

# CLASIFICACION DE SUELOS SULFATADOS ACIDOS SEGUN AZUFRE EXTRAIBLE EN LOS MUNICIPIOS DEL MEDIO Y BAJO SINU EN CORDOBA

## CLASSIFICATION OF ACID SULPHATE SOILS FOR THE EXTRACTABLE SULPHUR IN THE MUNICIPALITIES OF THE LOW SINU VALLEY IN THE DEPARTMENT OF CORDOBA

Enrique M. Combatt<sup>1</sup>, Graciliano Palencia<sup>2</sup> y Norvey Marin<sup>3</sup>

### RESUMEN

En el Departamento de Córdoba y más exactamente en el medio y bajo Sinú, la producción de alimento y productos para la industria han venido disminuyendo considerablemente en la última década del siglo anterior, sin que a ciencia cierta se conozca que factores físicos, químicos, biológicos y antrópicos están incidiendo directamente. Uno de los problemas químicos puede ser la formación de suelos sulfatados ácidos que hoy en día dominan muchas extensiones en estas zonas del país, por esta razón se intenta dar a conocer como primera aproximación una clasificación de este tipo de suelos, realizándose este trabajo mediante la consulta del archivo de análisis del laboratorio de suelos de la Universidad de Córdoba, donde se tomaron aproximadamente 200 estudios químicos de suelos sulfatados ácidos. El análisis estadístico utilizado fue el Cluster Análisis de observación (análisis por grupo), con un  $R^2$  de 95% para cinco grupos de clasificación. Observándose para el primer(1) grupo de suelos, promedios en azufre 155.9 ppm, para 65% de los análisis en estudio, con porcentaje de saturación de aluminio de 2.61, de magnesio 39.61 y sodio 3.88. Para el tercer(3) grupo, promedio en azufre de 593.1 ppm, para 9.92% de los análisis, con saturación de aluminio de 5.13, de magnesio 37 y de sodio 5.0. Para el quinto(5) grupo, promedio en azufre de 1,933 ppm, para 2.12% de los análisis, con saturación de aluminio de 28.1, de magnesio de 28.2 y de sodio 2.4. Lo cual demuestra la formación de suelos salino ácidos en estas regiones sin que esto se tenga en cuenta en nuestro país.

**Palabras claves:** Suelos sulfatados ácidos, clasificación, azufre extractable.

---

<sup>1</sup>Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Docente investigador. Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas. ecombatt@hotmail.com

<sup>2</sup>Ingeniero Agrónomo, Especialista Suelos y Aguas. Docente. Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas.

<sup>3</sup>Docente del área de estadística. Universidad de Córdoba, Programa Ingeniería Agronómica.

## ABSTRACT

The food production in the low and mid Sinu Valley and in the Cordoba Department in general has been diminished in the last decade without knowing what kind of physical, chemical, biological or entropic factor is causing it. One chemical factor could be the formation of sulphate acid soils that currently are widespread in this area. In order to make an approximation to the classification of this type of soils, an archive analysis of the soil laboratory of the Universidad de Cordoba has been pursued using 200 chemical studies samples of acid sulphate soils. A cluster analysis with a  $R^2$  of 95% for five classification group was used. The soil group characterized itself for having a mean S amount of 155.9 ppm, in 65% of the samples saturation percentages of 2.61% of Al, 39.61% of Mg and 39.61% of Na were observed. The third group has a mean S of 593.1 ppm, 9.92% of the studies with 5.13% of Al, 37% of Mg and 5.0 of Na. The fifth group has S mean of 1,933 ppm, for the 2.12% of the analysis 2.1% of Al, 28.2% of Mg and 2.4% of Na. These data show the formation of saline soils in these territories.

**Keywords.** Acid sulphate soils, classification, sulfur extractable.

## INTRODUCCION

Reportes indican la existencia de suelos sulfatados ácidos en diversas partes del planeta, estimándose mediante sistemas de información un total de 24 millones de Ha en el mundo, en donde esté tipo de suelos dominan los paisajes (Dent y Dawson, 2000).

Según Osborne, citado por Dent (1992), los suelos sulfatados ácidos son aquellos que poseen extrema acidez, porcentaje de saturación menor de 50% y aluminio intercambiable mayor de 5 Cmol (+) Kg<sup>-1</sup> de suelo, esta acidez ha sido desarrollada naturalmente como resultado de cambio en los niveles hidrológicos.

