

VENESUELOS

*Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo
y del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la
Universidad Central de Venezuela*



Volumen 13
2005



SOCIEDAD VENEZOLANA DE LA CIENCIA DEL SUELO

JUNTA DIRECTIVA (Periodo 2004-2006)

PRESIDENTE

Evelyn Cabrera de Bisbal

Rosa M. Hernández

SECRETARIO

Jorge Paolini

María J. Pérez

TESORERO

Yusmary Espinoza

Rodolfo Delgado

VOCAL

Fernando Delgado

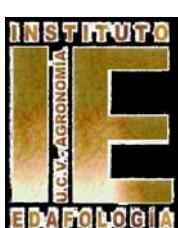
Eladio Arias

MIEMBROS HONORARIOS

Luís J. Medina (†) (fundador) - Juan Bautista Castillo (Fundador)

Justo Avilán R.- Luís María de Elizalde (†) - Antonio Estrada B.

Samuel J. Strebin - Angel Chirinos (†) - Luís Bascones (†) - Luis Segnini M.
Emilio Hidalgo - Ildefonso Pla Sentis - Julia Gilabert de Brito - Juan Comerma
Richard Schargel - Carmen E. Carrillo de Cori



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE AGRONOMÍA INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA

DIRECTORA

Prof. Deyanira Lobo L.

CONSEJO TÉCNICO

Prof. Zenaida Lozano P.

(Jefe del Laboratorio de Química de Suelos)

Prof. Jesús Viloria R.

(Jefe del Laboratorio de Agrología y Coordinador del Postgrado en
Ciencia del Suelo)

Prof. Juan Carlos Aciego P.

(Jefe del Laboratorio de Fertilidad y Biología de Suelos)

Prof. Stalín Torres

(Director del Centro de Información y Referencia de Suelos, CIRS)

VENESUELOS

*Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo
y del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la
Universidad Central de Venezuela*

Enero-Diciembre 2005
Depósito Legal: DLPP92-0468

Vol. 13, 2005
ISSN: 1315-0359

COMITÉ EDITORIAL

Directora: Carmen E. Carrillo de Cori

Editores Asociados

Carmen Rivero
Eduardo Casanova
María Fernanda Rodríguez
Rodolfo Delgado

Apartado Postal 4579, Fax: 0243-2453242, Telefax: 0243-5507169

E-mail: venesuelos@agr.ucv.ve
Maracay, estado Aragua Venezuela

VENESUELOS: Consta de un volumen anual de dos números. Precio de suscripción Bs. 4000, U.S \$ 30,00 para el exterior, incluyendo franqueo

VENESUELOS: Is issued twice a year in one annual volume. The subscription price is US \$ 30,00

Número editado y publicado en Julio, 2007

CONTENIDO

Hilaydeé Pimentel y Carmen Rivero	5
<u>Parámetros de calidad de un material orgánico obtenido a partir de vinaza con el uso de un activador multienzimático</u>	
<u><i>Evidence of Fe(III) and Al(III) mobilization by humic acids. Los Pijiguaos bauxite ore deposit Venezuela</i></u>	
Alfredo E. Morales G. y Jesús A. Viloria R	11
<u>Interrelación entre unidades geológicas y propiedades del suelo en la cuenca alta del río Guárico, Venezuela</u>	
<u><i>Interrelation between geologic units and properties of the soil in the high basin of the river Guárico, Venezuela</i></u>	
Salvador Lo Mónaco y Liliana López	22
<u>Evidencias de movilización de Fe(III) y Al(III) por ácidos húmicos. Horizonte superficial del yacimiento de bauxita de los Pijiguaos Venezuela</u>	
<u><i>Evidence of Fe(III) and Al(III) mobilization by humic acids. Los Pijiguaos bauxite ore deposit Venezuela</i></u>	
Karen C. Figuera V., Zenaida del C. Lozano P. y Carmen Rivero	34
<u>Caracterización de diferentes fracciones de la materia orgánica de tres suelos agrícolas venezolanos.</u>	
<u><i>Characterization of different fractions of organic matter in three Venezuelan soils</i></u>	
Carmen Rivero y José Sifontes	46
<u>El efecto de un material residual anaeróbico sobre el Mg, K y Ca disponibles para las plantas en el suelo</u>	
<u><i>The effect of the application of an anaerobic residual material on Mg, K and Ca available for the plant in the soil</i></u>	
Francisco Contreras, Teodoro Herrera y Alexis Izquierdo	52
<u>Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO_3) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>) en suelos de Barlovento, estado Miranda.</u>	
<u><i>Effect of two source of calcium (CaCO_3) about the available of cadmium for plants of cocoa (<i>Theobroma cacao L.</i>) in soils of Barlovento, state Miranda.</i></u>	

Parámetros de calidad de un material orgánico obtenido a partir de vinaza con el uso de un activador multienzimático

Quality parameters of an organic material obtained from vintage with multienzymatic activator

Hilaydeé Pimentel, Carmen Rivero¹

¹Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV

RESUMEN

En Venezuela la producción de alcohol etílico genera enormes cantidades de aguas residuales, denominadas *vinazas* que poseen una considerable cantidad de material orgánico biodegradable, que las convierten en un efluente de alto riesgo de contaminación ambiental. Investigaciones realizadas señalan que es posible tratar biotecnológicamente estos residuos industriales con el uso de complejos enzimáticos para convertirlos en abonos orgánicos. En este trabajo se evaluó la estabilización y biotransformación de la materia orgánica contenida en la vinaza. Se realizó un ensayo, en una planta piloto, con aplicación de un complejo multienzimático. Se usaron seis tratamientos: 0, 110 y 147 g por cada 150 L de vinaza y dos niveles de pH. Se extrajo la materia orgánica y se evaluaron las siguientes variables: Relación carbono/nitrógeno (C/N), Contenido de ácidos húmicos y fulvicos, Índice de humificación (IH), Grado de Humificación (GH). Los resultados mostraron una disminución de la relación C/N y un efecto positivo sobre la formación de las sustancias húmicas. Para el IH el valor mas bajo (0,78) fue alcanzado en el tratamiento T₃, lo que sugiere la mayor estabilización del material. Los demás tratamientos produjeron materiales que clasifican como "sustratos parcialmente madurados". La planta piloto diseñada proporcionó las condiciones de aireación óptimas para el procesamiento de la vinaza.

Palabras clave: vinaza, multienzima, abonos orgánicos, índice de humificación

ABSTRACT

In Venezuela the ethylic alcohol production generates colossal quantities of residual dark waters, denominated vinazas that composed of a considerable quantity of biodegradable organic material that it may transform into a sludge of high risk of environmental contamination. Investigations carried out point out that it is possible to treat these industrial residuals biotechnically with the use of complex enzymatic to transform them into organic fertilizer. In this work the stabilization and biotransformation of the organic matter contained in the vinaza was evaluated. It was carried out it an assay in a plant pilot with the application of a complex enzymatic. Six treatments were used: three enzyme dose and two pH levels. The organic matter was extracted with base in its difference of solubility in alkalis and acids. The evaluated variables were: carbon/nitrogen ratio (C/N), humic and fulvic acids content, Humification Index (IH), and Humification Degree. The results showed a decrease of the C/N ratio and a positive effect on the formation of humic substances. In the fulvic fraction the values observed were similar to the initials. For the Index of Humification, the lower value (0.78) it was reached in the treatment T₃. It suggests the biggest stabilization in the material. The other treatments produced materials that classify as "partially matured substrates". The designed plant pilot provided the conditions of good air supply for the vinaza treatment.

Key words: vinaze, complex enzymatic, organic fertilizer, humification index

INTRODUCCIÓN

En Venezuela la producción de alcohol etílico se da exclusivamente a través del proceso de fermentación biológica de melazas provenientes de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) seguido de un proceso de destilación donde se concentra la corriente alcohólica de 8 al 96 % del volumen de alcohol. En este proceso productivo se generan enormes cantidades de aguas residuales de color oscuro, denominadas *vinazas* que poseen una considerable cantidad de material orgánico biodegradable, que las convierten en un efluente de alto riesgo de contaminación ambiental, si no son tratadas adecuadamente al ser descargadas al medio y que como todos los efluentes de industria alimenticias son de difícil disposición (Mohaises y Heinonen-Tanski, 2004).

Sin embargo, también presentan en su composición altos contenidos de potasio, nutriente requerido para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar, por lo que se ha utilizado como enmienda orgánica en suelos destinados a esta actividad agrícola (Gómez, 1995).

En la destilería ubicada en la Compañía Anónima Ron Santa Teresa se generan diariamente 450.000 L de vinaza que son aprovechadas a través de técnicas de riego en el cultivo de caña de azúcar. No obstante, esta alternativa solo es posible en épocas de sequía por lo que es necesario almacenar el material producido en época de lluvia para su posterior utilización, lo que se constituye en una limitante en el proceso de producción de alcohol, pues la destilería debe operar solo en un 60% de su capacidad para no generar excedentes de vinaza que superen los límites de almacenamiento.

Sin embargo, se ha señalado la necesidad de pre-tratamientos adecuados antes de poder aprovechar los elementos nutritivos que este tipo de material contiene (Amir *et al.*, 2005). Al respecto, Pande y Sinha (1997) recomiendan diferentes formas de emplear la vinaza como enmienda orgánica para complementar la fertilización del suelo: i) En compost con bagazo, cascarilla de arroz y cachaza; ii) Convertida en humus; iii) mezclada con cal a valores de pH entre 10,5 y 12,5 con adición de cachaza carbonatada y/o ácido fosfórico para precipitar los sólidos que pueden usarse como fertilizante, mientras que la fase clorificada sería usada como riego; iv) mezclada con residuos vegetales de alto contenido celulosa (ej. bagazo) y por último v) tratada en lagunas, para su posterior aplicación al suelo como agua de riego.

Ahora bien, investigaciones realizadas en Italia señalan que es posible tratar biotecnológicamente los residuos industriales, entre ellos la vinaza, para lo cual se plantea el uso de complejos enzimáticos que permiten convertir efluentes orgánicos industriales en abonos orgánicos susceptibles de ser conservados por largos períodos de tiempo sin que se alteren sus características y su poder fertilizante (Brignoli, 1993).

En estudios realizados por Madrid y Castellanos (1998) se indica que la adición de multienzimas, para el compostaje de materiales orgánicos provenientes de la agroindustria de la caña de azúcar, mejora la solubilidad de fósforo, calcio y magnesio, y provoca un incremento del nitrógeno total del compost sólido obtenido, se refieren específicamente a la cachaza y el bagazo. En este marco de ideas se inscribe la realización de este estudio cuyo objetivo fue evaluar la posibilidad de convertir la vinaza, mediante compostaje con uso de activador multienzimático, en un abono líquido. En el proceso se pretende lograr la estabilización y biotransformación de la materia orgánica contenida en la vinaza, en sustancias "similares al humus", lo cual fue evaluado a través de la determinación de parámetros considerados indicadores de calidad de materiales compostados. El trabajo incluyó una fase inicial de diseño de una planta piloto para la realización del compostaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fase experimental de este proyecto se llevó a cabo en la Destilería Ron Santa Teresa ubicada en la Hacienda Santa Teresa (El Consejo, estado Aragua) durante un periodo de 45 días. Para su ejecución se diseñó e instaló una planta piloto, constituida por tuberías cribadas de PVC con 1/2 pulgada de diámetro, 18 recipientes plásticos de 200 L y un compresor.

Una vez construida la planta se efectuó el proceso de compostaje con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 3 x 2, cuyos factores en estudio fueron: tres dosis de multienzima (0, 110 y 147 g por cada 150 L de vinaza contenidos en cada unidad experimental) y dos condiciones de pH (4,2 y 5,0). Cada tratamiento (Cuadro 1) contó con tres repeticiones.

Durante el ensayo se tomaron muestras a los 0, 6, 15, 30 y 45 días, para detectar la presencia de fracciones orgánicas con características de ácidos húmicos o fulvicos.

En cada muestra se extrajo la materia orgánica por aplicación de su diferencia de solubilidad en álcalis y ácidos y posteriormente se aplicó el método de Ciavatta *et al.*, (1990), que usa la polivinilpirrolidona sólida insoluble para separar los ácidos fulvicos de las sustancias no húmicas.

En cada fracción se determinó el carbono orgánico (método de Walkley y Black descrito por Heanes, 1984). El nitrógeno se determinó por el método de Kjeldahl modificado por Jackson (1968). Estos valores permitieron calcular índices que informan acerca de la calidad del material obtenido. Las variables evaluadas fueron: Relación carbono/nitrógeno (C/N), Contenido de ácidos húmicos (AH) y fulvicos (AF), Índice de humificación (IH), Grado de Humificación (GH) y sustancias no húmicas (SNH). Las expresiones de cálculo para los índices de humificación fueron las siguientes:

$$IH = \frac{SNH}{(AH + AF)}$$

$$GH(\%) = \frac{(AH + AF)}{C_{extraible}} 100$$

El procesamiento estadístico de la información se realizó con el uso del paquete Statistix versión 7.0 para PC (2003).

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en el ensayo

Tratamiento	Vinaza (L)	Multienzima (g)	pH
T ₀	150	0	4,2
T ₁	150	0	5,0
T ₂	150	110 ¹	4,5
T ₃	150	110	5,0
T ₄	150	147 ²	4,5
T ₅	150	147	5,0

1= Dosis: 6:1000 con base al 11,63 % de los sólidos totales de la vinaza.

2= Dosis: 8:1000 con base al 11,63 % de los sólidos totales de la vinaza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la planta piloto construida (Figura 1) se colocó el sistema de tuberías cribadas de tal forma de garantizar la circulación constante de aire a través de los mismos.

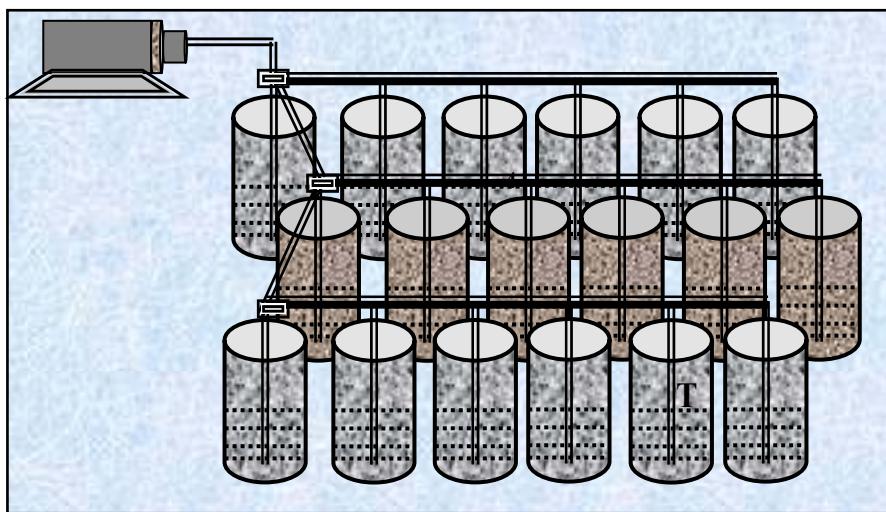


Figura 1. Esquema de la planta piloto para biotransformación de vinaza
(T= Tratamiento testigo)

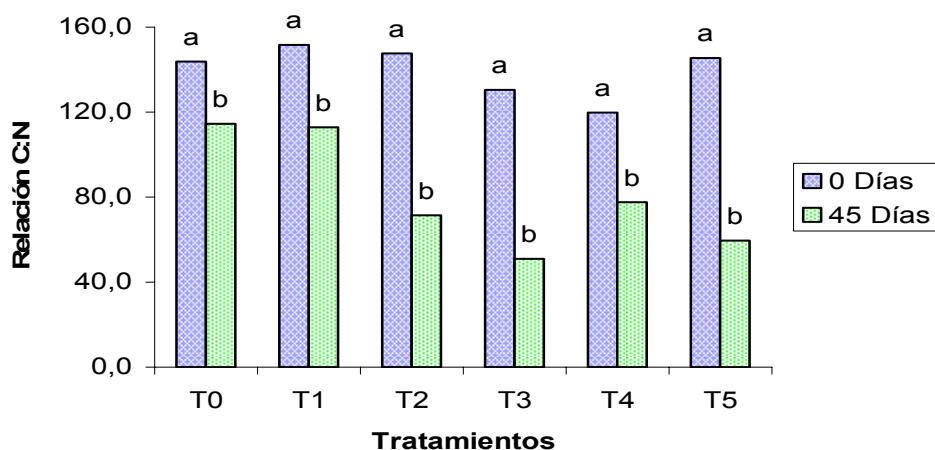
El aire fue impulsado desde el compresor, con una presión promedio de 90 libras, permitió agitar y airear la vinaza contenida en cada recipiente. Esto aseguró la no ocurrencia condiciones de anaerobiosis que pudieran afectar el desarrollo de la microflora natural y la acción de la multienzima sobre el sustrato. Previo al inicio del ensayo se realizó caracterización de la vinaza, los resultados permitieron detectar la alta acidez del material, así como su importante contenido de carbono orgánico (Cuadro 2).

Cuadro 2. Caracterización de la vinaza al inicio del ensayo

Variable	Valores Promedios
pH	4,2
Taninos (mg. L ⁻¹)	2.500
Carbono orgánico (g. L ⁻¹)	311,52
Sustancias húmicas (g. L ⁻¹)	70,68
Ácidos húmicos (g. L ⁻¹)	68,22
Ácidos fulvicos (g. L ⁻¹)	2,46
Sustancias no húmicas (g. L ⁻¹)	226,25
Índice de humificación	3,24
Grado de humificación (%)	22,79
C/N	139,75

Relación carbono:nitrógeno (C/N).

Todos los tratamientos resultaron estadísticamente diferentes al final del tiempo evaluado, con una tendencia a la disminución de dicha relación, hasta obtener en 45 días las relaciones más bajas (Figura 2). Por otra parte, los sustratos en los que se añadió multienzima conformaron un grupo homogéneo separado de los testigos (T₀ y T₁). T₃ y T₅ fueron los tratamientos que alcanzaron los valores más bajos; 50,93 y 59,52; respectivamente. La disminución de la relación C/N en los materiales orgánicos, refleja que hubo una alta acción microbiana en los mismos, favorecida no solo por la acción activadora del complejo multienzimático, sino también por las condiciones de pH cercano a 5 que presentaban estos tratamientos (Girón et al., 2001).

**Figura 2.** Efecto de los tratamientos sobre la relación carbono:nitrógeno
(Letras iguales indican medias iguales para un mismo tratamiento)**Determinación de ácidos húmicos y fulvicos**

Durante los primeros 6 días del ensayo hubo una disminución con relación al contenido de ácidos húmicos detectados inicialmente en cada sustrato (Figura 3). Sin embargo, a medida que transcurrió el tiempo se incrementó la producción de ácidos húmicos en cada tratamiento, llegando a aumentar significativamente en los tratamientos T₃ y T₄ en el período de 30 días y en los tratamientos T₂ y T₃ en el período de 45 días.

Por otro parte, en la figura 3 se ilustra que los tratamientos T_2 y T_3 alcanzaron a los 15 días de ensayo contenidos de ácidos húmicos similares a los obtenidos en los tratamientos que no tenían multienzima a los 45 días. Esto indica que los activadores enzimáticos tuvieron un efecto positivo sobre la velocidad de formación de las sustancias húmicas en el sustrato evaluado, lo cual se confirma por la obtención, al final del ensayo, de valores más elevados de estas sustancias que en los tratamientos testigos (T_0 y T_1).

En cuanto a la fracción de ácidos fúlvinos se observó que, aun cuando en los tiempos intermedios se produjeron incrementos, los valores comenzaron a descender hacia niveles similares a los iniciales (Figura 4), esto estaría relacionado con el incremento de las fracciones húmicas debido a procesos de síntesis y condensación de materiales de menor tamaño molecular.

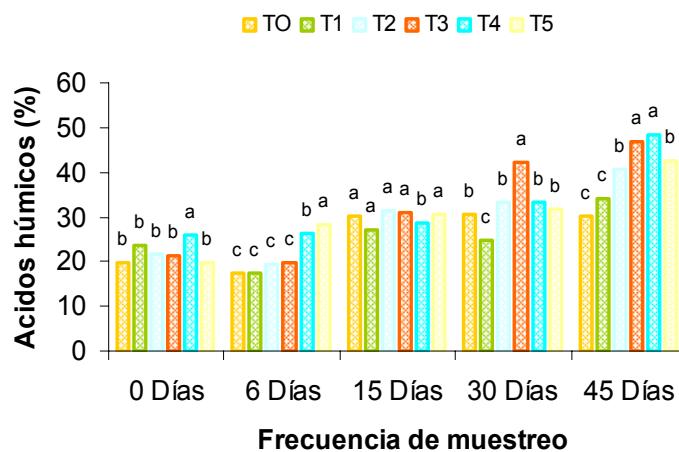


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de ácidos húmicos
(Letras iguales indican medias iguales para un mismo tratamiento)

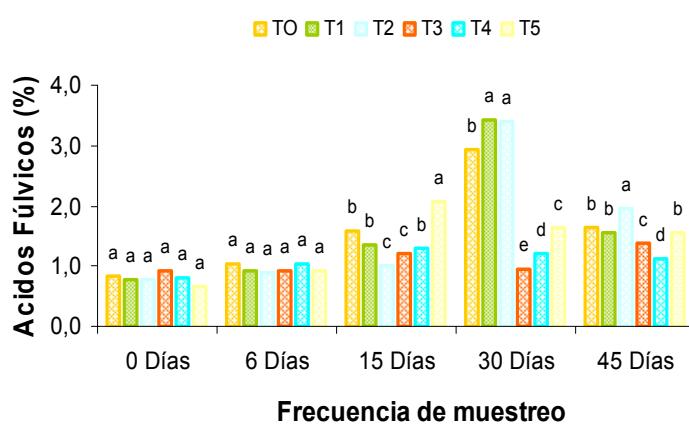


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de ácidos fúlvinos
(Letras iguales indican medias iguales para un mismo tratamiento)

Índice de humificación (IH) y grado de humificación (GH)

El IH para cada uno de los tratamientos evaluados durante el ensayo, disminuyó a medida que este avanzó, lo que refleja que la vinaza tuvo un comportamiento favorable frente al proceso de estabilización de su material orgánico (Figura 5). En tal sentido, Rivero (1999) señala que se ha establecido una clasificación para determinar la madurez de compost: en el caso de compost bien maduros los valores de este índice deben ser menores a 1, para compost parcialmente madurados deben oscilar entre 2 y 1, y para compost inmaduros los valores son mayores a 2. En este estudio el valor mas bajo (0,78) fue alcanzado por el tratamiento T₃ a los 30 días del ensayo, lo que sugiere que este tratamiento logró ser estabilizado en ese periodo de tiempo. En lo que se refiere a los demás tratamientos se podrían clasificar como “sustratos parcialmente madurados” que posiblemente requieren de más tiempo para alcanzar el punto de estabilización esperada.

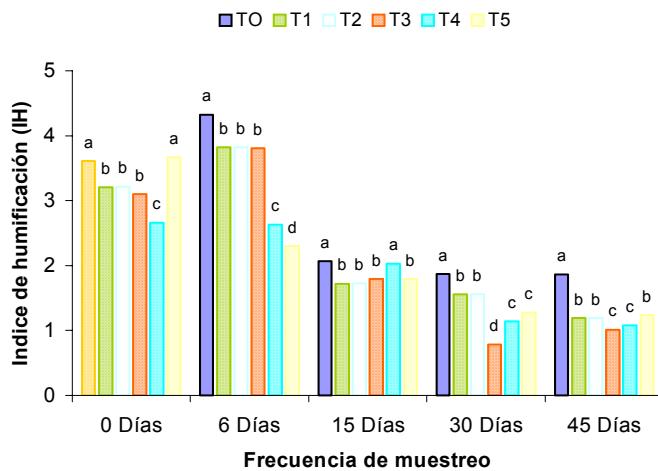


Figura 5. Índice de humificación obtenido para cada tratamiento
(Letras iguales indican medias iguales para un mismo tratamiento)

En cuanto al grado de humificación (Figura 6) se observaron mayores valores en los tratamientos que recibieron multienzimas lo cual es lógicamente producto de la presencia de mayores niveles de ácidos húmicos, es decir materiales con mayor grado de policondensación

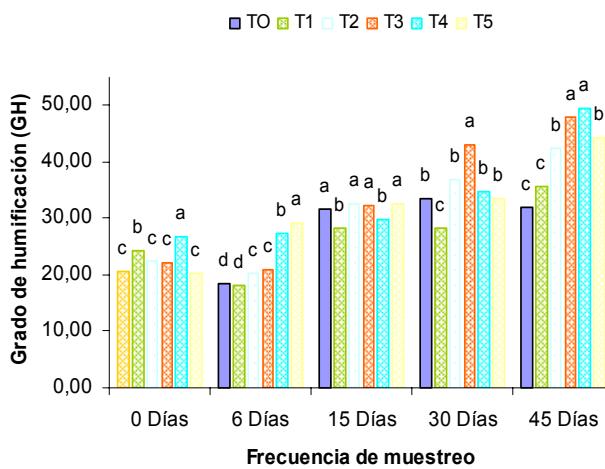


Figura 6. Grado de humificación obtenido para cada tratamiento
(Letras iguales indican medias iguales para un mismo tratamiento)

CONCLUSIONES

La planta piloto diseñada proporcionó las condiciones de aireación óptimas para el procesamiento de la vinaza sin que se produjeran condiciones indeseables de anaerobiosis que ocasionaran resultados adversos con el consecuente deterioro de la calidad del producto final. La afirmación anterior está basada en que los valores de los índices de calidad obtenidos (ácidos húmicos y fulvicos, Índice de humificación y grado de humificación) demuestran que se obtuvo un material de calidad aceptable que puede ser eventualmente usado como fertilizante orgánico con menores riesgos de impacto ambiental.

LITERATURA CITADA

- Amir S., M. Hafidi, G. Merlini y J.C. De Revel.** 2005. Structural characterization of fulvic acids during composting of sewage sludge Process Biochemistry 40(5):1693-1700.
- Brignoli, P.** 1993. *Biotecnologie*. Quaderni Andrómeda. Dimensión Natura. 3(4). Italia.
- Ciavatta, C., Govi, M., Vittori Antisari, L. y Sequi, P.** 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. J. Chromatogr. 509: 141-146.
- Girón, C.; Tortolero, J.; Hermoso, D y González, I.** 2001. Efectos de diferentes residuos vegetales en la composición de cáscaras de cacao. Agronomía Tropical 51(4):549-562.
- Gómez, J.** 1995. Efecto de la vinaza sobre la producción de caña de azúcar bajo tres regímenes de fertilización mineral. Bioagro 7(1):22-28.
- Heanes, D.** 1984. Determination of total organic-C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. Com. Soil Sci. Plant Anal. 15:1191-1213.
- Jackson, M. L.** 1968. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall. Inc. Englewood Cliffs. N. J. pp. 32-36.
- Madrid, C. y Castellanos, Y.** 1998. Efecto de activadores sobre la calidad de compost elaborados con cachaza y bagazo de la caña de azúcar. Venesuelos. 6(1-2):22-28.
- Mohaibes, M. y H. Heinonen-Tanski.** 2004, Aerobic thermophilic treatment of farm slurry and food wastes Bioresource Technology 95(3):245-254.
- Pande, H. P. y Sinha, B. K. 1997.** Uso de los desechos de la destilería como fertilizantes. Sugarce, agroindustrial alternatives. New Delhi: Oxford & IBH publishing. Co.Pvt. Ltd. (Resumen tomado de International Sugar Journal. 99(1180): 201.
- Rivero, C.** 1999. La materia Orgánica del Suelo. Revista de la Facultad de Agronomía. Alcance 56. Universidad Central de Venezuela. XX p
- Statistix** versión 7.0 para PC (2003).

Interrelación entre unidades geológicas y propiedades del suelo en la cuenca alta del río Guárico, Venezuela

Interrelation between geologic units and properties of the soil in the high basin of the river Guárico, Venezuela

Alfredo E. Morales G.¹ y Jesús A. Viloria R.¹

¹ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología. Apdo. Postal 4579. E_mail: alfmoragom@hotmail.com; viloriaj@agr.ucv.ve

RESUMEN

La escasez de información de suelos en la Cuenca Alta del Río Guárico (Venezuela) constituye un serio obstáculo para la formulación de planes de manejo sustentable. Por esto, ha surgido la necesidad de predecir propiedades del suelo a partir de la información ambiental disponible. Este estudio tiene como propósito investigar si existen relaciones cuantitativas entre características del suelo y las formaciones geológicas que afloran en esta región, que permitan utilizar mapas geológicos para predecir propiedades relevantes de suelo.

