

ENCALAMIENTO Y LAVADO EN UN SUELO SULFATADO ACIDO DE CORDOBA, COLOMBIA: II. Efecto sobre micronutrientes en suelos lixiviados

LIMING AND WASHING IN ACID SULFATE SOILS IN CORDOBA, COLOMBIA: Effect upon the microelements in lixiviated soils

Enrique Miguel Combatt¹; Teobaldis Mercado; Guillermo Martínez²

Recibido para evaluación: Abril 7 de 2006 - Aceptado para publicación: Julio 28 de 2006

RESUMEN

El trabajo se realizó en invernadero, en columnas de polivinilo (PVC), con un suelo sulfatado ácido magnésico, clasificado como franco mixto isohipertérmico típico sulfaquepts, colectado en San Carlos (Córdoba). El objetivo fue evaluar el efecto del encalamiento y lavado sobre la concentración de los elementos menores hierro, manganeso, cobre y zinc en los lixiviados. Los tratamientos aplicados fueron los equivalentes a 0, 2, 4, 6, 8 y 10 Ton de cal agrícola ha⁻¹, combinados con 3 volúmenes porosos de lavado (5.000, 10.000 y 15.000 ml de agua). Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con cuatro repeticiones. Se encontraron diferencias altamente significativas en el manganeso, cobre y zinc para la interacción dosis por volumen; mientras que para el hierro no se realizó análisis debido a la alta heterogeneidad en los datos obtenidos, realizando su discusión por gráficos. El contenido de hierro no alcanzó una tendencia estable y llegó a niveles de hasta 350 ppm, el manganeso redujo su concentración a menos de 23 ppm, sin mostrar una tendencia definida. Los niveles de cobre y zinc descendieron de 2.5 ppm a valores menores de 0.3 ppm, reduciéndose estas concentraciones a partir del primer volumen poroso (5000 ml de agua), hasta encontrar niveles cercanos a 0.01 ppm. Esto demuestra que el encalamiento y lavado de los SSA interfiere en la dinámica de los elementos menores, sin que haya una tendencia a estabilizarse en los niveles de hierro y manganeso pero sí para los microelementos cobre y zinc, con una total reducción de su concentración en los lixiviados.

Palabras claves: Suelos sulfatados ácidos, cal, lixiviación, elementos menores.

ABSTRACT

The present study was done in hothouse using polyvinyl columns (PVC) on an acid sulphate soils magnesian, classified as isohyperthermic typical sulfaquepts franc mixed from San Carlos (Córdoba). The objective was to evaluate liming and washing effects on microelements (Fe, Mn, Cu and Zn) leaching. Treatments consisting of 0, 2, 4, 6, 8 and 10 ton ha⁻¹ of lime combined with three porous volumes of washing

¹Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo Rural. Carrera 6 No. 76 -103 Tel. 7906451, Fax 786-0255, Email: ecombatt@sinu.unicordoba.edu.co

²Universidad de Córdoba, Departamento de Estadística.

(5.000, 10.000 and 15.000 ml of water) were applied. A complete randomized design with four replicates was used. Significant differences were found for manganese, copper and zinc and for the interaction dose by volume. No iron analysis was done due to the variability of the data (up to 350 ppm). Manganese concentration was reduced below 23 ppm (initial value), zinc decreased lower than 2.5 ppm, while copper and zinc decreased below 2.5 and 0.3 ppm, respectively. The results showed that liming and washing affect microelements dynamic inducing instability for iron and manganese but copper and zinc with reduced concentration in the leach.

Keywords: Acid sulphate soils, liming, washing, microelements.

INTRODUCCION

Los estudios más recientes realizados mediante sistemas informáticos estiman un total de 24 millones ha en el mundo de suelos sulfatados ácidos (Dent y Dawson, 2000). Se estima que más de 200 millones ha se encuentran cubiertas por las turbas. De estas alrededor de 32 millones ha están en el trópico y un poco más de 80% están formadas en tierras costeras bajas (Fitzpatrick, 1996). En Colombia no hay una cuantificación detallada pero ocurren en Sucre, Bolívar, Boyacá, Valle del Cauca y Córdoba. Existiendo en este último departamento entre 10.000 y 20.000 ha, en las cuales el drenaje y secamiento de las zonas de bacines de la llanura aluvial dirige los procesos hacia la acidificación y formación de suelos sulfatados ácidos interiores (SSA) (Combatt, 2004).

