

MEJORAMIENTO QUÍMICO INTEGRAL DE SUELOS ÁCIDOS MEDIANTE EL USO COMBINADO DE MATERIALES ENCALANTES

I.A., MSc Hugo E. Castro Franco¹, I. A. Oscar E. Munevar García²

¹ *Profesor titular. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Uptc-Tunja. e-mail: hcastrofranco@yahoo.com.mx*

² *Ingeniero Agrónomo, Investigador Gissat - Uptc. e-mail: osmunev@hotmail.com*

RESUMEN

Debido a la ocurrencia de diferentes tipos de suelos ácidos en zonas frías del Altiplano Boyacense (Colombia), el Grupo de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales, Gissat, evaluó una propuesta metodológica para determinar los requerimientos de neutralización de acidez a partir de curvas de encalamiento. Según el carácter ácido del suelo se exploraron experimentalmente diferentes dosis de CaCO_3 calculadas en forma pura o mediante la combinación de materiales encalantes comerciales (cal viva, dolomita y abono paz del río), empleados bajo una relación porcentual 5:4:1 respectivamente. Se evaluó el efecto correctivo en dos suelos con diferentes procesos de acidificación: un suelo sulfatado Acido Improductivo (SSAI) y un Horizonte Óxico. Los parámetros químicos para calificar el grado de mejoramiento químico del suelo fueron pH, Al, Ca, Mg, P y S. En SSAI el mejor efecto correctivo de la acidez lo presentó la dosis de 16 t ha^{-1} de CaCO_3 y para el Horizonte Óxico la dosis de 1 t ha^{-1} CaCO_3 . El modelo propuesto se considera novedoso dentro de la concepción integral del control de la acidez por medio del cálculo de la equivalencia química en CaCO_3 de materiales encalantes comerciales usados de forma combinada. En la práctica además de la corrección de la acidez se consiguen balances proporcionales de Ca^{+2} , Mg^{+2} y aportes de fósforo, lo que mejora significativamente el estado exante de la fertilidad química de suelos con problemas de acidez.

Palabras claves: equivalente químico, control de acidez, pruebas de incubación, acidez, materiales encalantes.

INTRODUCCIÓN

Una de las limitaciones mas comunes en los suelos colombianos está relacionada con los fenómenos ocurridos por la acidez, lo cual es consecuencia de la toxicidad generada principalmente por el aluminio de cambio, y en muchos casos como en los Suelos Sulfatados Ácidos Improductivos (SSAI), por la demanda de ácido sulfúrico y hierro que alteran el equilibrio iónico del suelo, inhiben la absorción de Ca^{+2} , Mg^{+2} y P, y afectan directamente la fertilidad del suelo (Gómez, et al 2005).

En zonas agrícolas del Altiplano Boyacense, la ocurrencia de diferentes tipos de suelos ácidos obedece a los estados y procesos de degradación química involucrados con la génesis de cada suelo. Para los SSAI, estos procesos son producto de la oxidación primaria de sulfuros de hierro y de la generación de ácido sulfúrico con la consecuente destrucción de minerales primarios e hidrólisis secundaria del aluminio (Dent, 1986). Este cuadro se evidencia en campo por la ocurrencia de horizontes sulfúricos y la acumulación de sales sulfatadas metálicas que originan áreas escaldadas improductivas (Gissat, 2006). De otra parte, la presencia de horizontes minerales óxicos en zonas

degradadas evidencian suelos altamente meteorizados, con excesos de aluminio y de óxidos de hierro, bajos en materia orgánica, lo que refleja un pobre nivel de fertilidad comparado con otros suelos de la región (Castro y Gómez, 2010).

Las prácticas de manejo que conllevan al mejoramiento químico de estos suelos deben contemplar el uso de materiales de encalado. La elaboración de curvas de encalamiento enfrentando los parámetros químicos que intervienen en el manejo de la acidez, permiten definir dosis óptimas de neutralización que muestran las necesidades de cal expresadas en términos de equivalencia química en CaCO_3 . Este método deducible de pruebas de incubación en laboratorio viene siendo validado y extrapolado a campo por parte del Gissat, como un enfoque de mayor contenido científico aplicable al manejo de suelos ácidos (Castro, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de evaluar la neutralización de acidez por efecto del encalamiento se seleccionaron muestras de suelos a nivel de capa arable (0 – 25 cm) de un Suelo Sulfatado Ácido Improductivo (SSAI) del Distrito de Riego del Alto Chicamocha, clasificado taxonómicamente como *Tipyc sulfaquept*, y el Horizonte Óxico de un suelo degradado de la ciudad de Tunja. Mediante un diseño completamente aleatorio aplicado al tipo de acidez de cada suelo, se definieron tratamientos de incubación expresados en dosis de CaCO_3 . Bajo esta modalidad se evaluó el efecto de dosis de CaCO_3 puro (EQ = 100) y de dosis de CaCO_3 producto de la combinación de materiales encalantes comerciales incluyendo cal viva (75% CaO; EQ=134), dolomita (55% CaCO_3 + 33% MgCO_3 ; EQ=94) y abono paz del río (48% CaO + 1.2% MgO + 10% P_2O_5 ; EQ=89), utilizados en una relación porcentual 50:40:10 (5:4:1) respectivamente.