ABSTRACT

The scarce soil information from the high watershed of the Guarico River (Venezuela) has been a great obstacle for sustainable land-use planning. This problem has raised the need for predicting soil properties from environmental information that is more easily available. This study pretends to investigate if there are quantitative relationships between soil properties and the geological formations appearing at this region, that allows using geological maps to predict relevant soil characteristics. A canonical discriminant analysis was carried out to determine correlations between soil properties and

Se realizó un análisis discriminante canónico para explorar la correlación entre las propiedades de los suelos y las unidades geológicas, y se evaluó la capacidad de predicción de estas unidades por medio de la correlación intraclas. Se emplearon 21 muestras del horizonte A y 20 del B. Se encontraron relaciones entre las unidades geológicas y las propiedades edáficas: relación calcio – magnesio (Ca/Mg), razón de adsorción de sodio (RAS), pH, conductividad eléctrica (CE), fósforo disponible y % arcilla. La correlación intraclas fue significativa para Ca/Mg, RAS, pH y CE. Desde el punto de vista agronómico, no se encontraron valores limitantes de sodio ni de sales. Los intervalos entre cuartiles indicaron que la heterogeneidad interna de algunas unidades geológicas afecta negativamente la calidad de las predicciones de pH y fósforo disponible. Los suelos son fracos en casi todas las unidades geológicas, pero son arcillosos en la formación Guárico. Se concluye que la información geológica permite inferir algunas propiedades de los suelos; pero la heterogeneidad interna de las unidades geológicas limita la certeza de las predicciones de los valores de esas propiedades.

Palabras claves: Análisis Discriminante Canónico, Cuenca Alta del Río Guárico, Grupo Villa de Cura, Grupo Caracas, Serranía del Interior.

the geological units. The prediction capacity of these units was appraised by means of the intra-class correlation. Soil samples from 21 horizons A and 20 horizons B were used. It was found that the geological units are related to the soil properties: calcium–magnesium ratio, sodium sorption ratio, pH, electrical conductivity, available phosphorus and clay percentage. The intraclass correlation was significant for calcium–magnesium ratio, sodium sorption ratio, pH and electrical conductivity. It was not found limiting values of sodium or salts contents for agricultural uses. The interquartile ranges indicate that an internal heterogeneity affects negatively the prediction capacity of soil pH and available phosphorus within some of the geological units. Soils in this region are usually loamy; but they are finer on the Guarico formation. It is concluded that the geological units permit to infer the values of some soil properties, but their internal heterogeneity reduces the precision of such predictions.

Key words: Canonical discriminant analysis, high watershed of Guárico River, Villa de Cura Group, Caracas Group, Serranía del Interior.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca Alta del Río Guárico alimenta al embalse Camatagua, la cual es una de las fuentes más importantes de agua para consumo humano y agrícola en la región centro-norte de Venezuela. Sin embargo, la misma se encuentra sometida a severos procesos de degradación ambiental, asociados a usos no sustentables de la tierra (Jácome *et al.*, 2001).

Un área tan extensa como ésta (alrededor de 2000 km²) abarca una gran diversidad de paisajes. Por esta razón, la identificación de la aptitud de sus tierras para tipos de utilización específicos, es un paso esencial para proponer lineamientos para la producción sostenible de agua en esta cuenca. Sin embargo, la escasez generalizada de información básica sobre los recursos naturales constituye un serio obstáculo para esta evaluación.

El Sistema de Información Ambiental de la Cuenca Alta del Río Guárico (SIACARG) reúne los datos disponibles para esta área geográfica sobre uso de la tierra, cobertura vegetal, capacidad de uso de la tierra, relieve (modelo digital de elevación), clima y geología, a escala 1:100.000 ó menor (Jácome, *et al.*, 2001). No obstante, la cuenca no dispone de mapas de suelos porque forma parte del 11 % del territorio de Venezuela que no fue cubierto por el programa de inventario nacional de este recurso a escala 1:250.000 (García, 1995).

Las propiedades de los suelos son producto de la acción de procesos que actúan sobre las rocas meterizadas (regolitos) y los sedimentos. La influencia del material parental sobre las propiedades del suelo ha sido reconocida desde los primeros estudios edafológicos desarrollados en la historia, en los cuales los mapas de suelos tenían como fundamento las características geológicas del lugar. De esta forma, uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos estaba basado mayormente en el origen geológico y la composición litológica, referidos como material parental (Buol *et al.*, 1973).

Dada la relación de las formaciones geológicas con los materiales parentales de suelo, se debe esperar que los mapas geológicos sean útiles para predecir propiedades del suelo. Por ejemplo, De Kimpe et al (1984) señalan que las propiedades de los suelos provenientes de los materiales ácidos (ricos en cuarzo) son distintas de las propiedades de los suelos formados en los materiales básicos (ricos en silicatos ferromagnesianos o no ferromagnesianos). Asimismo, según Parsons (1978), en las zonas montañosas de Canadá, los suelos procedentes de los materiales piroclásticos son más evolucionados y más profundos que los suelos de granito y esquisto (Parsons, 1978).

La generalidad de los mapas geológicos usados como información básica en los estudios de suelos muestra la distribución geográfica de formaciones geológicas. Las delineaciones de estas unidades, al igual que las de las unidades cartográficas de suelos, tienen características similares y ocurren en posiciones espaciales predecibles. De acuerdo a Daniels y Hammer (1992), una formación geológica es una unidad litoestratigráfica fundamental, con un intervalo determinado de edad, ambiente de formación y litología.

No obstante, las formaciones geológicas delineadas todavía contienen una importante variabilidad interna. En adición a esto, si los materiales parentales de suelo han sido transportados, su homogeneidad depende no sólo de su fuente sino también de los procesos de transporte y sedimentación implicados (Daniels y Hammer, 1992). Finalmente, la influencia del material parental sobre las propiedades del suelo es mayor en regiones secas y en los estados iniciales de formación del suelo; en regiones húmedas y con el avance del tiempo, esta influencia puede ser opacada por la de otros factores formadores de suelos (Birkeland, 1984).

Según Smith y Hudson (1999), se atribuye a Dokuchaiev, en Rusia, y a Hilgard, en EUA, a finales del siglo XIX, haber sido los primeros en plantear que la variación espacial del suelo sigue ciertos patrones relacionados con la variación geográfica del clima, la vegetación, el material parental del suelo, el relieve y la edad de las formas de terreno. Estos elementos del paisaje son denominados, comúnmente, factores formadores de suelo.

Jenny (1941, 1961) intentó expresar matemáticamente el modelo a través de su ecuación de los factores de estado; pero los intentos de resolver esta ecuación resultaron mayormente en vano debido al desconocimiento de cómo relacionar más de dos variables a la vez. Estudios subsecuentes han estado similarmente restringidos casi totalmente a buscar relaciones lineales simples entre pares de variables; una de ellas es la propiedad de suelo y la otra una característica ambiental. Para revelar tales relaciones en condiciones más ventajosas se deben escoger los lugares de tal modo que con excepción de uno de los factores de estado, las características ambientales al menos varíen poco. El enfoque ha sido más experimental que hacia el estudio de suelos (Webster, 1977).

El avance de los procedimientos cuantitativos de análisis de datos ha dado lugar a diferentes métodos multivariados, que el desarrollo presente de las computadoras ha hecho accesibles para su aplicación a estudios de suelos. Entre ellos, el Análisis Discriminante Canónico es adecuado para determinar cuantitativamente si existe relación entre un grupo determinado de clases y un conjunto de variables cuantitativas, medidas sobre los mismos objetos (Viloria et al., 2001, Morales, 2003).

Este estudio hace uso del Análisis Discriminante Canónico para investigar si existen relaciones entre las formaciones geológicas que afloran en esta región y las propiedades del suelo, que permitan predecir valores de propiedades edáficas relevantes, a partir de los mapas geológicos disponibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La Cuenca Alta del Río Guárico se sitúa en su mayoría en la Serranía Central del Interior, entre los estados Aragua, Carabobo y Guárico. Se ubica entre las coordenadas UTM: 1.079.112 – 1.127.335 (Norte) y 637.964 – 728.774 (Este). Su clima está representado por tres zonas de vida: Bosque Seco Tropical (50 %), Bosque Seco Premontano (10 %) y Bosque Húmedo Premontano (40 %) (Spósito y Elizalde, 2004). Geológicamente, el área de estudio en su mayor parte presenta rocas metavolcánicas que corresponden al grupo Villa de Cura (formaciones El Caño, El Chino, El Carmen y Santa Isabel) (Shagam, 1960). También existen rocas metasedimentarias del grupo Caracas (formaciones Las Brisas y Las Mercedes), rocas sedimentarias de las formaciones Paracotos y Guárico, rocas ígneas de la formación Tiara y rocas ígneas del Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro. Con respecto a su edad, los materiales de la formación Guárico tienden a ser los más jóvenes mientras que los materiales de los grupos Villa de Cura y Caracas tienden a ser los más antiguos (PDVSA – INTEVEP, 2006). Los sedimentos del Cuaternario se ubican en los valles intramontanos.

Datos

Debido a la escasez de información de suelos en la Cuenca Alta del Río Guárico, se consideraron 21 muestras de horizonte A y 20 muestras de horizonte B, de 20 perfiles descritos en un muestreo de reconocimiento de suelos de toda el área de estudio, realizado con una intensidad de 1 observación / 10 km² (Prada y Viloria, 2004) (Figura 1). La información sobre formaciones geológicas fue derivada de las unidades de paisaje identificadas en el mapa geomorfológico a escala 1:250.000 de esa área (Ospina y Elizalde, 2004).

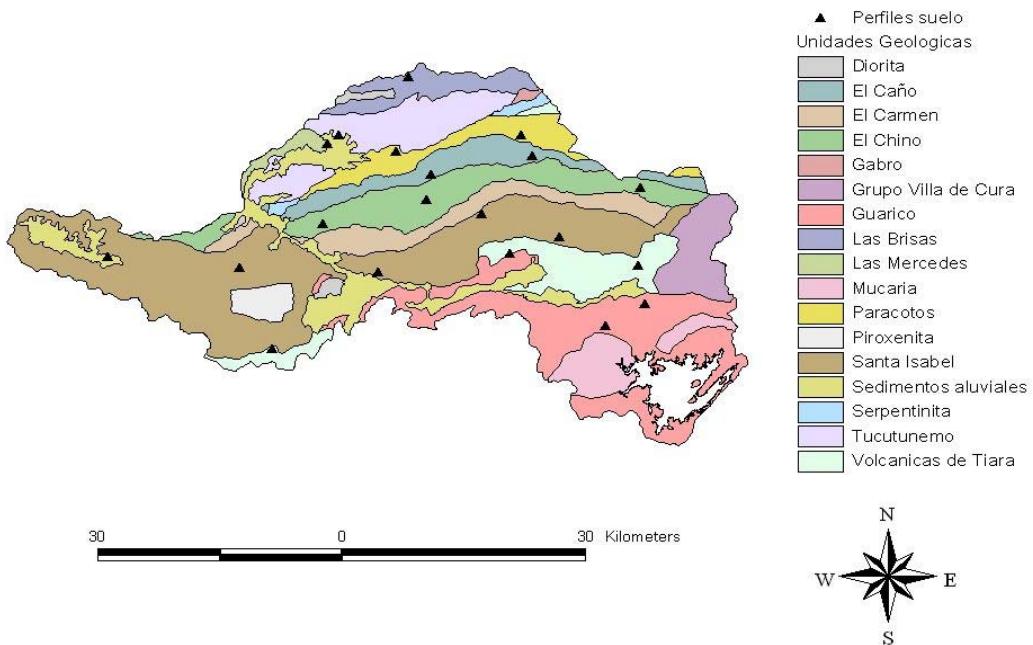


Figura 1: Distribución de puntos de muestreo en las unidades geológicas de la Cuenca Alta del Río Guárico (Fuente: Elaboración propia basada en Ospina-Elizalde (2004) y Prada-Viloria (2004))

Las características de suelo estudiadas fueron las siguientes: % arcilla, % arena, capacidad de intercambio catiónico (CIC) determinado por acetato de amonio, relación calcio – magnesio intercambiables (Ca/Mg), relación calcio – potasio intercambiables (Ca/K), razón de adsorción de sodio (RAS), pH en agua 1:1, conductividad eléctrica del extracto (CE), % materia orgánica (% MO) y contenido de fósforo (P) extraído con la solución Carolina del Norte. La determinación de estas características fue realizada en el Laboratorio General del Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.

Se seleccionaron las relaciones Ca/Mg y Ca/K porque toman en cuenta la interacción entre los cationes básicos. Los contenidos individuales de calcio, magnesio, potasio y sodio no determinan la disponibilidad real de estos cationes para las plantas. Las proporciones ideales de las bases serían que el 65 al 75% del total sea Ca, 10 – 15 % Mg y 2 – 5% K para el desarrollo normal de la mayoría de los cultivos (Casanova, 1996). Esto conlleva a que los valores de la relación Ca/Mg deben ser superiores de 4 e inferiores de 8 y los de la relación Ca/K deben ser menores de 38. Si la relación Ca/Mg es menor que 4 hay deficiencia de calcio y mayor que 8 deficiencia de magnesio. Si la relación Ca/K es igual o mayor que 38 hay deficiencia de potasio.

Los atributos de color no fueron considerados debido a la insuficiencia de información de suelos en la Cuenca Alta del Río Guárico.

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un Análisis Discriminante Canónico (ADC) por medio del procedimiento CANDISC del SAS (SAS/STAT, 1990). Este análisis permitió generar combinaciones lineales, llamadas variables canónicas, entre dos conjuntos de datos: 1) las unidades geológicas (como variables codificadas, *i.e.* clases), y 2) las características de los horizontes A y B del suelo (variables cuantitativas). Las variables canónicas sintetizan la correlación entre propiedades del suelo y las unidades geológicas. Además de esto, el ADC calcula las distancias entre las unidades geológicas en el espacio matemático multivariado caracterizado por las variables de suelos estudiadas y verifica si estas distancias son significativamente diferentes de cero (Viloria *et al.*, 2001).

La capacidad de predicción de las características del suelo a partir de las unidades geológicas fue determinada por la correlación intraclasa (r_i) expresada como:

$$r_i = s^2_b / s^2_b + s^2_w$$

donde s^2_b es la varianza entre clases y s^2_w es la varianza intraclasa (Webster y Beckett, 1968).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso CANDISC del SAS generó 8 variables canónicas, de las cuales, las tres primeras presentan valores propios mayores que 1 y sintetizan el 89 % de la variabilidad de las unidades geológicas (Cuadro 1). Cada valor propio es igual a $R^2 / 1 - R^2$ donde R^2 es la correspondiente correlación canónica elevada al cuadrado. Este parámetro puede ser interpretado como el cociente entre la variación entre unidades geológicas y la variación dentro de esas unidades. La primera correlación es alta ($R^2 = 0,90$) que permite describir claramente la interrelación entre las propiedades de suelo y las unidades geológicas. Mientras que la segunda y la tercera correlación son moderadas ($R^2 > 0,50$), indicando ciertas asociaciones. La prueba F de la hipótesis nula revela que las dos primeras correlaciones son significativas para un nivel de probabilidad del 1% (Cuadro 2), lo cual indica que en el área de estudio existe asociación entre las propiedades de los suelos y las unidades geológicas, que permite diferenciar aquellos a partir de éstas.

Cuadro 1. Correlación canónica entre unidades geológicas y propiedades de suelo en la Cuenca Alta del Río Guárico

Variable canónica	Correlación canónica	(Correlación canónica) ²	Valor Propio	Proporción Absoluta	Proporción Acumulada
1	0,95	0,90	9,09	0,62	0,62
2	0,85	0,72	2,63	0,17	0,79
3	0,77	0,59	1,42	0,10	0,89

Cuadro 2. Prueba de hipótesis nula de que las correlaciones canónicas son iguales a cero en la Cuenca Alta del Río Guárico

Variable canónica	Razón de probabilidad	F	Probabilidad D ² = 0
1	0,003	2,61	0,0001
2	0,032	1,73	0,0044
3	0,117	1,33	0,1074

Las propiedades de suelo que más contribuyen a la primera correlación canónica son la relación Ca/Mg, la conductividad eléctrica, el pH y el contenido de fósforo disponible (Cuadro 3). Por su parte, la segunda correlación canónica muestra una importante influencia de la razón de adsorción de sodio (RAS). En general, este análisis revela que ciertamente existe relación entre ciertas características químicas del suelo y las unidades geológicas. Sin embargo, las diferencias en granulometría no parecen ser significativas.

En la Figura 2, se puede apreciar que los suelos formados a partir de materiales de la formación Las Mercedes se ubican en el extremo positivo del primer eje canónico. Estos suelos presentan alta relación Ca/Mg, reacción ligeramente alcalina y altos contenidos de fósforo disponible. Por su parte, los suelos provenientes de Las Brisas, ubicados en el extremo positivo del segundo eje canónico, tienden a presentar valores relativamente más altos de RAS, mientras que los suelos originarios de los depósitos del Cuaternario ocupan el extremo negativo del segundo eje canónico, presentando valores relativamente más bajos de RAS. Además de esto, se observa cierto grado de solapamiento de las unidades Guárico, Paracotos, El Chino, El Caño, Santa Isabel y Tiara, alrededor de los ejes canónicos. Esto indica que los suelos de las unidades Las Mercedes, Las Brisas y depósitos del Cuaternario son diferentes entre sí, mientras que los suelos de las demás unidades son aparentemente similares.

Cuadro 3. Correlación entre variables canónicas y propiedades de suelo en la Cuenca Alta del Río Guárico

Característica	Variable canónica 1	Variable canónica 2
% Arcilla	0,22	0,26
% Arena	-0,24	0,31
CIC (cmol kg^{-1})	-0,08	0,15
Ca / Mg	* 0,84	-0,17
Ca / K	-0,10	-0,23
RAS	0,07	* 0,80
pH 1:1	* 0,71	-0,35
CE (dS m^{-1})	* 0,74	-0,18
% MO	0,12	-0,05
P (mg kg^{-1})	* 0,69	-0,16

*Correlaciones multivariadas estadísticamente significativas ($\alpha = 0,01$)

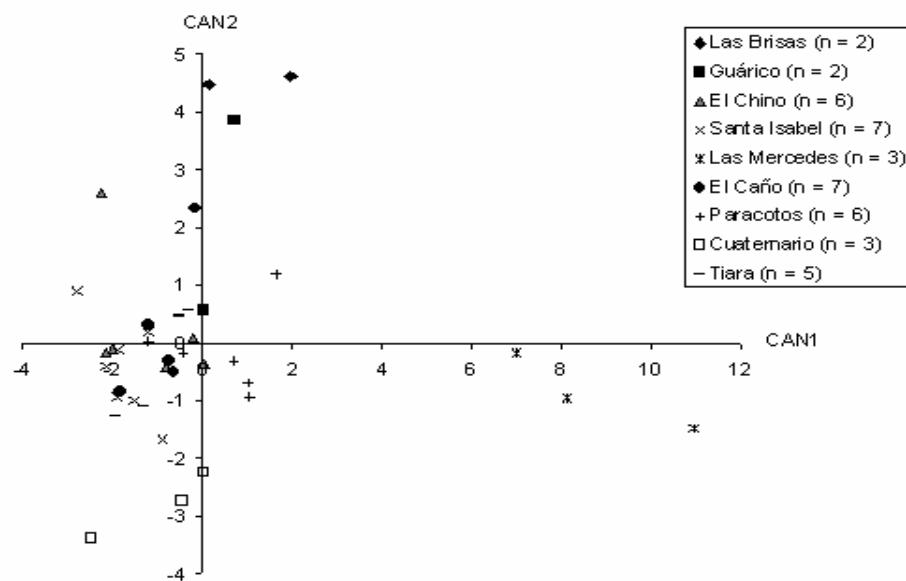


Figura 2. Diagrama de dispersión de horizontes de las unidades geológicas con respecto a los ejes canónicos 1 y 2

Las distancias de Mahalanobis reportadas en el Cuadro 4 indican que la variabilidad entre las unidades geológicas es determinada en gran parte por la formación Las Mercedes, la cual es marcadamente distinta a las demás. En vista de que la formación Las Mercedes no permite apreciar claramente la variabilidad entre los suelos de las otras unidades geológicas, se repitió el análisis considerando solamente las formaciones del grupo Villa de Cura y las formaciones Guárico, Paracotos y Tiara. Además, se tomaron en cuenta los depósitos del Cuaternario.

Cuadro 4. Distancia Mahalanobis entre unidades geológicas en la Cuenca Alta del Río Guárico

	Las Brisas	Guárico	El Chino	Santa Isabel	Las Mercedes	Paracotos	Cuaternario
El Chino	** 27,6						
Santa Isabel	** 34,2	** 22,6					
Las Mercedes	*** 88,7	*** 88,8	*** 100,9	*** 109,4			
Paracotos	** 27,3	* 19,9	** 11,5	* 10,5	*** 74,1		
Cuaternario	*** 61,9	** 28,9	* 15,9		*** 102,3	** 18,7	
Tiara	** 29,5	** 28,7			*** 97,6		* 17,7
El Caño	** 24,1				*** 94,8		

Diferencias estadísticamente significativas 0,10 (*), 0,05 (**) y 0,01 (***)

Al obviar los suelos del grupo Caracas (formaciones Las Mercedes y Las Brisas), el proceso CANDISC del SAS generó 6 variables canónicas de las cuales, las tres primeras son moderadas ($R^2 > 0,60$) y presentan valores propios mayores que 1 abarcando más del 80 % de variación de las unidades geológicas (Cuadro 5). Estas correlaciones son significativas para el nivel de probabilidad del 5%, señalando cierto grado de solapamiento entre esas unidades geológicas (Cuadro 6). En consecuencia, la variabilidad de los atributos del suelo dentro de las unidades geológicas es apreciable. En el Cuadro 7, se puede notar que la mayor contribución a la primera variable canónica procede del porcentaje de arcilla seguida por la capacidad de intercambio catiónico. La contribución del porcentaje de arena tiende a ser moderada para la segunda variable canónica.

Cuadro 5. Correlación canónica entre unidades geológicas y propiedades de suelo, sin las unidades Las Mercedes y Las Brisas

Variable canónica	Correlación canónica	(Correlación canónica) ²	Valor propio	Proporción absoluta	Proporción acumulada
1	0,81	0,66	1,96	0,34	0,34
2	0,79	0,62	1,62	0,28	0,62
3	0,75	0,56	1,26	0,21	0,83

Cuadro 6. Prueba de hipótesis nula de que las correlaciones canónicas son iguales a cero, sin las unidades Las Brisas y Las Mercedes

Variable canónica	Razón de probabilidad	F	Probabilidad D ² = 0
1	0,03	1,67	0,0115
2	0,08	1,52	0,0469
3	0,20	1,29	0,1826

Cuadro 7. Correlación entre variables canónicas y propiedades de suelo, sin las unidades Las Brisas y Las Mercedes

Característica	Variable canónica 1	Variable canónica 2
% Arcilla	0,68*	-0,10
% Arena	-0,25	0,49
CIC ($\text{cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$)	-0,52	0,07
Ca/Mg	0,15	-0,39
Ca/K	-0,21	-0,24
RAS	0,48	0,26
pH 1:1	-0,15	0,40
CE (dS m^{-1})	-0,26	0,41
% MO	0,14	-0,01
P (mg kg^{-1})	-0,01	0,43

En la Figura 3, se observa un solapamiento entre las unidades geológicas, con la excepción de las unidades Cuaternario y Guárico. Los valores de la distancia de Mahalanobis reportados en el Cuadro 8 indican que la formación Guárico es la que más contribuye a la variabilidad entre las unidades geológicas. Los suelos derivados de esa formación, ubicados en el extremo positivo del primer eje canónico, tienden a tener mayor porcentaje de arcilla y menor capacidad de intercambio catiónico (Cuadro 7). Esto es dado por el predominio de cuarzo y mica en la fracción arcilla de los suelos de la unidad Guárico (Hernández *et al.*, 2004). La mineralogía de los suelos de las demás unidades geológicas es representada mayormente por la vermiculita y esmectita, que presentan mayor capacidad de intercambio catiónico. Los suelos provenientes de los depósitos del Cuaternario son de textura franca fina, mientras que los suelos de las unidades El Chino, Santa Isabel, El Caño, Paracotos y Tiara tienden a presentar textura franca gruesa.

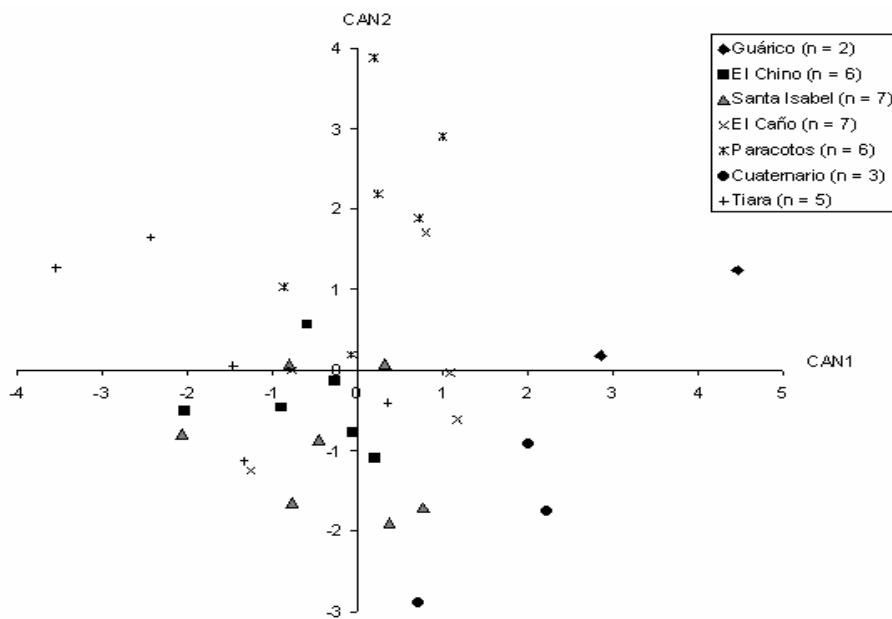


Figura 3. Diagrama de dispersión de horizontes de las unidades geológicas con respecto a los ejes canónicos 1 y 2, sin las unidades Las Brisas y Las Mercedes.

Cuadro 8. Distancia Mahalanobis entre formaciones geológicas, sin las unidades Las Brisas y Las Mercedes

Series	Guárico	El Chino	Santa Isabel	Paracotos	Cuaternario
El Chino	* 22,3				
Santa Isabel	* 23,0				
Paracotos	* 21,7	* 11,5	* 10,8		
Cuaternario	* 27,0	** 18,8		** 19,3	
Tiara	** 33,6				** 19,9

Las medianas de las propiedades edáficas mostradas en el Cuadro 9 ilustran las diferencias entre las distintas unidades geológicas, respecto a las propiedades de suelo. En efecto, los suelos formados sobre materiales de la formación Las Mercedes presentan altos contenidos de calcio con relación al magnesio, deficiencia de Mg, pH ligeramente alcalino y un contenido muy alto de fósforo disponible. En cambio, los suelos derivados de la formación Paracotos tienden a mostrar una baja relación Ca/Mg y pH neutro. Finalmente, los suelos derivados de los demás materiales geológicos tienden a presentar una reacción moderadamente ácida, valores bajos de relación Ca/Mg y valores muy bajos de fósforo disponible.

Con respecto a la granulometría, los suelos originados de la formación Guárico tienden a ser arcillosos. Mientras que los suelos de Tiara, El Chino y Paracotos tienden a tener textura franca gruesa (< 18% arcilla), y los suelos de Las Brisas, Las Mercedes, Santa Isabel, El Caño y depósitos del Cuaternario tienden a presentar textura franca fina.

Cuadro 9. Medianas de las propiedades edáficas de las unidades geológicas en la Cuenca Alta del Río Guárico

Grupo	Unidad Geológica	% arcilla	Ca/Mg	RAS	pH 1:1	CE (dS m^{-1})	P (mg kg^{-1})
Caracas	Las Brisas	27	2,5	0,09	5,8	0,1	1
	Las Mercedes	28	49,4	0,01	7,7	0,3	73
	El Chino	17	1,3	0,01	6,1	0,1	7
	El Caño	19	1,8	0,02	6,3	0,1	1
	Santa Isabel	19	2,3	0,02	5,6	0,1	3
	Paracotos	15	0,9	0,02	6,6	0,2	7
	Tiara	13	0,7	0,01	6,2	0,1	3
	Guárico	39	1,7	0,07	5,9	0,1	3
	Cuaternario	30	1,7	0,00	6,2	0,1	1

El Cuadro 10 muestra los valores de correlación intraclasa (r_i). Este parámetro puede variar entre 0, cuando no hay diferencias entre las clases ($s^2_b = 0$), y 1 cuando las clases son diferentes entre sí e internamente uniformes ($s^2_w = 0$). Sin embargo, no hay criterios preestablecidos para su interpretación.

