

PROPIEDADES DE LA MATERIA ORGÁNICA Y CAPACIDAD COMPLEJANTE SOBRE EL ALUMINIO EN ALGUNOS SUELOS ÁNDICOS EN COLOMBIA

María Eugenia Ortiz-Escobar*; Raúl Darío Zapata-Hernández**; Siavosh Sadeghian-Khalajabadi***

RESUMEN

ORTIZ ESCOBAR, M. E.; ZAPATA H., R. D.; SADEGHIAN KH., S. Propiedades de la materia orgánica y capacidad complejante sobre el aluminio en algunos suelos ándicos en Colombia. *Cenicafé* 57(1):51-57.2006.

Gran parte de la zona cafetera Colombiana está sobre suelos derivados de ceniza volcánica, los cuales son ácidos y tienen altos contenidos de materia orgánica (MOS), factores que pueden estar asociados con la toxicidad de Al. El Al intercambiable (KCl 1M) ha sido utilizado como indicador de la toxicidad de Al y para determinar los requerimientos de cal para corregir altas concentraciones, pero esta teoría parece no funcionar en los suelos cafeteros colombianos, debido a que los niveles de Al no se corrigen y el desarrollo de las raíces no afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos, y se asume que la MOS puede estar complejando al Al. En 20 perfiles de suelos pertenecientes a las Unidades de suelos Chinchiná, Montenegro, Timbío y Piendamó se analizó la fracción orgánica y la capacidad complejante de la materia orgánica sobre el Al. Los resultados indican que no hay una relación directa entre la MOS y la acidez total, y el complejo MOS-Al tiene concentraciones cercanas a cero, indicando que las altas concentraciones de Al en estos suelos provienen probablemente de una fuente desconocida no tóxica para las plantas, que elimina las necesidades de cal para corregir el Al.

Palabras clave: Zona cafetera colombiana, Andisoles, acidez, Aluminio, complejo MO-Al

ABSTRACT

Most of the Colombian coffee growing region is located on volcanic-ash-derived soils, which are acid and have high contents of organic matter. These factors can be associated with Al toxicity. The extractable Al (1M - KCl) has been used as an indicator of Al toxicity and to determine lime requirements in order to correct high concentrations, but this theory seems not to work in these soils. The Al levels are not corrected and the roots development do not affect the growth and development of the crops, and it is assumed that the soil organic matter (SOM) might be complexing the Al. The organic fraction and organic matter complexing capacity on Al were analyzed in twenty profiles of soils from the soil Units of Chinchiná, Montenegro, Timbío and Piendamó. The results showed that there is not a direct relationship between SOM content and total acidity, and SOM-Al complex had concentrations near to zero, indicating that the high Al concentrations in these soils come probably from an unknown source, which is not toxic to plants and eliminates the need for lime to correct Al.

Keywords: Colombian coffee region, Andisols, acidity, Aluminum, OM-Al complex.

* Ph.D. University of Hawaii. Email: escobar@hawaii.edu

** Ph.D. Profesor Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

*** Investigador Científico II. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Los andisoles son suelos con una variada composición mineralógica, que se desarrollan a partir de piroclastos o tefras como ceniza volcánica, tufitas, cinders, pumitas y lahar, entre otros. Sin embargo, no siempre estos materiales dan origen a suelos ándicos.

Estos suelos se encuentran ubicados en las zonas volcánicas de todo el mundo, en diferentes latitudes y altitudes (13). En Colombia, el 52% de los cafetales se encuentran establecidos en suelos derivados de ceniza volcánica (15), que se caracterizan por ser altamente fijadores de fósforo, tener valores de pH menores que 5,5 y ser ricos en materia orgánica, propiedades características del orden Andisol.

Dentro de las funciones que cumple la materia orgánica en estos suelos se encuentra la capacidad complejante de metales pesados, propiedad que depende de la cantidad y el tipo de los grupos COOH y OH fenólicos, la acidez total y el grado de disociación, entre otros (8, 14). La materia orgánica soluble también proporciona a la solución del suelo una gran variedad de ácidos orgánicos de alto y bajo peso molecular (16), y pueden actuar como bases de Lewis (OH⁻, Cl⁻, F⁻ y quelatos) (10), y formar complejos fuertes con el Al y el Fe, como lo muestran en su trabajo, Hue *et al.* (3), quienes encontraron que la presencia de ácidos orgánicos en el suelo, debido a la actividad microbiana, favorece la corrección de la toxicidad de Al (cuando su concentración era hasta 18,5 μmolL⁻¹), e influía positivamente en la elongación de la raíz, dependiendo de la clase y la concentración de los ácidos.