Las dosis exploradas para el Horizonte Óxico fueron de 0-0.5-1-2-4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 puro (EQ=100); la combinación de materiales encalantes contempló dosis de 0-0.5-1-2-4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 en relación porcentual 50:40:10. Adicionalmente se incluyó un tratamiento satélite de 2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 relación 50:40:10 + 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gallinaza, cuyo uso estuvo asociado a la mezcla con abono paz del río o escorias Thomas (fosfosilicato de calcio).

Para los Suelos Sulfatados Ácidos Improductivos (SSAI), dado su complejo cuadro de acidez ($\text{Al}^{+3} + \text{S} + \text{Fe}$) y experiencias validadas con anterioridad por el Gissat, 2006, se seleccionaron dosis más amplias (0-5-10-15-20-25-30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 puro EQ=100); la combinación de materiales encalantes contempló para este caso dosis de 0-2-4-8-16 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 en relación porcentual 50:40:10. Adicionalmente se incluyó un tratamiento satélite de 4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 relación 50:40:10 + 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gallinaza, cuyo uso estuvo asociado a la mezcla con abonos paz del río.

Cada unidad experimental representada por 200 g de suelo, se sometió a pruebas de incubación en laboratorio una vez adicionada las dosis de cal expresadas en EQ CaCO_3 . El proceso de incubación se llevó a cabo a temperaturas de 25°C, manteniendo el suelo a capacidad de campo durante 45 días en recipientes plásticos herméticamente sellados. Para monitorear los cambios químicos inducidos al suelo por efecto del encalamiento, se realizaron evaluaciones a los parámetros de pH, acidez intercambiable, Ca, Mg y P, con el fin de comparar esta información con las condiciones originales del suelo. Teniendo como referente las curvas de encalamiento obtenidas a partir de pruebas de incubación, se extrapolaron los resultados a campo en un SSAI donde mediante la técnica de microparcels (1m² por tratamiento) y utilizando como cultivo indicador *Avena sativa* se evaluaron variables biológicas como biomasa fresca, altura de plantas y

volumen de raíces. Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico (ANOVA) y pruebas de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones iniciales de los suelos en estudio (Tabla 1), demuestran que el pH y el aluminio de cambio (Al^{+3}), son los indicadores de acidez más importantes en el diagnóstico de los suelos estudiados.

Tabla 1. Condiciones químicas iniciales de los suelos en estudio.

SUELO	pH	% MO	cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹					CE dS.m ⁻¹		
			Al	Ca	Mg	K	Na	P	S	Fe	Mn	Cu		Zn	B
<i>Horizonte Óxico</i>	4,5	0,22	6,0	1,8	0,9	0,3	0,06	3,37	17	130	0,9	0,01	0,9	0,04	0,08
<i>SSAI</i>	3,3	16	8,5	11	2,8	0,5	3,7	12	386	94	9,2	0,01	3,4	1	7,4

SSAI: Suelos Sulfatados Ácidos Improductivos

Fuente: Laboratorio de suelos y aguas, Facultad Agronomía, Uptc.

Los suelos minerales de características óxicas, presentan reacción muy fuertemente ácida (pH 4,5) y concentraciones de Al^{+3} de 6 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹. Los SSAI se caracterizan por presentar reacción extremadamente ácida (pH 3.3) y concentraciones de Al^{+3} de 8.5 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹, donde los estados de sulfatación se relacionan con los altos contenidos de S (386 ppm), que conforman sales metálicas que impiden junto a la acidez el crecimiento vegetal. Las curvas de neutralización de acidez elaboradas a partir de la interacción pH y Al^{+3} respecto a las dosis crecientes de $CaCO_3$ expresado en forma pura, presentan una diferencia estadística altamente significativa, demostrando que para obtener pH's cercanos a 5.5 se requieren dosis de 4 t.ha⁻¹ de $CaCO_3$ puro, donde el Al^{+3} de cambio disminuye significativamente en su concentración hasta valores de 1 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ para el Horizonte Óxico (Figura 1a). Analizando el caso de los SSAI para obtener pH's cercanos a 5.5, considerados después de la corrección como suelos mejorados, se requieren aplicaciones del orden de 15 t.ha⁻¹ de $CaCO_3$ puro, donde el Al^{+3} de cambio logra su neutralización (Figura 1b).