Los valores de correlación intraclasa son más altos ($> 0,45$) para la relación Ca/Mg, el pH y la razón de adsorción de sodio (RAS). Por ende la información geológica de la Cuenca Alta del Río Guárico puede ser utilizada para predecir estas propiedades con mayor certidumbre. La correlación intraclasa es un poco menor para la conductividad eléctrica, el porcentaje de arcilla y el contenido de fósforo disponible, siendo menor la confiabilidad de su pronóstico.

Los intervalos entre cuartiles de las propiedades del suelo revelan que la heterogeneidad interna de algunas unidades geológicas puede afectar la calidad de predicción del pH y el fósforo disponible (Cuadro 11). En efecto, los suelos provenientes de los materiales de El Chino pueden ser desde fuertemente hasta ligeramente ácidos; los derivados de materiales de la formación Guárico pueden presentar reacciones que van de fuertemente ácida a neutra y los de la unidad Tiara varían de moderadamente ácidos a neutros. Por otra parte, los suelos originados de la formación Paracotos presentan contenidos de fósforo que varían de muy bajo a medio, lo cual limita la certeza del pronóstico de sus valores.

Sin embargo, los valores de pH y fósforo disponible en el suelo son predecibles con mayor certidumbre en las unidades Las Brisas, Las Mercedes, El Caño y Cuaternario. Por otra parte, en los suelos de la Cuenca Alta del Río Guárico no se han encontrado valores limitantes de sodio ($RAS < 1$) ni de sales ($CE < 1$ dS/m), desde el punto de vista agronómico (Cuadro 11).

Cuadro 10. Promedio de la muestra, varianza total, varianza intraclase, varianza interclase y correlación intraclase (r_i) para las propiedades edáficas de las unidades geológicas en la Cuenca Alta del río Guárico

Propiedad	Promedio	s^2_t	s^2_w	s^2_b	r_i
% arcilla	21,4	138,9	96,0	47,8	0,33
Ca/Mg	5,8	309,7	110,4	224,0	0,67
pH 1:1	6,1	0,5	0,3	0,2	0,46
RAS	0,02	0,001	0,0003	0,0004	0,52
CE	0,1	0,01	0,003	0,002	0,41
P (mg kg^{-1})	14,7	1247,3	800,4	500,7	0,38

Cuadro 11. Intervalos entre cuartiles de las propiedades edáficas de las unidades geológicas en la Cuenca Alta del Río Guárico

Grupo	Unidad Geológica	% arcilla	Ca / Mg	RAS	pH 1:1	CE	P
Caracas	Las Brisas	27 – 27	2,5 – 2,6	0,07 – 0,10	5,8 - 5,9	0,1 - 0,2	1 – 1
	Las Mercedes	27 – 28	35,1 – 75,8	0,01 – 0,01	7,5 - 7,8	0,3 - 0,3	51 – 128
	El Chino	15 – 22	1,2 – 1,5	0,01 – 0,02	5,2 - 6,2	0,1 - 0,2	5 – 9
Villa de Cura	El Caño	18 – 27	1,6 – 2,2	0,01 – 0,02	6,0 - 6,3	0,1 - 0,1	0 – 1
	Santa Isabel	11 – 23	1,7 – 2,7	0,01 – 0,03	5,5 - 5,7	0,1 - 0,1	2 – 4
	Paracotos	11 – 22	0,1 – 1,9	0,02 – 0,02	6,3 - 6,7	0,1 - 0,2	2 – 28
	Tiara	3 – 18	0,6 – 0,8	0,01 – 0,01	5,9 - 6,7	0,1 - 0,2	1 – 4
	Guárico	38 – 45	1,2 – 2,1	0,05 – 0,09	5,4 - 6,7	0,1 - 0,2	3 – 4
	Cuaternario	23 – 30	1,6 – 1,7	0,00 - 0,00	6,2 - 6,3	0,1 - 0,2	1 – 3

CONCLUSIONES

El Análisis Discriminante Canónico permitió describir la interrelación entre las unidades geológicas y las propiedades de los suelos. La información geológica de la Cuenca Alta del Río Guárico permite distinguir los suelos e inferir sus propiedades químicas, sobretodo la relación Ca/Mg, el pH y el fósforo disponible. Los suelos del grupo Villa de Cura que son predominantes en esa área de estudio presentan bajos contenidos de calcio con relación al magnesio, tendencia a acidez ligera o moderada y contenidos bajos de fósforo. Por el contrario, los suelos de Las Mercedes tienen una alta relación Ca / Mg, un pH ligeramente alcalino y son ricos en fósforo. En general, los suelos del área de estudio son de texturas medias, con excepción de la formación Guárico que tienden a ser más arcillosos.

Este estudio revela que la información geológica en la Cuenca Alta del Río Guárico permite inferir algunas propiedades de los suelos cuando no se dispone de mapas de suelos. Sin embargo, la heterogeneidad interna de las unidades geológicas limita la certeza de las predicciones de los valores de las propiedades edáficas. Por consiguiente, es necesario realizar estudios más detallados de suelos en las áreas pilotos y determinar la aplicabilidad de la geomática (modelo digital de elevación, imágenes de satélite) para la predicción de las propiedades de los suelos que puedan servir de apoyo para los planes de manejo sustentable de esta cuenca.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo es producto de la investigación realizada por el Núcleo de Investigación y Excelencia Manejo Integral de la Cuenca Alta del Río Guárico, como parte del Proyecto Iniciativa Científica del Milenio, conducido por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT) de Venezuela, con financiamiento del Banco Mundial y del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la República Bolivariana de Venezuela.

LITERATURA CITADA

- Birkeland, P.** 1984. "Soils and Geomorphology". Oxford University Press. Oxford, U.K. 372 p.
- Buol S.W., Hole F.D. y McCracken R.J.** 1973. "Soil genesis and classification". Iowa, U.S., the Iowa University Press, Ames. pp 171 – 181.
- Casanova E.** 1996. "Introducción a la Ciencia del Suelo". Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 379 p.
- Daniels R.B. y Hammer R.D.** 1992. "Soil geomorphology". John Wiley, New York. 236 p.
- De Kimpe C.R., Laverdiere M.R., Dejou J. y Lasalle P.** 1984. "Effects of acidic and basic parent materials on formation of some soils in Québec (Canada)". *Geoderma*. 33(2): 101-118.
- Hernández W., Ospina A. y Elizalde G.** 2004. "Mineralogía de los suelos y materiales parentales de la Cuenca Alta del Río Guárico (Venezuela)". XVI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo.
- García P.** 1995. "Los estudios de suelos en Venezuela: antecedentes, logros y perspectivas". En: Boletín Técnico Especial: 40 años de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. 13º Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay, 191 p.
- Jácome A., Aguerrevere G. y López M.T.** 2001. "Sistema de Información Ambiental Cuenca Alta del Río Guárico". Fundacite Aragua – Informe final. 110 p.
- Jenny H.** 1941. "Factors of soil formation". McGraw-Hill, New York. 281 p.
- Jenny H.** 1961. "Derivation of state factor equation of soils and ecosystems. *Soil Sci. Soc. AMER. Proc.* 25: 385 - 388.
- Morales A. 2003.** "Aplicabilidad del enfoque de conjuntos borrosos a la clasificación de suelos de la depresión del lago de Valencia". Tesis de Maestría en Ciencia del Suelo, Fac. Agr., UCV. Maracay, Venezuela. 126 p.
- Ospina A. y Elizalde G.** 2004. "Caracterización de paisajes, suelos y materiales parentales de la Cuenca Alta del Río Guárico". Núcleo de Manejo Integral de la Cuenca Alta del Río Guárico. Fac. Agr., UCV. Maracay, Estado Aragua. 102 p.
- Parsons R.B.** 1978. "Soil-geomorphology relations in mountains of Oregon, USA". *Geoderma*. 21(1): 25-39.
- PDVSA - INTEVEP.** 2006. "Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela". Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (CIEN). <http://www.pdvsa.com/lexico/>
- Prada R. y Viloria J.** 2004. "Diagnóstico general de las propiedades del suelo en la cuenca alta del Río Guárico". Fac. Agr., UCV. Maracay, Estado Aragua. 29 p.
- SAS/STAT.** 1990. "User's Guide, Version 6, Volume 1". Fourth Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. pp 1 - 890.
- Shagam R.** 1960. "Geología de Aragua central (Venezuela)". III Cong. Geol. Venez. Caracas, 1959, 2: 574 – 675.
- Smith H. y Hudson B.** 1999. "Soil survey in the Twenty-first Century". In: International Conference on Soil Resources: their inventory, analysis and interpretation for use in the 21st century. Minneapolis, USA, Department of Soil, Water and Climate, University of Minnesota. p.p. 174 – 185.
- Spósito M. y Elizalde G.** 2004. "Caracterización Climática de la Cuenca Alta del Río Guárico". Núcleo de Manejo Integral de la Cuenca Alta del Río Guárico. Fac. Agr. UCV. Maracay, Edo. Aragua. 39 p.
- Viloria J., Jácome A., Elizalde G. y Rangel L.** 2001. "Utilidad de la subdivisión de la depresión del lago de Valencia en unidades de paisaje para la correlación de suelos". *Agronomía Tropical*. 51(3): 283-300.
- Webster R. y Beckett P.H.T.** 1968. "Quality and Usefulness of Soil Maps". *Nature* 219 (5155): 680 – 682.
- Webster R.** 1977. "Canonical correlation in pedology: how useful?" *Journal of Soil Science*. 28: 196-221.

Evidencias de movilización de Fe(III) y Al(III) por ácidos húmicos. Horizonte superficial del yacimiento de bauxita de los Pijiguao Venezuela

Evidence of Fe(III) and Al(III) mobilization by humic acids. Los Pijiguao bauxite ore deposit Venezuela

Salvador Lo Mónaco y Liliana López¹⁾

Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Apdo. 3985. Caracas 1010-A Venezuela E-mail: slomonac@ciens.ucv.ve

RESUMEN

Se estudiaron los ácidos húmicos (AH) del horizonte superficial del perfil de meteorización del yacimiento de bauxita de Los Pijiguao, Venezuela. Se discute el grado de humificación, la posible interacción entre los AH y las fases minerales, y su efecto sobre la movilidad de Fe(III) y Al(III). Los AH fueron extraídos de dos subcapas y la bauxita; se determinaron las concentraciones de carbono orgánico total (COT), Fe y Al y se analizaron por IRFT, ¹HRMN, RSE. También se determinó la composición mineralógica, química (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, P), y las concentraciones de carbono orgánico total (COT), nitrógeno (N) y azufre total (St) antes (I) y luego de la extracción de las sustancias húmicas (II). Los resultados indican un grado de humificación similar para los AH de las subcapas A y B: Estos AH presentan una gran proporción de grupos funcionales con oxígeno, capaces de formar complejos organometálicos, donde se evidencia la formación de complejos Fe-AH. La ausencia de hematita en las subcapas A y B, un mineral observado en la bauxita, sugiere la asociación del Fe de este mineral con los AH, posiblemente por la formación de complejos organometálicos. En las subcapas A, B y la bauxita las concentraciones de Al son superiores a las de Fe. Por otra parte, en los AH de la subcapa A, la concentración de Fe es menor que la de Al, sugiriendo que el Fe asociado a los AH puede ser removido de esta subcapa.

Palabras clave: Ácidos húmicos, Fe(III), Al(III), Bauxita, Venezuela.

ABSTRACT

This study was performed on the humic acids (HA) associated with the superficial weathering profile of the Los Pijiguao bauxite ore deposit, Venezuela. The discussion focuses on the state of humification, the possible interaction between the humic acids and the mineral, and the effect of humic acids on Fe (III) and Al (III) mobility. The humic acids were isolated from two sublayers and bauxite and studied by IRFT, ¹HNMR, ESR. Total organic carbon (TOC), Fe and Al were also determined. Mineralogical and chemical composition (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, and P), total organic carbon (TOC), nitrogen (N) and total sulfur (St), were determined before (I) and after (II) humic substances extraction. The results show a low and similar state of humification of the HA analyzed in the sublayers A and B. These HA present many functional groups with oxygen, capable of forming organometallic complexes. The absence of hematite in sublayers A and B, a mineral that is observed in the bauxite, points to the association of Fe from this mineral with the HA and suggests the formation of Fe-HA complexes by association with the Fe present in the hematite. Results show a higher Al than Fe concentration in the total samples of sublayers A, B and bauxite. On the other hand, there are less Fe than Al in the humic acids from sublayer A, suggesting that Fe associated with HA is being removed from sublayer A.

Keywords Humic acids, Fe(III), Al(III), Bauxita, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

Las sustancias húmicas (SH) son los principales constituyentes orgánicos de aguas, suelos y sedimentos, producto de la degradación química y enzimática de restos de plantas y organismos. Estas sustancias pueden interaccionar con ligandos metálicos, lo que origina un incremento en la solubilidad de las especies metálicas y por ende en su transporte o acumulación en el ambiente de meteorización. En los depósitos de bauxita (yacimientos residuales producto de la meteorización química ricos en aluminio)

se ha considerado el efecto de las SH en el mecanismo de separación de Fe y Al (Fe y Al son previamente acumulados debido al proceso de lateritzación), dos especies relativamente insolubles en la corteza terrestre. Debido a la gran estabilidad de los complejos Fe-AH, el Fe puede ser lixiviado del sistema de forma presencial respecto al Al, por lo tanto las concentraciones de Fe en los AH podrían ser superiores (Ong *et al.*, 1970). Kerndorff y Schnitzer (1980) estudiaron la interacción entre las SH y diferentes metales, como Fe y Al, en medio acuoso, estos autores encontraron que a diferentes valores de pH, el Fe(III) es sorbido más eficientemente que el Al(III). Schnitzer (1986), propuso que los minerales ricos en Fe son más susceptibles al ataque de las SH en comparación a los minerales con bajo o ningún contenido de Fe y concluyó que las SH tienen un efecto adverso sobre la estabilidad de los minerales ricos en Fe. Varadachari *et al.* (1997), realizaron experimentos sobre la formación de complejos entre ácidos húmicos (AH) y óxidos de Fe y Al (goethita, hematita, gibbsita y boehmita). Estos autores encontraron que a pH = 7, la hematita interactúa con los AH debido a la gran estabilidad de los complejos Fe-AH. Por otra parte, muchos trabajos han demostrado el efecto de los AH en la sorción de Fe y Al de óxidos, hidróxidos o minerales de arcilla (Tipping, 1981; Tipping y Cooke, 1982; Christl y Kretzschmar, 2001; Chorover y Amistadi, 2001; Naafs y Bergen, 2002), y el papel de los AH en la reducción del Fe (III) (Lovley y Phillips, 1986; Lovley y Blunt-Harris, 1999).

Venezuela tiene un importante yacimiento de bauxita, correspondiente al yacimiento de Los Pijiguaos, localizado en el estado Bolívar (Fig. 1). Este yacimiento está cubierto por una vegetación de selva tropical húmeda, que se desarrolla sobre una capa delgada (30 cm de espesor) rica en materia orgánica (Lo Mónaco y López, 1996), que suprayace al yacimiento de bauxita, el cual ha sido ampliamente estudiada (Lo Mónaco y López, 1985; Tosiani *et al.*, 1990; Lo Mónaco y Yanes, 1990; Soler *et al.*, 1994; Mogollón *et al.*, 1994; Mogollón *et al.*, 2000). Este trabajo presenta la caracterización de los ácidos húmicos (AH) asociados al horizonte superficial del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos, Venezuela. Los resultados se discuten en función del grado de humificación de esta sustancia, la posible interacción entre los AH y las fases minerales de la bauxita y el efecto de los AH en la separación de Fe(III) y Al (III) en el horizonte superficial del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos.

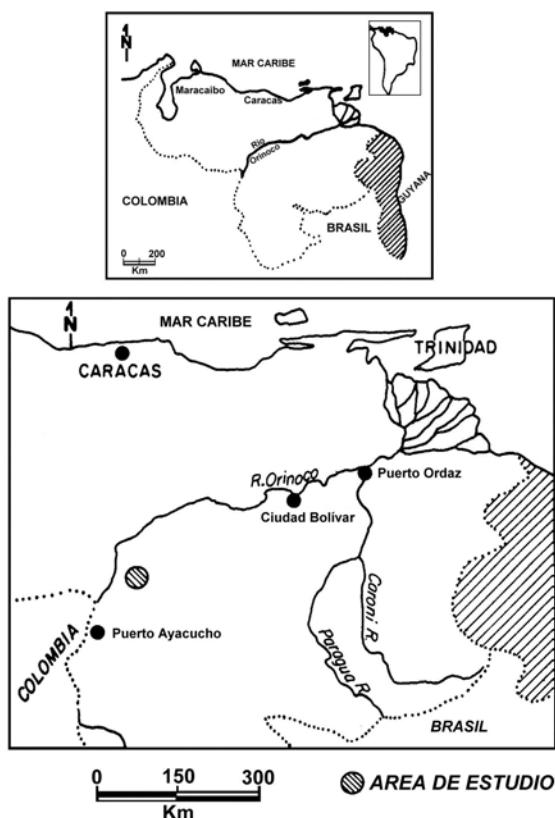


Figura 1. Localización del área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El yacimiento de bauxita de Los Pijigao es localizado en el Escudo de Guayana, Venezuela (Fig. 1). El área de estudio consiste en una altiplanicie muy disectada con una elevación entre 600 y 700 m.s.n.m y un declive general entre 2% a 3% (Menéndez y Sarmentero, 1981). La mineralización está localizada en el tope (» primeros 8 m) del perfil de meteorización (de unos 50 m de espesor), desarrollado *in situ* sobre el granito rapakivi. En el horizonte superficial, rico en materia se encuentran tres tipos de vegetación boscosa, tres tipos de vegetación arbústica, tres de vegetación de sabana y un tipo de vegetación herbácea-arbústica (Huber y Guanches, 1987). Las muestras fueron colectadas en el bloque tres del yacimiento de bauxita, para el momento de recolección en este bloque no se había iniciado la explotación de la bauxita, y por lo tanto el horizonte superficial no había sido alterado. Este horizonte superficial tiene un espesor de 30 cm. Los primeros 10 cm corresponden a una capa de hojas y restos de plantas con poca alteración. Bajo esta se encuentran dos subcapas, denominadas subcapa A (» 10 cm), rica en materia orgánica en diferentes estados de descomposición y donde aun se reconocen restos de vegetación y la subcapa B (» 10 cm), rica en materia orgánica sin que se reconozcan en esta restos de vegetación. Se recolectaron muestras de las subcapas A y B y del primer metro del yacimiento, este último por medio de un taladro helicoidal (Fig. 2), todas las muestras fueron recolectadas por triplicado.

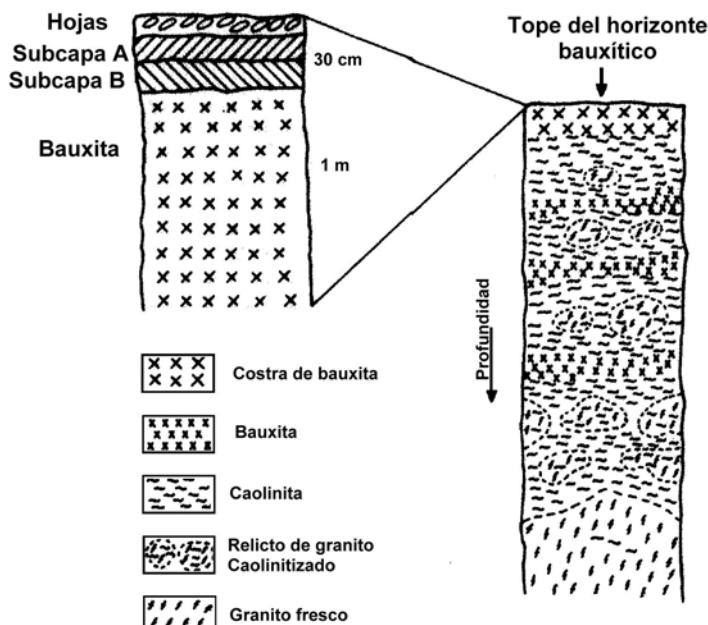


Figura 2. Perfil de meteorización del yacimiento de bauxita de Los Pijigao, Venezuela.

Las muestras se secaron a temperatura ambiente y se eliminaron los restos de hojas, raíces y pisolitas, para posteriormente homogeneizarlas y cuartearlas. En las subcapas A, B y la bauxita, antes (I) y luego (II) de la extracción de las sustancias húmicas (SH) se determinaron las concentraciones de carbono orgánico total (COT) con el método de Walkley y Black (1934), nitrógeno (N) por el método de Kjeldahl (**REFERENCIA**) y azufre total (St) por combustión en un equipo LECO (SC-432). Para cada una de las muestras se realizaron cinco determinaciones de COT, N y St. Las SH se extrajeron a partir de 300 g de muestra, se utilizaron 2,5 L de NaOH 0,5 M, bajo atmósfera de N₂ a temperatura ambiente (» 25 °C) por 24 hrs; posteriormente las SH fueron separadas por centrifugación. La dispersión de las SH fue acidificada con HCl concentrado hasta pH 1 para inducir la precipitación de los ácidos húmicos (AH), que fueron separados de los ácidos fulvicos (AF) por centrifugación. Posteriormente los AH fueron purificados mediante el uso de 1 L de una solución de HCl-HF diluido (5 mL conc. HCl + 5 mL 52% HF + 990 mL H₂O destilada), por 24 horas a temperatura ambiente, con el objeto de eliminar silicatos o aluminosilicatos que pudieran estar asociados a los AH.

De igual manera para eliminar minerales de arcilla que pudieron quedar asociados a los AH se utilizó una mezcla de KOH 0,1 M y KCl 0,1 M bajo atmósfera de N₂ para inducir la floculación de estas (Meléndez, 1990). Este procedimiento fue repetido ocho veces y posteriormente los sólidos suspendidos fueron separados por centrifugación. Luego de estos procesos de purificación, los AH fueron liofilizados (LABCONCO G-245). El contenido de cenizas (material remanente luego de calcinar una porción de estos AH) en los AH, considerado material inorgánico no separado por los métodos de purificación fue determinado luego de cuatro y ocho procedimientos de purificación. La mineralogía en las subcapas A, B y la bauxita, antes y luego de la extracción de las SH y en las cenizas se determinó por difracción de rayos-x (DRX) en un equipo Philips (goniómetro modelo PW-1439), mediante radiación CoKa. La concentración de elementos mayoritarios (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, y P) se determinó por espectrometría de emisión atómica de plasma inductivamente acoplado (ICP-AES, Thermal Jerrel Ash INVRO II).

En los AH el COT fue determinado en un equipo LECO (C-144) y las concentraciones de Fe y Al por espectrometría emisión atómica de plasma inductivamente acoplado (ICP-AES, Thermal Jerrel Ash INVRO II). Los espectros de IRFT se realizaron en un equipo Perkin Elmer (1760X), operado en el modo de transformada de Fourier, en pastillas de KBr (» 0,5 mg de AH en 200 mg KBr) en un intervalo entre 4000 cm⁻¹ a 450 cm⁻¹. Los espectros de ¹HRMN para las subcapas A y B se realizaron en medio acuoso en soluciones en medio básico con agua deuterada, en un equipo JEOL Eclipse de 270 MHZ operado en el modo de transformada de Fourier. Los espectros de resonancia de spin electrónico (RSE) en las subcapas A y B se realizaron en un espectrómetro Varian E-Line, serie Century. Debido a la pequeña cantidad de AH que fue extraída de la bauxita no fue posible analizar a esta mediante ¹HRMN y RSE.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 presenta las concentraciones de COT, N y St en las subcapas A y B y en la bauxita, antes (I) y luego (II) de la extracción de las SH y la relación C/N para cada una de las muestras. Las concentraciones de COT son relativamente altas en comparación a los valores señalados para suelos de diferentes regiones de clima tropical (Paolini, 1980; Fassbender y Bornemisza, 1987; Dezzeo, 1994; Rivero *et al.*, 1998), consistente con el hecho de que las subcapas A y B realmente no son horizontes de suelos, pero son en si subcapas ricas en materia orgánica, las cuales presentan un buen desarrollo de vegetación de selva tropical, donde todo esto suprayace al perfil de meteorización del yacimiento de bauxita. El desarrollo de esta vegetación puede ser debido a las características del área, considerada como un sistema con un constante reciclaje de nutrientes que permite el desarrollo de esta vegetación sobre la bauxita pobre en nutrientes.

Cuadro 1. Concentraciones de carbono orgánico total (COT) nitrógeno (N), azufre total (St) y relaciones C/N, COTII/COTI y NII/NI en las subcapas A, B y la bauxita (I antes y II luego de la extracción de las SH).

MUESTRAS	COT (%)		N (%)		S (%)		C/N	COTII/ COTI	NII/NI
	I	II	I	II	I	II			
SUBCAPA A	17,6	14,3	1,28	0,78	0,11	0,06	13,8	0,81	0,61
SUBCAPA B	4,7	3,9	0,37	0,23	0,04	≤0,02	12,7	0,82	0,62
BAUXITA	0,8	0,2	0,16	ND	≤0,02	≤0,02	5,0	0,25	----

Las altas concentraciones de COT y el análisis visual de las subcapas A y B, muestra que ambas subcapas son ricas en material orgánica en diferentes estados de descomposición. Las relaciones COTII/COTI y NII/NI (Cuadro 1) representan la fracción de COT y N que no fueron extraídos con NaOH. Esta fracción es similar para ambas subcapas (A y B), aproximadamente 80% para COT y 60% para N (COT y N no convertido en huminas), lo que sugiere un grado de extracción y de humificación similar para los AH de ambas subcapas.

Por otra parte, se observó una disminución en las concentraciones de COT y N, y en la relación C/N desde la subcapa A hasta la bauxita, lo que también permite sugerir un incremento en el grado de humificación para los AH extraídos de la bauxita (Cuadro 1 y Fig. 3). Schnitzer y Khan (1978) indican que altos valores en la relación C/N evidencian procesos de descomposición lentos; por lo tanto, las relaciones C/N en las subcapas A y B, son indicativas de un bajo grado de humificación para ambas subcapas, con un mayor grado de humificación para los AH extraídos de la bauxita. Las bajas concentraciones de COT en la bauxita, en comparación a las subcapas A y B, y la pequeña fracción de COT determinada luego de la extracción de las SH, sugiere que los AH en la bauxita son derivados del material humificado que es transportado de las subcapas A y B, como consecuencia de la alta pluviosidad de la zona, y de la alta permeabilidad del sistema que permite la lixiviación del material desde las subcapas superficiales a la bauxita. Sin embargo, no se puede descartar la posibilidad que ocurra transporte del material superficial humificado junto a la humificación de materia orgánica en la bauxita.

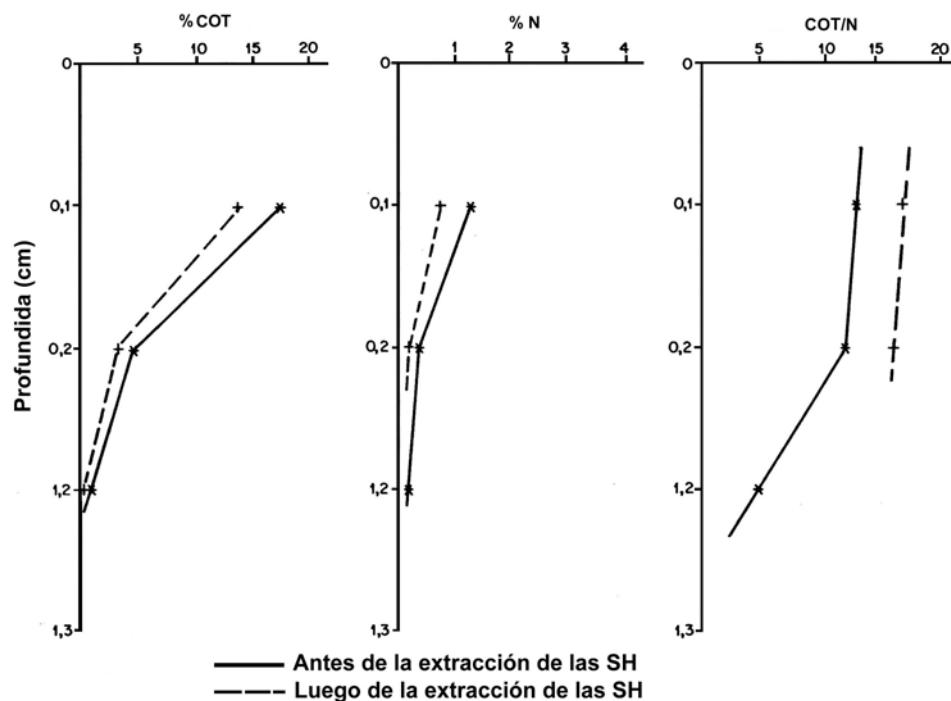


Figura 3. Variación de las concentraciones de carbono orgánico total (COT), nitrógeno y relación C/N en las subcapas A, B y la bauxita.