En muchas áreas del trópico existen los suelos ácidos no costeros (interior), siendo su origen muy similar en áreas continentales interiores, lacustre y de pantano. La diferencia radica en que estas deposiciones son más antiguas e influido por elevación montañosa, y en algunas áreas por flujo interno de aguas ricas en azufre y hierro, sin tener incidencia directa con la marea. También existen las áreas escaldadas (desnudas) por captación de sedimentos no costeros, caracterizándose por el contenido alto de sales, debido a, la movilización, descargas y acumulación de depósitos de azufre, hierro y metales pesados que permite las frecuentes formaciones

salinas al no facilitarse los lavados y drenajes internos del suelo (Fitzpatrick, 1993).

Rorison *et al.*, citados por Dent (1992), afirman que los suelos sulfatados ácidos presentan problemas químicos, físicos y biológicos. Los problemas químicos para las cosechas incluyen: toxicidad, principalmente por la elevada solubilidad de aluminio. La toxicidad de aluminio en particular causa raquitismo, enanismo al sistema de las raíces que no pueden ramificarse y no pueden absorber agua del suelo. Los cultivos sufren por estrés de agua, detienen la madurez y mueren.

En el departamento de Córdoba existen aproximadamente 20,000 Ha con este tipo de suelos (Combatt, 2004), no recomendados para las actividades agrícolas y pecuarias, por existir condiciones químicas muy adversas para las plantas como son: la alta acidez, alto contenido de aluminio, la formación de sales tóxicas y principalmente los rangos excesivos de azufre que evitan el normal desarrollo de los cultivos.

En Colombia a pesar de existir grandes extensiones de suelos sulfatados ácidos, no se han reportado estudios que cuantifiquen el área existente, mucho menos una clasificación por grupos, donde se den a conocer las características químicas, físicas y biológicas que poseen este tipo de suelos.

Debido a este desconocimiento y existiendo clasificaciones de suelos sulfatados ácidos en Tailandia realizados por Osborne (1985), citado por Dent (1992), se hace necesario como una primera aproximación, clasificar los suelos sulfatados ácidos existente en el Departamento de Córdoba, lo cual dará inicios para que se establezcan actividades que busquen contrarrestar el impacto que pueden ocasionar al ecosistema este tipo de suelos y además, divulgar la existencia de los mismos para adelantar investigaciones en el campo de la ciencia del suelo.

La presente investigación tuvo como objetivo dar a conocer como primera aproximación, la clasificación de los suelos sulfatados ácidos existentes en el Departamento de Córdoba con en el contenido de azufre extractable.

## MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó mediante la consulta del archivo de los análisis químicos de suelos del laboratorio de suelos y aguas de la Universidad de Córdoba, de donde se procedió a seleccionar 200 estudios químicos de suelos que tuvieran altos contenidos de azufre, de 1500 análisis consultados, del medio y bajo sinu, en el departamento de Córdoba, encontrándose éste ubicado a 20 m.s.n.m, con precipitación promedio anual de 1200 mm, temperatura media anual de 28°C. La formación geológica de estos suelos es fluvio lacustre con muchos complejos cenagosos, encontrándose subordenes de suelos sulfatados ácidos como los sulfaquents, sulfaquepts. Las variables determinadas fueron:

- pH: método potenciométrico; relación suelo: agua 1:1
- Bases de cambio Ca, Mg, K, Na.(cmol(+))Kg<sup>-1</sup> método del acetato de amonio normal y neutro; Ca, Mg, K, y Na por absorción atómica.
- Acidez intercambiable (H + Al) y aluminio

- intercambiable: método de Yuang (KCI 1 N).
- Fósforo (mg Kg<sup>-1</sup>): método Bray II
- Carbono Orgánico (%): método de Walkley Black
- Azufre (mg Kg<sup>-1</sup>): por fosfato monocálcico.

Los métodos químicos son los recomendados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (I.G.A.C, 1990). El análisis estadístico utilizado fue el cluster análisis de observación (análisis por grupo), para determinar cuantos grupos se podían establecer.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Características químicas de los suelos sulfatados ácidos de diferentes municipios del Medio y Bajo Sinú, Córdoba

**Municipio de Cereté.** En esta zona se centra la producción de Maíz y Algodón del departamento, encontrándose las siguientes características químicas: el suelo presenta una reacción moderadamente ácida, lo que indica que no se han presentado procesos pedogenéticos que aumenten la producción de ácidos y lavado de bases, contenido de materia orgánica medio, con respecto al azufre su contenido es excesivo, pero menor que en otras localidades y el fósforo es medio. Con relación a las bases su contenido es alto, con una relación calcio/ magnesio normal, el contenido de sodio empieza a incidir en la fitotoxicidad de los cultivos, el potasio es alto y el aluminio es medio, lo que demuestra su baja saturación (Tabla 1).

