parámetros del sistema varía, el equilibrio se rompe, la presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos y compuestos es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación (Galan y Romero, 2008).

Los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas provienen del aire y el suelo. En el suelo, el medio de transporte es la solución del suelo, del cual se obtiene el agua y los nutrientes fertilizantes o abonos orgánicos. Estos elementos o nutrientes pueden clasificarse en: macronutrientes y micronutrientes.

Los macronutrientes o macroelementos, los principales son: N, P, K, Ca, Mg, S. Se expresan en % m/m en la planta o  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  y pueden ser clasificados como: primarios (N, P, K) y secundarios (Mg, S, Ca.). Los micronutrientes o microelementos, los principales son: Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, B, Cl y se expresan en ppm ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, y esas cantidades tienen que ser aplicadas si el suelo es deficiente en uno o más de ellos. Los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales (Loué, 1988).

En contraste a los macronutrientes, los micronutrientes o microelementos son requeridos sólo en cantidades ínfimas para el crecimiento normal de las plantas y tienen que ser agregados en cantidades muy pequeñas cuando no pueden ser provistos por el suelo (Martínez *et al.*, 1984; Loué, 1988; Ulloa *et al.*, 1999, y; CASAFE, 2012).

### **Características y elementos contaminantes para el suelo.**

Los metales pesados son un conjunto de elementos que presentan como característica común su elevada densidad (Duffus, 2002). A pesar de ser un término controvertido, por impreciso, ha sido ampliamente utilizado en la bibliografía científica (Phipps, 1981, y; Tiller, 1989). Esta denominación tiene connotaciones de contaminación o toxicidad (Duffus, 2002), pero tiene un escaso significado biológico al agrupar elementos con distinto comportamiento (Phipps, 1981, y; Duffus, 2002). Así, la esencialidad de algunos metales pesados para las plantas superiores (Cu, Fe, Mn, Zn) es bien conocida (Aller y Deban, 1989, y; Ross y Kaye, 1994), también para animales (Co, Cr, Ni) y seres humanos (Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, V, Co y Cr) (Oliver, 1997). Sin embargo, la presencia de otros metales pesados (Cd o Pb), no esenciales, puede llegar a limitar el crecimiento vegetal y/o ser tóxicos para las plantas, animales y seres humanos (Adriano, 2001). Además, incluso elevadas concentraciones de elementos esenciales pueden causar efectos negativos sobre los seres vivos (Oliver, 1997; Gupta y Gupta, 1998; Weber y Karczewska, 2004).

Las principales vías de entrada de los metales a las plantas son el aire, el agua y el suelo, siendo las plantas un punto de conexión importante entre la parte abiótica y biótica del ecosistema en la transferencia de metales (Hamilton, 1995). Los principales peligros ambientales de la transferencia de metales pesados desde el suelo a las plantas son la entrada de los metales en la cadena trófica, la pérdida de cobertura vegetal o cosecha por su fitotoxicidad y la absorción de metales desde el suelo por plantas tolerantes, que pueden producir efectos tóxicos en la flora y la fauna (Kabata-Pendias, 2004). Por lo tanto, además del suelo las plantas son un elemento importante en los procesos de contaminación. Esto es especialmente relevante en zonas agrícolas, ya que la transferencia de metales pesados a los seres humanos puede producirse de manera directa.

Se han formulado criterios, aceptados de manera internacional, que permiten evaluar el potencial tóxico de los suelos, uno de estos criterios consiste en el llamado

“Zn equivalente”. Este criterio indica la relación que existe entre tres metales potencialmente tóxicos, Cu, Ni y Zn, siendo el Cu y Ni dos y ocho veces potencialmente tóxico superior al Zn, respectivamente. De acuerdo con este criterio, aquellos suelos que presentan valores superiores a  $250 \mu\text{g g}^{-1}$  de Zn equivalente pueden considerarse como potencialmente tóxicos (Andreu y Bouluda, 1995; Weber y Karczewska, 2004; Torres *et al.*, 2010).

Las características químicas del suelo, deben ser conocidas por el productor agrícola, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la cantidad y calidad de las cosechas, están en relación directa con dichas características. El rendimiento de un cultivo es afectado por diversos factores, entre los que ocupa un lugar importante la disponibilidad en el suelo de los elementos, nutrientes esenciales para las plantas. Cuando estos elementos no están en cantidades adecuadas, hay necesidad de adicionar fertilizantes químicos o enmiendas para suplir las necesidades y corregir condiciones adversas (Salinas, 2006). Desde este punto de vista, el análisis químico del suelo puede suministrar información muy valiosa. Constituye una de las técnicas más utilizadas para la recomendación de los fertilizantes y es una fuente de información vital para el manejo de suelos; permitiendo: a) Clasificar los suelos en grupos afines; b) Predecir las probabilidades de obtener respuesta positiva a la aplicación de elementos nutritivos; c) Ayudar en la evaluación de la fertilidad del suelo y d) Determinar las condiciones específicas del suelo que pueden ser mejoradas o remediadas (Salinas, 2006).

En suelos con pH alto o neutro, donde los sulfatos están presente principalmente en solución, puede ser tan móvil como los nitratos, con pérdidas de azufre disponible por una profunda lixiviación por debajo de la zona de las raíces, para evitar esto, se debe establecer una amplia gama de posibilidades de formas y momentos de aplicación dentro de un programa de fertilización (Schoenau y Malhi, 2008; Torres *et al.*, 2010).

## **Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES).**

Una de las técnicas analítica más utilizada en el momento de cuantificar los elementos químicos es la espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES), la cual permite una precisa determinación de un buen número de elementos químicos con la ventaja de poder realizar análisis simultáneos, con límites de detección especialmente favorables para elementos refractarios (hasta 1.000 veces más bajos que con espectrometría de absorción atómica a la llama, FAAS), con interferencias no espectrales pequeñas, y con un rango lineal amplio. Un plasma puede definirse como un estado de equilibrio entre partículas cargadas y neutras de un gas ionizado. De modo que, en conjunto, un plasma es un medio eléctricamente neutro que conduce la corriente eléctrica. En la creación del plasma, es necesario suministrar energía de forma externa a los electrones, para producir la ionización del gas (Montaser *et al.*, 1992; Manning *et al.*, 1997; Boss y Freedden, 1999).

En la espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES), la muestra es usualmente transportada en estado líquido hacia el instrumento. Dentro del equipo, el líquido es convertido en un aerosol mediante un proceso conocido como nebulización. El aerosol de la muestra es entonces transportado hacia el plasma (donde es desolvatado, vaporizado, atomizado y excitado y/o ionizado por el plasma) (Boss y Freedden 1999).

Los átomos e iones excitados emiten su radiación característica, la cual es recolectada por un dispositivo que designa la radiación por longitud de onda. La radiación es detectada y transformada en señales electrónicas, que son convertidas en información sobre la concentración.

En la Figura 1 se muestra una representación de la disposición de un instrumento de ICP-OES típico (Boss y Freedden 1999).

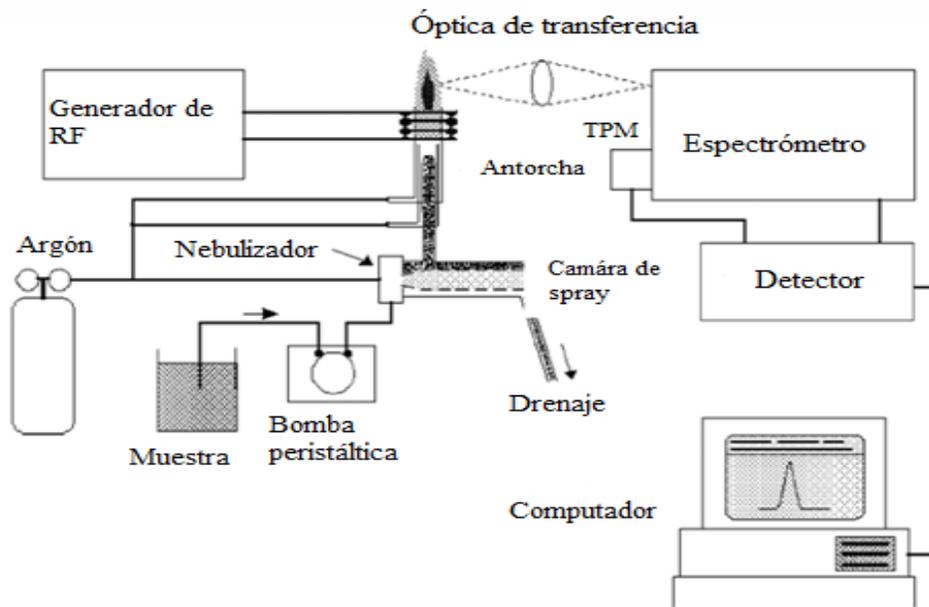


Figura 1. Diagrama de un Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES).

El ICP-OES se ha convertido en los últimos años en la fuente más utilizada en espectroscopia de emisión. Esta técnica proporciona datos analíticos de mayor precisión y exactitud, que otras fuentes de emisión. La calidad de estos resultados radica en la gran estabilidad, bajo ruido, poca radiación de fondo y en la ausencia de interferencias de las fuentes, cuando se opera en las condiciones experimentales apropiadas (Manning, T, Grow, W, 1997).

La técnica se emplea para una amplia variedad de aplicaciones, ya que un gran número de elementos pueden ser determinados rápidamente a niveles traza, y porque una amplia variedad de tipos de muestras pueden ser analizados utilizando esta técnica. Sus principales desventajas son el alto costo de los equipos, el alto ruido de fondo, y las interferencias ocasionadas por las bandas de grupos hidroxilos (Marcano *et al*, 2010).

La información obtenida mediante los análisis de suelos, es una buena base para hacer recomendaciones sobre fertilización o remediación para situaciones específicas. Se ha demostrado que dichos análisis constituyen una excelente guía para el uso racional de

los fertilizantes. La eliminación y la acumulación de los elementos químicos se consideran la más decisiva, responsable en la mayoría de los casos hasta aumentos de 50 % en el rendimiento de los productos obtenidos. También como línea base para biorremediar esos suelos, sí existen elementos tóxicos en altas concentraciones que afecten la salud humana.

Basado en lo antes expuesto, en este trabajo de investigación se determinaron los elementos esenciales y tóxicos presentes en el suelo del sector agrícola de Caño de Cruz, con el objetivo de determinar si el contenido de los elementos de los suelos estudiados están acorde con los productos que se cultivan, además verificar si dichas concentraciones están dentro de los niveles permisibles en zonas de cultivos, aunado a la optimización de la digestión de las muestras y de la técnica del ICP-OES. De esta manera, sentar las bases que permitan el aprovechamiento de los suelos de la región en beneficio de la población que allí habita y garantizar si son o no fértiles para otros cultivos.

## METODOLOGÍA

### Selección de los suelos en la localidad de Caño la Cruz Municipio Andrés Eloy

#### Blanco

Se seleccionaron muestras de suelos en un sector representativo de la localidad de Caño de Cruz municipio Andrés Eloy Blanco, ubicado en el estado Sucre, los cuales son empleados para el cultivo de ocumo chino (*Colocasia esculenta*) y cacao (*Theobroma cacao*).

En la Figura 2 se muestra una de las zonas agrícolas de Caño de Cruz, donde se tomaron 6 puntos identificados con el sistema de posicionamiento global, por sus siglas en inglés (GPS) y cada punto se subdividió en 3 profundidades. (Superficial (0-5 cm), 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad), en total 18 puntos de los suelos de la zona agrícola en estudio, lo que equivale a 18 muestras de suelo. En donde S1.0 corresponde al suelo uno superficial (0-5 cm), S1.1 al suelo uno tomado de 5-10 cm de profundidad, S1.2 al suelo uno tomado a 10-20 cm de profundidad y así sucesivamente hasta el suelo S6.2, para completar los 6 puntos de suelos muestreados, para un total de 18 muestras de suelos.