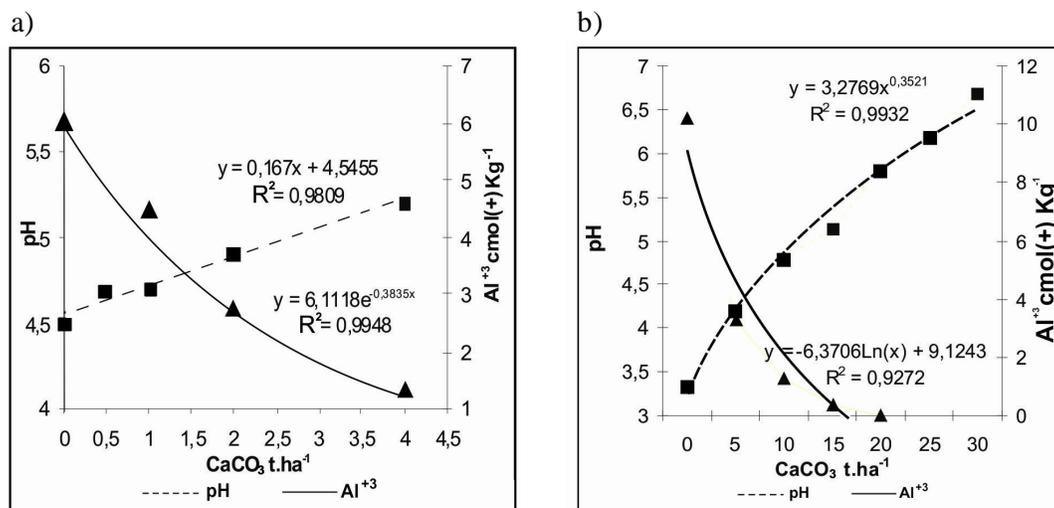


Figura 1. Interacción del pH y el Al^{+3} en la incubación de suelos con $CaCO_3$ puro para el horizonte óxico (a) y para el suelo sulfatado ácido improductivo (b).

Si se comparan los suelos incubados con CaCO_3 puro (Figura 1) con los incubados mediante la combinación de materiales encalantes comerciales (cal viva, dolomita y abono paz del río), en la relación porcentual 50:40:10 (Figura 2), se encuentran diferencias altamente significativas. Se puede observar que las cantidades de CaCO_3 necesarias para neutralizar el aluminio intercambiable con la relación 50:40:10 (5:4:1) en el Horizonte Óxico son mucho más bajas dado que a partir de 1 t.ha^{-1} de CaCO_3 suministrada combinando materiales de encalado, es posible neutralizar la concentración de este elemento logrando valores de pH de 5.5. Con dosis de 2 t.ha^{-1} de CaCO_3 se obtienen pH's agrícolas de 6.2, sin embargo se debe resaltar que el objetivo principal del encalado no es elevar el pH sino conseguir la mayor disminución de la concentración del aluminio tóxico para lograr niveles tolerables por las plantas. Según Espinosa, 2003, aunque el pH es un excelente indicador de acidez, este no determina el requerimiento o cantidad de enmienda, ya que solo determina la acidez activa sin considerar la acidez potencial en los coloides minerales y orgánicos del suelo. Un factor muy importante a tener en cuenta es la asociación de materiales orgánicos a la combinación de los materiales encalantes, nótese que la relación 5:4:1 + 1 t.ha^{-1} de gallinaza aumenta los rangos del pH hasta 6.2 con solo 1 t.ha^{-1} de CaCO_3 manteniendo el aluminio en la neutralidad, presentando efectos muy benéficos a dosis bajas (Figura 2).