Las investigaciones realizadas bajo las condiciones de suelos sulfatado ácido reducidos son muy escasas en Córdoba y Colombia, pero en estas condiciones se presenta reducción de hierro y manganeso aumentando su solubilidad. Según Domínguez (1988), las condiciones reductoras ocasionadas por una elevada cantidad de agua pueden aumentar la asimilabilidad de cobre, zinc, molibdeno y cobalto. De Data (1986), indica que la disminución de cobre y zinc se puede deber a: 1. precipitación de $Zn(OH)_2$ y $Cu(OH)_2$ como resultado del aumento del pH después de la inundación y 2. precipitación del ZnS en condiciones muy reducidas del suelo.

De Data (1986) indica que la disminución del potencial redox (Eh) en suelos reducidos ocasiona la disminución de azufre, cobre y zinc, y además la concentración de hierro puede ser tan alta que alcanza las 5000 ppm pocas semanas después de la inundación, y el manganeso se reduce con más facilidad y se vuelve más soluble que el hierro. Los contenidos de manganeso muestran aumentos exagerados en manganeso reducido durante las primeras semanas de inmersión y luego una lenta disminución independiente del pH y del contenido de materia orgánica. Bennett *et al.* (2004) indican que en los suelos sulfatados ácidos actuales, minerales de hierro y aluminio pueden disolverse y tienen efectos dramáticos en la calidad del agua por la hidrólisis del hierro ferroso. Según Bello y Gómez (2002), el hecho de que grandes cantidades de oxihidróxidos de hierro y aluminio coexistan con sulfatos y ácido sulfúrico, sugiere que los minerales en suelos sulfatados ácidos no están en equilibrio sino en constante cambio y procesos de transformación por su carácter hidromórfico.

Debido a que en su mayoría las áreas del paisaje que contienen estos suelos tienen problemas de nivel freático muy superficial y condiciones reducidas más de 6 meses, se hace necesario conocer la dinámica de los elementos menores hierro, manganeso, cobre y zinc bajo el efecto del encalamiento y lavado en los lixiviados de suelos sulfatado ácidos interiores en zonas del departamento de Córdoba - Colombia.

MATERIALES Y METODOS

Muestreo de suelos para análisis físico-químico

El suelo estudiado se colectó en el Municipio de San Carlos (Córdoba), donde previamente se conocía que existían las características de estos suelos, como son reacción del suelo extremadamente ácida, azufre excesivo, materia orgánica alta y alta concentración de aluminio. Para comprobar esto se excavó una calicata y se tomó suelo de los dos primeros horizontes (0-50 cm) con el fin de caracterizar física y químicamente el perfil del suelo clasificado taxonómicamente como Fino, mixto isohipertermico, Typic Sulfaquepts. El trabajo se realizó en invernadero en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba.

Diseño metodológico para el encalamiento en invernadero

Para lograr el objetivo, se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron de seis (6) dosis de cal (CaCO_3) en proporciones que correspondieron a 0, 2, 4, 6, 8 y 10 ton ha^{-1} y tres (3) volúmenes de lavado (5000, 10000 y 15000 ml de agua). Las variables evaluadas fueron contenido de hierro, manganeso, cobre y zinc en los lixiviados. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por columnas de cloruro de polivinilo (P.V.C) de 15.48 cm de diámetro por 100 cm de largo, las cuales se llenaron hasta 50 cm, tratando de mantener la secuencia encontrada en campo de los primeros 50 cm del perfil. Cada columna se recubrió con parafina para evitar el flujo de pared durante el proceso de lixiviación. Las columnas se sellaron en la parte inferior con papel filtro (Whatman No 42) y malla plástica (1 mm de diámetro) para evitar la salida del suelo con el efluente. En cada columna se colocaron embudos de 7" de diámetro para captar el lixiviado. Se dejó transcurrir un mes

para que la cal reaccionara con la fracción del suelo, luego de transcurrido 30 días se aplicaron los volúmenes porosos. Los análisis de suelos se realizaron de acuerdo con los métodos analíticos recomendados por el IGAC (1990). Los micronutrientes (hierro, cobre, zinc y manganeso) (mg Kg^{-1}) fueron extraídos con ácido dietilenotriamino-pentaacético (DTPA) y determinados con absorción atómica. Los resultados se analizaron bajo el paquete estadístico SAS (2004); se realizaron análisis de varianza para determinar el efecto individual y de la interacción de los dos factores en estudios para cada variable dependiente y un análisis de contraste ortogonales.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características químicas del suelo

La reacción del suelo fue muy ácida en todas las profundidades y el porcentaje de materia orgánica fue alto. El azufre se encuentra excesivo, debido a que estas zonas de bacines están influidas por materiales parentales en la parte alta que contienen este elemento en gran cantidad (Tabla 1).