Ubicación con el GPS de los puntos 1=10° 18. 497'N y 63° 14. 832'S; 2=10° 18. 508'N y 63° 14. 778'S; 3=10° 18. 486'N y 63° 14. 770'S; 4=10° 18. 471'N y 63° 14. 727'S; 5=10° 18. 441'N y 63° 14. 773'S y 6=10° 18. 410'N y 63° 14. 838'S.

Figura 2. Zona en el mapa y fotografía del área agrícola del Caño de Cruz municipio Andrés Eloy Blanco, estado Sucre

Para la recolección de las muestras se utilizó un nucleador, palas de teflón y bolsas de polietileno. Luego se secaron y se analizaron a nivel fisicoquímico, en el laboratorio de suelos del Departamento de Química y en el Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Oriente (IIBCAUDO).

### **Preparación de los suelos**

Las muestras de suelo recolectadas, se extendieron y se dejaron secar a temperatura ambiente durante tres a cuatro días, removiéndolas periódicamente hasta dejarla libre de humedad (en una cápsula de porcelana previamente pesada se colocó una muestra de suelo. La muestra se secó durante 24 horas en una estufa controlada a una temperatura de 105°C, transcurrido dicho periodo de tiempo fue retirada de la estufa y se dejó enfriar a temperatura ambiente en un desecador durante 2 horas. Finalmente se midió la masa de la capsula de porcelana. El porcentaje de humedad en la muestra se calculó mediante la siguiente expresión:  $H = (M_h - M_s / M_h) * 100$ , donde,  $M_h$  es la masa del suelo húmedo y  $M_s$  es la masa del suelo secado a 105°C por 24 horas), luego se tamizó hasta 2 mm para homogenizar las muestras.

### **pH de los suelos**

Se pesaron 5 g de suelo y se mezclaron con 12,5 ml de agua desionizada en un beaker de 50 ml de capacidad. Se aplicó agitación magnética a la mezcla por 30 minutos, posteriormente, se midió el pH de la mezcla. De igual manera, se midió el pH del suelo empleando una solución de KCl 1 mol l<sup>-1</sup>, en lugar de agua desionizada (Jackson, 1976).

### **Digestión por microondas de los suelos**

Se pesaron 0,5 g de suelo, previamente molido y tamizado, se agregaron a los porta muestra del equipo de digestión de microondas (modelo Stard D, marca Milestone) (Figura 3), equipado con rotor para 10 recipientes y operado a través de un terminal de control, software EasyCONTROL de Milestone (Milestone, 2006). Al envase que contenía la masa de suelo se le agregaron 10 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado, luego se le colocó la tapa y se le realizó un torque para cerrarlo, del mismo modo se le realizó a cada uno de los porta-muestras, y luego fueron introducidas en el equipo para su

digestión durante 20 minutos. Posteriormente, se dejó reposar hasta bajar la temperatura y presión de los porta- muestras. Las soluciones de las muestras se enrasaron en balones de 25 ml con agua desionizada.



Figura 3. Digestor de microondas, modelo Stard D.

### **Determinación de los metales a través de la Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES)**

Se determinaron las concentraciones de metales en la solución obtenida, mediante espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES), modelo optima 5300 DV, marca PERKIN ELMER (Figura 4). Se aplicó el control de calidad de las medidas, curva de calibración, límite de detección, precisión y exactitud. De igual forma en el ICP-OES se optimizaron los siguientes parámetros operativos:

- Las mangueras de aspiración y desagüe de las muestra (para que entrara y saliera la cantidad adecuada).
- El correcto funcionamiento del nebulizador para el tipo de muestra.
- Se comprobó que la cámara del nebulizador se encontrara limpia y en buen estado.

- Evitamos la acumulación de líquido dentro del inyector.
- Alineamos la antorcha mecánica y electrónicamente (mediante el programa del equipo).
- Alineamos la óptica del equipo mediante los detectores ultravioleta y visible, empleando patrones de calibración certificados.
- Se comprobó la correcta ubicación de la zona analítica para la antorcha.
- Aseguramos el tiempo óptimo de lavado y la aspiración de la muestra mediante la disolución ácida (1% de  $\text{HNO}_3$ ).



Figura 4. Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) Optima 5300 DV.

### **Optimización del Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES)**

En la Tabla 1 se representan algunos componentes e insumos del ICP-OES que son importantes para su óptimo funcionamiento. Para ello, la antorcha y el inyector de 1,8 mm de diámetro se colocaron en remojo en una solución de  $\text{HNO}_3$  al 4 % por 24 horas. Transcurrido este tiempo, se colocaron en un horno a 550 °C por 24 horas, para eliminar cualquier residuo de impureza. Una vez enfriados, se instalaron de nuevo en el equipo, se cambiaron todas las mangueras de transporte de la muestra y desagüe. Se limpió la parte óptica de vista axial y radial con una solución de etanol concentrado, se instaló el nebulizador Meinhard de alta precisión, ya que es uno de los mejores, porque

no acepta ninguna cantidad de sólidos disueltos en la muestra, se instalaron los cilindros de argón y nitrógeno con grado analítico de ultra alta pureza (UAP) con flujo de 90 y 40 psi, respectivamente. Se cambió el agua del recirculador con agua destilada y se purgó el compresor de aire, el primero enfría (13 °C) la espiral de la antorcha y el segundo realiza la zona de corte para que quede expuesta la zona analítica del plasma hacia los detectores (Boss y Freedon 1999).

Tabla 1. Componentes e insumos del ICP-OES Optima 5300 DV

	Dispositivo	Característica
Introducción de la muestra	Nebulizador	Meinhard de alta precisión
	Cámara de nebulización	Cámara de doble paso tipo Scott
Generador de RF	Antorcha	1-Slot Quartz Torch
	Frecuencia de operación	40 MHz free running
	Tipo	estado sólido (no requiere tubos amplificadores de potencia)
Espectrómetro	Configuración óptica	Policromador con sistema óptico ECHELLE
	Modo vista Plasma	Axial-Radial
	Diámetro del inyector	1,8 mm
	Detector	SCD 235 subarreglos direccionales con más de 600 pixeles en un sustrato de silicio de 13x19 mm
Pureza de los gases	Argón ≥ 99,996%	Nitrógeno ≥ 99,999%

Culminada la limpieza y la optimización de la parte externa se procedió a realizar la calibración y optimización de la parte interna del equipo, la cual consistió en analizar un patrón de Mn, cuya concentración fue de 1 mg l<sup>-1</sup>, a la longitud de onda de 257,610 nm, para una correlación entre la alineación electrónica y la alta intensidad, expresado en cuenta por segundo (cps) en función de la concentración de Mn, tanto para la vista axial como para la radial, representado en la Tabla 2 los valores obtenidos.

Tabla 2. Valores obtenidos para la calibración del equipo en las vistas axial y radial de la posición de la antorcha, usando una solución de Mn ( $1 \text{ mg l}^{-1}$ ).

Posición de los ejes		Intensidad (cps)	Posición de los ejes		Intensidad (cps)
X	0,0 mm	238 952,7	X	0,1 mm	195 388,3
Y	15, 0 mm	238 952,7	Y	15, 0 mm	195 388,3
Axial			Radial		

Finalmente se procedió a analizar las muestras, las cuales se introdujeron en estado líquido y nebulizadas para formar un aerosol, un nebulizado muy fino de gotitas de la muestra, con el propósito de ser introducidas al ICP-OES. El aerosol de la muestra es luego transportado hacia el centro del plasma por el flujo interno de argón (o el nebulizador). La primera función del plasma de alta temperatura es la de remover el solvente, o desolvatar el aerosol, dejando usualmente las muestras como partículas microscópicas de sal. Los siguientes pasos involucran la descomposición de las partículas de sal para formar un gas de las moléculas individuales (vaporización) las cuales entonces son disociadas en átomos (atomización). En la tabla 3, podemos observar los parámetros utilizados para el control del plasma.

Tabla 3. Parámetros utilizados para el control de plasma.

Control del plasma			
Proporción de flujo (L/min)		Poder de radio frecuencia (Watts)	Bomba peritáctica (mL/min)
Plasma	15		
Auxiliar	0,4	1400	15
Nebulizador	0,8		

En la Figura 5, se visualiza la vista Axial y Radial de la antorcha con la solución de Mn ( $1 \text{ mg l}^{-1}$ ). La vista axial fue la que obtuvo mayor intensidad ya que la zona analítica esta de frente al detector en comparación a la zona radial (Boss y Freedon 1999). Una vez obtenida y alineada la antorcha mecánica y electrónicamente, tanto axial como radial del ICP-OES, se procedió a calibrar los diferentes elementos con sus respectivas longitudes de onda, para los detectores de ultravioleta (UV) y de visible (VIS) que posee el equipo, representado en la figura 5 con patrones certificados, que lo

distribuye la empresa PERKIN ELMER exclusivamente (Montaser *et al.*, 1992; Manning *et al.*, 1997, y; Boss y Freedon 1999).

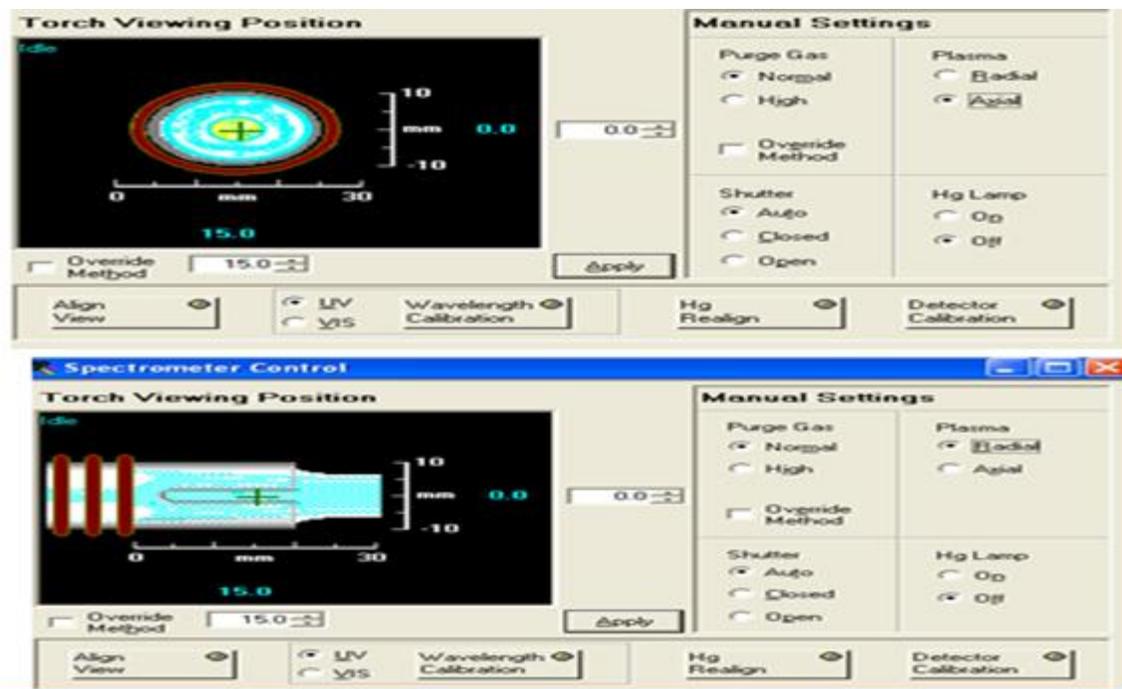


Figura 5. Alineación electrónica de la vista axial y radial de la antorcha.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Determinación de las concentraciones de los elementos esenciales que conforman los macronutrientes (K, Ca, Mg, Na, P, S), micronutrientes (Fe, Zn, Cu) y tóxicos (Cd y Pb) de los suelos.