Las concentraciones de N, son similares a las indicadas para suelos de climas templados (Schnitzer y Khan, 1978). Schnitzer (1984) indica que los ácidos fulvicos y húmicos y las huminas de climas tropicales presentan concentraciones de N superiores a las determinadas en suelos de climas templados, consecuencia de la alta actividad microbial en climas tropicales. Sin embargo, aunque las concentraciones de N que se presentan en este trabajo no fueron medidas en sustancias húmicas, sino en las muestras antes y luego de la extracción de las SH, reflejan que las SH (fulvicos, húmicos y huminas) asociadas a las mismas deben presentar bajos contenidos de N. Esto puede ser consecuencia de este sistema tan particular, desarrollado sobre un perfil de meteorización, que es bajo en nutrientes como N. Si se observan las concentraciones de N y su variación a través del perfil (Fig. 3), se nota que la subcapa A presenta la mayor concentración de este elemento (Cuadro 1) con disminución de sus concentraciones a lo largo del perfil. Probablemente la mayor concentración de N en la subcapa A se deba a que este es utilizado continuamente por las plantas y se establece un constante reciclaje en el sistema.

Las concentraciones de St, antes y luego de la extracción de las SH, se graficaron en función de las concentraciones de COT, y se observó una relación lineal con una correlación aceptable ($R^2 = 0,86$)

entre ambos elementos (Fig. 4). Este resultado sugiere que el S presente en las subcapas y la bauxita esta asociado a la materia orgánica. Por otra parte, el análisis por DRX, indicó por la mineralogía determinada, la ausencia de minerales con S, apoyando que todo el S presente esta asociado al material húmico, y por lo tanto corresponde a azufre orgánico (Sorg), como es de esperarse en este ambiente oxidante, donde la principal forma de S inorgánico correspondería a sulfato (SO_4^{2-}), el cual es altamente móvil en el ambiente de meteorización. Si se considera el azufre presente como Sorg, por comparación, las concentraciones obtenidas resultan similares a las señaladas para suelos de climas tropicales (Schnitzer y Khan, 1978); estas concentraciones disminuyen a lo largo del perfil (Cuadro 1), similar al comportamiento observado en perfiles de suelos (Schnitzer y Khan, 1978; Fassbender y Bornemisza, 1987).

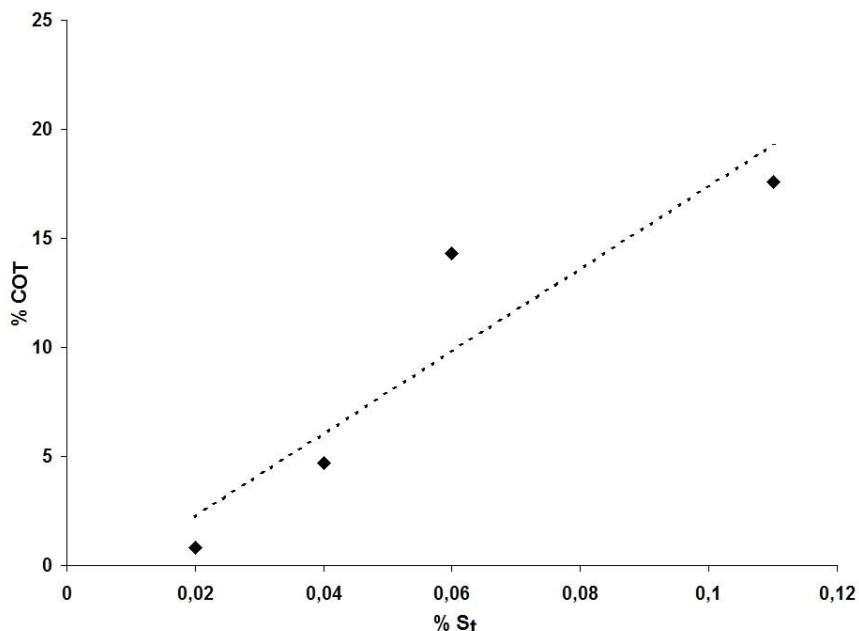


Figura 4. Carbono orgánico total (COT) vs. azufre (S) en las subcapas A, B y la bauxita.

La figura 5 presenta los espectros de IRFT, los cuales indicaron la presencia de diferentes grupos funcionales a las siguientes frecuencias de absorción: alargamiento OH de alcoholes y fenoles (3400 cm^{-1}), alargamiento CH_2 , CH_3 de hidrocarburos alifáticos ($950-2850 \text{ cm}^{-1}$), alargamiento C=O de ácidos carboxílicos, cetonas o quinonas ($1750-1710 \text{ cm}^{-1}$), vibraciones N-H de amidas (amidas banda II, 1640 cm^{-1}), C-O-H bandas de vibración de ácidos (1440 cm^{-1}), C-H flexión en el plano de anillos aromáticos ($1260-1120 \text{ cm}^{-1}$), C-O alargamiento de esteres, éter o fenoles (1150 cm^{-1}), Si-O-Si vibración en silicatos (1000 cm^{-1}), C-H flexión fuera del plano de aromáticos (700 cm^{-1}), vibraciones C=C de hidrocarburos aromáticos ($1625-1475 \text{ cm}^{-1}$) (Silverstein *et al.*, 1974). Estas bandas están presentes en diferentes intensidades en los espectros obtenidos.

Para corroborar la información obtenida por IRFT y obtener información adicional sobre los grupos funcionales más comunes en los AH, se realizaron para las subcapas A y B los espectros de $^1\text{HRMN}$ (Fig. 6). En los mismos se observaron los siguientes grupos funcionales: protones alifáticos de grupos metilos (CH_3-C) y metilénicos ($-\text{CH}_2-\text{C}$) entre 0,7-1,2 ppm; protones de grupos metilos en estructuras alifáticas enlazadas a átomos de oxígeno ($\text{CH}_3-\text{C}-\text{O}$ » 1,6 ppm); protones de cetonas enlazadas a grupos metilénicos y estructuras aromáticas ($\text{CH}_2-\text{CO}-\text{Ar}$ » 2,6 ppm); protones de éteres alifáticos enlazados a grupos metilénicos ($-\text{CH}_2-\text{O}-\text{R}$ » 3,4 ppm); protones de alcoholes metilénicos y metílicos ($-\text{CH}_2-\text{OH}$, $\text{CH}-\text{OH}$ » 3,7 ppm); protones en estructuras aromáticas polinucleares (» 7,7 ppm) y protones en anillos aromáticos con grupos carboxílicos ($\text{H}-\text{Ar}-\text{COOH}$ » 8,3 ppm). En los $^1\text{HRMN}$ las señales a 1,9 ppm y a 8,3 ppm serían debidas a la presencia de aniones acetato y formiato por hidrólisis básica de los AH, debido al procedimiento de extracción.

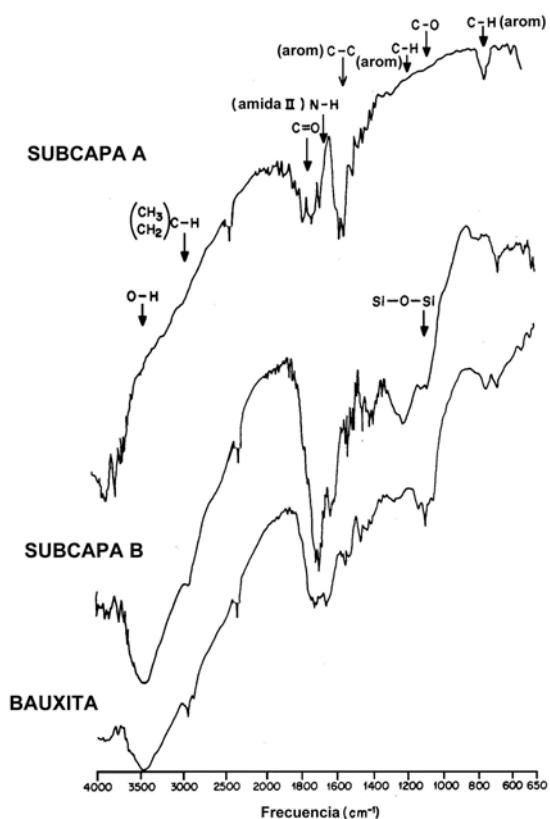


Figura 5. Espectros de IRFT para los AH de las en las subcapas A, B y la bauxita.

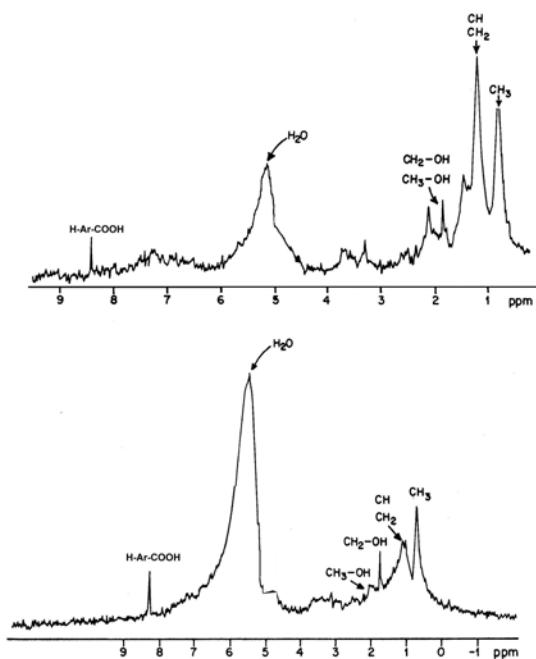


Figura 6. Espectros de ¹HRMN para los AH en las subcapas A, B y la bauxita.

Al comparar las características de cada uno de los espectros en IRFT se observa que la señal de los grupos alifáticos CH_3 y CH_2 es de muy baja intensidad, pero incrementa de la subcapa A a la B y a la bauxita (Fig. 5). IRFT también muestra un incremento en la intensidad de las bandas atribuidas a los grupos C=O y C-O, de la subcapa A a la B (Fig. 5). En los espectros de $^1\text{HRMN}$ los protones alifáticos presentan señales prominentes entre 0,7 – 1,2 ppm, con mayor intensidad para los AH de la subcapa A (Fig. 6). La interpretación de la información anterior sugiere que los AH de la subcapa A son más alifáticos, mientras que los AH de ambas subcapas se caracterizan por presentar una alta proporción de grupos funcionales con oxígeno. La presencia de los restantes grupos funcionales asignados mediante el análisis de los espectros de IRFT, fueron corroboradas por $^1\text{HRMN}$, como es el caso de protones de alcoholes o fenoles (-OH), de ácidos carboxílicos y protones en estructuras aromáticas.

El análisis mineralógico realizado a ambas subcapas y la bauxita, antes y luego de la extracción de los AH, mostró resultados similares. Correspondió a cuarzo, gibbsita y goethita, adicionalmente se detectó la presencia de hematita en la bauxita (Fig. 7). Luego de purificar los AH ocho veces, de acuerdo al procedimiento experimental descrito, el análisis mineralógico a las cenizas indicó la presencia de hematita (Fig. 8), tanto en las subcapas A y B como en la bauxita. Este resultado sugiere una fuerte interacción entre la hematita y los AH, proposición que concuerda con los resultados obtenidos por Varadachari *et al.* (1997), quienes de forma experimental demuestran que la hematita (Fe_2O_3) tiene una alta capacidad de sorción con los AH en comparación a otros minerales con Fe, como la goethita (FeOOH) o con minerales con Al como la gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) o la boehmita (AlOOH).

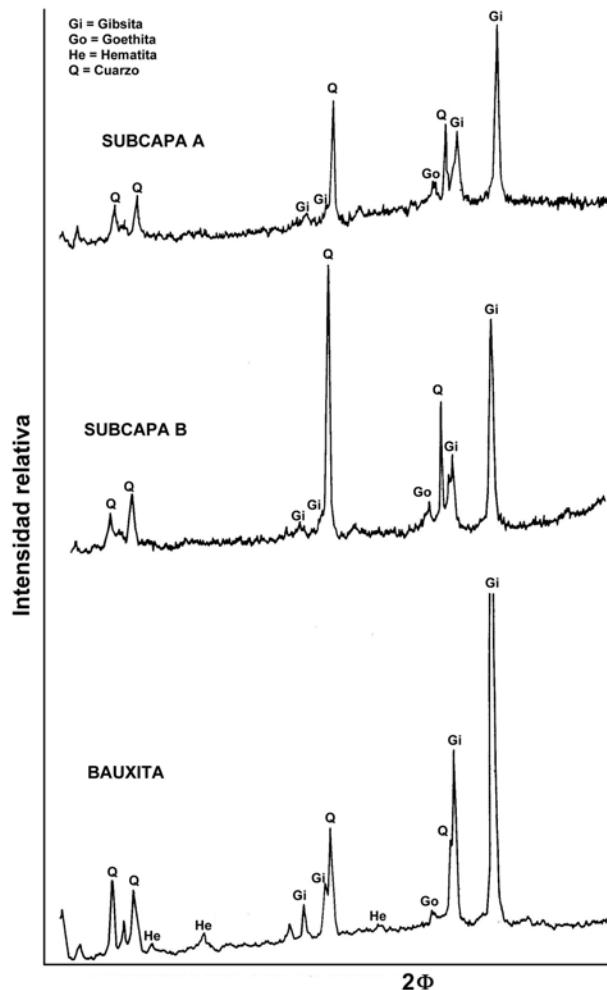


Figura 7. Composición mineralógica de las subcapas A, B y la bauxita.

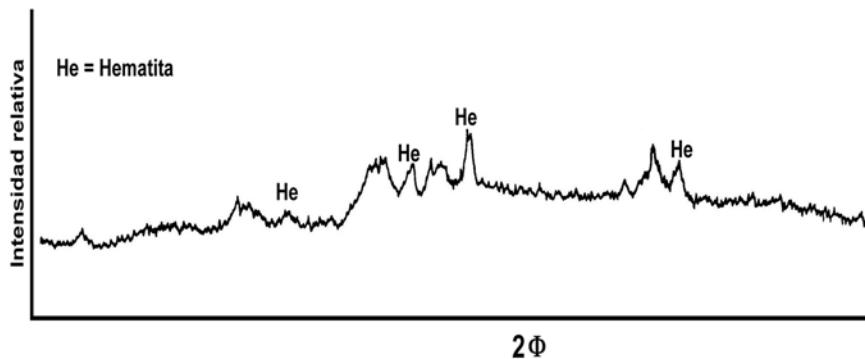


Figura 8. Composición mineralógica de las cenizas.

Para corroborar la existencia de complejos organometálicos del tipo Fe-AH, se realizaron espectros de RSE para los AH de las subcapas A y B (Fig. 9). Los resultados indicaron un valor de $g = 4.1$, que se puede atribuir a la presencia de Fe (III) fuertemente enlazado en estructuras con numero de coordinación cuatro (tetraédricas) o seis (octaédricas). Los complejos formados de Fe-AH, podrían ser formados sobre la superficie de los minerales. Senesi *et al.* (1977) indican que muchos de los complejos organometálicos estables se formarían por la interacción entre el Fe y grupos funcionales del tipo ácidos ($-CO_2H$) o fenólicos ($-OH$) presentes en los AH. Esto permite considerar la posibilidad de que la ausencia de hematita de las subcapas A y B sea consecuencia de la formación de complejos estables del tipo Fe-AH, lo que originaría la lixiviación del Fe de este mineral, y por lo tanto la meteorización de este por efecto de las SH en general, ya que como se desprende del análisis por IRFT y $^{1}HRMN$ de los AH, estos presentan una alta proporción de grupos funcionales con oxígeno, los cuales son capaces de formar complejos del tipo Fe-AH.

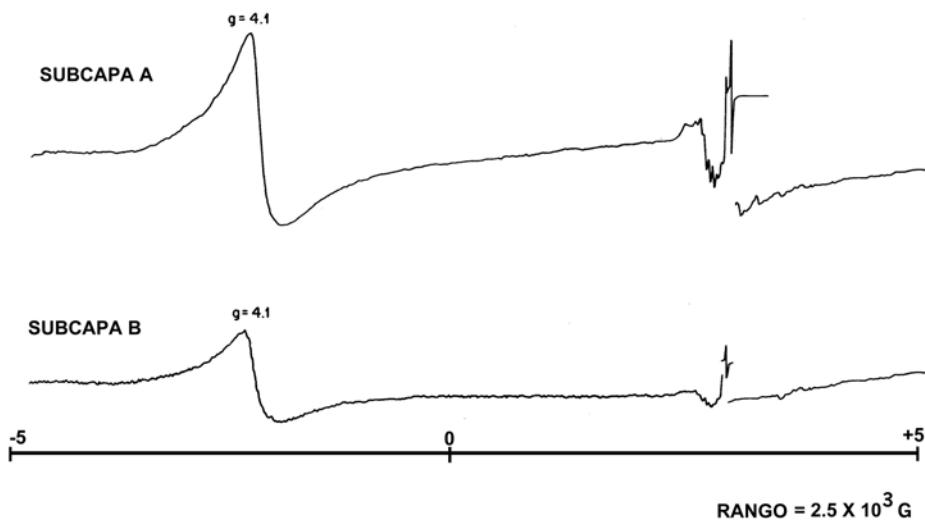


Figura 9. Espectros de RSE para los AH de las subcapas A y B.

Soler y Lasaga (2000) estudiaron la composición de las aguas de varias zonas del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos con el objeto de identificar la fuente de estas y estudiar su composición como una consecuencia de las interacciones agua-zona de drenaje. Estos autores señalaron que una fracción significante tanto de Fe como de Al estaría presente como partículas coloidales (0.05 mm £ diámetro £ 0.45 mm). Esto sugiere que el Fe y el Al podrían ser transportados en forma coloidal por asociación con los compuestos orgánicos. Este señalamiento podría colaborar en la interpretación de los resultados

obtenidos de este estudio, ya que como se observa en el Cuadro 2 las concentraciones de Fe y Al incrementan de la subcapas A y B a la bauxita, con un incremento mayor para el Al. De igual forma se observa un incremento en las concentraciones del Fe y el Al determinado en los AH de la bauxita (Cuadro 3), aun si la concentración de COT decrece, la presencia de una alta proporción de grupos funcionales con oxígeno en estos AH podría tener la capacidad de formación de los complejos organometálicos (Fig. 5).

Cuadro 2. Concentraciones de elementos mayoritarios (%) en las subcapas A, B y la bauxita.

MUESTRAS	COT	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
SUBCAPA A	58,2	0,05	0,01
SUBCAPA B	53,6	0,03	0,11
BAUXITA	16,7	18,50	22,16

Cuadro 3. Concentraciones de C, Fe y Al (%) en los AH.

MUESTRAS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PR	Total
SUBCAPA A	6,19	18,89	5,41	0,032	0,05	0,10	0,03	0,11	1,00	0,10	67,89	99.79
SUBCAPA B	12,01	36,16	10,48	0,046	0,03	0,03	0,05	0,08	1,99	0,11	37,66	98.65
BAUXITA	4,26	51,05	11,30	0,033	0,01	<0,01	0,05	0,01	1,58	0,09	30,86	99.24

El cálculo de las relaciones Al₂O₃_{subcapas}/Al₂O₃_{bauxita} y Fe₂O₃_{subcapas}/Fe₂O₃_{bauxita} debe reflejar el enriquecimiento o empobrecimiento de estos elementos en las subcapas A y B respecto a la bauxita. Los resultados presentados en el Cuadro 4, muestran un incremento similar en estas relaciones de la subcapas A y B, lo que sugiere que tanto el Fe como el Al son transportados de estas subcapas. Sin embargo, la relación Al₂O₃_{AHsubcapa}/Al₂O₃_{AHbauxita} disminuye de la subcapa A a la B, mientras que la relación Fe₂O₃_{AHsubcapa}/Fe₂O₃_{AHbauxita} incrementa (Cuadro 4). Lo anterior sugiere un transporte preferencial del Fe asociado a los AH de la subcapa A. Los resultados obtenidos sugieren que el Fe sería movilizado por la formación de complejos del tipo Fe-AH. Los complejos de Fe-HA podrían ser transportados por las aguas que percolan a través del perfil o hacia las pendientes laterales de este. La proposición anterior concuerda con lo propuesto por Lo Mónaco y López (1985); quienes determinaron acumulaciones de un 30% de Fe total en la base del horizonte del perfil de meteorización (> 10 m), asociado principalmente a la presencia de hematita.

Cuadro 4. Relaciones de las concentraciones de Al₂O₃ y Fe₂O₃ en las subcapas A y B respecto a la bauxita y en los AH extraídos. PR = Pérdida al rojo.

Relaciones	SUBCAPA A	SUBCAPA B
Al ₂ O ₃ _{subcapa} /Al ₂ O ₃ _{bauxita}	0,37	0,71
Fe ₂ O ₃ _{subcapa} /Fe ₂ O ₃ _{bauxita}	0,48	0,93
Al ₂ O ₃ _{AHsubcapa} /Al ₂ O ₃ _{AHbauxita}	2,7 x 10 ⁻³	1,6 x 10 ⁻³
Fe ₂ O ₃ _{AHsubcapa} /Fe ₂ O ₃ _{AHbauxita}	0,45 x 10 ⁻³	4,9 x 10 ⁻³

Adicionalmente, Tosiani *et al.* (1990), en la misma zona reportan altas concentraciones de Fe hacia las zonas de pendiente del perfil, donde la única fase mineral detectada es la hematita. Es probable que las acumulaciones de hematita en estas zonas del perfil de meteorización sean consecuencia de la destrucción de los complejos de Fe-AH, debido a cambios de las condiciones químicas del ambiente y/o a la actividad de microorganismos que metabolizarían esta materia orgánica con bajo grado de humificación.

CONCLUSIONES

Los AH de las subcapas A y B presentan un bajo grado de humificación, similar para ambas. Estos AH presentan una alta proporción de grupos funcionales con oxígeno, capaces de formar complejos organometálicos que acumulan Fe.

Los análisis de las concentraciones de Fe y Al, junto con los espectros de RSE de los AH en las subcapas A y B, reflejan la formación de complejos Fe-AH y su removilización a través del perfil.

La ausencia de hematita en las subcapas A y B, mineral observado en la bauxita, sugiere una fuerte interacción entre la hematita y los AH.

Dado que las concentraciones de COT en la bauxita son relativamente bajas en comparación a las concentraciones en las subcapas A y B, se sugiere que los AH extraídos de la bauxita serían derivados del material húmico transportado desde las subcapas A y B a través del perfil, debido a la alta pluviosidad del área y la permeabilidad de este sistema.

Las relaciones $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{subcapas}}/\text{Al}_2\text{O}_{3\text{bauxita}}$ y $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{subcapas}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{bauxita}}$ presentan incrementos similares para las subcapas A y B, sugiriendo que tanto Fe como Al pueden ser transportados. Sin embargo, la relación $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{AHsubcapas}}/\text{Al}_2\text{O}_{3\text{AHbauxita}}$ decrece de la subcapa A a la B, mientras que $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{AHsubcapas}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{AHbauxita}}$ incrementa, sugiriendo un transporte del Fe asociado a los AH de la subcapa B.

En los AH de la bauxita, las concentraciones de Fe y Al son similares.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (03.303410/97) por el financiamiento otorgado. A Dra. Anna Gann por las sugerencias y correcciones al manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Christl, I. y R. Kretzschmar. 2001.** Interaction of copper and fulvic acid at the hematite-water interface. *Geochimica Cosmochimica Acta*. Vol. 65: 3435-3442.
- Chorover, J. y M.K. Amistadi. 2001.** Reaction of forest floor organic matter at goethite, birnessite and smectite surfaces. *Geochimica Cosmochimica Acta*. Vol. 65: 95-109.
- Dezzeo, N. 1994.** Ecología de la altiplanicie de la Gran Sabana (Guayana Venezolana). I Scientia Guiana. (Eds. O. Huber) 205 pp.
- Fassbender, H.W. y E. Bornemisza. 1987.** Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina. Servicio Editorial IICA, 420 pp.
- Huber, O. y F. Guanches. 1987.** Flora y vegetación del área de Los Pijiguaos, Distrito Cedeño, estado Bolívar. Internal Report. MARNR-Bauxiven, Venezuela. 57 pp.
- Kerndorff, A. y M. Schnitzer. 1980.** Sorption of metals on humic acids. *Geochimica Cosmochimica Acta*. Vol. 44: 1701-1708.
- Lo Mónaco, S. y C. López. 1985.** Caracterización geoquímica de perfiles de meteorización lateríticos pertenecientes al yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos, Estado Bolívar, Venezuela. *Memorias VI Congreso Geológico Venezolano*. Vol. VI: 3999-4037.
- Lo Mónaco, S. y C. Yanes. 1990.** Model for bauxite formation: Los Pijiguaos, Venezuela. *Chemical Geology*. Vol. 84: 98-99.
- Lo Mónaco, S. y L. López. 1996.** Estudio de la materia orgánica asociada al horizonte superficial del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos, Venezuela. *Memorias XXII Congreso Latinoamericano de Química*. Resúmenes de trabajos. pp. 59.

- Lovley, D.R. y E. Blunt-Harris. 1999.** Role of humic-bound iron as electron transfer agent in dissimilatory Fe(III) reduction. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 65: 4252-4254.
- Lovley, D.R. y E.J. Phillips. 1986.** Organic matter mineralization with reduction of ferric iron in anaerobic sediments. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 51: 683-689.
- Meléndez, W., L. López, J.L. Mogollón, A. Rojas. y C, Bifano. 1990.** Estudio de las características químicas de los ácidos húmicos de sedimentos fluviales en un río tropical. *INTERCIENCIA*. Vol. 15: 501-506
- Menéndez, A. y A. Sarmentero. 1981.** Exploración de la bauxita en la Guayana Venezolana con particular énfasis en la Serranía de Los Pijiguaos. *Symposium Amazónico. Resúmenes de trabajos*. Puerto Ayacucho, Venezuela. pp. 23-25.
- Mogollón, J.L., D.A. Pérez, S. Lo Mónaco. J. Ganor. y A Lasaga. 1994.** The effect of pH, HClO_4 , HNO_3 and DGr on the dissolution rate of natural gibbsite using column experiments. *Mineralogical Magazine*. Vol. 58A: 619-620.
- Mogollón, J.L., D.A. Pérez. y S. Lo Mónaco. 2000.** The effect of identity and ionic strength on the dissolution rate a gibbsitic bauxite. *Geochimica Cosmochimica Acta*. Vol. 64: 781-795.
- Naafs, D.F. y P.F. Bergen. 2002.** Effects of pH adjustment after base hydrolysis: implications for understanding organic matter in soils. *Geoderma*. Vol. 106: 191-217.
- Ong, H.L., V.E. Swanson y R.E. Bisque. 1970.** Natural organic acids as agents of chemical weathering. *Geological Survey Research*, Paper 700-C: C130-C-137.
- Paolini, J. 1980.** Caracterización de las sustancias húmicas extraídas de suelos típicos de bosque húmedo tropical de San Carlos de Río Negro, T. F Amazonas: *Acta Científica Venezolana*. Vol. 31: 212-214.
- Rivero, C., N. Senesi, J. Paolini. y V, D'Orazio. 1998.** Characteristics of humic acids of some Venezuelan soils. *Geoderma*. Vol. 81: 227-239.
- Schnitzer, M. y S.U. Khan. 1978.** Soil Organic Matter: Developments in Soil Science. Elsevier Publishing Company 319 pp.
- Schnitzer, M. 1986.** Reactions of humic substances with metals and minerals. (EDS. D Carlisle *et al.*) *Mineral Exploration, Biological Systems and Organic Matter*, Prentice Hall, 409-427.
- Senesi, N., S.M. Griffith. M. Schnitzer. y M.G Townsend. 1977.** Binding of Fe^{3+} by humic materials. *Geochimica Cosmochimica Acta*. Vol. 41: 969-976.
- Silverstein, R.M. C.G. Bassler y T.C. Morril. 1974.** Spectrometric Identification of Organic Compounds. John Wiley and Sons, New York 340 pp.
- Soler, J.M., A. Ramírez, S. Lo Mónaco. J.L. Mogollón. y A Lasaga. 1994.** Chemical weathering trends in Los Pijiguaos lateritic bauxitic deposit, Venezuela. AGU 1994 Spring Meeting, EOS 75, Nov. 6, Resúmenes de trabajos. p. 381.
- Soler, J.M. y A. Lasaga. 2000.** The Los Pijiguaos deposit (Venezuela): A compilation of field data and implications for bauxitization process. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 13: 47-65.
- Tipping, E. 1981.** The adsorption of aquatic humic substances by iron oxides. *Geochimica Cosmochimica Acta*. Vol. 45: 191-199.
- Tipping, E. y D. Cooke. 1982.** The effect of adsorbed humic substances on the surface charge of goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$) in freshwater. *Geochimica Cosmochimica Acta*. Vol. 46: 75-80.
- Tosiani, T., S. Lo Mónaco. y A. Ramírez. 1990.** Geochemistry of major and trace elements in Los Pijiguaos ore, Venezuela. *Chemical Geology*. Vol. 84: 137-138.
- Varadachari, C., T. Chattopadhyay. y F. Ghosh. 1997.** Complexation of humic substances with oxides of iron and aluminum. *Soil Science*. Vol. 162: 28-35.
- Walkley, A. y F. Black. 1934.** An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* Vol. 37: 29-38.