El contenido de fósforo varió de alto a bajo a medida que se profundizó en el perfil, los contenidos de calcio fueron similares en todas las profundidades, el magnesio se encontró en niveles que excedieron a los del calcio, con porcentajes de saturación mayores del 40%. El contenido de potasio fue alto en la superficie, pero disminuyó con la profundidad; el contenido de sodio no causa problemas. La acidez activa fue excesiva lo cual explica la aparición en los cultivos de síntomas de toxicidad característicos como mal formación de los sistemas radicales. Con relación a los microelementos se observó que el hierro, cobre y zinc presentaron contenidos altos con tendencia a disminuir con la profundidad y el manganeso fue alto pero no excesivo.

Tabla 1. Características químicas de un suelo sulfatado ácido (SSA) de San Carlos Córdoba, Colombia.

Profundidad (cm)	pH (1:1)	M.O (%)	S (mg Kg ⁻¹)	P	Ca	Mg	K	Na	Al	CIC	Cu	Fe	Zn	Mn	PSI	PS _{Mg} (%)
0 - 10	3.9	8.1	350	31	7.0	8.0	0.7	0.17	7.4	23.2	2.1	62	3.5	26	0.73	34.3
10 -20	3.7	8.0	350	10	6.0	6.0	0.4	0.19	10	22.6	4.0	84	3.8	20	0.84	26.5
20 -30	3.7	8.5	335	16	5.5	5.5	0.2	0.17	6.0	17.3	1.6	56	2.3	19	0.97	31.6
30 -40	3.7	12	314	24	4.0	6.0	0.2	0.19	6.6	17.0	0.5	13	2.6	16	1.11	35.3
40 -50	3.7	1.9	328	7.0	7.5	7.5	0.1	0.19	10	25.3	2.8	72	1.0	20	0.75	29.6

Variación de los elementos menores en los lixiviados de un suelo sulfatado ácido magnésico durante el encalamiento y el lavado

Lixiviación del hierro: La dinámica de la lixiviación de este elemento fue bastante heterogénea entre el testigo (A) y los tratamientos de aplicación de cal (B, C, D, E), se exceptúa el tratamiento de aplicación de 10 ton de cal (F), en donde la cantidad de hierro siempre es mínima (Figura 1). Se observa un aumento de la concentración en la lixiviación entre el primer y segundo volumen poroso de agua aplicada como lavado. Bennett *et al.* (2004) afirman que en suelos sulfatados ácidos inundados, minerales de hierro y aluminio pueden disolverse y liberar iones de estos minerales que se encuentran en la fase intercambiable en el suelo. Estos elementos tienen efectos dramáticos en la calidad del agua por la hidrólisis del hierro ferroso. Demas *et al.* (2004) encontró que después de una lluvia intensa se liberan grandes cantidades de hierro y aluminio que se acumulan en sitios bajos aumentando la acidificación de los suelos.

En estos suelos existen grandes cantidades de sulfuro de hierro que se reducen durante la inundación, lo que puede ocasionar su solubilización en las primeras etapas de lavado con la consecuente lixiviación en los efluentes obtenidos, ya que inicialmente se encontraba alrededor de 80 ppm y alcanzó

niveles de hasta 343.2 ppm, lo que coincide con De Data (1986) quien encontró concentraciones de hierro de 5000 ppm en SSA reducidos y también con lo expuesto por Mongia y Bandyopadhyay (1993), quienes encontraron que con el aumento en la lixiviación se reduce el contenido de hierro en la solución. Mensvoort *et al.* (1991) indican que antes de aplicar una enmienda en suelos sulfatados ácidos se deben implementar prácticas de lavado para reducir la acidez soluble producida por el hidrogeno, hierro y aluminio.