#### Determinación del pH

Los valores de pH determinados en las muestras de suelos a diferentes profundidades, con solución de KCl ( $1 \text{ mol l}^{-1}$ ) y con  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada, se presentan en la Tabla 3. En forma general, los valores de pH en las muestras con soluciones de KCl fueron menores, en intervalos de diferencias desde 0,08 hasta 1,3 unidades, con respecto a los obtenidos con  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada.

La determinación del pH de un suelo tiene limitaciones, dado que varios factores afectan su medición, entre ellos el más importante es la concentración salina. Una de las ventajas que tiene la determinación del pH en una solución salina es que el valor obtenido es más práctico, debido a que la concentración de  $\text{H}^+$  en la superficie de las partículas del suelo pueden ser 100 a 1000 veces mayor que la solución que las rodea y estadísticamente porque se obtienen los valores por triplicado y se obtienen un promedio final (Bohn *et al.*, 2001).

Las soluciones más usadas para determinar el pH de un suelo son agua desionizada, agua destilada, soluciones de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol l}^{-1}$  y soluciones de KCl  $1 \text{ mol l}^{-1}$  (Sadzawka *et al.*, 2006). La solución de KCl  $1 \text{ mol l}^{-1}$  posee una actividad de  $\text{K}^+$  lo suficientemente alta como para liberar a la solución el aluminio intercambiable. Otra ventaja importante, es que tiene el uso de soluciones salinas en la determinación del pH del suelo, es que los valores obtenidos son menos susceptibles a las variaciones experimentales (Sadzawka y Flores, 1996). En comparación con soluciones de KCl, los resultados demuestran que el agua, como solvente, no es muy apropiada para usarla en las determinaciones de pH en suelos. En un estudio realizado por Sadzawka *et al.*, (2000) con 139 muestras de suelos superficiales de la Araucanía, el pH medido en KCl

fue 0,9 unidades inferior al pH medido en H<sub>2</sub>O desionizada, lo que comprueba que el KCl disminuye el pH. El KCl extrae más iones H<sup>+</sup>, por medio de intercambio iónico y tiende a bajar el pH. Los valores de pH determinados con H<sub>2</sub>O desionizada en muestras de suelos en nuestra área de estudio son moderadamente básicos, exceptuando S1.0 y S4.0, que son suelos superficiales, y son ligeramente ácidos, en comparación al punto S5.0, que es superficial y tienden a ser neutro. El pH menor obtenido con H<sub>2</sub>O desionizada, representado en el punto S1.0 (6,26) y el pH de mayor valor, representado en el punto S4.1 (7,97), tal como aparece resaltado en la Tabla 4.

Paralelo a lo planteado en relación al pH, en los cultivos de ocumo chino (*Colocasia esculenta*) y cacao (*Theobroma cacao*) se establece bien en suelos de textura suelta, arcillosos agregados, franco arenosos y franco-limoso, con contenidos de materia orgánica de 3,5%, profundidad de 30 cm y 1,5 m respectivamente, cuyo pH sea entre 5,5 y 7 (Salinas, 2006), por lo que las medidas de pH determinadas en los suelos estudiados están acorde con las establecidas para estos cultivos.

Tabla 4. Valores de pH, medidos en muestras de suelos a diferentes profundidades en soluciones de KCl y en H<sub>2</sub>O desionizada.

Suelos	Profundidad (cm)	KCl 1( mol l <sup>-1</sup> )		H <sub>2</sub> O desionizada	
		masa (g)	pH	masa (g)	pH
S1.0	0-5	5,005	5,54	5,002	6,26
S1.1	5-10	5,005	7,07	5,008	7,34
S1.2	10-20	5,002	6,81	5,007	7,49
S2.0	0-5	5,003	7,67	5,008	7,87
S2.1	5-10	5,002	6,59	5,013	7,89
S2.2	10-20	5,002	6,89	5,005	7,37
S3.0	0-5	5,003	6,97	5,004	7,50
S3.1	5-10	5,007	7,35	5,004	7,74
S3.2	10-20	5,008	6,83	5,010	7,78
S4.0	0-5	5,005	5,72	5,010	6,31
S4.1	5-10	5,002	7,87	5,010	7,97
S4.2	10-20	5,006	7,54	5,010	7,62
S5.0	0-5	5,010	7,05	5,010	7,12
S5.1	5-10	5,010	7,22	5,010	7,47
S5.2	10-20	5,002	7,25	5,003	7,69
S6.0	0-5	5,005	7,32	5,010	7,68
S6.1	5-10	5,001	7,35	5,010	7,48
S6.2	10-20	5,010	6,27	5,010	6,90

Al analizar los suelos por profundidades, en la figura 6 se puede observar que a nivel superficial (0-5) cm, no hay variaciones significativas entre los valores de pH obtenidos en las soluciones de KCl y agua desionizada.

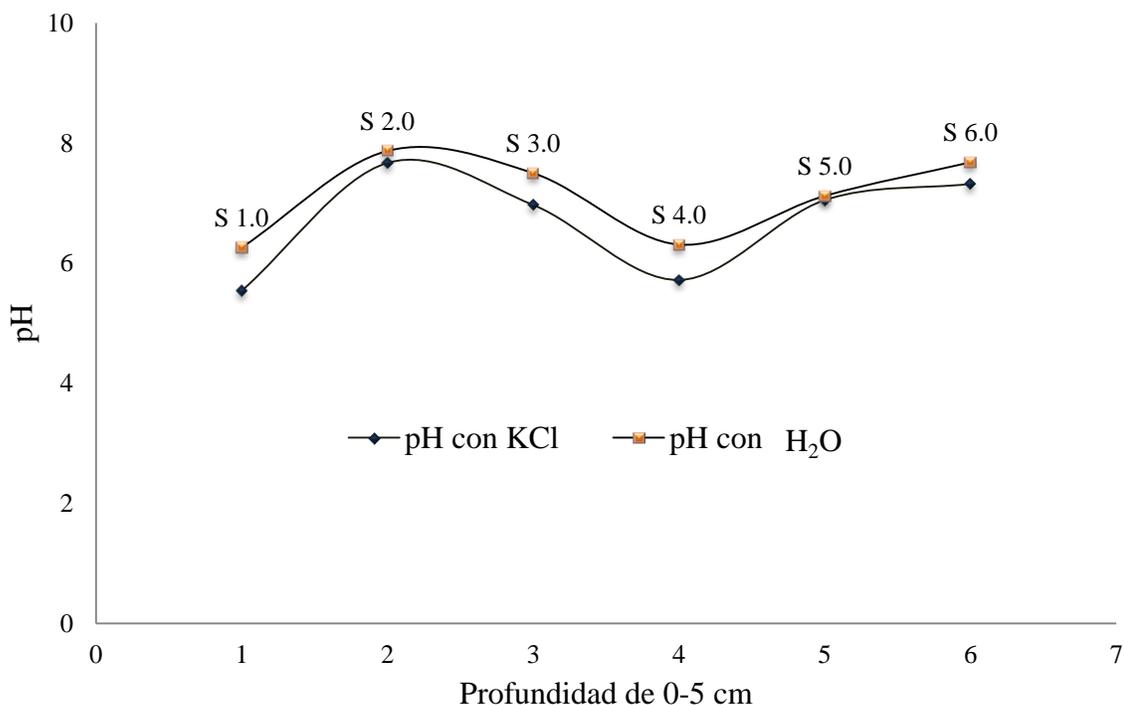


Figura 6. Valores de pH en muestras de suelos superficial (0-5) cm.

En el caso de los suelos obtenidos en la profundidad de 5-10 cm, representados en la figura 7, se puede observar que los valores de pH son similares a los obtenidos a nivel superficial, exceptuando el punto S2.1. Muchos de los factores que afectan al pH de la solución, en general, son los cationes ácidos ( $M^+$ ) (hidrógeno y aluminio), cuando son liberados a la solución del suelo, produce un aumento en la solución del hidrógeno y, por lo tanto, una disminución en el pH. Los cationes básicos o bases de intercambio ( $Ca^+$ ,  $Mg^+$ ,  $K^+$  y  $Na^+$ ) no producen cambios de pH en la solución del suelo y su nombre probablemente proviene del hecho que, si aumenta su proporción en el complejo coloidal del suelo, disminuye la de cationes ácidos y, consecuentemente, el pH será mayor (Sadzawka y Campillo, 1999).

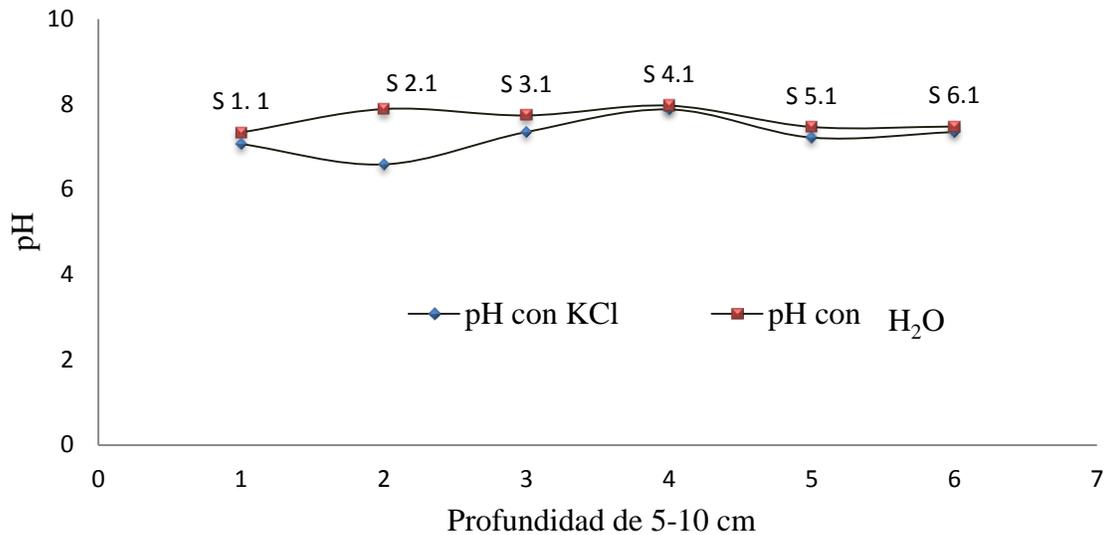


Figura 7. Valores de pH en muestras de suelos a un nivel de 5-10 cm de profundidad.

En el caso de los suelos recolectados, a la mayor profundidad de 10-20 cm, el pH oscila entre 6,27 a 7,78; lo que es indicativo que su tendencia química es hacia homogeneidad del pH, excepto en el punto S3.2, donde el pH oscila entre 6,83 a 7,78; por lo que se comporta como el suelo superficial. La mayoría de los elementos tienden a estar más disponibles a pH ácido porque son menos adsorbidos. Este poder de adsorción será máximo en la región superficial, cuando su competencia con los H<sup>+</sup> es mínima, lo que se consigue a diferentes pH según el mineral (Sposito, 1989). Sin embargo la importancia de los minerales de la arcilla como adsorbentes es secundaria cuando en un suelo existe abundante materia orgánica y/o oxihidróxidos de hierro, componentes más competitivos (Galán, 2000).