Caracterización de diferentes fracciones de la materia orgánica de tres suelos agrícolas venezolanos

Characterization of different fractions of organic matter in three Venezuelan soils

Karen C. Figuera V., Zenaida del C. Lozano P., Carmen Rivero¹

¹Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar la materia orgánica (MO) presente en tres suelos: Entisol, Ultisol y Vertisol, provenientes del estado Guárico, se realizó la determinación del contenido de carbono orgánico total (COT), carbono hidrosoluble (CS) y nitrógeno total (NT) del suelo completo y se estableció la relación C/N, se realizó un fraccionamiento químico del carbono orgánico y se determinó el contenido de carbono extraíble total (CET) y el contenido de carbono en las fracciones ácidos húmicos (AH), ácidos fulvicos (AF) y sustancias no húmicas (SNH). También se realizó un fraccionamiento físico y se determinó la cantidad de carbono y nitrógeno en las fracciones ligera (FL), pesada asociada a las partículas finas (FPf) y pesada asociada a las partículas gruesas (FPg). Los resultados indican que el suelo Vertisol tiene la mayor cantidad de COT, CS y NT. Del fraccionamiento químico se tiene que el CET presentó un rango variable con respecto al COT (de 53 a 63%); con la metodología utilizada se obtuvo diferencias en el porcentaje de recuperación de las fracciones extraíbles en álcali. La baja recuperación de algunas de estas fracciones afectó el cálculo de los índices de humificación. Del fraccionamiento físico se puede evidenciar que solo el Ultisol presentó fracción ligera atrapada dentro de los agregados y el contenido de COT y NT en las fracciones físicas disminuyen en todos los suelos en el siguiente orden: FL > FPf > FPg.

Palabras clave: Materia orgánica del suelo, fraccionamiento químico, fraccionamiento físico, índices de humificación.

ABSTRACT

The objective of this experiment was to characterize the organic matter (MO) presents in three soils: Entisol, Ultisol and Vertisol, coming from the Guárico state. The content of total organic carbon (COT), carbon hydrosoluble (CS), total nitrogen (NT), and C/N relationship were determined in the complete soil. A chemical fractionation of the organic carbon was realized and the total carbon extractable and the carbon linked to humic and fulvic acids and non humic substances were obtained. Also the physical fractionation was carried out and the quantity of carbon and nitrogen in the slight fractions (FL), heavy associated to the fine particles (FPf) and heavy associated to the thick particles (FPg) were determined. The results indicate that the soil Vertisol has the biggest quantity in COT, CS and NT. The chemical fractionation indicate that the CET present more variability than the COT (of 53 to 63%); with the methodology used. The method shows differences in the percentage of recovery of the fractions extractable with the alkali. The values of the recovery of some of these fractions affected the calculation of the humification indexes. The physical fractionation evidence that only the Ultisol presented slight fraction caught inside the aggregates. The content of COT and NT, in the physical fractions, diminishes in all soils in the following order: FL > FPf > FPg.

Key Words: soil organic matte, chemical fractionation, physical fractionation, humification indexes.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) es química y físicamente una mezcla heterogénea de compuestos orgánicos de plantas y animales o de origen microbiano en diferentes estados de descomposición (Rivero *et al.*, 1998; Loveland y Webb, 2003; Zagal y Córdova, 2005). Su permanencia en el suelo es muy variable, ya que presenta períodos de reciclaje que van desde semanas a siglos (Zagal *et al.*, 2002). Es un componente crítico del ecosistema suelo – planta, ya que juega un papel importante en la productividad agrícola como fuente y sumidero de nutrientes, en la formación y estabilización de la estructura del suelo, aumenta la actividad biológica del suelo y tiene un fuerte impacto en la infiltración del agua, desarrollo de raíces, y resistencia a la erosión (Pla, 1994; Rivero 1999; Frazluebers, 2002).

La MOS varía entre los ambientes y sistemas de producción, generalmente de acuerdo a la textura y mineralogía del suelo, el clima, por los efectos del cultivo, los residuos de cosecha y con respecto al tipo de vegetación (nativa o cultivada) (Dell'Abate *et al*, 2002; Espinoza, 2004). En zonas tropicales se presentan bajos contenidos de MOS tanto en áreas cultivadas como en zonas naturales, producto de la deforestación y quema de los residuos de cosecha, unido a las altas temperaturas ambientales lo que produce altas tasas de descomposición y a las pérdidas de la MOS por erosión (Ghani *et al*, 2003). El humus puede clasificarse en materiales humificados (sustancias humicas) y no humificados. La parte humificada del humus, la cual constituye el 60-70% de la MOS, consiste en ácidos húmicos (AH) que son moléculas de alto peso molecular solubles en reactivos alcalinos y precipitables por los ácidos y los ácidos fúlnicos (AF) que son moléculas de bajo peso molecular y solubles en reactivos tanto ácidos como alcalinos, los cuales presentan compuestos alifáticos, fenólicos y bencencarboxílicos en distintas proporciones; huminas y ácidos himatometálicos (Rivero y Paolini, 1994; Rivero, 1999; Zalba y Quiroga, 1999; McCallister y Chien, 2000). Los ácidos húmicos y fúlnicos son una guía para adaptar el manejo y contribuyen notablemente al entendimiento de la dinámica de la MOS y la calidad del suelo (Wander, 2004).

Desde el punto de vista funcional la MOS puede ser dividida en dos compartimientos que difieren en su estructura y función, llamadas **fracción ligera** (FL) conformada por las fracciones ligera libre entre agregados y ligera intraagregados, que está protegida dentro de los microagregados, y está compuesta por residuos de plantas y animales a ser descompuestos con mayor rapidez y que no está firmemente asociada a los minerales del suelo (Stein, 1999 y Leifeld y Kögel, 2005) y la fracción órgano – mineral, también denominada **fracción pesada** (FP) que corresponde a la MOS incorporada en complejos organominerales y presenta mayor transformación, por lo que su tasa de descomposición es más lenta (Zagal *et al*, 2002). Cada una de ellas tiene distintas funciones en el ciclo del C y N (Barrios *et al*, 1996; Zagal *et al*, 2002; Zagal y Córdova, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 3 suelos con diferentes grados de evolución, pHs y texturas ubicados en la Estación Experimental “La Iguana” en el estado Guárico. Han estado con gramíneas nativas bajo pastoreo extensivo con quema como única práctica de manejo durante más de 30 años. Algunas características de estos suelos se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los suelos bajo estudio.

SUELO	CLASIFICACIÓN (subgrupo)	CULTIVO	UBICACIÓN (Estado)	TEXTURA	pH
ENTISOL I	Ustoxic Quartzipmment	Sabana natural	Guárico	aF	4,9
ULTISOL	Typic Plinthustult	Sabana natural	Guárico	aF	5,26
VERTISOL	Entic Chromustert	Sabana natural	Guárico	A	4,63

En cada suelo se realizó un muestreo dirigido aleatorio simple con 4 repeticiones, cada una de las cuales estaba constituida por una muestra compuesta (de 6 submuestras cada una), tomadas en el horizonte genético superficial (A) a una profundidad aproximada de 0-5 cm. Las muestras así colectadas se secaron al aire y se pasaron por un tamiz de 2 mm.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Química de Suelos del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela (Maracay). A cada una de las muestras de suelo se les realizó análisis de pH en agua en suspensión suelo:agua 1:1 por el método descrito por Jackson (1964), distribución de tamaño de partículas por el método del hidrómetro descrito por Pla (1983), carbono orgánico total (COT) (Heanes, 1984); carbono hidrosoluble (CS) (Haynes y Francis, 1993), nitrógeno total (NT) (Bremner, 1996), y se realizó un fraccionamiento químico y físico de la MOS. Para el fraccionamiento químico de la MOS se utilizó el método Schnitzer y Schuppli (1989) y el método de Schnitzer y Khan (1978) y se determinó el contenido de carbono extraíble total y el contenido de carbono en cada una de las fracciones separadas por el método de Walkley y Black.

Con los datos de carbono orgánico de las distintas fracciones se calcularon los parámetros de humificación propuestos por Sequi *et al.* (1986) y descritos por Dell'Abate (1995): índice de humificación (IH), grado de humificación (GH) y relación de humificación (RH):

- IH = CSNH / (CAH+CAF)
- GH(%) = [(CAH+CAF) / CET] * 100
- RH (%) = [(CAH+CAF) / COT] * 100

Donde:

CSNH = Carbono de las sustancias no húmicas.

CAH = Carbono de los ácidos húmicos.

CAF = Carbono de los ácidos fulvicos.

CET = Carbono extraíble total.

COT = Carbono orgánico total.

Finalmente el fraccionamiento físico de la MOS se realizó de dos formas, una sin pretratamiento utilizando agua destilada por el método descrito por Lozano y Hernández (2005) y otra con pre-tratamiento usando una solución de hexametafosfato de sodio al 3,57%, con la finalidad de separar la fracción atrapada dentro de los agregados por el método de Cambardella y Elliot (1994). En cada una de las fracciones separadas se determinó NT por método de Kjeldhal (Bremner, 1996) y C por el método de Walkley y Black. Todos los datos analíticos se refieren al peso seco determinado en estufa a 105 °C hasta peso constante.

Análisis Estadístico

Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS 11.0 para Windows (Pardo y Ruiz, 2002). Los resultados se sometieron previamente a un análisis exploratorio, para la detección y eliminación de valores anómalos a través de la metodología de Tukey y con el análisis descriptivo se obtuvieron las medias, desviaciones estándares y los coeficientes de variación correspondientes. También se realizaron análisis de varianza para los métodos de separación de fracciones físicas y las pruebas de correlación de Pearson entre las diferentes variables analizadas en los suelos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A cada uno de los suelos se les determinó el contenido de carbono orgánico total (COT), carbono hidrosoluble (CS), nitrógeno total (NT) y carbono extraíble total (CET). Así como el contenido de carbono asociado las fracciones ácidos húmicos (CAH), ácidos fulvicos (CAF) y sustancias no húmicas (CSNH), las huminas se obtuvieron por la diferencia entre COT y CET. Los resultados de COT y CS se presentan en diagramas de caja, donde la caja contiene el 50% de los valores centrales y la línea negra horizontal representa la mediana, mientras que las verticales indican los valores mayores y menores sin llegar a ser atípicos.

Carbón orgánico total: En la figura 1, se muestran los promedios del contenido de COT en los diferentes suelos, donde el suelo Vertisol posee la mayor cantidad ($15,49 \text{ g Kg}^{-1}$) y en el suelo Entisol la menor cantidad ($7,84 \text{ g Kg}^{-1}$). Se aprecia una mayor dispersión de los valores en el suelo Vertisol y la menor en el Entisol I.

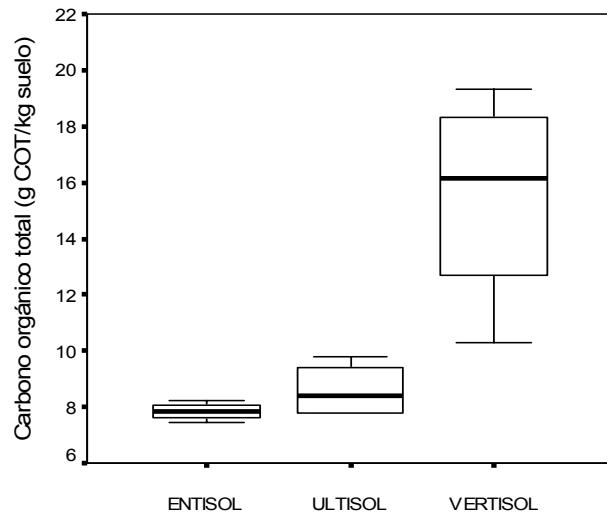


Figura 1. Contenido de carbono orgánico total en los suelos bajos estudio.

Carbón hidrosoluble (CS): El CS representa del 9 al 14 % ce COT. En la figura 2, se presentan los promedios CS en los diferentes suelos, donde se observa que para los tres suelos (Entisol, Ultisol y Vertisol) evaluados el contenido es similar entre sí ($1,11$; $1,13$ y $1,36 \text{ g Kg}^{-1}$ respectivamente), aunque el suelo Vertisol posee el más alto valor y la mayor dispersión de los datos, con un coeficiente de variación de 35 %.

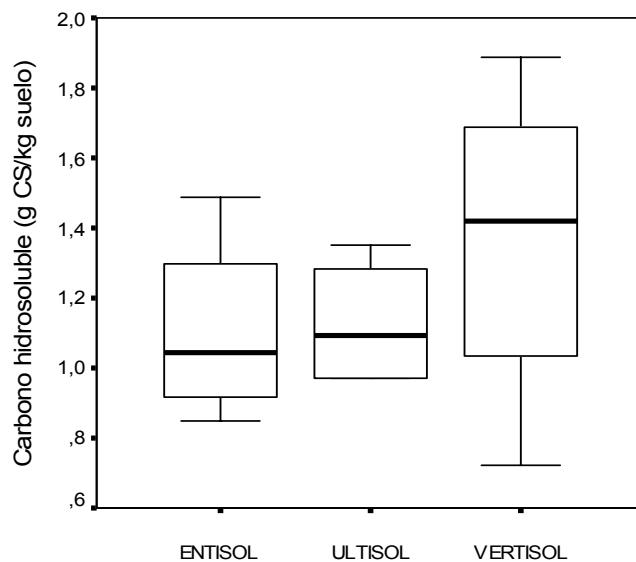


Figura 2. Contenido de carbono hidrosoluble en los suelos bajo estudio.

Características de las fracciones estables de la MOS de cada uno de los suelos seleccionados:
En el cuadro 2 se muestran los contenidos de CET, CAH, CAF y CSNH para cada uno de los suelos evaluados

Carbono extraíble total (CET): El contenido de CET se muestra en el cuadro 2, se observa el más alto contenido para el suelo Vertisol ($9,79 \text{ g Kg}^{-1}$) y para el caso de los suelos Entisol y Ultisol el contenido fue similar de $4,13$ y $4,94 \text{ g Kg}^{-1}$ respectivamente. De los parámetros evaluados el CET en el suelo vertisol fue el que presentó mayor dispersión de los datos. El CET representa entre el 53 y 63% de COT de los suelos evaluados en este trabajo.

Carbono en ácidos húmicos (CAH): En cuanto al contenido de CAH (Cuadro 2) los valores obtenidos se presentan con una gran dispersión en el suelo Vertisol y poca en el Ultisol y Entisol. El mayor contenido medio se encontró en el suelo Vertisol ($2,47 \text{ g Kg}^{-1}$) y los más bajos y similares entre sí en los suelos Ultisol ($1,17 \text{ g Kg}^{-1}$) y Entisol ($1,30 \text{ g kg}^{-1}$). El CAH representa entre 23,63 % (Ultisol) y 31,48 % (Entisol) del carbono extraíble total en los suelos estudiados.

Carbono en ácidos fulvicos (CAF): Al referirnos al contenido de CAF, en el cuadro 2, se aprecian el valor medio mas alto en el suelo Vertisol ($1,09 \text{ g Kg}^{-1}$), con mayor dispersión en éste último ($CV = 49\%$). Los valores medios mas bajos se presentan en los suelos Entisol ($0,59 \text{ g Kg}^{-1}$) y Ultisol ($0,20 \text{ g Kg}^{-1}$). En otro orden de ideas se tiene que el CAF representa entre el 4,11 y 14,24 %, con mayor proporción en los suelos Entisol y Vertisol (mas del 10 % del CET) y menor proporción en el Ultisol (menos de 5 % del CET), lo cual era de esperarse debido a que esta es la fracción más sensible a los factores ambientales que han actuado con mayor intensidad en el Ultisol (suelo más evolucionado).

Carbono en sustancias no húmicas (CSNH): Con respecto a la cantidad de CSNH (Cuadro 2) se puede observar el mayor promedio para el suelo Vertisol ($5,02 \text{ g Kg}^{-1}$) y el menor para el suelo Ultisol ($1,94 \text{ g Kg}^{-1}$). En los suelos evaluados el CSNH representa entre el 39,31% (Ultisol) y 54,31% (Entisol) del CET, siendo este último es menos. Es importante destacar que la suma de las fracciones CAH + CAF + CSNH no es igual al CET con excepción del suelo Entisol (100%). El porcentaje de recuperación de las fracciones fue de aproximadamente 88% para Vertisol y 67% para el Ultisol.

Cuadro 2. Características químicas de los suelos evaluados

SUELLO	COT	CET	CS	CAH	CAF	CSNH
ENTISOL	7,84 (0,311) ¹⁾	4,13 (0,429)	1,11 (0,276)	1,30 (0,023)	0,59 (0,049)	2,24 (0,053)
ULTISOL	8,59 (0,983)	4,94 (0,334)	1,13 (0,189)	1,17 (0,061)	0,20 (0,100)	1,94 (0,337)
VERTISOL	15,49 (3,880)	9,79 (2,464)	1,36 (0,486)	2,47 (1,993)	1,09 (0,531)	5,02 (0,862)

COT = Carbono orgánico total; CET = Carbono extraíble total; CS = Carbono hidrosoluble; CAH = Carbono en ácidos húmicos; CAF = Carbono en ácidos fulvicos; CSNH = Carbono en sustancias no húmicas.

1) Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar

Índices de calidad de la MOS: En el Cuadro 3 se indican las relaciones CET/COT, C/N, AH/AF y los índices de humificación calculados para los suelos evaluados.

Relación CET/COT: La relación CET/COT nos indica la proporción del COT que puede ser extraída con sustancias alcalinas (sustancias húmicas) y puede ser expresada como porcentaje. En el cuadro 3 se aprecia que se pueda extraer mayor cantidad de sustancias húmicas en el suelo Vertisol (63 %) y el menor porcentaje de extracción se obtuvo en el suelo Entisol (53 %).

Relación CAH/CAF: La relación AH/AF es un importante índice de humificación del COT, la cual varía de un suelo a otro y usualmente disminuye con la profundidad del suelo (McCallister y Chien, 2000).

Cuadro 3. Índices de calidad de la MOS.

SUELO	CET/COT	CAH/CAF	IH	GH (%)	RH (%)
ENTISOL	53 %	2,22	1,19	46,15	24,14
ULTISOL	58 %	7,31	1,44	27,94	16,20
VERTISOL	63 %	2,50	1,84	34,59	21,81

COT = Carbono orgánico total; CET = Carbono extraíble total; C/N = relación carbono/nitrógeno; CAH/AF = Relación carbono en ácidos húmicos/carbono en ácidos fulvicos; IH = % de índice de humificación [CSNH/(CAH+CAF)]; GH = Grado de humificación [(CAH+CAF)/CET] *100; RH = Relación de humificación [(CAH+CAF)/COT] *100

Esta relación es usada como un índice que describe la intensidad de los procesos de humificación. La calidad de la MOS evaluada esta basada en esta relación (Rivero *et al.*, 2004). Como se aprecia en el cuadro 3, en todos los suelos se observa que el carbono asociado a los AH supera al de los AF, similar a lo conseguido por Rivero y Paolini (1994). Igualmente McCallister y Chien (2000) indican que el contenido de AH generalmente es más alto que el contenido de AF. Se observa que el suelo Ultisol presenta el mayor valor (7,31) lo cual puede atribuirse posiblemente a una baja recuperación de la fracción AF, mientras que los suelos Entisol y Vertisol presentaron valores mas bajos (2,22 y 2,50 respectivamente). Algunos autores mencionan que la relación CAH/CAF también es característica de las capas superficiales de grandes grupos de suelo

Índice de humificación (IH): el IH representa la relación entre el contenido de CSNH en relación a los compuestos humificados (CAH y CAF) (Ciavatta *et al.*, 1990). Se nota que los suelos estudiados tienen un IH alto (mayor de 1) mostrando el valor más alto el suelo Vertisol (1,84), y para los suelos Entisol y Ultisol 1,19 y 1,44 respectivamente. Este índice se vio afectado en algunos suelos por el bajo porcentaje de recuperación de las fracciones.

Grado de humificación (GH): el GH es el porcentaje de compuestos humificados con respecto al CET (Ciavatta *et al.*, 1990). Al hacer referencia a éste índice, se tiene que los suelos están por debajo del 50%. El GH es también usado como parámetro para la evaluación de la calidad de la MOS en fertilizantes orgánicos.

Relación de humificación (RH): la RH indica el porcentaje de compuestos humificados con respecto al COT del suelo (Ciavatta *et al.*, 1990). En éste caso tenemos que para éste índice se encuentran mayores valores en los suelos Vertisol (21,81 %) y Entisol (24,14 %) y el menor valor en el Ultisol (16,20 %). Ciavatta y Govi (1993) encontraron valores de RH para suelos italianos que van desde 13,6 hasta 36,5% y para el GH desde 63,4 hasta 97,7% valores que están por encima de los obtenidos en este trabajo, por la menor proporción de carbono extraíble en los suelos evaluados.

Contenido de las fracciones ligera, pesada asociada a las partículas finas y pesada asociada a las partículas gruesas.

En el cuadro 4, se presentan los valores promedio de las diferentes fracciones físicas de la MOS: fracción ligera (FLL), fracción pesada asociada a partículas finas (FPfL) y fracción pesada asociada a partículas gruesas (FPgL). En este caso la densidad de separación fue de 1 kg m^{-3} , ya que se usó agua como medio de separación. Las diferentes fracciones separadas se señalan como libres (L) para diferenciarlas de la que está atrapada dentro de los microagregados estables al humedecimiento y que solo puede ser extraída con el uso de soluciones dispersantes como el hexametafosfato de sodio.

Para la FLL se observó que la misma varía entre $1,83$ y $3,48 \text{ g FL Kg}^{-1}$ para los suelos Ultisol y Vertisol. Los valores encontrados en este trabajo concuerdan con los resultados conseguidos en la literatura y que varían desde $0,3$ a 82 g Kg^{-1} (Zagal et al, 2002). Christensen (1992) indica que en general, las concentraciones de FL en suelos bajo cultivo son menores a 4 g Kg^{-1} , similares a las conseguidas en este trabajo. Estudios recientes demuestran que se obtiene una mayor recuperación de las fracciones cuando se realiza el fraccionamiento utilizando la centrifugación en lugar de la decantación (Sohi et al, 2001). La FPfL la cual representa la fracción de la MOS asociada a partículas de limo y arcilla, presentó cantidades muy variables en los suelos evaluados, debido posiblemente a sus diferencias texturales, siendo el suelo Vertisol el que contiene la mayor cantidad de FPfL de $14,57 \text{ g kg}^{-1}$ y la menor cantidad corresponde al suelo Entisol ($6,89 \text{ g Kg}^{-1}$).

Cuadro 4. Cantidad de las fracciones de la MOS obtenidas con agua destilada

SUELO	FLL g kg^{-1}	FPfL g kg^{-1}	FPgL g kg^{-1}
ENTISOL	2,96 (0,754) ¹⁾	6,89 (1,108)	14,27 (0,724)
ULTISOL	1,83 (0,892)	8,26 (0,953)	18,13 (1,535)
VERTISOL	3,48 (1,225)	14,57 (3,308)	22,07 (6,591)

FLL = Fracción ligera libre; FPfL = Fracción pesada asociada a las partículas finas libre; FPgL = Fracción pesada asociada a las partículas gruesas libre.

1) Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar

La FPgL que representa la fracción de la MOS asociada a partículas de arena, presentó valores en el rango de $14,27$ a $22,07 \text{ g Kg}^{-1}$ de suelo, con un menor valor en el Entisol y mayor en el Vertisol.

En la figura 3, se presenta la distribución porcentual de cada una de las fracciones físicas separadas en los suelos evaluados. Se observa en la figura que todos los suelos tienen menor proporción de FLL ($6,48$ a $12,27 \text{ \%}$) y que FPL pesada representa entre el $87,73$ y $93,55 \text{ \%}$ (Entisol y Ultisol respectivamente) de las fracciones separadas. Los suelos difieren en la proporción de FPfL y FPgL, para todos los suelos evaluados predomina la FPgL comprendida entre ($55,01$ y $64,27\%$ (Vertisol y Ultisol respectivamente).

Los resultados de las fracciones físicas separadas en los diferentes suelos utilizando el hexametafosfato de sodio, se presentan en el cuadro 5. Se aprecia que el suelo Ultisol posee la mayor cantidad de FLL+I ($3,79 \text{ g kg}^{-1}$) y el Entisol presentó el menor valor ($2,81 \text{ g kg}^{-1}$). En cuanto a la FPfL+I de igual forma el Vertisol presentó el mayor valor $23,40 \text{ g kg}^{-1}$. Por último para la FPgL+I se obtuvo el más alto valor en el suelo Ultisol ($15,87 \text{ g Kg}^{-1}$).

La figura 4, muestra la distribución porcentual de cada una de las fracciones físicas separadas en los suelos bajo estudio con el uso de hexametafosfato al $3,57 \text{ \%}$ para extraer las fracciones atrapadas dentro de los microagregados estables al humedecimiento. Al igual que en el fraccionamiento realizado con agua destilada la mayor proporción está representada por la fracción pesada. La FLL+I estuvo en el rango de $8,79$ a $10,89 \text{ \%}$ del total de las fracciones separadas, la FPfL+I entre $39,28$ y $66,12\%$ y la FPgL+I comprendida entre $25,09$ y $49,98\%$, con una tendencia similar a la descrita en la figura 3.

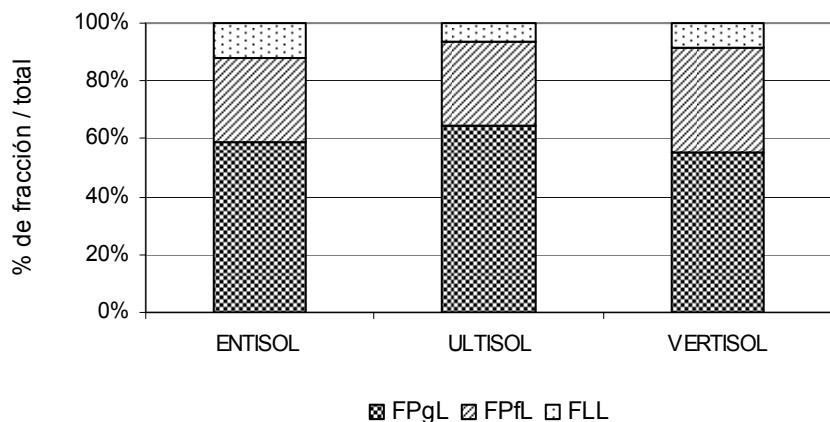


Figura 3. Porcentaje de fracción ligera (FL), fracción pesada asociada a las partículas finas (FPf) y fracción pesada asociada a las partículas gruesas (FPg) obtenidas con agua destilada de los suelos bajo estudio.

Cuadro 5. Cantidad de las fracciones de la MOS obtenidas con hexametafosfato de sodio al 3,57% (libre + intraagregados).

SUELO	FLL+I g kg ⁻¹	FPfL+I g kg ⁻¹	FPgL+I g kg ⁻¹
ENTISOL	2,81 (0,752) ¹⁾	10,28 (1,729)	13,08 (0,739)
ULTISOL	3,79 (1,805)	15,13 (0,791)	15,87 (1,308)
VERTISOL	3,11 (0,889)	23,40 (4,956)	8,88 (2,881)

FLL+I = Fracción ligera libre + intraagregados; FPfL+I = Fracción pesada asociada a partículas finas libre + intraagregados; FPgL+I = Fracción pesada asociada a partículas gruesas libre + intraagregados

1) Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar.

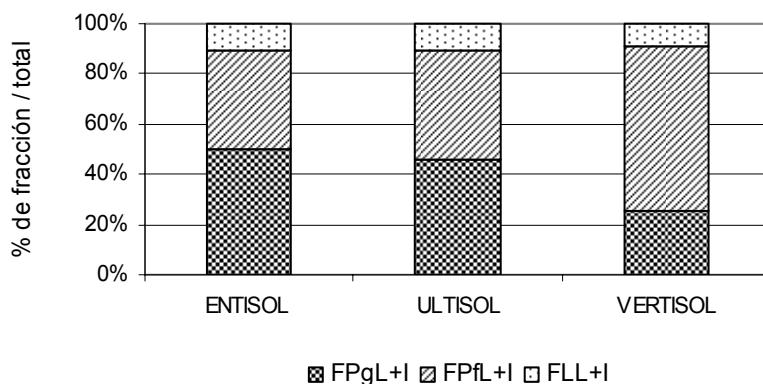


Figura 4. Cantidad de fracción ligera (FLL+I), fracción pesada asociada a las partículas finas (FPfL+I) y fracción pesada asociada a las partículas gruesas (FPgL+I) obtenidas con hexametafosfato de sodio al 3,57% en los suelos bajo estudio.