Una de las principales determinaciones químicas en suelos ácidos es el Al intercambiable (extraído con soluciones salinas), el cual junto con el porcentaje de saturación de Al se utiliza ampliamente en todo el mundo como indicador de la toxicidad de Al. Igualmente,

se utiliza para estimar los requerimientos de cal para la corrección de la acidez del suelo (4). Sin embargo, esta metodología no estima la actividad y la concentración total del Al en la solución del suelo ni los procesos que sufre el Al intercambiable como hidrólisis, polimerización y complejación; de ahí que existan diferentes formas de Al en la solución del suelo, con diferentes niveles de toxicidad (11). Alva *et al.* (1), consideran apropiado calcular la suma de las actividades de las formas monoméricas de Al (Al⁺³ + AlOH²⁺ + Al(OH)₂⁺ + Al(OH)₃ + AlSO₄⁺) como el verdadero indicador de la toxicidad de Al.

En la caficultura colombiana practicada en los suelos derivados de tefras, se observa que los cultivos muestran condiciones óptimas para el desarrollo radical, sin verse afectada la producción de café en situaciones de alto Al intercambiable. Lo anterior sugiere que posiblemente, la materia orgánica está actuando como un agente complejante del Al en la solución del suelo, evitando su toxicidad; lo cual explica la ineficacia de la determinación de Al 1M KCl como método para evaluar la toxicidad de este catión metálico y la necesidad de encalado.

Esta investigación tuvo como objetivo analizar la fracción orgánica del suelo y la capacidad complejante de la materia orgánica sobre el Al, y su relación con la acidez del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se seleccionaron 20 perfiles de suelo de la zona cafetera colombiana, derivados de ceniza volcánica, de las unidades de suelo: Chinchiná (CH), Montenegro (MN), Timbío (TI) y Piendamó (PI). La ubicación, la clasificación y los valores de la caracterización química y las propiedades ándicas de los suelos, fueron registrados en

otro estudio Ortiz Escobar *et al.* (9). Los suelos se seleccionaron teniendo en cuenta los valores de Al intercambiable y los contenidos de materia orgánica de la base de datos de análisis de suelos registrados desde 1997 hasta el 2000, en el Laboratorio de suelos de Cenicafé.

Para lograr el objetivo propuesto, se realizaron por triplicado diferentes determinaciones analíticas para cada muestra de suelo y se calculó el valor promedio para su análisis.

Las determinaciones consistieron en:

Caracterización de la acidez de la materia orgánica: Se separaron los ácidos húmicos de los fúlvicos y se determinó la acidez total de los ácidos húmicos, así:

A 1g de suelo se le adicionaron 30ml de NaOH 0,1N y la mezcla se llevó al baño de maría a 100°C durante 30 minutos. Se agitó manualmente y luego se adicionó a la muestra NaSO₄ (grado analítico), dejándose enfriar. Posteriormente, la muestra se centrifugó a una velocidad de 14.500g por 15 minutos, se tomó el sobrenadante y se eliminaron los sólidos. Al sobrenadante se le adicionaron aproximadamente 40ml de H₂SO₄ al 1%. Se hizo centrifugación nuevamente a 12.100g durante 15 minutos. En este caso se eliminó el sobrenadante (ácido fúlvico) y se extrajo el material sólido (ácido húmico) (6, 14). Para la obtención de ácido húmico seco se congeló la muestra durante 12 horas a -80°C en un liofilizador por 48 horas aproximadamente. Con el fin de preservar las características de los ácidos, las muestras permanecieron congeladas (5).

Acidez total de los ácidos húmicos: Se tomaron 50mg de ácido húmico, y se le adicionaron 20ml de solución de Ba(OH)₂ 0,2N; esta solución se agitó durante 24 horas (14). La

suspensión se filtró y posteriormente se lavó el residuo varias veces con agua destilada libre de CO₂. La muestra constituida por el material obtenido de la filtración y el agua de lavado, se tituló potenciométricamente con una solución de HCl 0,5N, (hasta alcanzar un pH de 8,4).