Trabajos realizados por Alexander (1980) y Fanning *et al.* (1998) demuestran que después de un tiempo de reducción del suelo, el hierro precipita como sulfuro ferroso, por una reacción del sulfuro de hidrogeno con sales de hierro. Bolt y Bruggenwert (1976) y Howeler (1973), encontraron que la concentración de hierro reducido aumentó hasta un máximo y después disminuye por precipitación en forma de $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{CO}_3)_3$, ó FeS . La variabilidad en los niveles de hierro se presentó debido a las condiciones de la reacción del medio, condiciones de óxido reducción, solubilidad de los diferentes compuestos de hierro, presencia de CO_2 , la actividad de los microorganismos y su acción sobre el hierro, impidiendo que no se presentará un equilibrio entre los minerales y la solución. Esto coincide con lo expuesto por Bello y Gómez (2002) quienes exponen que cuando existen cantidades de oxihidróxidos de hierro y aluminio con

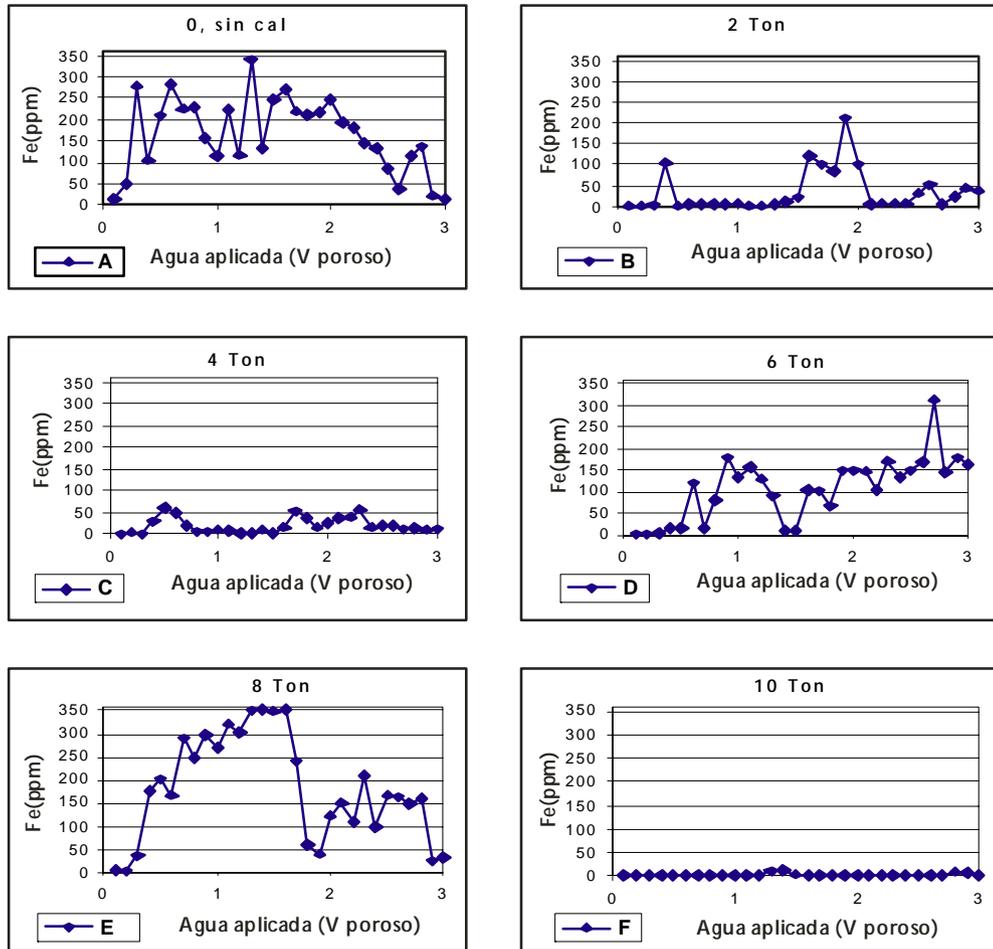


Figura 1. Efecto del encalamiento y el lavado sobre la lixiviación del hierro de un suelo sulfatado ácido (SSA) de San Carlos (Córdoba, Colombia).

sulfatos y ácidos sulfúricos, los minerales en suelos sulfatados ácidos no están en equilibrio; por ello no se considero conveniente su discusión mediante grafico.

Lixiviación del manganeso: El análisis de varianza (Tabla 2) para el agua aplicada y las dosis de cal, reportó una interacción altamente significativa entre ellos ($P_r < 0.001$). Es decir, el encalamiento y la cantidad de agua influyeron en el contenido de manganeso presente en los lixiviados obtenidos durante la investigación. La dinámica de la lixiviación de este elemento es similar a la del hierro (Figura 2), pero las concentraciones en los efluentes son menores, ya que inicialmente su contenido

fue de 23 ppm y alcanzó niveles de 40 ppm.