Para complementar lo expuesto anteriormente se comparó estadísticamente los contenidos de la FLL y FLL+I para cada uno de los suelos seleccionados (figura 5). Se puede evidenciar que solo se observaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,01$) entre las dos fracciones para el suelo Ultisol, es decir, este suelo mantenía parte de la FL atrapada dentro de los microagregados, la cual es liberada al ser destruidos éstos con el hexametafosfato. Esto es posiblemente debido a que el suelo Ultisol muy evolucionado puede tener altos contenidos de óxido de hierro y aluminio, los cuales funcionan como agentes cementantes de origen inorgánico y produce agregados muy estables al humedecimiento (Fortun y Fortun, 1989).

De igual forma en la figura 6 se comparan las cantidades de fracción pesada obtenidas con agua destilada y hexametafosfato de sodio al 3,57% para los distintos suelos. En este caso se sumaron las FPf y FPg obtenidas por ambos métodos. Tal como muestra la citada figura sólo se observaron diferencias estadísticas significativas para el suelo Ultisol, similar a lo ocurrido con la FL.

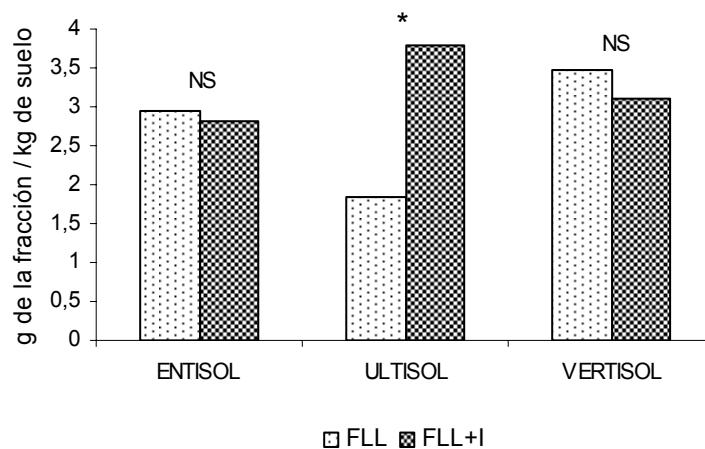


Figura 5. Comparación de la fracción ligera libre y fracción ligera libre más intra-agregados en los suelos evaluados (* = Diferencias significativas a un nivel de confianza de 99%; NS = Diferencias no significativas a un nivel de confianza de 99%)

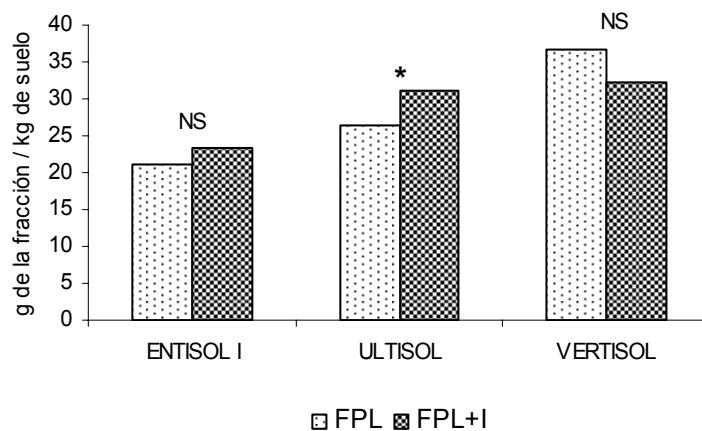


Figura 6. Comparación de la fracción pesada libre y de la fracción pesada libre más intra-agregados en los suelos evaluados. (* = Diferencias significativas a un nivel de confianza de 99%; NS = Diferencias no significativas a un nivel de confianza de 99%)

Variación del contenido de C y N, y relación C/N en el suelo completo y en las fracciones de la MOS obtenidas por fraccionamiento físico

En el cuadro 6 se muestran los resultados de C y N, relación C/N para el suelo completo y para cada una de las fracciones obtenidas a través del fraccionamiento físico de la MOS: FL, FPf y FPg en los suelos bajo estudio.

C y N y relación C/N en el suelo completo: Los valores de C en los suelos bajo estudio ya fueron analizados previamente; En relación al N se presenta una gran variación en los contenidos en los diferentes suelos evaluados. Para todos los suelos se observaron contenidos bajos. Sin embargo se destaca que el suelo Vertisol mostró el mayor contenido de $0,92 \text{ g Kg}^{-1}$, este valor es semejante al encontrado por Carvalho *et al.* (1999) en un estudio realizado en un suelo poco evolucionado en la localidad de Arganda del Rey (España), sometido a distintas sucesiones de cultivo: cebada, Veza-Avena/Girasol y Prado/Veza-Avena con $0,8 \text{ g Kg}^{-1}$; $1,2 \text{ g Kg}^{-1}$ y $1,3 \text{ g Kg}^{-1}$ respectivamente. De igual forma en todos los suelos bajo estudio la relación C/N favorece la mineralización (menos de 30), presentándose el mayor valor el suelo Ultisol (24,26) y el valor más bajo el suelo Entisol.

C y N y relación C/N en las fracciones: En todos los suelos se observa que el contenido de C fue mayor en la FL en comparación con las FPf y FPg, el C de la FL presentó valores entre $234,76$ y $261,37 \text{ g Kg}^{-1}$, en la FPf de $29,44$ a $62,61 \text{ g Kg}^{-1}$, y en la FPg de $17,39$ a $45,56 \text{ g Kg}^{-1}$. Es importante destacar que tanto para la FL como la FPf los mayores contenidos de C los presenta el suelo Ultisol, pero para la FPg el mayor contenido de C lo presentó el suelo Vertisol.

Cuadro 6. Contenido de C y N en el suelo completo y cada una de las fracciones separadas.

Fracción	Variable	Entisol	Ultisol	Vertisol
Suelo completo	C (g/Kg)	7,84 (0,311) 1)	8,59 (0,983)	15,49 (3,880)
	N (g/Kg)	0,53 (0,141)	0,36 (0,017)	0,92 (0,136)
	C/N	15,62 (4,51)	24,26 (1,807)	16,71 (2,219)
FL	C (g/Kg)	261,33 (37,281)	261,37 (22,496)	234,76 (71,078)
	N (g/Kg)	7,04 (0,795)	6,68 (0,394)	5,63(1,254)
	C/N	37,26 (5,327)	39,07 (3,504)	43,22(14,530)
FPf	C (g/Kg)	43,00 (8,187)	62,61(1,437)	29,44 (6,005)
	N (g/Kg)	2,33 (0,317)	2,27 (0,088)	1,42 (0,284)
	C/N	18,41(3,670)	27,57(1,475)	20,66 (0,111)
FPg	C (g/Kg)	17,39 (0,797)	21,22(2,063)	45,56 (10,598)
	N (g/Kg)	0,09 (0,019)	0,08(0,021)	1,05 (0,222)
	C/N	173,75 (8,016)	212,25 (20,271)	43,32 (0,855)

FL = Fracción ligera; FPf = Fracción pesada asociada a las partículas finas; FPg = Fracción pesada; asociada a las partículas gruesas;

C = Carbono; NT = Nitrógeno Total

1) Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar

En relación al contenido de N de las diferentes fracciones los valores presentan la siguiente tendencia FL>FPf>FPg con rangos entre 5,63 y 7,04 g Kg⁻¹ (FL), entre 1,42 y 2,33 g Kg⁻¹ (FPf) y entre 0,08 y 1,05 g kg⁻¹(FPg). El Vertisol es el que presentó los menores contenidos de N en FL y FPf, mientras que en la FPg los menores valores se presentan en el Ultisol y Entisol (cercana a 0,08 g Kg⁻¹), los cuales tienen los mayores contenidos de arena. Con respecto a la relación C/N, para cada una de las fracciones físicas de la MOS, en la FL se puede notar que el mayor valor corresponde al suelo Vertisol (43,22), mientras que el más bajo es para el suelo Entisol (37,26).

En este estudio la FPf la relación C/N fue mayor en el suelo Ultisol (27,57) y menor en el suelo Entisol (18,41). Por su parte en la FPg se observó que debido a que los contenidos de N en algunos suelos son muy bajos, se presenta una gran variación gran variación de la relación C/N, con valores entre 43,32 (Vertisol) y 212,25 (Ultisol).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que los suelos evaluados presentaron diferencias en COT y CS, siendo el suelo Vertisol el que presentó mayor contenido y el suelo Entisol el de menor contenido para ambos. Los contenidos de CET están en un rango entre 53 y 63% del COT. Con la metodología utilizada se obtuvo diferencias en el porcentaje de recuperación de las fracciones extraíbles en ácali, lográndose una mayor recuperación en el suelo Entisol I (100%) y menor en el suelo Ultisol (67%). Por otra parte la baja recuperación de algunas de las fracciones extraíbles en alcali afectó el cálculo de los índices de humificación.

De las fracciones físicas separadas (FL, FPf y FPg) el suelo Vertisol fue el que presentó mayor contenido absoluto (40,12 g Kg⁻¹) y en el resto de los suelos que se separaron contenidos similares (< 30 g Kg⁻¹). En términos porcentuales la mayor proporción de FL se presentó en el suelo Entisol (12,27 g Kg⁻¹) y la menor en el Ultisol (6,48 g Kg⁻¹); en la FPf la mayor se presentó en el Vertisol (36,32 g Kg⁻¹) y la menor en el Entisol I (28,57 g Kg⁻¹) y en la FPg la mayor proporción se presentó en el Ultisol (64,25 g Kg⁻¹) y la menor en el Vertisol (55,01 g Kg⁻¹). Del fraccionamiento físico se pudo evidenciar que solo el suelo Ultisol presentó fracción ligera atrapada dentro de los agregados.

Los contenidos de NT para el suelo completo están en un rango de 0,36 a 0,92 g Kg⁻¹ para los suelos Ultisol y Vertisol respectivamente. Mientras que los contenidos de NT en las fracciones físicas disminuyen en todos los suelos en el siguiente orden: FL > FPf > FPg.

LITERATURA CITADA

- Barrios, E., R. Buresh, y J. Sprent.** 1996. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. *Soil Biol. Biochem.* 28 (2):185–193.
- Bremner, J.** 1996. Nitrogen – total. In: *Methods of Soil Analyses*, Part 3 Chemical Methods. American Society of Agronomy, INC. Soil Science Society of America, INC. Publisher. Wisconsin, USA. pp 1085–1121.
- Cambardella, C. y E. Elliott.** 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:123–130.
- Carvalho, O., Saa, A., Gascó, J., Caballero, R. y F. Guerrero.** 1999. Variabilidad temporal de algunas propiedades químicas en un suelo sometido a distintas sucesiones de cultivo. *Pesq. Agropec. Bras.* 34:2299-2309.
- Christensen, B.** 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20:2-38.
- Ciavatta, C., Govi, M., Vittori, L. y P. Sequi.** 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *J. Chrom.* 509:141-146.
- Ciavatta, C. y M. Govi.** 1993. Use of insoluble polyvinylpyrrolidone and isoelectric focusing in the study of humic substances in soils and organic wastes. *J. Chrom.* 643:261-270.
- Dell'Abate, M.** 1995. Caratterizzazione della sostanza organica del suolo mediante tecniche di termoanalisi. Tai del Convengo P.A.N.D.A. Ricerche Stallei dei Sistemi Culturali. Tecnologie Chimiche Avanzate per l'a Agricoltura. Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante. Pubblicazione N° 19, Sottoprogetto 3, Serie 3. Roma, Italia. pp. 83-92.

- Espinoza, Y.** 2004. Calidad de la materia orgánica bajo diferentes prácticas de manejo en un suelo ácido tropical. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 21:126-140.
- Fortun, C. y A. Fortun.** 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. An. Edafol. Agrobiol. 48:185-204.
- Franzluebbers, A.** 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil Till. Res. 66:95-106.
- Ghani, A., Dexter, M. y K. Perrott.** 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. Soil Biol. Biochem. 35:1231-1243.
- Heanes, D.** 1984. Determination of total organic-C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. Com. Soil Sci. Plant Anal. 15:1191-1213.
- Haynes, R. y G. Francis.** 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. J. Soil Sci. 44:665-675.
- Jackson, M.** 1964. Análisis químicos de suelos (3^{ra} Edición). Ediciones Omega, Barcelona, España. 662 p.
- Leifeld, J. y I. Kögel.** 2005. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use?. Geoderma 124:143-155.
- Loveland, P. y J. Webb.** 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. Soil Till. Res. 70:1-18.
- Lozano, Z. y R. Hernández.** 2005. Fraccionamiento químico y físico de la materia orgánica del suelo. En: Evaluación de la Calidad de los Suelos. Universidad Central de Venezuela (Mimeoografiado). 11 p.
- Magid, J., Cadisch, G. y K. Giller.** 2002. Short and medium term plant litter decomposition in a tropical Ultisol elucidated by physical fractionation in a dual ¹³C and ¹⁴C isotope study. Soil Biol. Biochem. 34:1273-1281.
- McCallister, D. y W. Chien.** 2000. Organic carbon quantity and forms as Influenced by tillage and cropping sequence. Com. Soil Sci. Plant Anal. 31:465-479.
- Pardo, A. y M. Ruiz.** 2002. SPSS 11. Guía para el análisis de datos. Fernández C. (Ed). Mc Graw Hill, Madrid (España) 715 p.
- Pla, I.** 1983. Metodologías para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance N° 32. Rev. Fac. Agron. (Maracay). 91 p.
- Pla, I.** 1994. La materia orgánica y la degradación y erosión de los suelos en el trópico. En: Memorias del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, Colombia. pp. 38-47.
- Rivero, C. y J. Paolini.** 1994. Caracterización de la materia orgánica de tres suelos venezolanos. Revisa de la Facultad de Agronomía. (Maracay) 20:167-176.
- Rivero, C., Senesi, N., Paolini, J. y V. D'Orazio.** 1998. Characteristic of humic acids of some Venezuelan soils. Geoderma 81:227-239.
- Rivero, C.** 1999. Materia orgánica del suelo. Alcance N° 57. Rev. Fac. Agron. (Maracay). 211 p.
- Rivero, C., Chirenje, T., Ma, L. y G. Martinez.** 2004. Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. Geoderma 123:355-361.
- Schnitzer, M. y S. Khan.** 1978. Soil organic matter. New York, Elsevier Scientific Publishing Co. 319 p.
- Schnitzer, M. y P. Schuppli.** 1989. Methods for sequential extraction of organic matter from soils and soil fractions. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1418-1424.
- Sequi, P., De Nobili, M., Leita, L. y G. Cercigni.** 1986. A new index of humification. Agrochimica 30:175.

- Sohi, S., Mahieu, N., Arah, J., Powlson, D., Madari, B. y J. Gaunt.** 2001. A procedure for isolating organic matter fractions suitable for modelling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1121-1128.
- Stein, M.** 1999. Influencia de la materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un Ultisol de sabana cultivada y pastoreada durante 4 años con especies adaptadas. Tesis para optar al título de Lic. en Biología. UCV-Caracas. 71 p.
- Wander, M.** 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture* CRC Prees LLC. pp 67-99.
- Zagal, E., Rodríguez, N., Vidal, I. y A. Flores.** 2002. La fracción liviana de la materia orgánica de un suelo volcánico bajo distinto manejo agronómico como índice de cambios de la materia orgánica labil. *Agric. Téc. (Chile)* 62:284-296.
- Zagal, E. y C. Cordova.** 2005. Indicadores de la calidad de la materia orgánica del suelo en un andisol cultivado. *Agric. Téc. (Chile)* 65:186-197.
- Zalba, P. y R. Quiroga.** 1999. Fulvic acid carbon as a diagnostic feature for agricultural soil evaluation. *J. Soil Sci.* 164:57-61

El efecto de un material residual anaeróbico sobre el Mg, K y Ca disponibles para las plantas en el suelo

The effect of the application of an anaerobic residual material on Mg, K and Ca available for the plant in the soil

Carmen Rivero¹, José Sifontes²

¹ Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV. Correo electrónico: criver@ewinet.com

² Departamento de Ingeniería, UFL (USA)

RESUMEN

Con el objeto de evaluar el efecto de la aplicación de material residual proveniente de la digestión anaeróbica de residuos sólidos orgánicos sobre las fracciones inmediatamente disponibles de Mg, K y Ca en el suelo, se realizó un experimento de incubación, durante doce semanas. Se usaron los primeros 20 cm del perfil de un suelo arenoso, ácido y se añadieron dos dosis (75 y 150 Mg.ha⁻¹) de Material Residual Anaeróbico (MRA). En el suelo se obtuvieron las fracciones hidrosolubles, disponibles e intercambiables de dichos elementos. En general, en todas las fracciones se obtuvieron modificaciones en los contenidos de nutrientes que resultaron significativas, pero que no alcanzaron los valores absolutos señalados en la literatura para los materiales aeróbicos. Por otra parte, la aplicación de una mayor dosis no indujo incrementos proporcionales de los nutrientes evaluados, incluso se detectaron valores menores que en el caso de la fracción hidrosoluble.

ABSTRACT

In order to evaluating the effect of the application of residual material coming from the anaerobic digestion of organic solid residues on the immediately available fractions of Mg, K and Ca in the soil, It was carried out an incubation experiment, during twelve weeks. The first 20 cm of the profile of a sandy acid soil was used, and two dose of anaerobic residual material was added (75 and 150 Mg.ha⁻¹). In the soil the fractions hydrosolubles, available and interchangeable of this elements were obtained. In general, in all the fractions were obtained modifications in the contents of nutrients that were significant, but that they didn't reach the signal absolute values, reported in the literature, for the aerobic materials. On the other hand, the application of a bigger dose didn't induce proportional increments of the evaluated nutrients, smaller values were even detected that in the case of the fraction hydrosoluble.

Key words: residual materials, soil, magnesium, potassium, calcium

Palabras clave: Materiales residuales, suelo, magnesio, potasio, calcio

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, como consecuencia de diversas actividades antrópicas, se ha producido un volumen considerable de materiales residuales, constituidos por mezclas heterogéneas de compuestos orgánicos e inorgánicos. Muchos de estos materiales poseen un elevado contenido de carbono orgánico (CO) y nutrientes, este último aspecto llevó a la propuesta realizada en la ECO 92 o Cumbre de la Tierra donde se plantea el *reciclaje*, vía agrícola, de estos materiales como una de las formas obligadas para su disposición ((Mohaibes y Heinonen-Tanski, 2004). Lo que se busca en todo caso es una disminución de los llamados “pasivos ambientales”.

Ahora bien, el problema planteado a nivel mundial es que el uso de materiales residuales orgánicos, estiércoles, lodos, biosólidos etc., de manera directa o tratados inadecuadamente como fertilizantes o nutrientes del suelo, son una fuente potencial de contaminación directa del suelo, por lo que se insiste en la aplicación de tratamientos previos que aseguren la obtención de materiales eficaces e inocuos.

Por otra parte, los elementos eventualmente presentes en los materiales residuales que llegan al suelo estarían repartidos en diferentes fracciones químicas por lo que su disponibilidad dependerá de las características del elemento considerado, dado sus posibilidades de enlace químico, y de las características del material residual, éstas serán una función del tratamiento previo a que sea sometido el mismo. Claro está que finalmente se dependerá también de las condiciones edafoclimáticas en las cuales se usa. Se plantea entonces la necesidad de asegurar la aplicación de un pretratamiento que permita el saneamiento y estabilización del material, sin ocasionar una pérdida importante de la cantidad de nutrientes presentes en el mismo. Un aspecto importante es la diatriba acerca de las ventajas de los tratamientos aeróbicos y anaeróbicos de materiales residuales, en este sentido es grande el volumen de información que se ha producido con miras a determinar los efectos positivos y negativos de esta práctica, especialmente de los materiales aeróbicos (Costa *et al.*, 1991; Ouédraogo *et al.*, 2001; Meyer *et al.*, 2004; Amir *et al.*, 2005).

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de un material residual proveniente de la digestión anaeróbica de residuos sólidos orgánicos sobre las fracciones de los elementos Mg, K y Ca que son más inmediatamente disponibles para las plantas. Se considera en este caso que una de las formas para conocer la disponibilidad de un elemento dado es la extracción secuencial, este tipo de extracción permite obtener información acerca de la cantidad y proporción de un elemento en los diferentes “pools” químicos del suelo, ello supone la asociación particular a una de las fases reactivas presentes en el suelo y en consecuencia definiría su disponibilidad para las plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en condiciones de laboratorio y se usaron los primeros 20 cm del perfil de un suelo arenoso, proveniente de la zona sur de Florida, USA, cuyas características más resaltantes son: el pH ácido (5,5); CO bajo ($<5,8\text{ g}.\text{kg}^{-1}$) y alto contenido de arena (94%). Los niveles de macronutrientos son bajos (10 $\text{g}.\text{kg}^{-1}$ de N; 100 $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ de P y 30 $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ de K). El suelo fue tratado con dos dosis de MRA, el cual fue obtenido a partir de basuras de ciudad procesadas en un reactor cerrado. Previo a la realización del ensayo se caracterizó la materia orgánica contenida en el suelo y el MRA, además de los contenidos iniciales de Mg, K y Ca en las distintas fracciones consideradas (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Caracterización de la materia orgánica

Material	AH	AF	AH/Af ratio	Relación E ₄ /E ₆	
				AH	AF
Suelo	46,0	23,8	1,93	4,55	6,26
MRA	28,8	48,9	0,59	5,21	7,42

AH= Ácidos Húmicos, AF=Ácidos Fúlvicos

Cuadro 2. Concentración inicial ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) de nutrientes en el suelo y en el MRA

Elemento	Material	Fracciones		
		Hidrosolubles	Disponibles	Intercambiables
Mg	Suelo	0,12	0,65	2,47
	MRA	26,82	59,46	216,50
K	Suelo	0,36	1,30	2,25
	MRA	49,37	74,42	157,70
Ca	Suelo	0,65	4,77	8,36
	MRA	32,47	102,30	489,60

Tanto el suelo como el MRA fueron tamizados a 4 mm. La cantidad de MRA utilizada fue calculada con el criterio de las dosis máximas que podrían usarse con base en los contenidos de Cadmio intercambiable ($0,04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, datos no publicados) en dicho material según los criterios de la EPA (1993), se consideró además una duplicación de la citada dosis a los fines de simular al menos dos aplicaciones sucesivas. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

- Tratamiento 1 (**SM3**): Suelo + $75 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de MRA
- Tratamiento 2 (**SM6**): Suelo + $150 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ MRA
- Tratamiento 3 (**ST**): Suelo Control

Se usó un diseño totalmente aleatorizado con cuatro repeticiones por cada unidad experimental. Se incubaron en recipientes plásticos 200 gramos del suelo tratado, en condiciones de laboratorio, durante 12 semanas con un contenido de agua equivalente a 70% de su capacidad de campo, grado de humedad que ha sido señalado como apropiado para que se continúen todos los procesos biológicos en el suelo (Rivero *et al.*, 2006). El agua perdida fue repuesta diariamente con base a la pérdida de peso. Previo y al final de dicho periodo se midió la concentración de los nutrientes bajo estudio, magnesio, potasio y calcio, presentes en las fracciones, consideradas como de disponibilidad inmediata para las plantas, según lo descrito por Sauvé *et al.*, 1998 y Maiz *et al.*, 1997:

- Fracción 1 (Hidrosolubles): extraída con agua desionizada.
- Fracción 2 (Disponibles): extraída con un mezcla de DTPA 0.005 M, CaCl_2 0.01 M y Trietanolamina 0.1 M pH 7,3.
- Fracción 3 (Intercambiables): se extrajo con Acetato de Amonio 1 M.

Se usó una proporción suelo:extractante igual a 1:5. La concentración de cada nutriente se determinó por inducción de plasma (ICP-MASA). Los resultados se procesaron estadísticamente con el uso del paquete de SAS para PC (SAS, 1999)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la fracción hidrosoluble (Figura 1) muestran que la adición de MRA indujo incrementos significativos ($P < 0,001$) de los nutrientes evaluados, cuando se compararon con los niveles iniciales presentes en el suelo control, no obstante no se observó un efecto aditivo de los contenidos al compararlos con los niveles iniciales en suelo y MRA (Cuadro1). En cuanto al efecto de la dosis (Figura 1), se encontraron diferencias significativas.

Se destaca que los mayores incrementos se produjeron con el uso de la menor dosis de MRA esto difiere de la relación lineal entre dosis y nutrientes encontrada por Christie *et al.* (2001) y Bar-Tal *et al.* (2004) para los casos del fósforo y el potasio con el uso de biosolidos secos y compost respectivamente. Los autores atribuyen los incrementos a una relación directa con los contenidos en el material aplicado.

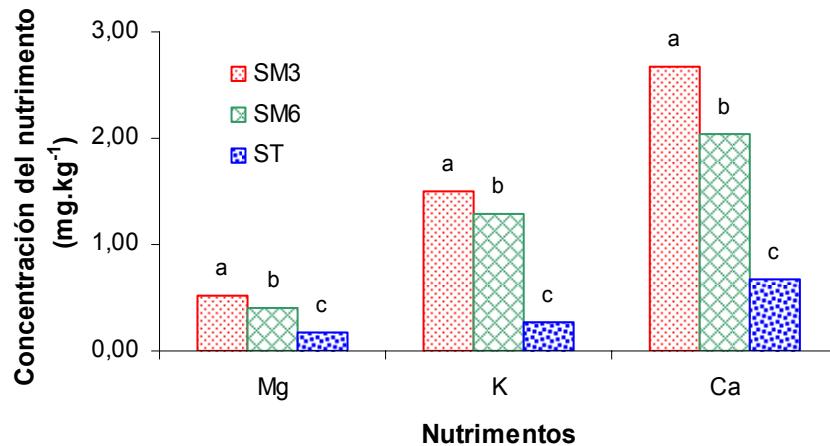


Figura 1. Concentración de nutrientes en la fracción hidrosoluble

Estos resultados plantean varias posibles explicaciones, primero que los elementos presentes en esta fracción, en el material orgánico, serían redistribuidos hacia otras fracciones por efecto de la interacción en el suelo, la existencia factores en el MRA, presente inicialmente en el material o generado como consecuencia de su interacción con el suelo, cuya concentración inhibe, para esta fracción en particular, el potencial efecto positivo al incrementarse la dosis. También podrían haberse alcanzado las concentraciones de equilibrio dinámico.

En el caso de la fracción disponible no se produjo efecto significativo sobre los contenidos iniciales ni para el Mg, ni para el K, lo cual si sucedió en el caso del Ca ($P<0,001$). Al evaluar el efecto de la dosis sobre el comportamiento por las concentraciones de nutrientes en esta fracción (Figura 2) se observó que la aplicación del MRA indujo concentraciones diferentes a las del suelo control, sin embargo no se detectaron diferencias entre la aplicación o no del MRA o de las distintas dosis del mismo sobre ninguno de los elementos considerados, esto se contrapone al efecto positivo que se ha señalado para aplicación directa de estiércoles o compost (Gascho *et al.*, 2001; Bar-Tal *et al.*, 2004). Lo observado para el Ca, donde se detectaron diferencias respecto a las concentraciones iniciales, parece corroborar la hipótesis de algún factor que limita el efecto a mayores dosis.

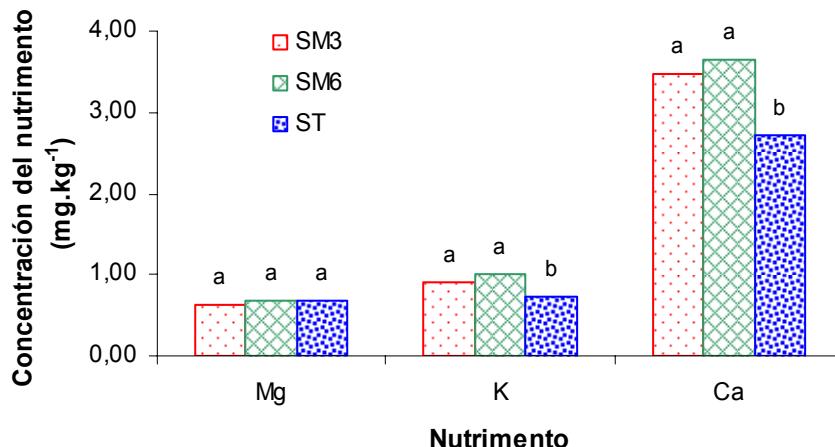


Figura 2. Concentración de nutrientes en la fracción disponible

Por último para la fracción intercambiable, al igual que la disponible, no se observaron efectos significativos, cuando se comparó con las concentraciones iniciales, ni para el Mg, ni para el K, pero si para el Ca ($P<0,001$), es decir que tampoco en esta fracción fue posible detectar un efecto aditivo importante de la cantidad de nutrientes presentes en esta misma fracción en el MRA. En cuanto al efecto de la dosis sobre los nutrientes en la fracción intercambiable (Figura 3) se materializó de la siguiente manera: ausencia de significación para el K y un incremento significativo ($P<0,001$) en los casos del Mg y el Ca. En el caso de las dosis sólo se observó significación del efecto en el caso del Mg. Nuevamente se observa una situación similar a la de las otras fracciones en lo que respecta a posibles diferencias por aplicación de una doble cantidad de MRA.