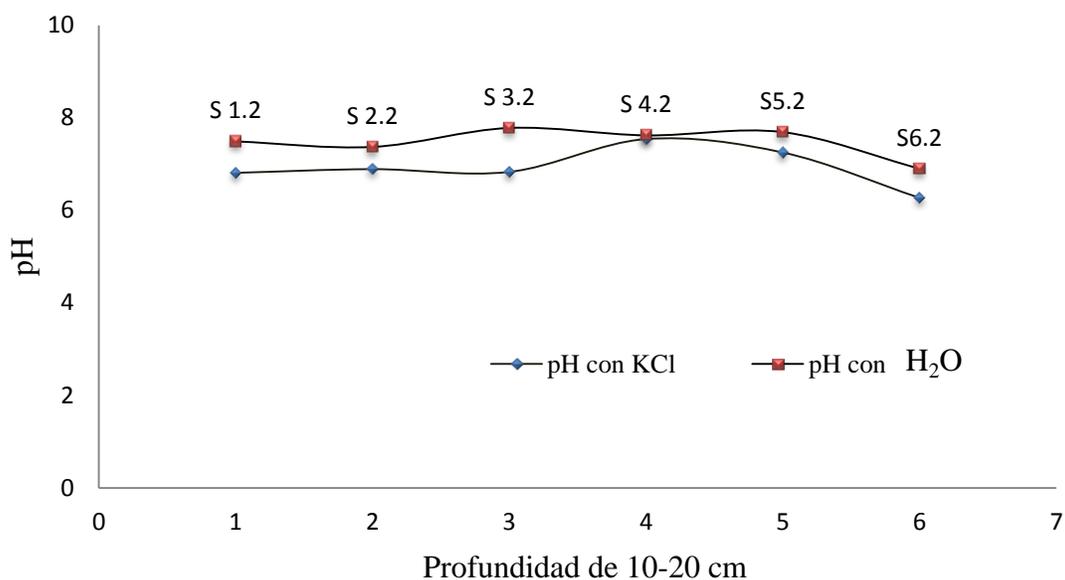


Figura 8. Valores de pH en muestras de suelos a un nivel de 10-20 cm de profundidad, en KCl y en H<sub>2</sub>O desionizada.

Aunque la cantidad de H<sup>+</sup> en la solución de suelo normalmente, es pequeña, la actividad de estos iones es muy importante. Las formas químicas de muchos elementos del suelo y los procesos microbianos que ocurren en el suelo están tan estrechamente relacionados al pH que no existe otra medida del suelo que integre tanta información. Algunos elementos influenciados por el pH afectan la nutrición de los cultivos. Cuando se tiene un pH entre 5,1-5,5 hay exceso de Fe, Zn y Cu; deficiencia de Ca, K, Mg, S y un pH entre 5,6-6,0 es muy adecuado para la mayoría de los cultivos (Sposito, 1989). En adición a estos suelos son considerados de acuerdo al análisis, superficial 0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad, con valores de pH óptimos para la mayoría de los cultivos de cosecha (café, cacao, maíz, ocumo chino, entre otros) (Espinoza *et al.*, 2008); por ejemplo, para el desarrollo del café debe de ser entre 5,8 a 6,5 (Monge, 1999).

### Digestión por microondas de las muestras de suelos

Se procedió a optimizar los parámetros del digestor de microonda, para evitar que las muestras contengan sólidos que interfieren con los análisis en el ICP-OES y

tiende a tapan el capilar del equipo, y la razón, mas importante obtener la mayor información posible de las muestras a ser analizadas.

Los parámetros optimizados fueron tiempo en minutos, temperatura en grados Celsius y la potencia en wattio, los cuales se presentan en la figura 9. Variando los parámetros de uno a la vez dejando fijo los otros (Luna et al., 2003). Finalmente, se determinaron los parámetros requeridos para las muestras de suelos, en los cuales no se observó ningún residuo sólido en las soluciones digeridas.

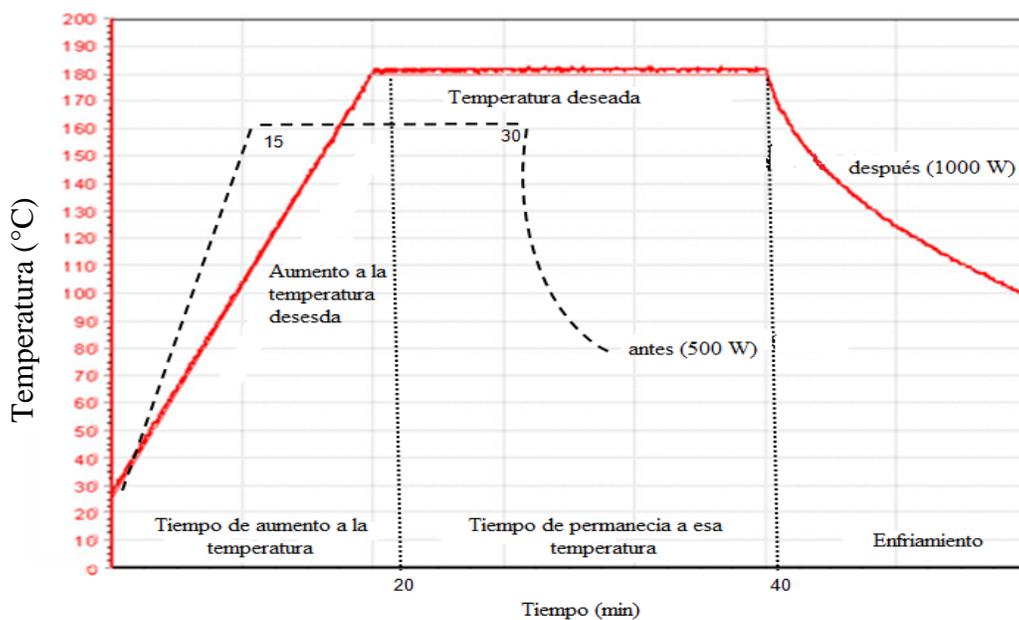


Figura 9. Representación de los parámetros optimizados a través del programa del digestor de microondas.

En la Tabla 5 se representan los parámetros en el programa de digestión de microonda para las muestras de suelos. Con un tiempo de 15 minutos, temperatura de 180 °C y una potencia de 500 W quedaban residuos sólidos en la muestra. Con la optimización del tiempo a 20 minutos, la temperatura de 200 °C y la potencia a 1000 W, las sales fueron disueltas completamente en las muestras de suelo. Esta modificación permitió obtener una reacción rápida y una degradación completa de la muestra, sin quemarla (Milestone, 2006). Una vez optimizados los parámetros se procedió a digerir las muestras de suelos.

Tabla 5. Parámetros obtenidos para la optimización del proceso de digestión de muestras de suelos.

Paso del programa	Parámetros sugeridos por el manual del equipo				
	Tiempo (min)	T1(°C)	Potencia (W)	Volumen de HNO <sub>3</sub> (ml)	Masa (g)
1	15	180	500	10,0	0,500
2	15	180	500		
Parámetros optimizados					
1	20	200	1000	10,0	0,500
2	20	200	1000		

### Curvas de calibración

Las medidas de las concentraciones de los elementos en estudio se llevaron a cabo empleando varias curvas de calibración (incluyendo el blanco en todas). Se emplearon tres (03) líneas de emisión por cada elemento, exceptuando el K, para el cual solo se utilizó la longitud de onda de 766,490 nm, ya que es la que presenta mayor intensidad y menor interferencia normalmente en los análisis. Cabe resaltar que para todos los elementos se escogió la línea que presentó menor interferencia espectral y menor desviación estándar relativa ( $\leq 15\%$ ) de las medidas obtenidas, de acuerdo al criterio de selección para el ICP-OES.

Las longitudes de onda que se tomaron de acuerdo al criterio planteado para los iones medidos (Pb<sup>+</sup>; Cd<sup>+</sup>; Fe<sup>2+</sup>; Cu<sup>2+</sup>; Zn<sup>2+</sup>; Mg<sup>2+</sup>; Na<sup>+</sup>; P<sup>3-</sup> y S<sup>2-</sup>), basado en la mayor intensidad y la menor desviación estándar relativa (% DSR), están representadas en la Tabla 6 (Montaser *et al.*, 1992; Manning *et al.*, 1997, y; Boss y Freedon 1999).

Tabla 6. Longitudes de onda seleccionadas para cada elemento (macronutrientes, micronutrientes y tóxicos).

Nutrientes	Elemento	Longitud de onda (nm)
Macronutrientes	$K^+$	766,490
	$Ca^{2+}$	317,933
	$Mg^{2+}$	280,271
	$Na^+$	588,995
	$P^{3-}$	213,617
	$S^{2-}$	181,975
Micronutrientes	$Zn^{2+}$	206,200
	$Cu^{2+}$	327,393
	$Fe^{2+}$	238,204
Tóxicos	$Cd^+$	228,802
	$Pb^+$	220,353

A las longitudes de ondas seleccionadas para cada elemento, se procedió a obtener de nuevo las curvas de calibración y, a partir de allí, determinar las concentraciones de los iones en las muestras de suelos. En la Figura 10, se presentan las curvas de calibración para cada elemento a la longitud de onda seleccionada.

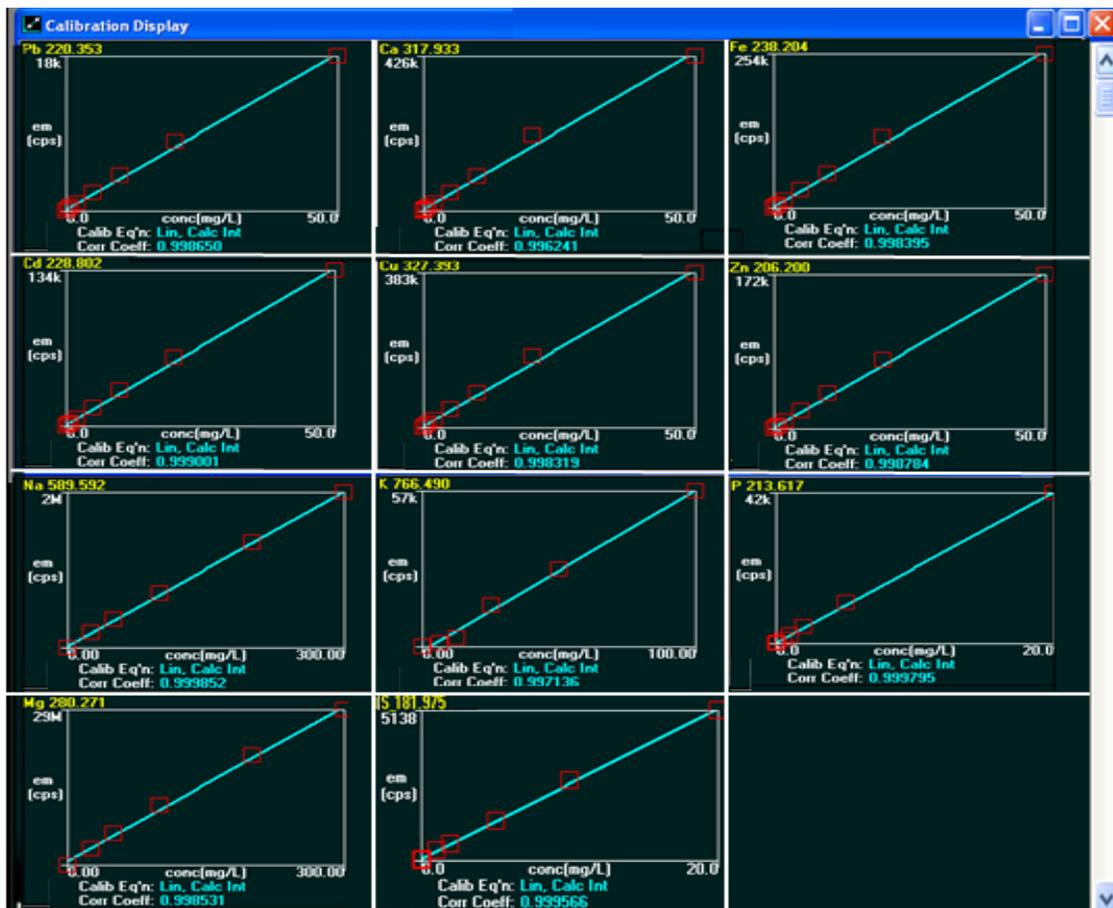


Figura 10. Ecuaciones de las curvas de calibración para los elementos determinados en los suelos.