En todos los tratamientos se observa que no hubo una tendencia estable del manganeso en los lixiviados, aunque a partir del segundo (2) volumen poroso (10.000 ml de agua) hubo una reducción en la concentración en los lixiviados de este elemento. Lo que coincide con lo expuesto por De Data (1986) quien indica que hay un aumento exagerado de manganeso reducido en las primeras semanas y después una lenta disminución en la concentración del suelo. De igual forma Howeler (1973) encontró que el contenido de Manganeso soluble aumenta en las primeras semanas y después baja, indicando que este elemento era desplazado o

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de los lixiviados de tres volúmenes porosos obtenidos en cada columna de suelo.

Fuente de Variación	GL	Mn	Zn	Cu
Dosis de cal	5	24076.1**	34.8**	0.18ns
Volumen	2	2846.7**	365.4**	14.18**
Dosis x volumen	10	6991.2**	20.2**	0.45**
Error experimental	54	1844.2	2.56	0.11
Coeficiente de variación		41.8	36.6	40.16
Media general		102.6	4.36	0.86

** $P_r < 0.001$

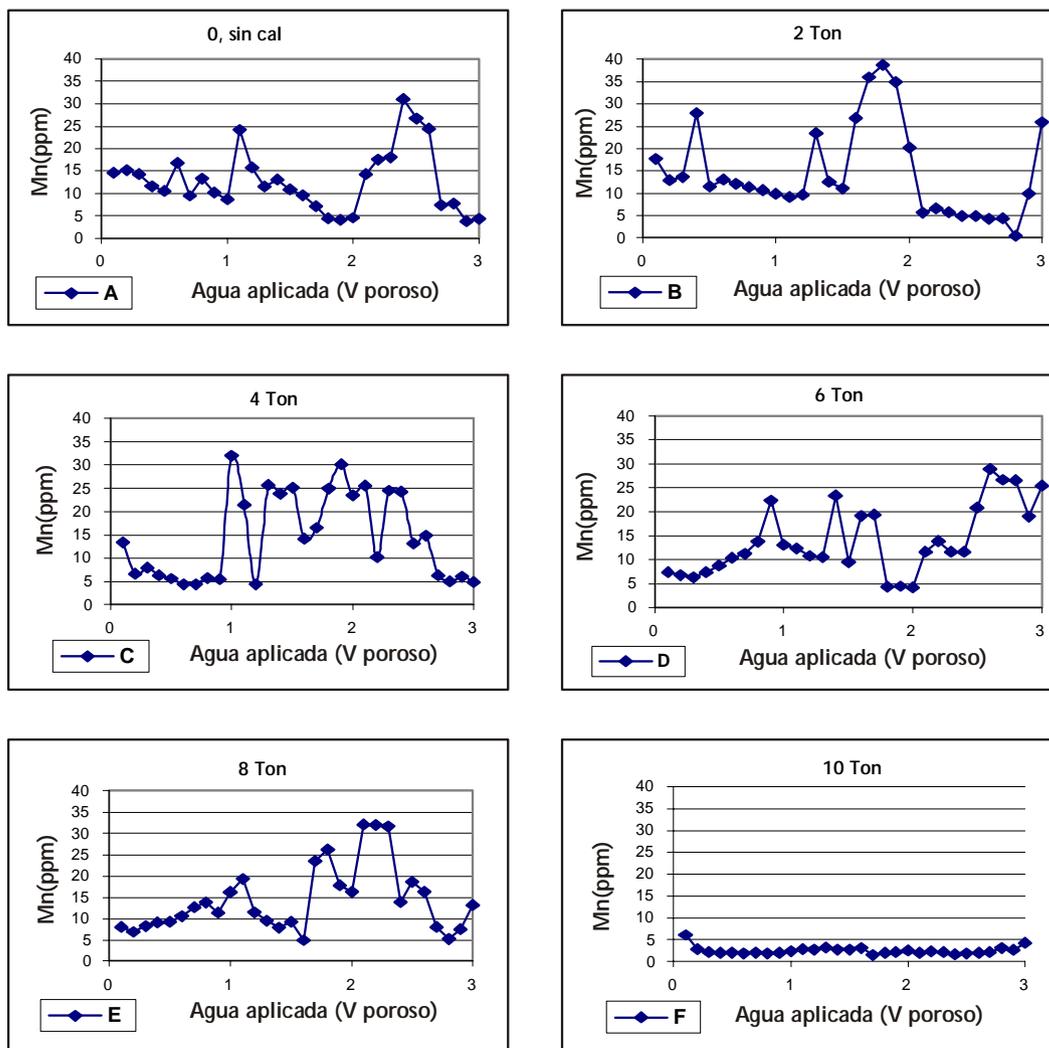


Figura 2. Efecto del encalamiento y el lavado sobre la concentración del manganeso, en los lixiviados de un suelo sulfatado ácido (SSA) de San Carlos (Córdoba, Colombia).