Capacidad complejante de la materia orgánica sobre el Al: Se utilizaron dos soluciones, una acuosa y otra de KCl (2). Para la extracción en la solución acuosa se tomaron 25g de suelo y se le adicionaron 50ml de agua destilada; la solución se agitó por dos horas y se centrifugó a 12.100g durante 8 minutos. Posteriormente, se tomó el material decantado y sobre éste se determinó Al total por el método colorimétrico que utiliza Eriocroma-cianina-R.

Para la extracción con KCl, se tomaron 5g de suelo y se adicionaron 50ml de la solución (KCl 1M). La solución se agitó durante 30 minutos y se filtró. El Al total se determinó por el método antes mencionado.

De el material filtrado proveniente de la extracción en agua y KCl, se tomó una alícuota y se le adicionó una solución de NaF 1x10⁻⁴M, concentración denominada flúor total.

Para cada una de las muestras obtenidas de cada perfil de suelo se hizo la especiación del elemento a través de cálculos termodinámicos basados en las constantes de formación de cada especie teniendo como base el análisis total del Aluminio. Los cálculos de las actividades del Al y del F en solución se realizaron siguiendo la metodología de Lindsay (7) y el programa de SOILSLN (17). Estas metodologías de especiación se utilizaron para comprobar la capacidad complejante de la materia orgánica que forma especies con el Al extraído con KCl y agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la acidez de la materia orgánica. En la Tabla 1 se muestran los valores de materia orgánica y acidez total de los ácidos húmicos de los suelos estudiados.

Los suelos pertenecientes a la unidad Chinchiná mostraron los niveles más bajos de acidez total de los ácidos húmicos, aún por debajo del promedio registrado por Schnitzer (12) en muestras de ácidos húmicos de suelos ácidos y suelos tropicales, con valores de 7,3 y 6,9 me.g⁻¹, respectivamente. Los promedios de acidez total más altos corresponden a los de la Unidad Montenegro. Debido al proceso de complejación la acidez de varios grupos pueden ser sobreestimados, por esto los resultados deben interpretarse cuidadosamente y no lanzar conclusiones apresuradas. Puede

pensarse en este caso, que es la naturaleza de la materia orgánica del suelo más no su contenido y el manejo de los suelos, la que influye en el contenido de acidez total de los ácidos húmicos, debido a la similitud en el contenido de materia orgánica en los diferentes perfiles de suelo y a la diferencia en cuanto al contenido de acidez total de ácidos húmicos.

Al analizar la relación de los promedios de materia orgánica del suelo y acidez total de los ácidos húmicos, en las cuatro unidades de suelo, se observa que no existe una relación directa, es decir, el contenido de acidez total de los ácidos húmicos no depende del contenido de materia orgánica del suelo ($R^2 = 0,08$), seguramente debido a las diferencias en el origen y manejo de los suelos.

Tabla 1. Contenidos de materia orgánica y acidez total de ácidos húmicos en los suelos de estudio.

Perfil	Unidad	MO (%)	Acidez total (me g ⁻¹)
1	Chinchiná (CH)	11,0	2,44
2	CH	10,4	3,79
3	CH	20,9	2,03
4	CH	16,2	2,33
5	CH	22,6	3,94
6	CH	24,8	4,53
7	CH	18,4	3,69
8	CH	24,0	3,03
9	Timbío (TI)	21,2	22,90
10	TI	16,9	13,92
11	TI	18,0	14,57
12	TI	18,3	13,74
13	Piendamó (PI)	22,5	13,16
14	PI	18,2	15,27
15	PI	19,7	19,40
16	PI	29,9	12,73
17	Montenegro (MN)	6,2	13,89
18	MN	4,1	33,66
19	MN	4,4	13,18
20	MN	9,4	12,45

Capacidad complejante de la materia orgánica sobre el Al. En las Tablas 2 y 3 se observan las actividades del Al^{3+} y del F^- en solución y las concentraciones de los complejos formados entre Al-F y Al-MO. Además, se muestran las formas en las cuales está presente el Al en estos suelos, determinadas con el programa SOILSLN.