Las variables y parámetros controlados en el proceso de medición por muestras fueron, número de réplicas (3), tiempo de aspiración de la muestra (25 s), lavado del capilar (60 s) y tiempo de integración (1 a 3 s). De esta manera se evitó interferencias en la precisión de las mediciones.

En la Tabla 7 se presentan los rangos del límite de detección de los elementos determinados, de acuerdo a la longitud de onda asociada a las líneas atómicas (I) o iónicas (II), señaladas en el ICP-OES; por debajo de este límite no se pueden determinar estos elementos con esta técnica (Boss y Freedon 1999).

Tabla 7. Rangos de límites de detección y líneas atómicas (I) e iónicas (II) de cada elemento químico determinado.

Iones Determinados	Rango del límite de detección ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )*	Límite de detección ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )**	Límite de detección ( $\text{mg kg}^{-1}$ ***)
Ca 317,933 –II	< 0,1	0,77	38,5
Cu 327,393-I	0,1-1	0,31	15,5
Fe 238,204-II	< 0,1	11,05	552,5
Zn 206,200-II	0,1-1	0,12	6,0
K 766,490-I	0,1-1	8,93	446,5
Na 588,995-I	0,1-1	0,79	39,5
Mg 280,271-II	< 0,1	2,89	144,5
S 181,975-I	1-10	2,42	121,0

\*límite de detección del equipo, \*\*límite de detección calculado en  $\mu\text{g l}^{-1}$ , \*\*\*límite de detección calculado en  $\text{mg kg}^{-1}$

### **Determinación de las concentraciones de los elementos que conforman los macronutrientes (K, Ca, Mg, Na, P y S) en los suelos.**

#### **Potasio**

El potasio suple del 1 al 4% del extracto seco de la planta y tiene muchas funciones, entre ellas, activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulan la vida). Por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. Además, los valores altos de potasio mejoran el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, bajas temperaturas (heladas) y salinidad. (Martínez *et al.*, 1984; Loué, 1988; Raij, 1998; Ulloa *et al.*, 1999). Las plantas bien provistas con K sufren de menos enfermedades, como la fusariosis y la mancha negra del tubérculo. (Chamorro, 2002). Los suelos estudiados presentan elevadas concentraciones de potasio, por lo tanto no tienen el riesgo de sufrir estas enfermedades. En la Figura 11 se representa la variación del contenido de K en los suelos estudiados, el punto S4.0 posee la mayor concentración y el punto S1.0 posee la menor concentración, notándose que a nivel superficial (0-5 cm), las concentraciones de potasio son variables. El K en el punto S4.1 posee la mayor concentración y el punto S3.1 posee la menor concentración a nivel

de profundidad de 5-10 cm, en comparación a los suelos superficiales, los valores de concentración de K son también variables y resaltando de nuevo el punto S4.1, lo que es indicativo que en este punto hasta 5-10 cm de profundidad se mantiene la concentración de K elevada con respecto a los otros puntos. En relación a la profundidad de 10-20 cm, el punto S3.2 posee la mayor concentración del elemento químico y el punto S1.2 posee la menor concentración, lo que resalta que en los suelos superficiales (0-5 cm, profundidad 5-10 cm y 10-20 cm la concentración de K se comporta en forma heterogénea, lo que implica que está directamente relacionado con el entorno del suelo estudiado.

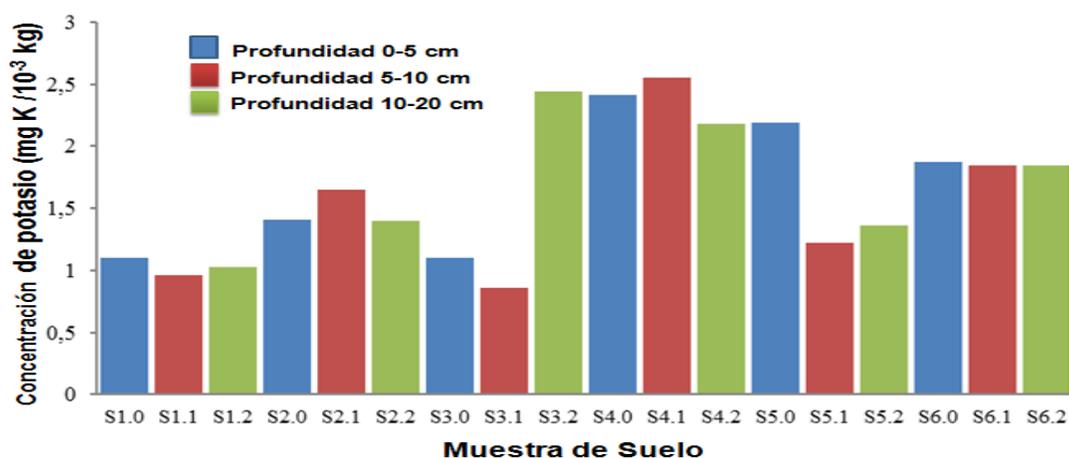


Figura 11. Contenido de K en muestras de suelos en las diferentes profundidades

Los suelos analizados presentan concentraciones de K comprendidas entre 859 y 2553 mg kg<sup>-1</sup>. En estudios realizados por investigadores en suelos agrícolas (Marschner, 1985; Castro, 1998; Brady y Weil, 1999), el potasio mostró valores más bajos (360 y 1749 mg kg<sup>-1</sup>) que los encontrados en esta investigación. En general, en toda el área estudiada se encuentran niveles de potasio elevados, con respecto a otros estudios para el desarrollo agrícola, el nivel de potasio óptimo según Dudal (1965) está comprendido entre (40 y 500 mg kg<sup>-1</sup>).

## Calcio

El Calcio (Ca) es esencial para el crecimiento de las raíces como un constituyente del tejido celular de las membranas. Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca para las plantas, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en Ca. Sin embargo, el objetivo de la aplicación de Ca es usualmente el del encalado, es decir reducir la acidez del suelo (Brady y Weil, 1999, Havlin *et al.*, 2005). Se puede visualizar en la Figura 12 que las concentraciones de Ca a nivel superficial (0-5) cm, específicamente en los puntos S2.0 y S3.0, son similares y los de mayor concentración, mientras que en el punto S1.0 se encuentra la menor concentración de calcio. Por otro lado, a la profundidad de 5-10 cm, se puede visualizar que el punto S2.1 representa la concentración mayor y el punto S1.1 la de menor concentración. Al igual que el K, se presenta en forma heterogénea. Finalmente, la profundidad de 10-20 cm, el punto S2.2 es el de mayor concentración y el punto S1.2 presenta la de menor. Manteniéndose una concentración casi constante entre los puntos S5.2 y S6.2; pero en sentido general, las concentraciones de Ca fueron heterogéneas.

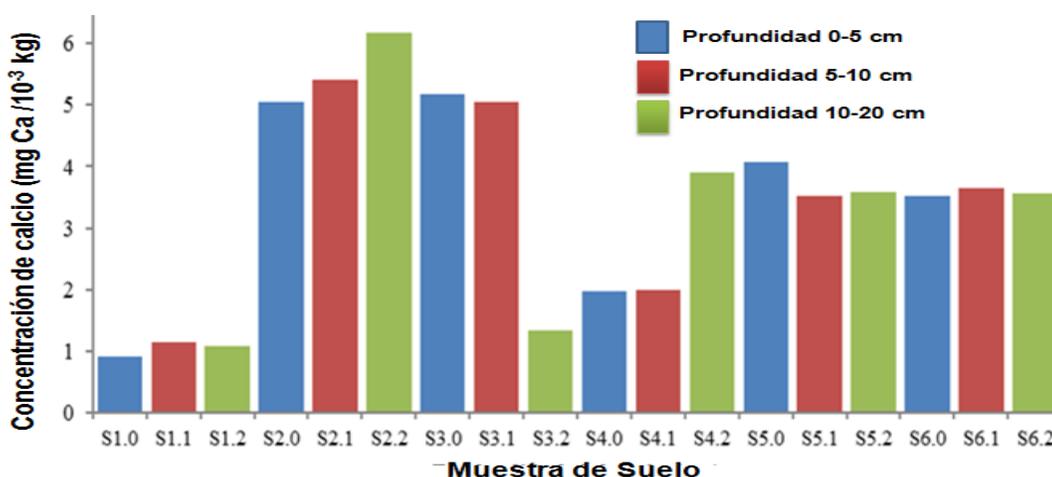


Figura 12. Contenido de Ca en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.

Los valores de concentración de Ca en este estudio estuvieron comprendidos entre 905 y 6185 mg kg<sup>-1</sup>. Aunque en estudios realizados por otros investigadores en otros suelos agrícolas, se registraron concentraciones de calcio en intervalos mayores (3759 y 11736 mg kg<sup>-1</sup>), el valor promedio obtenido en este estudio (3396 mg kg<sup>-1</sup>)

superó los niveles considerados óptimos ( $2404,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) del elemento Ca (Brady y Weil, 1999, Havlin *et al.*, 2005) por lo que aporta una gran ventaja al agricultor.

## Magnesio

El Magnesio (Mg) es el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol; por ello, del 15 al 20 % del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes. El Mg se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta (Havlin *et al.*, 2005). Como está representado en la Figura 13, las concentraciones de Mg en los suelos estudiados (superficiales y diferentes profundidades), presentan un comportamiento completamente heterogéneo, a nivel de concentración, notándose poca variación a partir del punto S3.2 hasta S6.2, excepto el punto S5.2, correspondiente a la profundidad de 10-20 cm, que posee la menor concentración. Esto lo que demuestra que la concentración de Mg es muy variada con respecto a los alrededores.

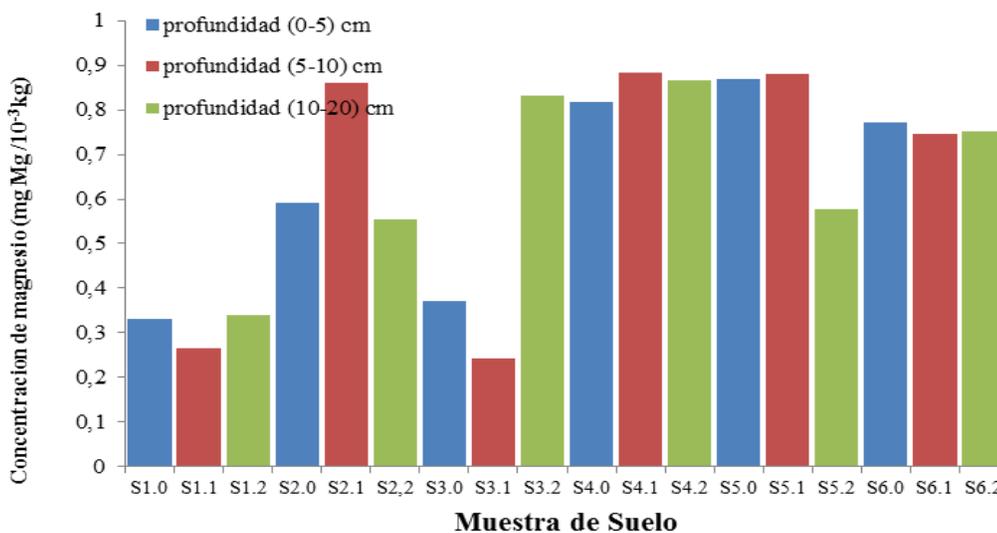


Figura 13. Contenido de Mg en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.