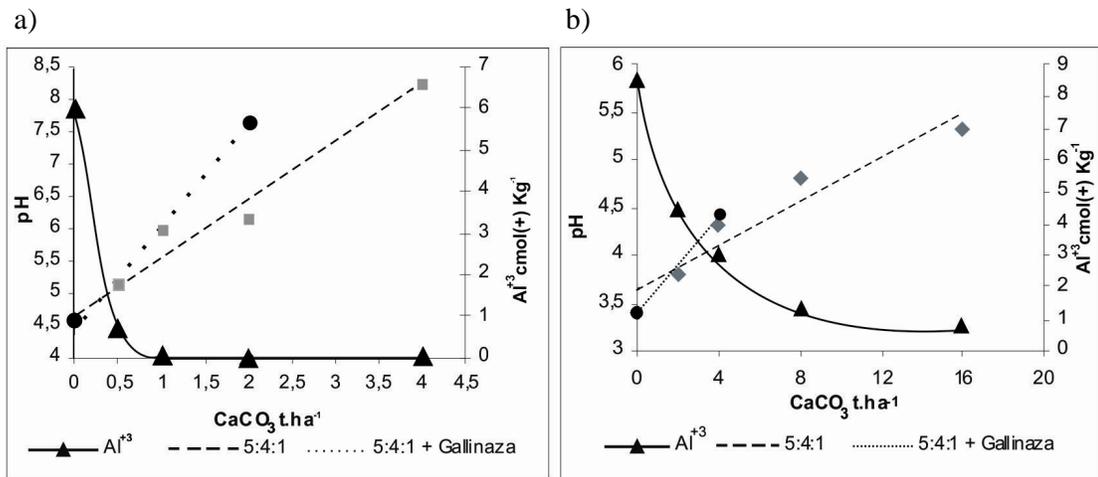


Figura 2. Interacción del pH y el Al^{+3} en la incubación de suelos con materiales de encalado suministrados de forma combinada para el Horizonte Óxico (a) y el Suelo Sulfatado Ácido Improductivo (b).

El Al^{+3} en los SSAI (Figura 2b) presentó diferencias altamente significativas respecto a las dosis de CaCO_3 (Figura 1b). Estos suelos oxidados en su estado natural presentan concentraciones de Al^{+3} intercambiable de $8.5 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$, al incrementar las dosis de CaCO_3 en combinación de materiales encalantes en la relación 5:4:1, las concentraciones disminuyen hasta $0.83 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$ con dosis altas de 16 t.ha^{-1} de CaCO_3 . Es importante resaltar que cuando se logran estos niveles de neutralización del aluminio los rangos del pH se encuentran entre 5.0 y 5.3. Este aspecto se debe tener en cuenta en la toma de decisiones futuras para el manejo de la acidez en SSAI, además se debe resaltar que las dosis bajas de 4 t.ha^{-1} de CaCO_3 , aunque demuestran un inicio importante en los cambios químicos del suelo no son suficientes para contrarrestar la

extrema acidez generada por efecto del aluminio. De esta manera los suelos minerales de características óxicas por presentar contenidos mas bajos de materia orgánica presentan mayor respuesta a la aplicación de dosis bajas de enmiendas de origen calcáreo y orgánico contrastando con los SSAI que requieren altas dosis de CaCO_3 como consecuencia de la alta capacidad buffer ocasionada por el carácter orgánico y los procesos de sulfatación propios de la composición de los materiales de origen que conforman estos suelos (Gómez *et al.*, 2007).

La tendencia a disminuir las concentraciones de azufre en la solución del suelo por efecto del encalamiento valora aún más el significado de esta práctica al responder de manera integral al control de la acidez. Se demuestra que el efecto tóxico del azufre en SSAI se mitiga como consecuencia de la neutralización de las formas solubles del S por parte del Ca (Dent, 1986), procedente de la disolución de carbonatos proporcionados por la combinación de las enmiendas calcáreas a dosis entre 10 y 15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 (Figura 3).

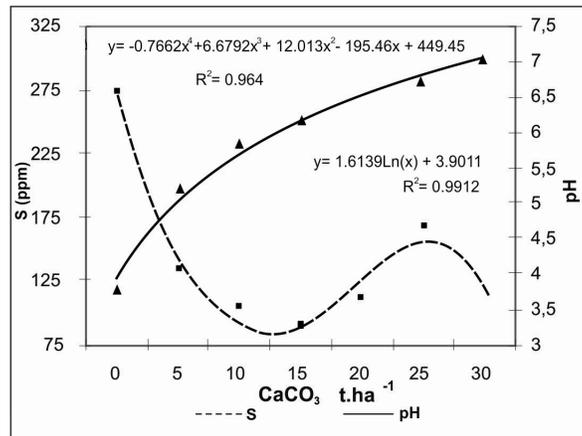


Figura 3. Interacción del pH y el azufre como producto de la incubación de un SSAI con materiales de encalado suministrados de forma combinada