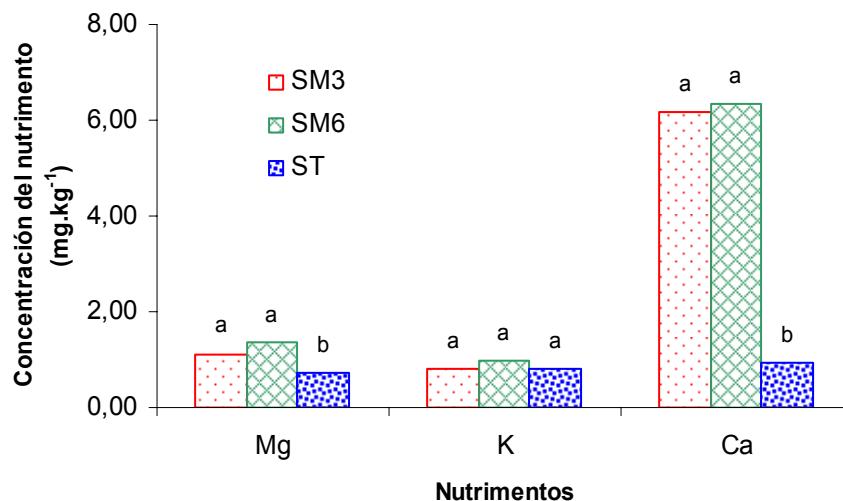


Figura 3. Concentración de nutrientes en la fracción intercambiable

El hecho de obtener efectos positivos significativos, aun cuando los incrementos no sean muy elevados, en términos absolutos, de los contenidos de nutrientes, en las distintas fracciones lleva a pensar que los materiales digeridos anaeróbicamente podrían constituir una alternativa de uso importante pero en ningún caso se podría asumir las explicaciones obtenidas para los materiales aeróbicos ya que se evidencia un comportamiento diferente en el suelo para liberación de nutrientes a aquel que se ha señalado para estos últimos (Hernández *et al.*, 1992, Kirchmann y Bernal, 1997, Bar-Tal *et al.*, 2004). Otro aspecto que podría surgir es la verdadera diferenciación que los métodos de extracción y definición de fracciones propuestos por Sauvé *et al.*, 1998 y Maiz *et al.*, 1997 pueden lograr.

CONCLUSIONES

De manera general se indica que las modificaciones detectadas en la concentración de los elementos evaluados no se corresponden con las potencialidades de que se suponen en el MRA, si se predice en términos de sus concentraciones iniciales. Ello evidencia la importancia de determinar las distintas fracciones. Se plantea además la interrogante acerca de si es el tratamiento anaeróbico lo que genera un material que tiene limitaciones para expresar la potencialidad de su efecto.

Agradecimiento: El trabajo fue realizado con el apoyo financiero del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de Universidad Central de Venezuela.

LITERATURA CITADA

- Amir S., M. Hafidi, G. Merlini y J.C. De Revel.** 2005. Structural characterization of fulvic acids during composting of sewage sludge Process Biochemistry 40(5):1693-1700
- Bar-Tal, A., U. Yermiyahu, J. Beraud, M. Keinan, R. Rosenberg, D. Zohar, V. Rosen, y P. Fine.** 2004. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by wheat and their distribution in soil following successive annual compost applications. J. Environ. Qual. 33:1855–1865.
- Christie, P., D. Lindsay Easson, J. R. Picton, y S. C. P. Love.** 2001. Agronomic Value of Alkaline-Stabilized Sewage Biosolids for Spring Barley. Agron. J. 93:144–151.
- Costa, F., C. García, T. Hernández, y A. Polo.** 1991 Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia. España. 181 p.
- EPA.** 1993. Land application of biosolids. Guide to part 503:25-55
- Gascho, G. J., R. K. Hubbard, T. B. Brenneman, A. W. Johnson, D. R. Sumner, y G. H. Harris.** 2001. Effects of Broiler Litter in an Irrigated, Double-Cropped, Conservation-Tilled Rotation. Agron. J. 93:1315–1320.
- Hernández T., C. García, F. Costa, J. A. Valero y M. Ayuso.** 1992. Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos. Suelo y Planta. 2: 373-383.
- Kandpal, G., B Ram, P. C. Srivastava, y S. K. Singh.** 2004. Effect of metal spiking on different chemical pools and chemically extractable fractions of heavy metals in sewage sludge Journal of Hazardous Materials. 106(2-3):133-137
- Kirchmann H. y M. P. Bernal.** 1997. Organic waste treatment and C stabilization efficiency. Soil Biol. Biochem. 29(11-12):1747-1753
- Maiz, I., M. V. Esnaola, y E. Millán.** 1997. Evaluation of heavy metal availability in contaminated soil by a short sequential extraction procedure. The Science of the Total Environment 206:107-115.
- Meyer, V. F., E. F. Redente, K. A. Barbarick, R. B. Brobst, M. W. Paschke y A. L. Miller.** 2004. Plant and soil responses to biosolids application following forests fire. J. Environ. Qual. 33:873-881.
- Mohaibes, M. y H. Heinonen-Tanski.** 2004, Aerobic thermophilic treatment of farm slurry and food wastes Bioresource Technology 95(3):245-254
- O'Connor G. A., D. Sarkar, S. R. Brinton, H. A. Elliott y F. G. Martin.** 2004. Phytoavailability of Biosolids Phosphorus. Environ. Qual. 33:703-712 (2004).
- Ouédraogo, E., A. Mandob, N. y P. Zombré.** 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. Agriculture, Ecosystems and Environment 84 (2001) 259–266.
- Rivero, C., A. Torres y J. Ampuera.** 2006. Efecto del uso de residuos orgánicos y fertilización sobre el comportamiento del nitrógeno mineral en el suelo. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 32:1- 13.
- Sauvé, S., M. McBride y W. Hendershot.** 1998. Soil solution speciation of lead (II): Effect of organic matter and pH. Soil Sci. Soc. Am. J. 62:618-621.

Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO_3) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en suelos de Barlovento, estado Miranda.

*Effect of two source of calcium (CaCO_3) about the available of cadmium for plants of cocoa (*Theobroma cacao L.*) in soils of Barlovento, state Miranda.*

Francisco Contreras¹, Teodoro Herrera¹ y Alexis Izquierdo²

¹Pregrado e Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Apartado 4579. Maracay, estado Aragua, Venezuela. e-mail: contrerasf@hotmail.com y herrerat@agr.ucv.ve

²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Maracay, estado Aragua. Venezuela. e-mail: aizquierdo@inia.gov.ve.

RESUMEN

En dos suelos de características contrastantes Cumbo (Troporthents) y Tapipa (Typic dystrochrepts), procedentes de la región de Barlovento estado Miranda, se estableció un ensayo de invernadero durante cinco meses, con el objetivo de determinar mediante análisis foliar el efecto del carbonato de calcio (CaCO_3), sobre absorción del cadmio (Cd) por plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*). Adicionalmente se utilizaron dosis de cloruro de calcio (CaCl_2) para diferenciar el efecto que ocurre mediante el incremento de pH y el resultado del incremento de la concentración del calcio en el complejo de cambio. Se evaluó la dinámica del calcio (Ca) en las plantas, al finalizar se determinó el Cd total y el Cd intercambiable en los suelos para comparar con su concentración inicial. Los resultados indican que en ambos suelos disminuyó la absorción del cadmio por las plantas al utilizar CaCO_3 . La concentración de calcio en las hojas aumentó con las cantidades de calcio aplicadas en los tratamientos. Por efecto de los tratamientos de CaCO_3 la cantidad de Cd intercambiable del suelo disminuyó con respecto al testigo en los dos suelos. La materia seca, tanto en Troporthents como en Typic dystrochrepts aumentó en comparación con el tratamiento testigo al aplicarse las dosis de carbonato de calcio. Los tratamientos de cloruro de calcio (CaCl_2) disminuyeron la absorción del cadmio por las plantas y el Cd intercambiable del suelo, el efecto fue menor al compararse con los tratamientos de CaCO_3 .

Palabras claves: cacao, cadmio, cadmio intercambiable, encalado, metales pesados, suelos.

ABSTRACT

Two soils of contrasting characteristic (Troporthents and Typic dystrochrepts), coming from the region of Barlovento, Venezuela, were used in a greenhouse experiment during five months with the objective of determining the effect of calcium carbonate (CaCO_3) on the absorption of cadmium (Cd) by cocoa plants (*Theobroma cacao L.*). Additionally, calcium chloride (CaCl_2) doses were used to separate the effect of the pH increment from the one produced by calcium ions on the soil exchange complex. Calcium (Ca) in the plants was evaluated and at the end of the experiment amounts of total and interchangeable Cd were determined in the soils to compare with its initial concentration. The results indicated that in both soils CaCO_3 doses diminished the absorption of cadmium for the plants. The concentration of calcium in the leaves increased with the quantities of applied calcium in the treatments. The treatments of CaCO_3 , diminished the quantity of interchangeable Cd of the soils compared to the control in the two soils. With regard to the dry matter, in the soil Troporthents as in the Typic dystrochrepts, increased in comparison with the control treatment when it was applied the doses of calcium carbonate. The calcium chloride treatments (CaCl_2) were also able to diminish the absorption of cadmium by the cocoa plants and soil interchangeable Cd, however the effect was smaller when compared with the treatments of CaCO_3 .

Key words: cocoa, cadmium, interchangeable cadmium, lime, heavy metals, soils.

INTRODUCCIÓN

La región de Barlovento está ubicada en el extremo oriental del estado Miranda. Desde la colonia y hasta la actualidad la explotación del cacao (*Theobroma cacao L.*) es una de las actividades productivas principales de la región, de la cual cientos de familias dependen para su sustento de vida. Según Durán (2002) la zona mirandina esta considerada como unas de las áreas cacaoteras mas importantes de Venezuela; en este estado, solamente, se produce unas 6.850 t de las producción nacional, lo que representa el 44 % de la misma (M.A.C., 1998).

Debido a las investigación de Matissek (1990) quien descubrió la presencia de metales pesados en granos de cacao e Izquierdo (1998) que detectó la presencia de cantidades importantes de cadmio en las almendras provenientes de la zona de Barlovento, cuyos valores excedían a los permitidos por la FAO/OMS (donde se establece que el contenido de metales pesados en alimentos no puede exceder de 0,5 mg Cd/kg (Meursing, 1991; citado por Izquierdo, 1998), su comercialización podría verse afectada, ya que el cadmio es un metal pesado divalente, que al incorporarse a los alimentos, puede causar problemas de toxicidad en el ser humano. Por lo tanto la presencia de este metal pesado en el fruto de cacao o sus productos; podría limitar la aceptación del cacao en mercados internacionales, afectando negativamente la economía de la zona.

Por razones como las anteriores, se han venido realizando investigaciones que tratan de establecer procedimientos que disminuyan la entrada de este metal al ciclo de los alimentos. El control químico del cadmio en los suelos es una de ellas, donde la alcalinización del suelo puede precipitar el metal (cadmio) no únicamente como carbonato, sino también como fosfato, además el efecto competitivo del Ca^{2+} y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento del pH del suelo disminuyen la absorción de cadmio por las raíces del cultivo (Mortvedt et al., 1983). Las reacciones del cadmio con cada componente del suelo dependerán de factores tales como la textura del suelo, el pH, el clima, las prácticas de manejo y las fuentes de origen del cadmio (Mann y Ritchie, 1993). De allí surge la importancia de realizar un estudio que pueda establecer si el manejo del suelo con un pH adecuado puede solucionar los problemas de suelos con niveles preocupantes de cadmio.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de dos fuentes de calcio sobre la dinámica de absorción del cadmio en el suelo y la absorción del cadmio por plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*), en suelos de Barlovento, estado Miranda.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en tres etapas: selección de los suelos para el ensayo de invernadero, ensayo de incubación y ensayo con plantas de cacao en condiciones de invernadero. La selección de los suelos se realizó considerando las zonas con mayor importancia en la producción del cultivo cacao en la región de Barlovento escogiéndose las localidades de: Agua Clara, Capaya, Cumbo, Curiepe y Tapipa.

Selección de suelos

Algunas características generales de las localidades escogidas, descritas según la metodología de Ewel et al., (1976) e Izquierdo (1998), son las siguientes: Agua Clara: esta localidad se ubica al margen el río Tuy, su promedio anual de precipitación es de 1300 mm/año, se encuentra en la zona de vida de bosque seco tropical. Este suelo ha sido clasificado como Vertic ustifluvents. Capaya: está al borde del río Capaya, el promedio anual de precipitación es de 2400 mm/año, ubicándose en la zona de vida de bosque húmedo tropical, el suelo se clasifica como Aeric tropaquepts. Cumbo: con un promedio anual de precipitación es de 2300 mm/año, esta localidad se ubica en la zona de vida de bosque húmedo tropical. El suelo se clasifica como Troporthents. Curiepe: ubicada al margen del río Curiepe, esta localidad tiene un promedio anual de precipitación de 1800 mm/año, lo que la sitúa en la zona de vida del bosque seco tropical, el suelo de la zona es clasificado como Typic ustifluvents. Tapipa: Esta localidad está al margen del río Tuy, su promedio anual de precipitación es de 2600 mm/año, se encuentra en la zona de vida bosque húmedo tropical, su suelo se clasifica como Typic dystrochrepts.

Se colectaron cuatro sub-muestras al azar en cada localidad para luego ser mezcladas y obtener una muestra compuesta. Cada sub-muestra fue tomada en cuatro puntos ubicados en lugares equidistantes alrededor de troncos de un árboles de cacao y abarcan el área ocupada por las raíces (1,5 m de radio aproximadamente) a una profundidad de 20 cm.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y pasadas por un tamiz plástico de 2 mm, tomando aproximadamente un kilogramo de cada muestra, para evaluar, por duplicado, las siguientes características: Textura por distribución del tamaño de partículas, según el método de Bouyoucos modificado por Day (Pla, 1983); pH, utilizando el método potenciométrico en una suspensión suelo:agua en relación 1:1, en pHmetro marca Metrohm modelo E520; Fósforo disponible, extraído con la solución de Olsen (Olsen et al., 1954) y determinado por el método colorimétrico de molibdato-ácido ascórbico (Watanabe y Olsen, 1965); Materia orgánica según Walkey y Black (1933) (Instituto de Edafología, 1993), por oxidación de la materia orgánica usando ácido crómico y H_2SO_4 ; Zinc, Hierro, Manganese y Cobre, se extrajeron con la solución Melich 1, y la determinación se realizó por absorción atómica según la metodología descrita por

Gutian (1964) y Page (1982) (Instituto de Edafología, 1993); Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio intercambiable por extracción con acetato de amonio y determinación por absorción atómica (Jackson, 1964); Capacidad de intercambio catiónico, por el método del acetato de amonio descrito por Anderson e Ingram, 1993; Cadmio total según el método descrito por Sposito *et al.*, 1983. Extracción a través de una digestión con ácido nítrico 4M y determinación en espectrofotómetro de absorción atómica; Cadmio intercambiable según el método descrito por Andersson y Hahzin (1981), extracción con ácido nítrico 1M y determinación en espectrofotómetro de absorción atómica.

Luego de obtener el resultado de los análisis anteriormente mencionados se seleccionaron dos suelos tomando los siguientes criterios: 1) El contraste de pH. Las diferencias de pH permitirían observar el efecto causado por el carbonato de calcio sobre la disponibilidad de cadmio en el suelo; ya que como lo han reportado Willians *et al* (1984) el pH de los suelos es uno de los factores que influye en la forma química del cadmio y el pH se ve afectado por la adición de carbonato de calcio. 2) Contraste de la textura de los suelos. Por ser el contenido de arcilla un factor que influye en la fijación de los metales pesados en el suelo. 3) Mayor cantidad de cadmio total y la mayor cantidad de cadmio intercambiable. Una mayor concentración de este elemento en el suelo representa mayor riesgo de contaminación.

Ensayo de incubación

Para determinar las dosis de carbonato de calcio (CaCO_3) a utilizar en el ensayo de invernadero, se realizó previamente un ensayo de incubación con el fin de determinar el tiempo de equilibrio (teq) para la reacción del CaCO_3 en el suelo. Para esto se seleccionó el suelo de la localidad de Cumbo (suelo con el pH más bajo) el cual fue secado al aire y pasado por un tamiz plástico de 2 mm, luego 40 muestras de aproximadamente 100 g de este suelo, se colocó en potes de plástico y se les aplicó una dosis de CaCO_3 que se escogió según los criterios establecidos por Rojas y Sánchez (1990), la dosis seleccionada fue equivalente a $300 \text{ kg CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Las muestras se cubrieron con plástico y se les suministró agua periódicamente para reponer la pérdida por evaporación tratando de mantener su humedad en un 75% de su capacidad de campo; mientras duró el ensayo todos los días se pesaban las muestras para determinar la diferencia de peso con la inicial y de esta manera se reponía la pérdida por evaporación. Cada dos días se seleccionó una de las muestras para determinar su pH por el método potenciométrico en una suspensión suelo:agua 1:1.

Luego de obtener el tiempo de equilibrio, se realizó un diseño experimental completamente aleatorizado con un testigo y tres dosis de CaCO_3 con tres repeticiones cada uno, para un total de doce unidades experimentales para cada suelo, con el propósito de seleccionar finalmente las dosis a utilizar en el ensayo de invernadero; de igual manera los suelos fueron secados al aire y pasados por un tamiz plástico de 2 mm, posteriormente las muestras de los suelos se colocaron en potes de plástico, cada una de las dosis de CaCO_3 fue mezclada con el suelo en los potes.

Las dosis para esta parte del ensayo se escogieron tomando como referencia el incremento de pH que ocurrió con la dosis de $300 \text{ kg CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$ al determinar el tiempo de equilibrio, ya que el mismo podría tener efecto sobre la disponibilidad del cadmio en el suelo para las plantas. En tal caso se decidió que para la localidad de Cumbo las dosis fueran mayores a la utilizada en el ensayo anteriormente descrito. Para la localidad de Tapipa, ya que su pH era más alto se utilizó la misma dosis que para el tiempo de equilibrio y dos mayores a ellas. Las muestras se cubrieron con plástico y se le suplió de agua periódicamente tratando de mantener su humedad en un 75% de su capacidad de campo.

Finalizado el ensayo (al cumplirse los 16 días, lapso considerado como tiempo de equilibrio) se midió el pH, con los resultados obtenidos se elaboraron gráficos de tratamiento vs pH alcanzado, para escoger las dosis de CaCO_3 a ser utilizadas en el ensayo con plantas.

Para determinar las dosis a utilizar en el ensayo de invernadero, considerando el tiempo de equilibrio de los suelos, se realizó siguiendo un diseño experimental completamente aleatorizado, con cuatro tratamientos 0, 400, 600 y 800 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$ para el suelo de Cumbo y 0, 300, 500 y 700 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$ para el suelo de Tapipa, con cuatro repeticiones.

Los tratamientos de CaCO_3 que se seleccionaron mediante ensayo de incubación, se usaron también en el ensayo de invernadero tratamientos con cloruro de calcio (CaCl_2), con el objeto de diferenciar el efecto producido sobre la absorción del cadmio en las plantas. Siendo el criterio tomado para escoger los tratamientos de cloruro de calcio fue que en los mismos existiera la misma cantidad de calcio existente en el tratamiento de carbonato de calcio.

Ensayo de invernadero

Los suelos fueron secados al aire y pasados por un tamiz plástico. Un mes antes de la siembra se pesó 1 kg de suelo por cada repetición mezclándose con la dosis de calcio respectiva (en potes de plástico), durante este mes se les suplió de agua periódicamente tratando de mantener su humedad en un 75% de su capacidad de campo.

Los tratamientos utilizados fueron los siguientes: Para el suelo de Cumbo Testigo (TC) 0 Calcio añadido, CB-1 (400), CB-2 (800) kg CaCO³.ha⁻¹ y su equivalente Cl-1 (600), Cl-2 (1200 CaCl₂.ha⁻¹). Para el suelo de Tapipa Testigo (TT) 0 Calcio añadido, CB-3 (300), CB-4 (700) kg CaCO³.ha⁻¹ y su equivalente Cl-3 (450), Cl-4 (1050 CaCl₂.ha⁻¹).

Para la siembra se escogieron semillas de cacao OC-61 x IMC-67 dominante en las zonas de muestreo y se hicieron pregerminaron en agua destilada. Al mes de desarrollo se iniciaron los muestreos foliares mensuales hasta los cinco meses de edad. Al finalizar el ensayo se analizó el suelo.

Mensualmente se colectaron muestras de las hojas representativas de las condiciones promedio del follaje para el ciclo particular de crecimiento, excluyéndose hojas que presentaran patrones de deficiencia en nutrientes u otra anormalidad. Las muestras fueron secadas en una estufa de ventilación forzada por 48 horas a 70 °C, para luego ser pasadas por un molino con aspas de acero inoxidable y nuevamente llevadas a la estufa por 24 horas a 70 °C.

En las muestras de tejido foliar se determinó: cadmio, calcio, potasio y fósforo en hojas (Anderson, 1976). Se hizo una digestión con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno. La determinación se realizó en espectrofotómetro de absorción atómica, menos el fósforo que se utilizó el espectro colorímetro.

Cinco meses después de la siembra, el material vegetal fue cosechado y pesado (para determinar el rendimiento de materia seca). Una vez finalizado el ensayo, el suelo usado fue analizado para determinar la cantidad de cadmio total e intercambiable en el mismo.

A los datos obtenidos se les verificó que cumplieran con los supuestos básicos de normalidad, homogeneidad, independencia y actividad para luego realizar la prueba de medias de Tukey, a un nivel de significancia del 5%. Para realizar estos análisis se utilizó el paquete estadístico Statistix.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los suelos y ensayos de incubación

Los resultados de los análisis físicos y químicos de los suelos de las localidades de Agua Clara, Capaya, Cumbo, Curiepe y Tapipa, zonas con importancia en la producción del cultivo de cacao en la región de Barlovento, se muestran en el Cuadro 1.

Caracterizados cada uno los suelos, se decidió que para el ensayo con plantas en condiciones de invernadero se usarían los suelos de Cumbo y Tapipa. Se seleccionaron estos dos suelos ya que los mismos contrastan en su pH, Cumbo presenta un pH de 5,8 valor ligeramente ácido y Tapipa se encuentra bajo los rangos de un pH neutro con un valor de 6,7. De igual manera los resultados de las dos localidades seleccionadas indican diferencias en su textura, Cumbo tiene una textura franco arcillosa y Tapipa textura de tipo franco, influenciando en la selección de los suelos la cantidad de Cd, los suelos seleccionados tienen los mayores valores de Cd total 2,05 y 1,32 mg.kg⁻¹ para Cumbo y Tapipa respectivamente, en cuanto al cadmio intercambiable estos dos suelos de igual manera presentan las mayores cantidades 1,52 mg.kg⁻¹ para el suelo de Cumbo y 0,55 mg.kg⁻¹ para el de Tapipa.

El tiempo de equilibrio (teq) en el ensayo de incubación para la reacción del CaCO₃ con el suelo de pH más bajo (Cumbo) fue de 16 días, con un pH de 6,7. Ya que en los muestreos siguientes no se observaron cambios importantes de pH. El pH aumentó a medida que se incrementaban la reacción de neutralización, luego de una semana de ensayo se encontró un valor de 6,3; este valor continuó incrementándose hasta llegar a 6,7 (A los 16 días), los muestreos siguientes no mostraron cambios de pH importantes, por lo tanto se estableció como (teq) los 16 días.

Cuadro 1. Resultado de los análisis físicos-químicos de los suelos utilizados en este estudio

ANÁLISIS	ZONA				
	A. CLARA	CAPAYA	CUMBO	CURIEPE	TAPIPA
Textura	FA	FA	FA	FA	F
pH	6,5	6,6	5,8	6,4	6,7
C.I.C. (meq/100 g suelo)	22,2 A	20,7 A	20,2 A	14,8 M	22,5 A
M.O. (%)	3,9 M	4,9 A	3,0 M	2,6 M	3,9 M
Zn (mg.kg-1)	6,7 A	7,1 A	7,3 A	4,6 M	7,3 A
Mn (mg.kg-1)	41,4 B	50,9 A	44,4 B	42,3 B	58,8 A
Fe (mg.kg-1)	330 A	392,4 A	572,4 A	222,8 A	391 A
Cu (mg.kg-1)	8,6 A	7,3 A	7,6 A	5,8 A	9,9 A
Mg (mg.kg-1)	147,8 A	118,2 A	131,3 A	112,4 A	982 A
Na (mg.kg-1)	25,9 B	18,6 B	17,3 B	16,6 B	16 B
Ca (mg.kg-1)	2541 A	2646 A	1967 A	3004 A	1943 A
K (mg.kg-1)	111,9 A	802 A	89,2 A	56,3 A	45,1 M
P (mg.kg-1)	14,7 B	16,1 B	22,2 M	16,2 B	17,8 B
CdI (mg.kg-1)	0,21	0,18	1,52	0,47	0,55
CdT (mg.kg-1)	1,14	1,21	2,05	0,83	1,32

A = Nivel Alto M= Nivel Medio B = Nivel Bajo

Para determinar las dosis a utilizar en el ensayo con plantas, se consideró el pH alcanzado con las diferentes dosis de calcio. Así, el pH alcanzado con la dosis mayor de 800 kg CaCO₃.ha-1, fue de 7,2 y con la menor dosis (400 kg CaCO₃.ha-1) fue de 6,8; ligeramente alcalino y neutro respectivamente. Estos incrementos, fueron mayor o igual a una unidad del pH inicial (5,8) por lo que fueron considerados suficientes para evaluar los cambios en la disponibilidad del cadmio en el suelo para las plantas. En suelo de Tapipa, a los 16 días (teq) las dosis utilizadas lograron aumentos que van desde el pH inicial 6,7 (neutro) a 7,4 (ligeramente alcalino), el pH alcanzado con la dosis de 700 kg CaCO₃.ha-1 fue de 7,4 y con la dosis de 300 kg CaCO₃.ha-1 fue de 7,1; ligeramente alcalino y neutro respectivamente.

Efecto de los tratamientos con calcio sobre la concentración de cadmio en las plantas

Se evaluó la dinámica de las concentraciones de cadmio y calcio, en las plantas de cacao. Durante el desarrollo de las plantas de cacao se encontraron en las hojas, diferentes concentraciones de Cd. Las cantidades de este elemento oscilan entre 12 y 75 mg.kg-1, con una tendencia en todos los tratamientos a aumentar con el transcurrir de los meses (Cuadro 2).

Las menores concentraciones de cadmio en el tejido vegetal se encontraron cuando se aplicó la dosis mayor de carbonato de calcio (CB-2) cuyos resultados fueron estadísticamente diferentes con el resto de los tratamientos durante todos los meses de muestreo, encontrándose al final del ensayo cantidades del elemento de hasta un 48 % menos, que en los demás tratamientos.

Es importante resaltar que en los demás tratamientos utilizados la menor dosis de carbonato de calcio (CB-1), la menor dosis de cloruro de Calcio (Cl-1) y la mayor dosis de cloruro de calcio (Cl-2), presentaron menores cantidades de Cd en las hojas durante los tres últimos meses, que las encontradas bajo el tratamiento testigo (T) donde se acumularon las mayores, al final del ensayo este tratamiento, alcanzó un incremento de 132% con respecto al primer mes.

Se muestra mayor efecto de la dosis de carbonato de calcio CB-2 que las de cloruro de calcio (Cl-1 y Cl-2) sobre la disponibilidad de cadmio, quizás debido a que el carbonato de calcio eleva el pH del suelo además de aumentar el ión calcio en la disolución del suelo, lo que de igual manera afecta la disponibilidad de este metal para las plantas (Kabata-Pendias y Pendias, 1986).

Cuadro 2. Concentración ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) de cadmio en las hojas (Suelo Cumbo).

Tratamiento	Mes				
	1	2	3	4	5
TC	32,33b	37,33a	45,33a	67,67a	75,00a
CB-1	27,66c	38,33a	44,67a	47,67b	52,33bc
CB-2	13,66d	12,00c	19,67c	30,33c	39,00d
Cl-1	36,66a	40,00a	41,67ab	47,67b	58,33b
Cl-2	26,66c	32,00b	37,33b	45,00b	45,67bc

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según Tukey, $P < 0,05$.