Los suelos evaluados poseen concentraciones de Mg comprendidas entre 242 y 881 mg kg<sup>-1</sup>. Los valores de magnesio reportados por otros investigadores estuvieron entre 229 y 941 mg kg<sup>-1</sup> según, Brady y Weil (1999) y Havlin *et al.*, (2005). Lo que indica que los resultados de esta investigación se encuentran dentro de ese intervalo de valores y no va a ocasionar ningún proceso negativo al suelo estudiado hasta el momento.

## Sodio

El sodio (Na) es un nutriente beneficioso para algunas plantas y sobre todo para el fortalecimiento del suelo. Los suelos salinos tienen altos contenidos de diferentes tipos de sales y pueden tener una alta proporción de sodio intercambiable. Los suelos fuertemente salinos pueden presentar eflorescencias en la superficie o costras de yeso (Ca<sub>4</sub>SO), sal común (NaCl), carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y otras (Rioja, 2002). Para el caso de la concentración del Na, representado en la Figura 14, se puede observar que existe una variación de concentración de Na a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad. Para los suelos superficiales (0-5) cm su máxima concentración de Na se ubica en el punto S6.0 y su mínimo en S1.0. La profundidad de 5-10 cm su máximo es el punto S4.1 y mínimo S1.1, y para el caso de profundidad de 10-20 cm su máximo se ubica en el punto S3.2, conjuntamente con el punto S4.2 y su mínimo en S1.2, respectivamente. Lo que nos lleva a concluir que la concentración de Na máxima se ubica en el punto S4.1, a la profundidad de 5-10 cm.

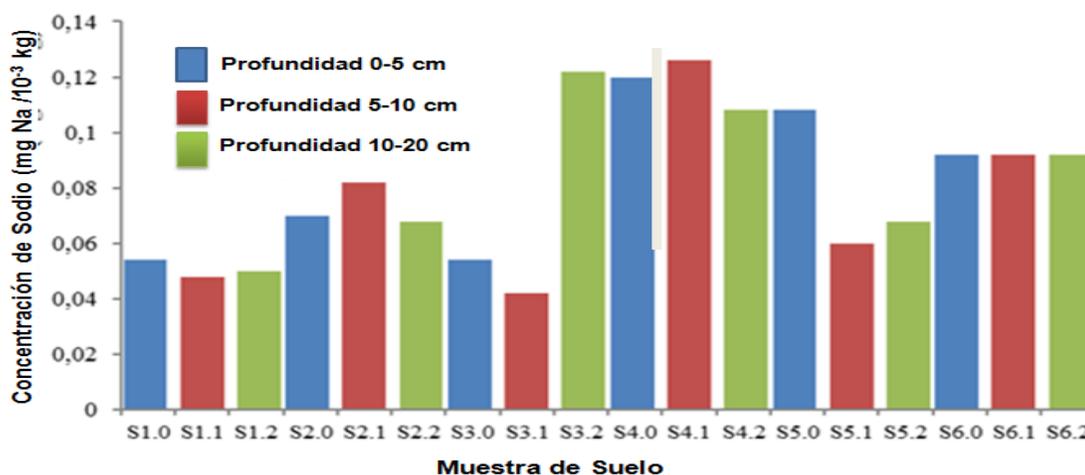


Figura 14. Contenido de Na en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.

Las concentraciones de sodio en los suelos estudiados están comprendidas entre 42 y 126 mg kg<sup>-1</sup>. El intervalo de valores obtenidos se encuentran dentro del considerado como normal (68 – 130 mg kg<sup>-1</sup>) (Rioja, 2002).

### Azufre

El Azufre (S) es un constituyente esencial de proteínas y también está involucrado en la formación de la clorofila. En la mayoría de las plantas suple del 0,2 al 0,3 (0,05 a 0,5) % del extracto seco. Por ello, es tan importante en el crecimiento de la planta como el fósforo y el magnesio (Duffus, 2002). Las concentraciones de S, representadas en la Figura 15, son muy variada en todos los niveles (superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm profundidad). Específicamente, los máximos de concentraciones fueron en los puntos S5.0 a nivel superficial (0-5) cm, S4.1 en la profundidad de 5-10 cm y S4.2 (profundidad de 10-20 cm), mientras que los mínimos fueron en S1.0, S1.1 y S1.2, a las profundidades respectivas. Todo aquel que estudie suelo, en cualquier campo, se hace necesario verificar la composición química, ya que la misma, le permitirá tomar decisiones acerca de su utilidad, en la aplicación que requiera (Duffus, 2002).

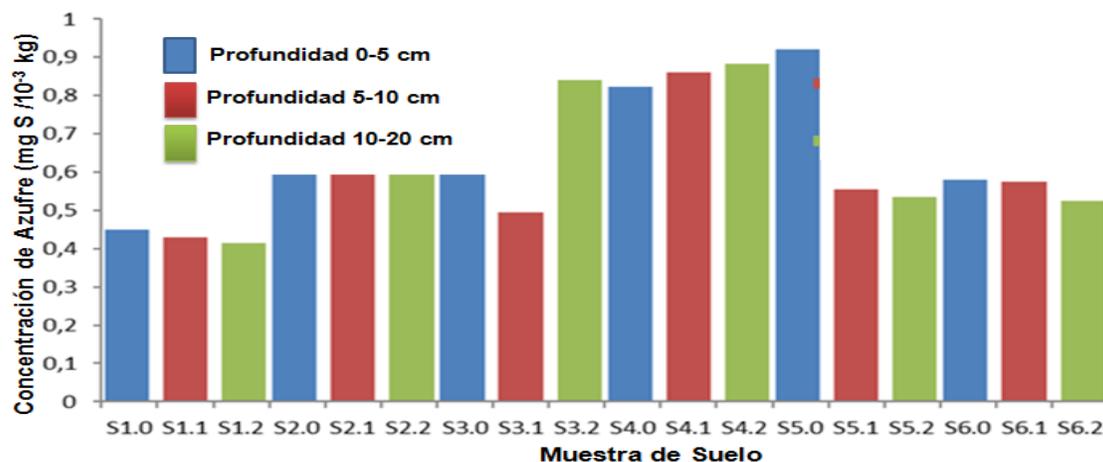


Figura 15. Contenido de S en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.

El contenido de azufre en los suelos del área de estudio está comprendido entre 414 y 920 mg kg<sup>-1</sup>, estos valores se encuentran en el intervalo de concentraciones de azufre (91,4 y 955 mg kg<sup>-1</sup>) en suelos (Brady y Weil, 1999; Duffus, 2002). Lo que conlleva a inferir que los suelos son ricos en azufre y esto podría ser por la presencia de aguas subterráneas (manantiales, aguas termales) en la zona estudiada.

Los macronutrientes (K, Ca, Mg, Na, P y S) determinados usando ICP-OES en los suelos estudiados, en forma general, se presenta un decrecimiento de la concentración (mg 10<sup>-3</sup> kg<sup>-1</sup>), tal como sigue: Ca > K > Mg > S > Na, tomando el promedio de los 18 puntos para cada uno de los elementos determinados a nivel superficial (0-5) cm, 5-10cm y 10-20 cm de profundidad.

### **Determinación de las concentraciones de los elementos que conforman los micronutrientes (Fe, Zn y Cu) en los suelos**

#### **Hierro**

El hierro (Fe) es necesario para la formación de la clorofila, catalizador en los procesos de oxidación y reducción y constituyente importante de algunas proteínas y enzimas en los suelos y plantas (Brady y Weil, 1999). En la Figura 16 se observa que el mayor valor del contenido hierro (17 070 mg kg<sup>-1</sup>) se encuentra en el punto S5.0 y su menor valor de concentración (11 385 mg kg<sup>-1</sup>) en el S2.0, en el resto de las localidades, las concentraciones no presentan diferencias entre una y otra.

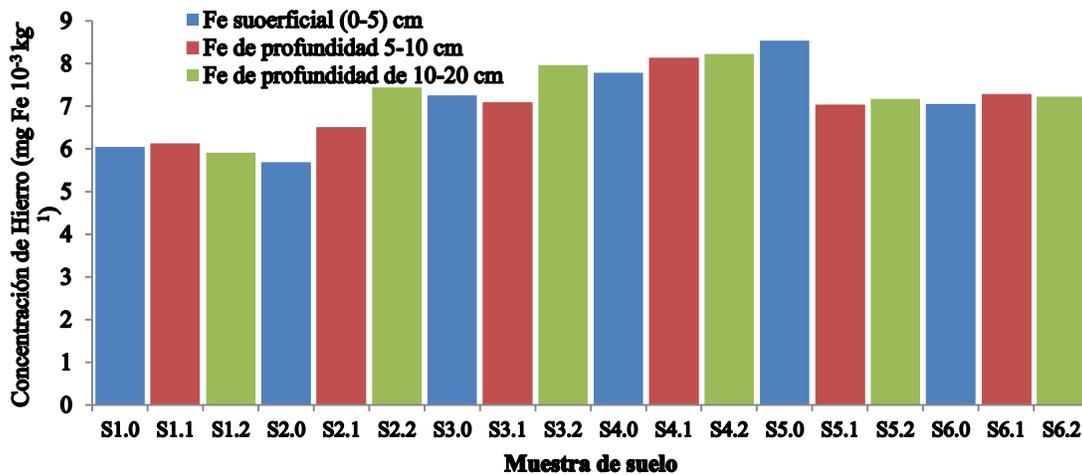


Figura 16. Contenido de Fe en muestras de suelos a nivel superficial (0-5) cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad.

### Zinc

El Zinc (Zn) interviene en la formación de hormonas que afectan el crecimiento de las plantas y participa en la formación de proteínas. Si no hay una cantidad adecuada de Zn en la planta, no se aprovechan bien el Nitrógeno ni el Fósforo del suelo y esto favorece un mejor tamaño de los frutos (Havlin *et al.*, 2005). Como se puede verificar en la figura 17, en forma general, la concentración de Zn es bastante uniforme, excepto en el punto S2.0 que es a nivel superficial (0-5) cm podemos observar la mayor concentración, pero resalta que en los puntos S1.0; S1.1; S1.2; S4.2 y S5.0 las concentraciones de Zn se encuentran por debajo del límite de detección del equipo, pero permisibles a nivel de agricultura (Brady y Weil, 1999, Havlin *et al.*, 2005).

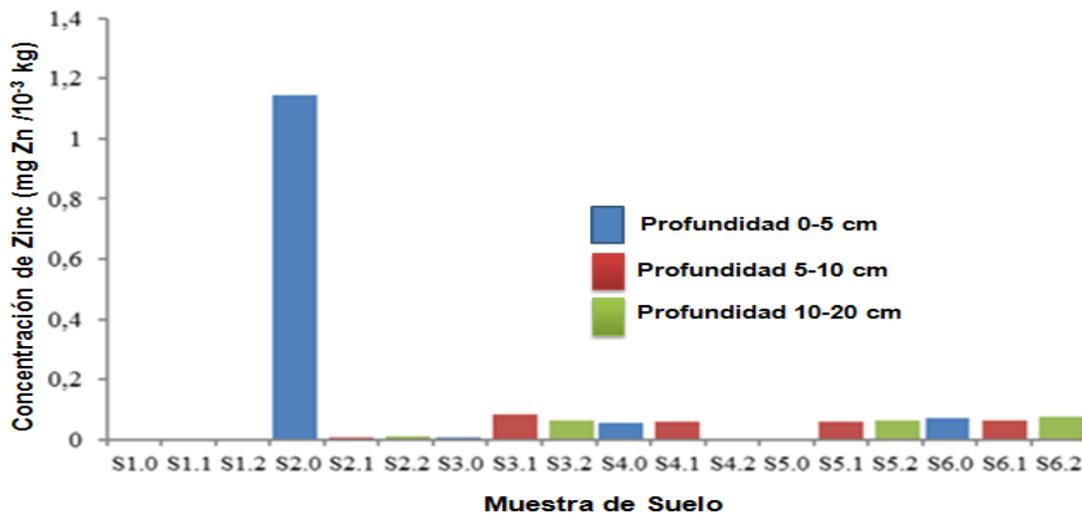


Figura 17. Contenido de Zn en muestras de suelos a nivel superficiales (0-5) cm, 5-10 cm y de 10-20 cm de profundidad.