Al comparar los resultados obtenidos por los dos métodos, se observa que son menores las actividades del Al y F calculados por el programa SOILSLN con respecto a los resultados obtenidos con la metodología de Lindsay. En este último se estima la concentración del Al ligado a la materia orgánica mientras que con el programa SOILSLN se estiman las actividades de F^- y Al^{3+} , suponiendo que la materia orgánica no tiene la capacidad quelatante. Al comparar la

actividad del F^- determinado (Lindsay) con la calculada (SOILSLN) es posible estimar si la materia orgánica presente se encuentra ejerciendo su capacidad complejante. Así, cuando la actividad medida de F^- es mayor que la calculada indica que la materia orgánica está quelatando el Al^{3+} . Igualmente, cuando la actividad del Al medido es mayor que la actividad de éste calculado por SOILSLN es el F^- el que está formando complejos con el Al y no la materia orgánica.

De acuerdo a los contenidos de materia orgánica existentes en los suelos (en promedio 18% para las unidades de suelo CH y TI, 22% para PI y 6% para MN), se esperaba que la formación de los complejos Al-MO fueran mayores a los observados, lo que indica que la formación y la concentración de los complejos Al-MO de los suelos estudiados es

Tabla 2. Especiación del aluminio en los suelos de estudio en solución acuosa.

Resultados obtenidos con la metodología Lindsay							
Unidad de Suelo	pH	CE mScm ⁻¹	Al T MolL ⁻¹	F ⁻ libre molL ⁻¹	Al-F molL ⁻¹	Al ³⁺ libre molL ⁻¹	Al-MO molL ⁻¹
CH	5,2	0,08	1,78E-5	1,07E-3	1,68E-5	3,36E-6	10
TI	5,6	0,11	1,74E-5	1,01E-3	1,68E-5	3,52E-6	6
PI	4,8	0,17	4,92E-6	9,89E-4	4,88E-6	1,0E-6	0,4
MN	5,6	0,09	1,21E-5	3,07E-3	1,14E-5	3,3E-9	7
Resultados obtenidos con el programa SOILSLN							
Unidad de suelo	Al ³⁺ molL ⁻¹	AlOH molL ⁻¹	Al(OH) ₂ MolL ⁻¹	Al(OH) ₃ molL ⁻¹	Al(OH) ₄ molL ⁻¹	Al-F molL ⁻¹	F ⁻ molL ⁻¹
CH	10E-9,1	10E-9	10E-7	10E-8	10E-11	10E-5	10E-4
TI	10E-9,2	10E-8	10E-7	10E-7	10E-10	10E-5	10E-4
PI	10E-10,1	10E-1	10E-9	10E-11	10E-14	10E-5	10E-4
MN	10E-9,5	10E-9	10E-7	10E-8	10E-10	10E-5	10E-4

Promedio de las muestras por unidad de suelo. CH: 8 muestras y TI, PI, MN: 4 muestras cada una

Tabla 3. Especiación del Aluminio en los suelos de estudio con solución KCl 1M.

Resultados obtenidos con la metodología Lindsay							
Unidad de suelo	PH	CE mScm⁻¹	Al T MolL⁻¹	F- libre molL⁻¹	Al-F molL⁻¹	Al³⁺ libre molL⁻¹	Al-MO molL⁻¹
CH	4,08	111,8	3,9E-4	3,2E-4	3,2E-4	0,118	720
TI	3,95	112,0	6,8E-5	3,6E-4	5,9E-5	5,64E-4	81
PI	3,95	111,8	1,3E-4	5,5E-4	1,0E-4	1,09E-4	270
MN	3,85	111,1	4,0E-5	5,4E-4	3,8E-5	4,77E-5	16

Resultados obtenidos con el programa SOILSLN							
Unidad de suelo	Al³⁺ MolL⁻¹	AlOH molL⁻¹	Al(OH)₂ molL⁻¹	Al(OH)₃ molL⁻¹	Al(OH)₄ molL⁻¹	Al-F molL⁻¹	F- molL⁻¹
CH	10E-3	10E-5	10E-5	10E-8	10E-11	10E-4	10E-6
TI	10E-5	10E-7	10E-7	10E-10	10E-14	10E-4	10E-5
PI	10E-4	10E-6	10E-6	10E-9	10E-13	10E-4	10E-5
MN	10E-6	10E-8	10E-8	10E-1	10E-15	10E-4	10E-4