En los suelos minerales con altos contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio a la deficiencia de P se suma el alto poder de fijación que presenta este elemento (Espinosa, 2003). Analizando la Figura 4 se demuestra que en los suelos de carácter óxico los contenidos de fósforo aumentan con respecto a los estados iniciales (3.3 ppm) a medida que sube el pH con el uso de materiales encalantes suministrados de manera combinada (relación 5:4:1). Merece atención que en los tratamientos donde no se aplican fosfosilicatos de calcio, es decir, donde se empleó solo CaCO_3 , el P se mantiene constante. Se registra una mayor respuesta cuando se asocian los materiales orgánicos (gallinaza) a la combinación de los materiales encalantes portadores de fósforo, en estos casos se incrementan los contenidos hasta 21 ppm de P a una dosis de 2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 en el Horizonte Óxico. En los SSAI, se presenta esta misma dinámica donde se pasa de concentraciones iniciales de 12 ppm a 23 ppm de fósforo, pero a dosis altas de 16 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 (relación 5:4:1), donde el aluminio se encuentra neutralizado (Figura 2b).

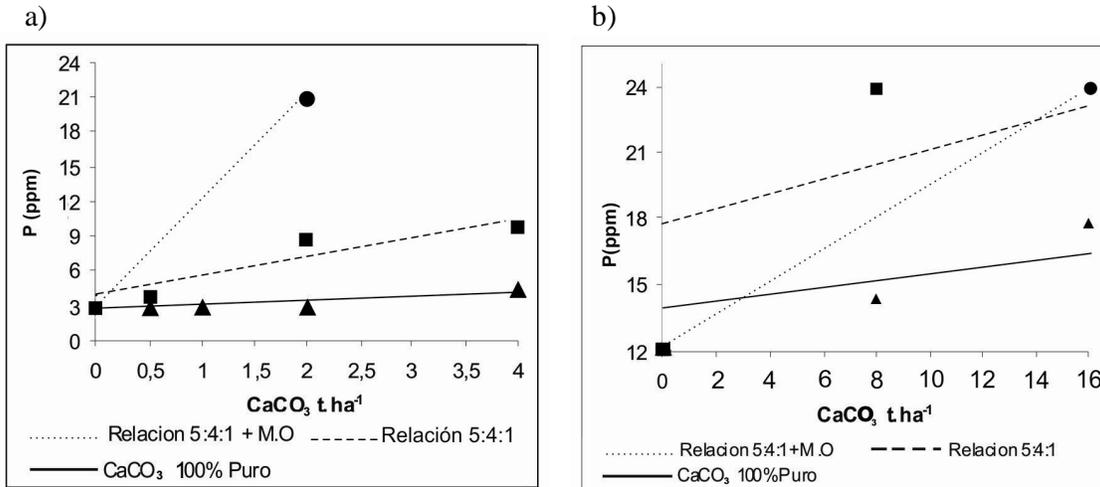


Figura 4. Comportamiento del P a la incubación con combinación de materiales encalantes en un horizonte óxico (a) y en un suelo sulfatado ácido improductivo (b).

Basados en los resultados encontrados en laboratorio, se realizó en campo sobre SSAI un montaje de microparcelas (m² por tratamiento) donde se exploraron dosis de CaCO₃ definidas a partir de la aplicación combinada de materiales encalantes comerciales (cal viva, dolomita y roca fosfórica), en las relaciones 50:40:10, 60:30:10 y 70:20:10, utilizando como cultivo indicador de la recuperación *Avena sativa*. La Figura 5 representa la dosis óptima de neutralización del aluminio, encontrándose que con una dosis de 12 t.ha⁻¹ en equivalente químico de CaCO₃, se obtienen pH's cercanos a 5.5 y concentraciones de Al⁺³ menores a 1 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹, lo que indica un efecto correctivo a las condiciones adversas de acidez en SSAI del Distrito de Riego del Alto Chicamocha (Boyacá). Este resultado correlaciona con lo obtenido en las pruebas de incubación (Figura 2b). La Figura 6 muestra que la producción de biomasa fresca aumenta a medida que se incrementan las dosis de CaCO₃ equivalente. La relación 70:20:10 (relación 3) sobresale ante las demás relaciones por presentar mayor poder de neutralización total, derivado de una mayor participación del calcio, en los materiales de encalado que componen dicha relación (Munevar y Pérez, 2006).