### Cobre

En la Figura 18 se puede observar que solamente en tres puntos de los suelos (S3.2; S4.0 y S4.1), fue detectado la presencia de cobre, el punto S3.2 corresponde a la muestra de suelo de 10-20 cm de profundidad, mientras que S4.0 a la muestra superficial (0-5) cm y el punto S4.1 a la muestra de suelo de 5-10 cm de profundidad.

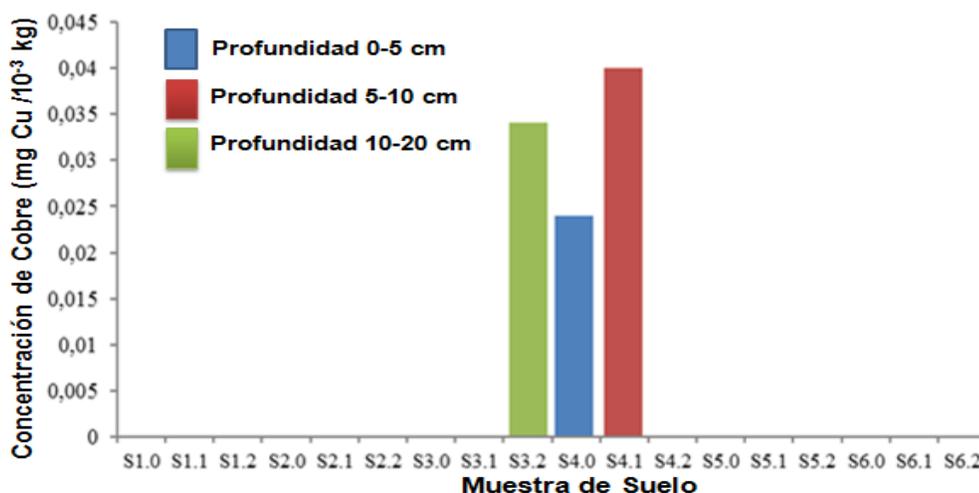


Figura 18. Contenido de Cu en muestras de suelos a nivel superficiales (0-5) cm, 5-10 cm y de 10-20 cm de profundidad.

Los valores obtenidos, en nuestro análisis de los suelos, están comprendido entre 11 385 – 17 070 mg kg<sup>-1</sup>, los cuales se encuentra dentro de los reportados por Frank y Suda (1976) en suelos agrícolas. La media obtenida por esos investigadores fue de 14

770mg kg<sup>-1</sup> y es muy similar a la encontrada en nuestra área de investigación (14 020 mg kg<sup>-1</sup>), por lo que se mantiene una coherencia en la investigación de suelos agrícolas. Cabe destacar que en nuestro estudio la concentración de zinc se encuentra entre 6 y 82 mg kg<sup>-1</sup>, excepto para el punto S2.0 que tuvo una concentración de 1144 mg kg<sup>-1</sup>. En estudios realizados por Frank *et al.* (1976) y Havlin *et al.* (2005) encontraron valores de Zn entre 0,2 y 162,0 mg kg<sup>-1</sup>, lo que permite decir que los valores encontrados en nuestra área de estudio están dentro de los encontrados por otros investigadores en áreas agrícolas.

Las concentraciones de cobre en el presente trabajo están comprendidas entre 25 y 40 mg kg<sup>-1</sup>, cifras que se encuentran dentro del intervalo (2 y 664 mg kg<sup>-1</sup>) dado por Frank *et al.* (1976), lo que es indicativo que las concentraciones obtenidas se encuentran dentro de los límites con respecto a la referencia.

El fósforo no fue detectado en los límites estudiados (>1mg l<sup>-1</sup>).

La disponibilidad de los macronutrientes y micronutrientes es esencial para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas y para obtener rendimientos elevados en los suelos. Cuando existen deficiencias de uno o varios elementos menores, éstos se convierten en factores limitantes del crecimiento y de la producción agrícola, aunque existan cantidades adecuadas de los otros nutrientes, esto lo podemos observar en la Tabla 8. Un factor determinante, si estos suelos son fertilizados o no, ya que podría ser debido al manejo inadecuado de los fertilizantes en el área estudiada. De igual forma, la heterogeneidad química del suelo es acentuada por las prácticas de fertilización, encalado y por los cultivos alternos (Williams *et al.*, 1980).

Tabla 8. Valores de concentraciones promedios de los elementos químicos (macronutrientes y micronutriente) a diferentes profundidades obtenidos de las muestras de los suelos determinados por el ICP-OES.

Profundidades de suelos (cm)	*Macronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )					*Micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )		
	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Zn	Cu
0-5	1737	3450	658	87	680	14247	215	25
5-10	1481	3458	620	74	612	13773	47	40

10-20	1488	3280	606	74	610	14043	38	35
%DER	7,89	5,65	9,80	12,65	9,45	7,24	14,27	12,87

\*El porcentaje de desviación estándar relativa (% DER) no excedió el 15% en los elementos determinados por ICP-EOS, tal como lo especifica la regla analítica.

### **Determinación de las concentraciones de los elementos tóxicos (Cd y Pb) de los suelos.**

En los suelos estudiados no se detectaron Cd y Pb, pueda que se encuentren a concentraciones menores a  $1 \text{ mg l}^{-1}$ . Esto sugiere que en los suelos agrícolas estudiados no hay entrada importante de estos metales por los fertilizantes, plaguicidas, estiércol, residuos sólidos urbanos y desde la atmósfera (Adriano, 2001).

## CONCLUSIONES

Los factores que afectan al pH de la solución, en general, son los cationes ácidos ( $M^+$ ), cuando son liberados a la solución del suelo, produce un aumento en la solución del hidrógeno y, por lo tanto, una disminución en el pH. Los cationes básicos o bases de intercambio no producen cambios de pH en la solución del suelo y su nombre probablemente proviene del hecho que, si aumenta su proporción en el complejo coloidal del suelo, disminuyendo los cationes ácidos y, consecuentemente, el pH será mayor.

En el caso de los suelos analizados mediante las metodologías utilizadas se pudieron cuantificar los elementos químicos constituidos por los macronutrientes, micronutrientes y tóxicos, con alta sensibilidad y un porcentaje de desviación estándar relativa menor a 15% en el equipo ICP-OES.

Los valores de los macronutrientes y micronutrientes fueron aceptables, en relación con otros estudios realizados en suelos agrícolas, tal como fueron desarrollados en la investigación, y no se presentaron elementos contaminantes, constatando que son aptos para los productos agrícolas producidos.

En el caso de los elementos tóxicos Cd y Pb no se detectaron con la metodología utilizada en esta investigación, lo que no quiere decir que no estén presentes en concentraciones menores al límite de detección determinado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adriano, D.C. 2001. *Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals*. Springer-Verlag, Nueva York. Pág.289-303.
- Aller, A.J. y Deban, L. 1989. Total and extractable contents of trace metals in agricultural soils of the Valderas area, Spain. *The Science of the Total Environment*, 79: 253-270.
- Andreu, V. y Bouluda, R.J. 1995. Application of contamination index on different farming soils. *Environmental Contamination and Toxicology*, 54: 228-236.
- Brady, N. y Weil, R. 1999. "The nature and properties of soils". *New Jersey: Prentice Hall*, 1999 12<sup>a</sup> ed. Pág. 881- 903.
- Blanco, J. 2003. *Acondicionadores y mejoradores de suelos*. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia. Pág. 173-221.
- Bohn, H.; McNeal, B. y O'Connor, G. 2001. *Soil Chemistry*. John Wiley & Sons. INC. United States American.
- Boss, CH, y Freedden, K. 1999. "Concepts, instrumentation and techniques in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry". Perkin Elmer. Second Edition.
- Bowen, H.J.M. 1979. "*Environmental chemistry of the elements*". Academic Press, London. Pág. 234-245.
- CASAFE, 2012. "Proyectos especiales guía de fertilizantes". Departamento de gestión ambiental. Argentina. <<http://www.casafe.org/usep/Fertilizantes.pdf>> (11/08/2016).
- Castro, H. 1998. Producción y fertilización de hortalizas en Colombia. *Fertilización de Cultivos de Clima Frío*. Bogotá: Monómeros Colombo Venezolanos. Pág. 195-217.
- Chamorro, F. 2002. *Manejo del cultivo de papa en la provincia del Carchi*. FUNDAGRO. Quito, Ecuador. Pág. 11-33.
- Dudal, R. 1965. Dark clay soils of tropical and subtropical regions. *Food and Agriculture Organization*. Devel, Rome, Italy. Pág 83-95.
- Duffus, J.H. 2002. Heavy metals- a meaningless term *Pure and Applied Chemistry*, 74: 793-807.

Espinoza, L; Slaton, N. y Mozaffari, M. 2008. Como interpretar los resultados de los análisis de suelos. University of Arkansas System. 2404 N University Ave, Little Rock, AR 72207, EE. UU Pág. 1-12.

Frank, R; Ishida, K, y Suda, P. 1976. Metal in agricultural soils of Ontario. Canadian Journal of Soil Science. 56: 181-96.

Galán, E. 2000. The role of clay minerals in removing and immobilising heavy metals from contaminated soils. In "Proceedings of the 1st Latin American Clay Conference", vol. 1, C. Gomes, ed. Funchal. Pág. 351-361.

Galan, E. y Romero, A. 2008. Contaminación de suelo por metales pesados. *Mineralogía y Química Agrícola*, 10: 48-60.

García, I. y Dorronsoro, C. 2005. Contaminación por metales pesados. En tecnología suelos. Departamento de Edafología y química agrícola. Universidad de Granada, España. <<http://edafologia.ugr.es>.> (01/05/2015).

Giuffré, L.; Ratto, S.; Marbán, L.; Schonwald, J. y Romaniuk, R. 2005. Riesgo por metales pesados en horticultura urbana. *Ciencia del Suelo*, 23(1): 101-106.

González, I.; Muena, V.; Cisternas, M, y Neiman, A. 2008. Acumulación de cobre en una comunidad vegetal afectada por contaminación minera en el valle de Puchuncaví, Chile Central. *Revista chilena de Historia Natural*, 81: 279-291.

Gutiérrez, M.; Romero, F, y González, G. 2007. Suelos y sedimentos afectados por la dispersión de jales inactivos de sulfuros metálicos en la zona minera de Santa Bárbara, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24: 170-184.

Gupta, U.C. y Gupta, S.C. 1998. Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management. *Soil and Plant*, 29: 1491-1522.

Hacher, L. E; Kosson, D. S.; Young, L. Y. y Cowan, R. M. 2001. Measurement of Iron (III) bioavailability in pure iron oxide minerals and soils using anthraquinone-2,6-disulfonate oxidation. *Environmental Science & Technology*, 35: 4886-4893.

Hamilton, E.I. 1995. State of the art of trace element determinations in plant matrices: determination of the chemical elements in plant matrices, an overview. *The Science of the Total Environment*, 176: 3-14.

Havlin, J.L., S.L. Tisdale, J.D. Beaton, and W.L. Nelson. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.