solubilizado, pero al mismo tiempo era liberado de la fase intercambiable del suelo o liberado del que se encontraba en forma quelatada. Esto indica que su solubilidad se debe más al efecto de reducción en medio anaeróbico que por el efecto de la cal aplicada; con excepción del tratamiento 10 (F) donde se nota una disminución considerable del elemento. Según Bohn *et al.* (1993), las condiciones de reducción para el manganeso son con frecuencia menos reversibles que las del hierro, por lo que el manganeso tiende a responder en forma más lenta a las condiciones de reducción. Palko y Weppling (1994) informan que con el aumento de cal se reduce el contenido

intercambiable del elemento, o sea que se desplaza a la solución de donde se puede lavar si hay drenaje.

Lixiviación del cobre y el zinc: Al observar el análisis de varianza (Tabla 2), se encontró una interacción altamente significativa entre la cantidad de agua aplicada y dosis de cal ($P < 0.001$); es decir, el encalamiento y la cantidad de agua usada influyen en el contenido de cobre y zinc en los lixiviados. Las concentraciones de estos microelementos alcanzaron niveles de 2.5 ppm en el primer volumen poroso como se observa en las figuras 3 y 4, con una tendencia a disminuir a partir del primer volumen (5000 ml de agua)

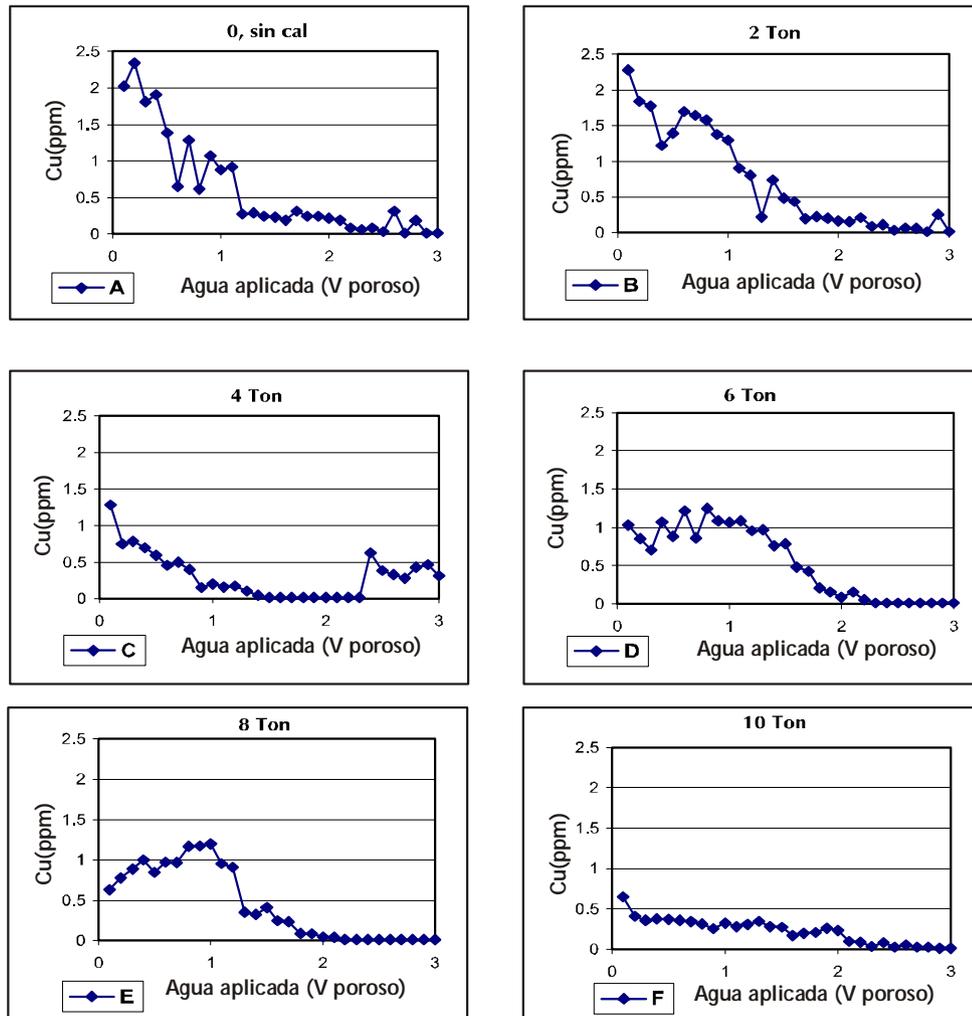


Figura 3. Efecto del encalamiento y el lavado sobre la concentración del cobre en los lixiviados de un suelo sulfatado ácido (SSA) de San Carlos Córdoba, Colombia.