Promedio de las muestras por unidad de suelo. CH: 8 muestras y TI, PI, MN: 4 muestras cada una.

influenciada posiblemente por las propiedades del suelo (pH, tipo y/o contenido de arcilla, por ejemplo) y no por el contenido de MO y Al intercambiable. Este resultado indica probablemente que para estos suelos el Al libre proviene de fuentes no determinadas, no tóxicas para las plantas.

Vale la pena la utilización de técnicas que brinden mayor precisión, como la cromatografía de gases, para la determinación de ácidos orgánicos, especialmente en este tipo de suelos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al personal del Laboratorio Multilab Agroanalítica, especialmente a Fernando Franco y César Julio Ramírez; al personal del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, especialmente a

Gladys Acosta, y a Óscar John Álvarez y Henry Quevedo por la asistencia en la recolección, la descripción y la clasificación de los suelos.

LITERATURA CITADA

1. ALVA, A.K.; EDWARDS, D.G.; ASHER, C. J.; BLAMEY, F.P.C.. Effects of Phosphorus/Aluminum molar ratio and calcium concentration on plant response to aluminum toxicity. *Soil Science Society of American Journal* 50:133-137. 1986.
2. HODGES, S.C. Aluminum speciation: A comparison of five methods. *Soil Science Society of American Journal* 51 (1): 57-63. 1987.
3. HUE, N. V.; CRADDOCK, G.R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. *Soil Science Society of American Journal* 50: 28-34. 1986.
4. KAMPRATH, E.J. Crop response to lime on soils in the tropics. In: ADAMS, F. (Ed.). *Soil acidity and*

- liming. 2. ed. Madison, Agronomy Society of Agronomy, 1984. p. 349–368. (Agronomy Series No. 12).
5. KRZYSZOWSKA, A.J.; BLAYLOCK, M.J.; VANCE, G.F.; DAVID, M.B. Ion chromatographic analysis of low molecular weight organic acids in Spodosol forest floor solutions. *Soil Science Society of American Journal* 60:1565-1571. 1996.
 6. KUMADA, K. Chemistry of soil organic matter. Tokyo, Japan Scientific Societies Press, 1987. 241 p.
 7. LINDSAY, W. L. Chemical equilibria in soils. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449 p.
 8. MCBRIDE, M. B. Environmental chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1994. 406 p.
 9. ORTIZ E., M. E.; ZAPATA H., R. D.; SADEGHIAN K., S.; FRANCO A., H. F. Aluminio intercambiable en suelos con propiedades ácidas y su relación con la toxicidad. *Cenicafé* 55 (2): 101-110. 2004.
 10. PEARSON, R. G. Hard and soft acids and bases. *Journal of American Chemical Society* 85 (22): 3533-3539. 1963.
 11. RITCHIE, G.S.P. The chemical behavior of aluminum, hydrogen and manganese in acid soils. In: ROBSON, A.D. (Ed). *Soil acidity and plant growth*. Sidney, Academic Press, 1989. p.1-60.
 12. SCHNITZER, M. Humic substances: Chemistry and reactions. In: SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. (Eds.). *Soil organic matter*. Amsterdam, Elsevier, 1978. p. 1-64. (Developments in Soil Science No. 8)
 13. SOIL SURVEY STAFF. Keys to soil taxonomy. 9. ed. Washington, USDA, 2003. 332 p.
 14. STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition and reactions. New York, Wiley & Sons, 1994. 496 p.
 15. VALENCIA, A.G. Fisiología, nutrición y fertilización del café. Chinchiná, Cenicafé - Agroinsumos del Café S.A., 1999. 94 p.
 16. VAN HEES, P.A.W.; LUNDSTROM, U.S.; GIESLER, R. Low molecular weight organic acids and their Al-complexes in soil solution. *Geoderma* 94: 173-200. 2000.
 17. WOLT, J. D. Soil Soln. A program for teaching equilibria modeling of soil solution composition. *J. Agron. Ed.* 18: 40-42. 1989.