- Jackson, M. L. 1976. *Análisis Químico de Suelos*, 3<sup>a</sup> ed., Ediciones Omega, S. A., España. Pág. 42.
- Kabata-Pendias, A. 2004. Soil-plant transfer of trace elements-an environmental issue. *Geoderma*, 122: 143-149.
- Loué, A. 1988. *Los microelementos en agricultura*. Ed. Mundi-Prens. Madrid. Pág. 354.
- Manning, T. y Grow, W. 1997. Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry. *Springer Chemical educator*, Vol. 2.
- Marcano, E.; Gómez, C.; Benzo, Z. y Laine, J. 2010. Estudio preliminar sobre la determinación de elementos traza en cervezas venezolanas por ICP-OES. *Química Nova*, 33(3): 653-655.
- Marschner, H. 1986. *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition. Academic Press, London. Pág. 889.
- Martínez, J. R. Klein, E.; De Pablo, J. G. y González, F. 1984. El complejo de órdenes: subdivisión, descripción y discusión sobre su origen. *Cuadernos de Laboratorio Xeológico de Laxe*, 7: 139-210.
- Mendoza, P.M. 2006. “Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón”. Publicaciones Server. Universidad de Valencia, Valencia, España. Pág. 154.
- Mengel, K. y Kirkby, E. A. 2000. “Principios de nutrición vegetal”. Traducción al español de la 4<sup>a</sup> edición (1987). International Potash Institute. Basel, Switzerland. Pág. 692.
- Milestone. 2006. *Digestion Application Notes*. Milestone Inc. Shelton, USA.
- Monge, L. F. 1999. *Manejo de la Nutrición y Fertilización del Cultivo del Café Orgánico en Costa Rica*. XI Congreso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos, Instituto Hondureño del Café.
- Montaser, A. y Golightly, D. 1992. *Inductively coupled plasma in analytical atomic spectrometry*. Second edition, VCH publishers, INC, New York, USA.
- Novotny, V. 1995. Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In *Heavy Metals*, W. Salomons, U. Förstner & P. Mader, eds. Springer-Verlag, Berlin, 33-52.

Oliver, M.A. 1997. Soil and human health: a review. *European Journal of Soil Science*, 48: 573-592.

Phipps, D.A. 1981. Chemistry and biochemistry of trace metals in biological systems. End: *Effect of heavy metal pollution on plants*. Volume 1. Effects of trace metals on plant function. (Ed N.W. Leep) Applied Science Publishers. Pág. 1-54.

Plant, J.; Smith, D.; Smith, B. y Williams, L. 2001. Environmental geochemistry at the global scale. *Applied Geochemistry*, 16: 1291-1308.

Raij, B. Van. 1998. Bioavailable tests: Alternatives to standard soil extractions. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 29(11-14): 1553-1570.

Rioja Molina, A. 2002. *Apuntes de Fitotecnia General*, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Aeronáutica., Ciudad Real. España.

Rojas de Astudillo, L.; Prin, J.; Noriega, J.; Albornoz, L.; Hidalgo-Prada, B. y Ramírez, A. 2008. Determinación de mercurio en suelos del sector minero Las Claritas, estado Bolívar, mediante procesos analíticos de especiación y microscopía electrónica de barrido (MEB). *Saber, Universidad de Oriente*, 20: 343-352.

Ross, S.M. y Kaye, K.J. 1994. The meaning of metal toxicity in soil plant systems. End: *Toxic metals in soil-plant systems* (Ed. S.M. Ross), John Wiley & Sons, Chris Chester. Pág. 27-6.1

Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: methods and applications*. London. Longman. Pág. 350.

Ruiz, E. y Armienta, M. 2012. Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista Internacional. Contaminación del Ambiente*, 28: 103-117.

Sadzawka, R. A, y; Flores, H. P. 1996. "Intercambio de muestras y de análisis de laboratorio (INTERLAB). 25p. 1<sup>ra</sup> Jornada de estandarización de metodologías de análisis de suelos." instituto de investigaciones agropecuarias, centro regional de investigación la platina Santiago, Chile, 10-11 julio 1996.

Sadzawka, R. A, y Campillo, R.R. 1999. "Acidificación de los suelos y los procesos involucrados, p: 93-103. Serie Remehue N° 71. In: M. Alfaro (ed) Curso de capacitación para operadores del programa de recuperación de suelos degradados. Zona sur (Regiones IX y X)." Instituto de Investigaciones Agropecuarias, centro regional de investigación remuhue, Osorno, Chile.

Sadzawka, R. A; Montenegro, A, B; Campillo, R.R, y Rojas, C. W. 2000. "Relación entre pH- H<sub>2</sub>O, pH-KCl, pH- CaCl<sub>2</sub> y otras características químicas en suelos de la IX

región”, p.54. 51. Congreso agronómico de Chile, Universidad de Talca, 7-10 noviembre 2000. Talca, Chile. Pág. 51-56.

Sadzawka, R. A; Carrasco, M. A; Grez, R. Z; Mora, M. L; Flores, H. P, y Neaman, A. 2006. “Métodos de análisis de suelos recomendados para los suelos de Chile.” Serie actas INIA N° 34. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. Pág. 164

Salinas, A. 2006. Utilidad e importancia del análisis de suelos. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria. Manfredi, Argentina.

Schoenau, J. J. y; Malhi, S. S. 2008. Sulfur forms and cycling processes in soil and their relationship to sulfur fertility. En: Sulfur: A missing link between Soils, crops and nutrition. J. Jez (Ed). Agronomy Monograph No. 50. ISBN978-0-89118- 168-2. ASA, CSSA, SSA. Madison, WI. E.U.A. pág. 1-10.

Sposito, G. (ed). 1989. *The chemistry of soils*. Springer-Verlag, New Yourk. Pág. 435-463.

Till, A. R. 2010. *Sulphur and sustainable agriculture. International Fertilizer Industry Association*. Paris, Francia.

Torres, D. M; Rodríguez, M. B; Lavado, R. S, y; Melgar, R. 2010. Tecnología de la fertilización azufrada en la región pampeana estado actual y tendencias. En: Informaciones agronómicas. No.48. pp. 19-26. [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/69315916995163B385257984005754F3/\\$FILE/19.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/69315916995163B385257984005754F3/$FILE/19.pdf).

Ulloa Guitián, M.; Paz González, A.; Taboada Castro, M.T, y; Dafonte, J. 1999. Statistics and Geostatistics applied to soil general properties on general properties on agricultural catchment. 6<sup>to</sup> International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate. Barcelona. Pág. 680-682.

Weber, J. y; Karczewska, A. 2004. *Biogeochemical processes and the role of heavy metals in the soil environment*. Geoderma, 122: 105- 107.

Williams, D.E; Vlamis, J; Pukite, A.H, y; Corey J.E. 1980. Trace elements accumulation, movements and distribution in the soil profile from massive applications of sewage sludge soil. *Soil*, 192(2): 139-32.

## APENDICE

## Apéndice A. Calculo del límite de detección

De acuerdo con IUPAC (1997), el límite de detección se define como la mínima concentración ( $C_L$ ), o la mínima cantidad ( $q_L$ ) de analito derivada de la más pequeña medida ( $X_L$ ) que se puede detectar para un nivel de confianza dado (generalmente 95 %) a través de un método analítico. El valor de  $X_L$  viene dado por la ecuación:

$$X_L = \bar{Y}_{bi} + k \times S_{bi} \quad (1)$$

Dónde:

$\bar{Y}_{bi}$  = la media de diez medidas del blanco,

$S_{bi}$  = la desviación estándar de las medidas del blanco y

$k$  = factor numérico elegido de acuerdo al nivel de confianza escogido.

La conversión de las unidades de medida de  $X_L$  (cps) a concentración,  $C_L$  se hace utilizando el valor de la sensibilidad ( $S$ ) (la pendiente de la curva de calibración). Así, la ecuación es:

$$C_L = C_{bi} + k \times S_{bi} \times S \quad (2)$$

Pero como la concentración del blanco es igual a cero, la ecuación se convierte en:

$$LOD = C_L = k \times S_{bi} \times S \quad (3)$$

El valor recomendado por la IUPAC para la constante  $k$  es de 3 para las técnicas de espectroscopia de absorción atómica y de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado; sin embargo algunos espectroscopistas utilizan  $k = 2$  (Thomsen *et al.* 2003).

## HOJAS DE METADATOS

### Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

<b>Título</b>	Cuantificación de elementos químicos esenciales y tóxicos presentes en suelos agrícolas de caño de cruz, municipio andrés eloy blanco, estado sucre.
<b>Subtítulo</b>	

Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>Rengel Zerpa, Simón Antonio</b>	<b>CVLAC</b>	<b>16 997 000</b>
	<b>e-mail</b>	<b>simon_0209@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	<b>simonrengelzerpa@gmail.com</b>

Palabras o frases claves:

Suelo, elementos esenciales, elementos tóxicos, macronutrientes y micronutrientes.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Química

Resumen (abstract):

Con el objetivo de sentar las bases que permitan el aprovechamiento de los suelos de la región, en beneficio de la población de la localidad de Caño de Cruz municipio Andrés Eloy Blanco, ubicado en el estado Sucre. Se seleccionaron muestras de suelos representativas en el sector agrícola, los cuales son empleados para el cultivo de ocumo chino (*Colocasia esculenta*) y cacao (*Theobroma cacao*.) Las posiciones geográficas de los puntos seleccionados fueron medidas con un sistema de posicionamiento global (GPS). Las muestras de suelos fueron tomadas a diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm y de 10-20 cm). Para cada una de las profundidades, se determinó el pH. Las muestras de suelos fueron digeridas con HNO<sub>3</sub> concentrado y usando un equipo de digestión de microondas. Luego las soluciones fueron analizadas en un Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES), previamente calibrado y optimizado, para cuantificar los elementos químicos. Las concentraciones (mg kg<sup>-1</sup>) de los macronutrientes (K, Ca, Mg, Na y S) determinados en los suelos estudiados, en forma general, presentan el siguiente orden de decrecimiento: K > Ca > Mg > S > Na, excepto a nivel superficial que sigue el orden: Ca > K > Mg > S > Na; para los micronutrientes, se encontró que las concentraciones presentan, para todas las profundidades, el siguiente orden: Fe > Zn > Cu. Los valores de los macronutrientes y micronutrientes estuvieron dentro de los intervalos de valores encontrados en otros suelos agrícolas, los cuales son aceptables para los cultivos ya mencionados. No se detectaron Cd y Pb en los suelos estudiados, esto indica que estos elementos no representan peligro de toxicidad para los cultivos que se producen en la zona estudiada.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
<b>Dra. Luisa Rojas de Astudillo</b>	<b>ROL</b>	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input checked="" type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	<b>_lrojas40@yahoo.com</b>
	<b>e-mail</b>	<b>lrojas@sucre.udo.edu.ve</b>
<b>Dra. Sheyla Aranda</b>	<b>ROL</b>	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	<b>sheylaisabel@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>Dra. Iliana Jiménez</b>	<b>ROL</b>	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	<b>jimenez.1809@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2017	05	11

Lenguaje: SPA

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-Rengels.doc	Aplication/Word

**Alcance:**

**Espacial:**                      universal                      (Opcional)

**Temporal:**                      intemporal                      (Opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo:**

Licenciatura en Química

Nivel Asociado con el Trabajo: Licenciado

**Área de Estudio:**

Química

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

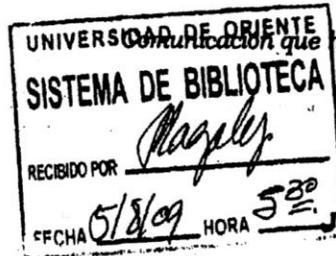
Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

**JUAN A. BOLANOS CUNPEL**  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

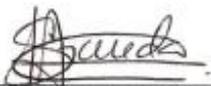
JABC/YGC/manuja

**Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso- 6/6**

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) :** “los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”



Rengel Zorpa Simón Antonio



Prof(a). Sheyla Aranda  
Jurado Principal



Prof(a). Liana Jiménez  
Jurado Principal



Prof(a). Luisa Rojas  
Asesora