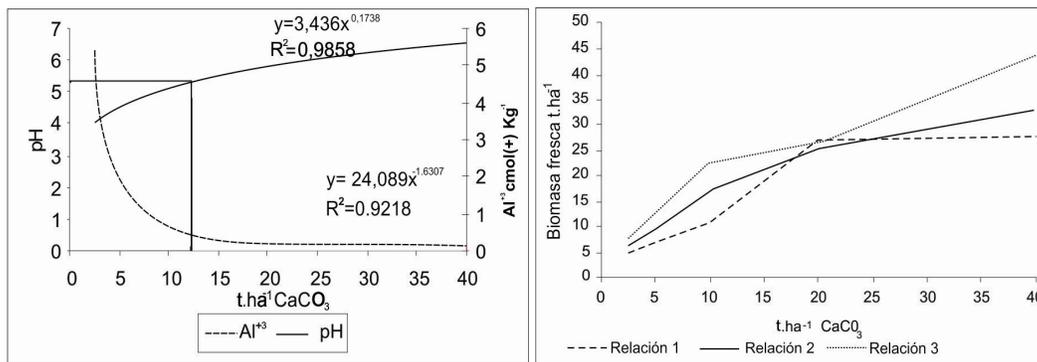


Figura 5. Dosis óptimas de insolubilización de Al⁺³ utilizando *Avena sativa* como cultivo indicador de recuperación en un suelo sulfatado ácido improductivo (SSAI)

Figura 6. Producción de biomasa de *Avena sativa* en relación a las dosis de CaCO₃ equivalente en un suelo sulfatado ácido improductivo (SSAI)

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran metodológicamente que mediante curvas de encalamiento es posible definir, de forma óptima, los requerimientos de cal ($t\cdot ha^{-1}$ $CaCO_3$), para neutralizar parcial o totalmente la acidez presente en suelos de carácter álico. Para los suelos utilizados en este estudio, este procedimiento fue más efectivo cuando las dosis de $CaCO_3$ calculadas o exploradas, se suministran al suelo problema utilizando la combinación de diferentes materiales de encalado (cal viva, dolomita y abonos paz del río), bajo una relación porcentual 50:40:10, respectivamente.

Los procesos químicos que caracterizan la acidez del suelo son determinantes al momento de definir las necesidades de encalamiento. En los resultados se comprueba que para lograr un grado de recuperación química, esto es obtener pH's en el rango de 5.0 a 5.5 y neutralizar el aluminio de cambio en los suelos estudiados, se requiere de $1 t\cdot ha^{-1}$ $CaCO_3$ en el horizonte Óxico y $16 t\cdot ha^{-1}$ $CaCO_3$ en el Suelo Sulfatado Ácido Improductivo (SSAI), utilizando materiales de encalado de forma combinada.

Las pruebas de encalamiento por métodos de incubación en laboratorio, apoyan decisiones de campo para implementar planes de control de acidez que mejoran integralmente la fertilidad del suelo desde la presiembra, y antes de proceder al uso de fertilizantes.

BIBLIOGRAFIA

Castro, H., Gómez, M. 2010. Fertilidad de suelos y Fertilizantes. En: Ciencia del suelo. Principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. P. 217-303.

Castro, H. 2008. Actualidad y tendencias del uso de enmiendas calcáreas en Colombia. En: Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. P. 141 – 153.

Dent, D. 1986. Acid sulphate soils: a baseline for research and development. International institute of land reclamation and improvement, Publication 39. Wageningen. 204pp.

Espinosa, J. 2003. Encalado de suelos tropicales. En Memorias seminario Fertilidad de Suelos. Ed. Sociedad Colombiana Ciencia del Suelo. Bogotá. P. 75-84

Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales, Gissat. 2006. Caracterización de la problemática de suelos sulfatados ácidos improductivos y evaluación del manejo para su habilitación agrícola. Proyecto Uptc, Conciencias, Usochicamocha. Tunja. 23 p.

Gómez, M.; Castro, H. y Pacheco, W. 2005. Recover and management of actual acid sulphate soil in Boyacá (Colombia). En: Agronomía Colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 23(1) 128-135.

Gómez, M.; Castro, H. Munévar, O. 2007. Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos mediante pruebas de incubación. En: Agronomía Colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 24(1)123-130

Munévar, O. y Pérez, C. 2006. Exploración por la técnica de microparcels de la corrección química de los suelos sulfatados ácidos improductivos en el Distrito de riego del alto Chicamocha (Boyacá). Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Uptc.