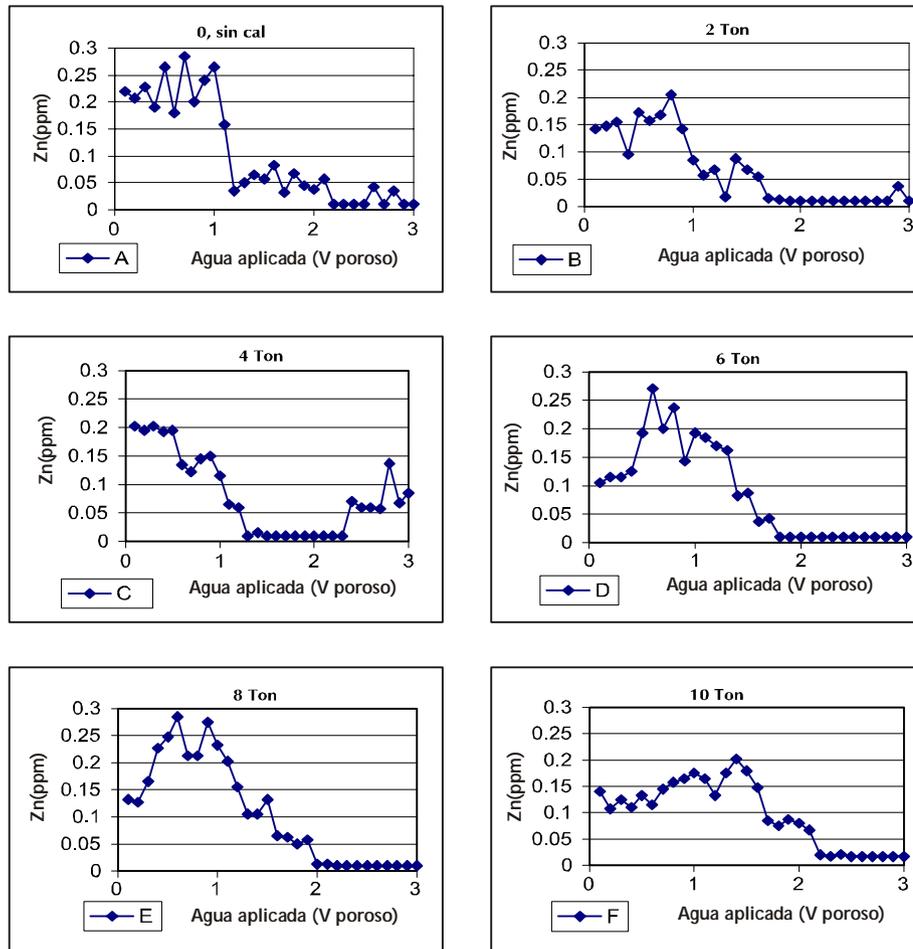


Figura 4. Efecto del encalamiento y el lavado sobre la concentración del zinc de un suelo sulfatado ácido (SSA) de San Carlos Córdoba, Colombia.

aplicado para llegar a una condición de estabilidad rápidamente. Esto indica que bajo estas condiciones de suelos y de lavado, el contenido de estos iones se reduce rápidamente, por procesos de solubilización que incrementan su desplazamiento, y por lo tanto los hace muy fácilmente lixiviable. Esto concuerda con lo expuesto por Domínguez (1988), quien indica que las condiciones reductoras ocasionadas por una elevada cantidad de agua pueden aumentar la asimilabilidad de cobre, zinc, molibdeno y cobalto inicialmente.

En el primer volumen poroso (5000 ml de agua) se presentó una disminución en la

concentración de estos oligoelementos, ocasionado por la posible precipitación como hidróxidos de zinc y cobre y coincide con lo encontrado por De Data (1986), quien indica que la disminución de cobre y zinc se puede deber a la precipitación de $Zn(OH)_2$ y $Cu(OH)_2$ como resultado del aumento del pH después de la inundación. Esta disminución se puede explicar por la formación de compuestos insolubles que los hacen precipitar como sulfuros de hierro ó de cobre respectivamente, por el ligero aumento en su pH, logrado por la reacción de la poca enmienda que logró reaccionar y el incremento de OH^- que precipitan como hidróxidos.