El comportamiento de la concentración de calcio (Ca) en las hojas, de las plantas bajo los diferentes tratamientos aumentó a medida que se incrementa el tiempo de ensayo, posiblemente ligado a los requerimientos de la planta para la etapa de desarrollo en que se encontraba. Las cantidades de este elemento se mantienen entre 0,56 y 0,97 %.

Durante el primer, tercer y último mes las concentraciones de Ca en las hojas de las plantas bajo el tratamiento CB-2 son las más elevadas y presentan diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos (Cuadro 3), encontrándose para el último muestreo concentraciones de hasta un 15 % mayor.

El comportamiento del elemento calcio en las hojas bajo los tratamientos T y Cl-1 son muy similares, estos dos tratamientos incrementan la concentración del calcio en las hojas con respecto al primer mes en un 50 %. Bajo los demás tratamientos donde se adicionaron mayores cantidades de calcio al suelo, las concentraciones al final del ensayo son ligeramente mayores, como lo explica Navarro y Navarro (2000) quien indica que a una mayor proporción de calcio asimilable presente en el suelo, las concentraciones de calcio de una misma especie vegetal aumentan.

Las mayores concentraciones al final del ensayo se encontraron bajo los tratamientos Cl-2 y CB-2 lo que indica que tal efecto se debió a la cantidad de calcio agregado al suelo y no a la forma química como se incorporó.

Cuadro 3. Concentración (%) de calcio en las hojas (Suelo Cumbo).

Tratamiento	Mes				
	1	2	3	4	5
TC	0,56b	0,60c	0,71ab	0,80c	0,84c
CB-1	0,61b	0,78a	0,84ab	0,86abc	0,86c
CB-2	0,70a	0,72ab	0,86a	0,89ab	0,97a
Cl-1	0,60b	0,61c	0,69b	0,82bc	0,90b
Cl-2	0,60b	0,62bc	0,77ab	0,90a	0,92b

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según Tukey, $P < 0,05$.

Las plantas de cacao desarrolladas en el suelo de Tapipa, presentaron durante su desarrollo, diferentes concentraciones de Cd. Las cantidades de este elemento en las hojas oscilan entre 11,33 y 65,33 mg.kg⁻¹, la tendencia en todos los tratamientos es aumentar con el tiempo de ensayo.

El mayor incremento se observa en las plantas testigo donde la concentración llega a ser en el quinto mes 137 % mayor que la determinada en el primer mes (Cuadro 4).

Cuando se usó la mayor dosis de carbonato de calcio (CB-4), los resultados indicaron que existió una menor concentración de Cd en las hojas, siendo estadísticamente diferentes con el resto de los tratamientos, en los primeros tres meses y en los últimos dos meses no hubo diferencia con el CL-4. Con la mayor dosis de cloruro de calcio (Cl-4) se reportaron cantidades bajas de este elemento. Durante los meses de muestreo las mayores cantidades de cadmio se encontraron en las unidades experimentales bajo el tratamiento testigo, excepto el primer mes donde la mayor concentración fue en las hojas bajo el tratamiento Cl-3.

Cuadro 4. Concentración (mg.kg⁻¹) de cadmio en las hojas (Suelo Tapipa)

Tratamiento	Mes				
	1	2	3	4	5
TT	27,67bc	36,33a	38,00a	54,33a	65,33a
CB-3	25,67bc	35,00a	38,67a	40,67ab	41,67c
CB-4	11,33c	10,33c	14,33c	22,33b	24,67d
CI-3	30,00a	39,33a	37,33a	49,67a	52,67b
CI-4	19,67b	25,00b	27,33b	27,67b	32,67d

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según Tukey, P< 0,05.

Los resultados muestran que las mayores fuentes de carbonato de calcio y cloruro de calcio, disminuyeron en mayor proporción la disponibilidad del Cd para las plantas con respecto al tratamiento testigo, muy similar a lo ocurrido en la localidad de Cumbo. También se observa con respecto a la disminución en la absorción del cadmio por las plantas, que existe una mejor respuesta a los tratamientos donde se utilizó carbonato de calcio que a los de cloruro de calcio. Los dos últimos meses del ensayo las concentraciones del elemento en las plantas se incrementaron en mayor cantidad probablemente debido a la disminución del efecto residual de los tratamientos utilizados.

Las concentraciones de Ca en las hojas para todos los tratamientos aumentan a medida que se incrementa el tiempo de desarrollo de la planta, los porcentajes de Ca en las hojas oscilan entre 0,62 y 0,77%. Con respecto al primer mes. Al final del ensayo, el menor incremento en la concentración de calcio se obtuvo en las plantas bajo el tratamiento testigo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Concentración (%) de calcio en las hojas (Suelo Tapipa).

Tratamiento	Mes				
	1	2	3	4	5
TT	0,62c	0,68b	0,74c	0,84b	0,88c
CB-3	0,66bc	0,82ab	0,91bc	0,95ab	0,97c
CB-4	0,77a	1,13a	1,12a	1,13a	1,15a
CI-3	0,67bc	0,76ab	0,96ab	0,98ab	1,04b
CI-4	0,70ab	0,86ab	1,08ab	1,08a	1,11b

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según Tukey, P< 0,05.

Las mayores cantidades de este elemento se encontraron bajo el tratamiento CB-4, al finalizar el ensayo las mismas fueron hasta un 30 % mayor que los resultados encontrados en el resto de las dosis utilizadas, resultando esta diferencia como estadísticamente significativa. Para esta época de muestreo los menores valores de este elemento se encontraron bajo los tratamientos T, CB-3 y Cl-3, cuyo efecto fue estadísticamente diferente con respecto a los demás tratamientos.

Como respuesta que ocurre normalmente al crecimiento, las concentraciones de calcio aumentaron durante todo el ensayo. La diferencia en las concentraciones del elemento en la planta, de igual manera que en la localidad de Cumbo, probablemente se relacionan con el efecto de cada tratamiento, caso que se puede apreciar en la respuesta que se obtuvo con la mayor cantidad de carbonato calcio (CB-4) donde las concentraciones de este elemento en las plantas fueron mayores que en el resto de todos los otros tratamientos.

Niveles de cadmio en el suelo después de la cosecha

Una vez concluido el ensayo de invernadero, a los suelos de Cumbo y Tapipa, bajo todos los tratamientos se les determinó pH y la cantidad de cadmio total e intercambiable y ésta se comparó con las cantidades que se encontraron antes del ensayo. La concentración de Cd (total e intercambiable) en el suelo de Cumbo a las diferentes dosis de carbonato de calcio y de cloruro de calcio aplicadas y el Cd determinado antes van desde 2,05 a 1,82 mg.kg⁻¹ del Cd total y de 1,12 a 0,62 mg.kg⁻¹ de Cd intercambiable. Siendo el pH inicial de 5,8 y el pH final resultó de 7,2 en el tratamiento con CaCO₃.ha⁻¹ y en el tratamiento con CaCl₂.ha⁻¹ el pH final resultó de 7,1.

Como se muestra en el cuadro 6, el Cd total del Suelo Cumbo disminuyó bajo todos los tratamientos, en comparación con las cantidades que existían inicialmente. La menor concentración de Cd total se encontró bajo el tratamiento CB-2 el cual fue de un 7% menos que el encontrado bajo el tratamiento testigo, posiblemente esto puede ser atribuido a que además del cadmio que es absorbido por las plantas pudo haber una pérdida por lavado del cadmio que fue desplazado por el calcio del complejo de cambio.

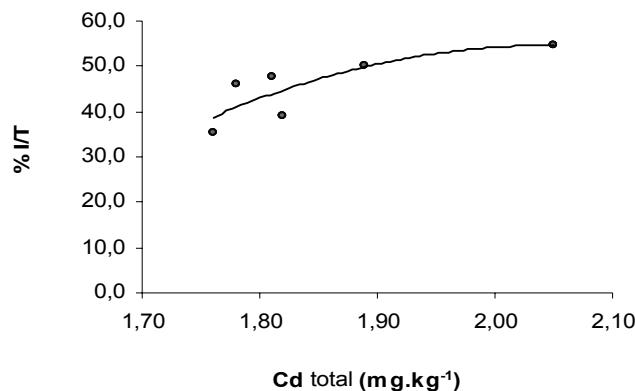
El Cd intercambiable también descendió con todos los tratamientos utilizados en comparación con el que existía antes del ensayo, al utilizar el tratamiento CB-2 se encontró la menor cantidad con respecto al tratamiento testigo que llegó a ser un 35 % menos. Al parecer pudo existir un efecto de los tratamientos utilizados ya que como lo reflejan los resultados al agregar la mayor cantidad de carbonato de calcio la cantidad del cadmio disponible en el suelo disminuye, éstos resultados se relacionan con los obtenidos del análisis foliar donde al utilizar la mayor cantidad de carbonato de calcio, es menor la concentración de Cd en las hojas y el nivel de pH llegó a ser ligeramente alcalino. Fontes et al. (2000) al respecto señala que al adicionar enmiendas que incrementen los contenidos de iones de calcio en el suelo se puede producir un efecto antagónico sobre cadmio.

Bajo la dosis mayor de cloruro de calcio (Cl-2) también disminuyó el cadmio intercambiable con respecto al testigo, pero en un menor porcentaje (25 %) que bajo el tratamiento CB-2, probablemente el efecto del carbonato de calcio sobre la cantidad de Cd disponible para las plantas, fue mayor que al utilizar cloruro de calcio, porque además del incremento del calcio en la solución del suelo, los carbonatos retienen mas el Cd, lo que lo hace menos disponible (Herrera, 2000).

La relación de Cd intercambiable con respecto al Cd total se observa en la figura 1. Como se puede apreciar esta fracción aumenta a medida que se incrementa la concentración de Cd total en el suelo, también se observa que cuando la concentración de cadmio total supera un valor aproximado de 1,9 mg.kg⁻¹ la relación % Inter/Total tiende a estabilizarse alrededor de un 52 %. Sin embargo en comparación al testigo, se encontraron menores valores de esta relación cuando se aplicaron al suelo los diferentes tratamientos de CaCO₃ y CaCl₂, encontrándose los menores porcentajes con los tratamientos CB-2 (35,2%) y Cl-2 (39%), lo que se refleja como otra evidencia de un posible efecto del carbonato de calcio y el cloruro de calcio sobre la disponibilidad del cadmio para las plantas.

Cuadro 6. Concentración ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) de Cadmio total e intercambiable (Suelo Cumbo)

Suelo Cumbo	Inicial	T	CB-1	CB-2	CI-1	CI-2
Cd total	$2,05 \pm 0,26$	$1,89 \pm 0,14$	$1,78 \pm 0,08$	$1,76 \pm 0,03$	$1,81 \pm 0,01$	$1,82 \pm 0,07$
Cd Intercambiable	$1,12 \pm 0,28$	$0,95 \pm 0,05$	$0,82 \pm 0,10$	$0,62 \pm 0,08$	$0,86 \pm 0,11$	$0,71 \pm 0,02$
% Inter/Total	54,6	50,3	46,1	35,2	47,5	39,0

**Figura 1.** Relación % I/T en función del contenido total de Cd (Suelo Cumbo)

Las cantidades de cadmio total e intercambiable obtenidas en el suelo de Tapipa con los diferentes tratamientos utilizados en este suelo, además del Cd determinado inicialmente mostró concentraciones de Cd total encontradas van desde 1,32 a 1,11 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y del Cd intercambiable desde 0,55 a 0,31 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Siendo el pH inicial de 6,7 y el final de 7,4 en ambos tratamientos con las distintas fuentes de calcio.

En el cuadro 7 se muestra que las cantidades Cd total del Suelo Tapipa son menores bajo todos los tratamientos con respecto a las encontradas antes del ensayo. La menor concentración de Cd total se encontró bajo el tratamiento CB-4 el cual fue de un 10 % menos que el encontrado bajo el tratamiento testigo.

Cuadro 7. Concentración ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) de Cadmio total e intercambiable (Suelo Tapipa)

Suelo Tapipa	Inicial	T	CB-3	CB-4	CI-3	CI-4
Cd total	$1,32 \pm 0,20$	$1,25 \pm 0,09$	$1,17 \pm 0,02$	$1,11 \pm 0,04$	$1,15 \pm 0,18$	$1,12 \pm 0,06$
Cd Intercambiable	$0,55 \pm 0,17$	$0,52 \pm 0,14$	$0,39 \pm 0,01$	$0,31 \pm 0,06$	$0,42 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,07$
% Inter/Total	41,7	41,6	33,3	27,9	36,5	33,9

Bajo todos los tratamientos utilizados el Cd intercambiable es menor que el inicial, al aplicar el tratamiento CB-4 se encontró la concentración más baja de este elemento de forma intercambiable, siendo con respecto al tratamiento testigo un 40 % menos.

En la figura 2, se muestra la relación de Cd intercambiable con respecto al Cd total en el suelo, como se observa la tendencia es aumentar el Cd intercambiable al incrementarse la concentración de Cd total en el suelo. Bajo todos los tratamientos utilizados de CaCO_3 y CaCl_2 , la relación % Inter/Total siempre fue mas baja que la encontrada en el tratamiento testigo, el menor porcentaje hallado fue de 27,9 % con el tratamiento CB-4 que al parecer influyó de mayor manera sobre la disponibilidad del cadmio para las plantas. Los resultados son muy similares a los encontrados en el suelo de Cumbo, aunque bajo este suelo se encontró una mayor disminución del Cd intercambiable dado probablemente a las condiciones particulares de este suelo.

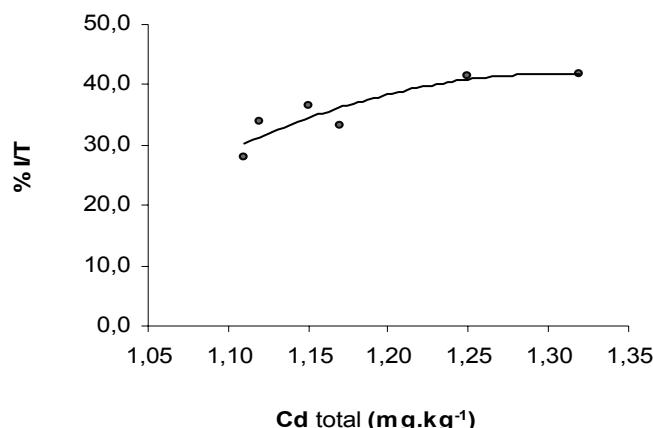


Figura 2. Relación % I/T en función del contenido total de Cd (Tapipa)

Rendimiento de materia seca, en la figura 3 y 4 se presentan el efecto de los diferentes tratamientos utilizados sobre el peso de materia seca en las plantas de cacao durante cinco meses de ensayo de invernadero. En el suelo de Cumbo se encontraron de 3,3 a 4,6 g de materia seca y en el suelo Tapipa de 3 a 4,2 g de materia seca. En ambas localidades descritas la respuesta de las plantas a cada uno de los tratamientos es evidente, ya que las mismas se diferían con respecto al testigo.

Tanto en el suelo de la localidad de Cumbo como en el de Tapipa el peso seco aumenta con el incremento del carbonato de calcio. Al utilizar cloruro de calcio sucede igual que lo anterior en la localidad de Cumbo pero en la localidad de Tapipa sucede lo contrario, ya que la dosis menor causa mejor resultado que la dosis mayor.

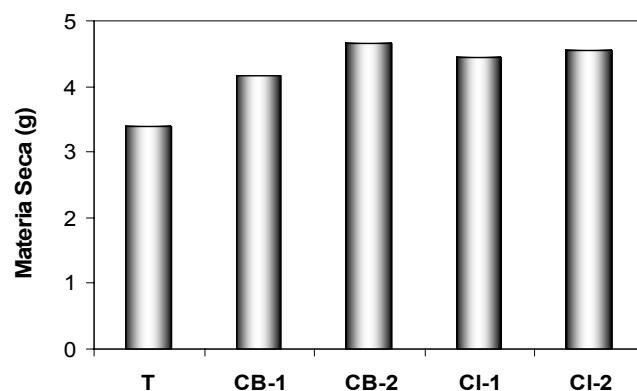


Figura 3. Rendimiento de materia seca en las plantas de cacao en el suelo de la localidad de Cumbo

Aunque el comportamiento de los tratamientos de las dos localidades fue similar como se describió anteriormente, los resultados comprueban, que el efecto de los tratamientos en el suelo de la localidad de Cumbo fue mejor; ya que los valores en peso, son mayores que los del suelo de Tapipa. Estos resultados pueden estar relacionados a los cambios en la disponibilidad de nutrientes y demás características del suelo, en el suelo de Tapipa el pH ligeramente alcalino a causa de los tratamientos utilizados pudo haber ocasionado una disminución en la disponibilidad de micronutrientos, al incrementarse demasiado el pH. De igual manera en este suelo las concentraciones de nutrientes y calcio encontrados en las hojas de las plantas son menores a las que se encontraron en la localidad de Cumbo, lo que también pudo haber influido en su crecimiento.

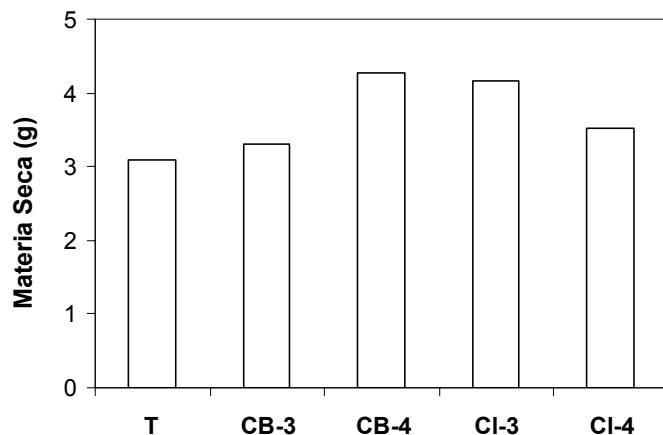


Figura 4. Rendimiento de materia seca en las plantas de cacao en el suelo de la localidad de Tapipa

CONCLUSIONES

Los tratamientos de carbonato de calcio (CaCO_3) utilizados en ambos suelos (Cumbo y Tapipa) lograron disminuir las concentraciones de cadmio en las hojas de las plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*), el efecto fue mayor a medida que se incrementaba la cantidad de CaCO_3 aplicada al suelo. La concentración de calcio en las hojas fue mayor al incrementarse la cantidad de calcio incorporado en los suelos y al aumentar el tiempo del ensayo.

El cadmio intercambiable de los dos suelos utilizados disminuyó con respecto al testigo, al aplicar al suelo las dosis de CaCO_3 , siendo mayor el efecto al aumentar la dosis utilizada.

El uso del CaCO_3 incrementó el peso de materia seca de las plantas de cacao en comparación con el tratamiento testigo, lo cual es más apreciable en suelo de Cumbo cuyo pH inicial era más bajo.

LITERATURA CITADA

- Anderson, A.** 1976. On the determination of ecologically significant fractions of some heavy metals in soils. Swedish J. Agric. Res. 6:19-25.
- Anderson, A. y M. Hahzin.** 1981. Cadmium effects from phosphorus fertilization in field experiments. Swedish J. Agric. Res. 11:30-10.
- Anderson, J. y J. Ingram.** 1993. Tropical and soil biology and fertility (ISBF). Handbook of Methods. C.A.B.. Internacional. 171p.
- Duran, M.** 2002. El fruto es el sustento de cientos de familias. El Nacional 10 de Mayo.
- Ewel, J.; A. Madriz y J. Tosi.** 1976. Zonas de vida de Venezuela. Dirección de Investigación del Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. Venezuela. 270 p.

- Fontes, M. P. F.; A. T. de Matos; L.. M. Da Costa y J. C. L. Neves.** 2000. Competitive adsorption of zinc, cadmium, copper and lead in three highly-weathered Brazilian soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2939-2958.
- Herrera, T.** 2000. La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*. 8(1-2):42-46.
- Instituto de Edafología.** 1993. Métodos de análisis de suelos y plantas. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Cuadernos de Agronomía. 1:44-50.
- Izquierdo, A.** 1998. Determinación de contaminación con cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) y su posible origen en la región de Barlovento Estado Miranda. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. Edo. Aragua.
- Jackson, M.** 1964. Análisis químico de suelos. Omega. Barcelona. 662 p.
- Kabata-Pendias S. y H. Pendias.** 1986. Trace elements in soils and plants. CRS Press. Florida. USA. 313p.
- Ministerio de Agricultura y Cría (MAC).** 1998. Cacao. Superficie, producción y rendimiento según la entidad federal. CIAGRO. Maracay Edo. Aragua.
- Mann, S. y G. Ritchie.** 1993. The influence of pH on the forms of cadmium in four west Australian soils. *Aust. J. Soil Res.* 31: 255-270.
- Matissek, R.** 1990. Metales pesados en el cacao y los productos del cacao. Organización Internacional del Cacao. ICCO. 20 p.
- Mortvedt, J.; P. Giordano y W., Lindsay.** 1983. Micronutrientes en agricultura. AGT.
- Navarro, S y G. Navarro.** 2000. Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida. Editorial Mundiprensa. Madrid. 488 p.
- Olsen, S., C. Cole, F. Watanabe y L. Dean.** 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. Of Agri. Circ. p 939.
- Pla, I.** 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Alcance N° 32. 120 p.
- Rojas, I. y A. Sánchez.** 1987. Criterios para la recomendación de cal para suelos ácidos de Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay. 32 p.
- Sposito, G.; C. Levesque; J. LeClaire y A. Chang.** 1983. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: III. Effect of time on the extraction of trace metals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:898-903
- Watanabe, F y Olsen.** 1965. Test of an acid ascorbic methods for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Sci. Soc. AM. Proc.* 29:677-678.
- Williams, D.; F. Vlamis; A. Pukite, y J. Corey.** 1984. Metal movement in sludge treated soil after six years of sludge addition: cadmium, copper, lead and zinc. *Soil Sci.* 137. 351-359.

NORMAS PARA PUBLICAR ARTÍCULOS EN LA REVISTA “VENEZUELOS”

La Revista “VENEZUELOS” publicará trabajos, en lengua española, sobre aspectos relacionados con la Ciencia del Suelo. Pueden ser artículos científicos, avances de trabajos, cartas con opiniones o comentarios debidamente argumentados, reseña de libros y notas técnicas. Excepcionalmente serán publicadas revisiones bibliográficas, a solicitud del Comité Editorial.

La Revista acepta contribuciones de todos los investigadores en el área de la Ciencia del Suelo a nivel nacional, así como de otros países que traten sobre temas de interés en el trópico.

Los **artículos científicos y notas técnicas** deberán constar de las siguientes partes: Título, Autor (es), Institución (es), Resumen, Palabras Claves, Abstract, Key words, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones, y Literatura citada. El Comité Editorial puede aceptar modificaciones del formato cuando el tema lo amerite.

Deben enviarse tres copias de los trabajos, impresos en papel bond tamaño A4 (21 x 29,7 cm) con los siguientes márgenes: 2 cm en la parte superior e inferior y de 1,5 cm en ambos lados. Excepto en casos debidamente justificados, el texto de los artículos científicos y ensayos no deberá exceder de 15 páginas incluyendo cuadros y figuras, considerando una extensión ideal de 10 páginas, mientras que las notas técnicas tendrán un máximo de 5 páginas. En el texto deben intercalarse los títulos de las Figuras en el lugar que corresponda.

El trabajo original debe enviarse en disket de 3,5"o CD-Room, usando el procesador Word o Wordperfect. Los gráficos deben elaborarse preferiblemente con Excel, Power Point o Sigma Plot, y enviados como archivos individuales separados *.hg4 *.pr4, *.spw o *.bmp. Mapas y fotografías deben enviarse, en archivos individuales, como imágenes de scanner en blanco y negro con extensión .tif preferiblemente, o en su defecto *.bmp. Los Cuadros deben enviarse como archivos de texto *.doc. Deben enviarse en archivos separados, las Figuras, Gráficos, Mapas y Cuadros, indicando el programa usado para elaborar los gráficos, así como los datos completos usados en su elaboración. Todos estos archivos deben ser en blanco y negro, tal cual serán publicados. **No se aceptarán fotos o gráficos a color.**

Al comienzo de cada párrafo, excepto en el Resumen y Abstract, debe dejarse una sangría de 1 cm. Las palabras deben separarse sólo por un espacio, nunca por más de uno. Deben emplearse las unidades de la versión Sistema Internacional de Unidades (SI) del Sistema Métrico Decimal. Todo el texto debe escribirse en letra Arial de tamaño 10, excepto el título que será en el mismo tipo de letra y tamaño 12. Se usará interlineado 1 en todo el texto y cuadros.

Título: Se escribirá con mayúscula y negrita al centro de la página. Inmediatamente debajo se colocará el título traducido al inglés, pero en minúscula, en el mismo tipo de letra tamaño 12, e itálico. El título deberá ser breve e indicar la naturaleza y contenido del artículo, con un máximo de veinte palabras.

Autores: Se escribirá en la forma que acostumbra en sus publicaciones, con nombre y apellido completos, indicando con una llamada (número) la información pertinente al próximo ítem. No se usarán títulos ni grados. Debe estar centrado, en negrita y minúscula. De ser varios autores, debe anexarse la autorización de todos para la publicación del trabajo.

Institución donde trabaja: Se escribirá en la segunda línea después de los autores, alineado a la izquierda, en forma extendida, sin abreviaciones, así como la dirección postal.

Resumen: Debe sintetizar los aspectos más relevantes del trabajo (motivación metodología, resultados, conclusiones) y no debe exceder las 250 palabras. El título será en minúscula, centrado y negrita. El texto se iniciará sin sangría.

Palabras Claves: Se incluirán cinco palabras que el autor considere importantes para clasificar su trabajo. Se colocarán a continuación del resumen, con el título en negrita y minúscula a la izquierda.

Abstract: Iguales normas que para el resumen, debiendo ser la traducción del mismo.

Key Words: Las mismas palabras claves, pero traducidas al inglés, con las mismas normas que las palabras claves.

Introducción: Incluye la motivación, naturaleza, importancia y objetivos de la investigación. Contiene además los aspectos más relevantes del tema y sus relación con investigaciones similares. Este título, así como todos los restantes, deben ser en mayúsculas, negrita y centrado.

Materiales y Métodos: Descripción breve de la metodología empleada, dando énfasis a los métodos originales o a las modificaciones importantes a técnicas o equipos conocidos.

Resultados y Discusión: Los resultados se presentarán en forma de cuadros, figuras, fotografías, mapas, etc. y no deberán duplicar la información que se da en el texto.

Conclusiones: Deben tener absoluta concordancia con los objetivos planteados y sus derivados de los hechos comprobados y datos presentados en el texto. Pueden incluirse "recomendaciones".

Citas Bibliográficas: Deben aparecer en el texto con el apellido del autor en mayúscula, y el año de publicación del documento. Cuando sean varios autores, se nombrará el primer autor y los restantes con la expresión: "et al", tal cual se indica aquí.

Agradecimientos: Podrán incluirse cuando sea necesario.

Literatura citada: En las líneas a continuación del nombre del autor, debe dejarse sangría de 3 espacios.

Libros y Folletos:

Sánchez, P. 1981. Suelos del Trópico. Características y manejo. Traducido al español: Edilberto Camacho. IICA. San José, Costa Rica 634 p.

Publicaciones periódicas.

Casanova, E. y N. Gómez. 1990. Nutrición mineral de la soya (*Glycine max (L) Merr.*) y su relación con la fertilización fosforada y potásica en un suelo del Estado Guárico, Venezuela. Agronomía Tropical. Vol. 40 (1-3): 91- 101.

Resumen de Congresos, Seminarios, etc.

Marcano, F. y C. Ohep. 1987. Efecto de la labranza, fuente y dosis de nitrógeno sobre algunas características físicas del suelo y desarrollo radical del maíz (*Zea mays L.*) en un Oxic Haplustalf del Yaracuy Medio. XII Jornadas Agronómicas. Resúmenes de trabajos. Maracay. p. 233.

Obra Colectiva.

Pla, I., A. Florentino y D. Lobo. 1985. Soil land water conservation problems in the Central Plain of Venezuela. (Eds. El Swaify et al.) Soil Erosion and Conservation. Soc. Amer. Ankeny, USA. pp. 66-78.

Tesis de Grado.

Luque, O. 1983. Efecto del mezclado de horizontes sobre propiedades físicas de los suelos de las mesas orientales de Venezuela. Evaluación en cuatro Ultisoles y un Oxisol y desarrollo de una metodología para su prueba con plantas. Tesis de Doctorado. Maracay, Venezuela. Universidad Central. Facultad de Agronomía. Postgrado en Ciencia del Suelo. 179 p.

Trabajos presentados en congresos, Conferencias, etc.

López, I. 1989. La química del fósforo y el uso eficiente de Fertilizantes In: Memoria I Seminario de fósforo en la agricultura venezolana. Caracas. Venezuela. pp. 12-25.

La lista de citas deberá ordenarse alfabéticamente, incluyendo sólo los trabajos citados en el texto.