Otra posibilidad es la precipitación de zinc como $ZnCO_3$ debido a la acumulación de CO_2 que resulta de la descomposición de la materia orgánica, o precipitación de ZnS condicionado por la reducción y concuerda con lo encontrado en algunas investigaciones realizadas por el IRRI (1978). Iguales resultados son reportadas por Amézquita (1988) quien indica que en suelos sulfatados ácidos fuertemente reducidos se presenta deficiencia de cobre y zinc por la formación de sulfuro de cobre y zinc.

CONCLUSIONES

- El hierro presentó una alta solubilidad y variabilidad en su concentración en los

lixiviados bajo la aplicación de cal y agua en los lixiviados de SSA.

- El contenido de manganeso en los lixiviados es menor que la del hierro, reduciéndose su concentración a partir del segundo volumen poroso equivalentes a 10000 ml de agua.
- En los suelos sulfatados ácidos estudiados de San Carlos - Córdoba se presentó disminución en la concentración de cobre y zinc en suelos reducidos.
- Se recomienda realizar investigaciones en campo con el cultivo de arroz como planta indicadora de la dinámica de absorción de los elementos menores.

BIBLIOGRAFIA

- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. Editor AGT. S.A., México D.F. p380-407
- Amezquita, E. 1988. Establecimiento de las zonas oxidadas y reducidas en suelos sumergidos. En: Primer Seminario de Azufre. (S.C.C.S), Cali, p39-43
- Bello, J. y Gomez, M. 2002. Recuperación de suelos sulfatados ácidos en áreas del distrito de riego del Alto Chicamocha. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- Bennett, C.; White, I.; Keene, A.; Melville, M. y Reynolds, J. 2004. Super Soil. Australian New Zealand Soils Conference. CDROM, University of Sydney.
- Bolt, G. y Bruggenwert, M. 1976. Soil Chemistry A. Basic Elements. Elsevier, New York. p91, 96, 100, 113
- Bohn, H.; Mcneal, B. y O'connor, G. 1993. Química de Suelos. Limusa, Madrid, p43, 112, 209, 313
- Combatt, E. 2004. Efecto del encalamiento y el lavado sobre algunas propiedades químicas de un suelo sulfatado ácido magnésico del valle del río Sinú. Tesis M.Sc., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- De Data, S. 1986. Producción de arroz fundamentos y prácticas. Editorial Limusa, México D.F., p117-168

- Demas, A.; Hall, A.; Fanning, B.; Rabenhorst, B.; y Dzantor, B. 2004. Acid sulfate soils in dredged materials from tidal Pocomoke Sound in Somerset County, MD, USA. *Australian Journal of Soil Research* 42(6):537-545
- Dent, D. y Dawson, B. 2000. The acid test. <http://staffi.lboro.ac.uk/~cobrd/>. [Accedido 08-07-2005]
- Domínguez, A. 1988. Los Microelementos en Agricultura. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, p24-30
- Fanning, S.; Burch, N.; Auerswald, K. y Bigham, J. 1998. Acid sulphate soils and some associated environmental problems. *Advances in Geoecology* 30:145-158
- Fitzpatrick, R. 1996. Acid sulfate soil assessment. <http://ews.spirit.net.Au:8080/audit/full/30-themes-andproyets/50-scoping-proyets/04-methods-paper/09-fitzpatrick/acid-sulfate-conditions.html>. [Accedido 04-13-2005]
- Howeler, R. 1973. La Química de Suelos Inundados. CIAT, Cali, p5
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1990. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. IGAC, Bogotá, 502p.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1978. Soils and Rice. IRRI, Manila, p375-376, 756-789
- Mensvoort, M.; Duang, V. y Schans, J. 1991. Improvement of acid sulphate soils by leaching with salt or brackish water. En: Deturck, P. y Ponnampereuma, F. (Ed). *Rice Production on Acid Soils of the Tropics*. Institute of Fundamental Studies, Kandy, p219-224
- Mongia, A. y Bandyopadhyay, A. 1993. Management of two acid sulphate soils for lowland rice production. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 41:(2)400-402
- Palko, J. y Weppling, K. 1994. Lime requirement experiments in acid sulphate soils. *Soil and Plant Science* 44:(3)149-156