Estas características demuestran que en esta zona existen suelos sulfatados, ya que la acidez presente es baja, producto del lavado de ion de sulfato y del manejo físico realizado a los suelos, lo que concuerda con lo expuesto por Lines *et al.* (1999), quien indica que el ácido que se origina y permanece es lavado al regreso de las lluvias e inundaciones.

**Tabla 1.** Características químicas de los suelos sulfatados ácidos de Cereté (promedio de las variables químicas)

pH	M.O.	S	P	Ca	Mg	Na	K	Al	CIC	Ca	Mg	Na	Al
1.1	%	ppm	ppm	Cmol+Kg <sup>-1</sup>					*sb	%sat	%sat	%sat	%sat
5.58	2.5	259	19	16	12	1.2	0.7	0.6	31.78	50.34	37.75	3.77	1.88

\*sb, suma de base

**Municipio de Cotorra.** Zona muy próxima a la Ciénaga de Lórica, donde se establecen cultivos de Maíz, Algodón y Pan coger de pequeños campesinos o parceleros. Aquí se encuentran suelos con pH moderadamente ácido, indicando la baja producción de ácido, materia orgánica baja, por el uso intensivo y poca reposición de materiales orgánicos, contenidos en azufre excesivos, por ser una zona de acumulación de los compuestos de azufre que se lixivian

de la parte alta de la cuenca y fósforo bajo. Para las bases sus niveles de calcio y magnesio son altos, con una relación calcio/magnesio normal, el sodio es excesivo, el potasio es alto y el aluminio es bajo (Tabla 2).

En esta zona existe la posibilidad de formación de sales principalmente sulfato de sodio, que pueden ocasionar problemas fitotóxicos cuando se presenta escasez de agua o en períodos transitorios de sequía.

**Tabla 2.** Características químicas de los suelos sulfatados ácidos de Cotorra (promedio de las variables químicas)

pH	M.O.	S	P	Ca	Mg	Na	K	Al	CIC	Ca	Mg	Na	Al
1.1	%	ppm	ppm	Cmol+Kg <sup>-1</sup>					sb	%sat	%sat	%sat	%sat
5.68	1	363	17	12	7	2.2	0.3	0.3	22.42	53.42	31.22	9.81	1.33

\*sb, suma de base

**Municipio de Lórica.** Zona maicera, próxima a la Ciénaga de Lórica, siendo sus características químicas las siguientes: El pH es ácido, la materia orgánica es media, el azufre excesivo y el fósforo es medio. Los cationes como calcio y magnesio son altos, con relación calcio/magnesio normal, el sodio es excesivo, lo que indica que se

pueden presentar efecto de fitotoxicidad, el potasio es alto y el aluminio es excesivo (Tabla 3).

En esta zona se presentan los suelos sulfatados ácidos con mayor producción de acidez.

**Tabla 3.** Características químicas de los suelos sulfatados ácidos de Lórica (promedio de las variables químicas)

pH	M.O.	S	P	Ca	Mg	Na	K	Al	CIC	Ca	Mg	Na	Al
1.1	%	ppm	ppm	Cmol+Kg <sup>-1</sup>					*sb	%sat	%sat	%sat	%sat
4.96	2.8	251	18	11	8	1.6	0.6	1.4	23.42	53.42	34.15	6.83	5.97

\*sb, suma de base

**Municipio de Montería.** Generalmente los suelos sulfatados ácidos de esta zona se encuentran ubicados en la margen izquierda del río Sinú, y en la margen derecha en la vereda del Cerrito, encontrándose una reacción moderadamente ácida, contenido altos en materia orgánica, nivel excesivo de azufre, que están asociados a suelos hidromórficos con altos contenidos en materia orgánica y contenido de fósforo medio. El contenido de las bases, calcio y magnesio

poseen niveles altos, con relación calcio/magnesio estrecha, el sodio es excesivo, y el potasio tiene un nivel adecuado, el aluminio es medio, con baja saturación (Tabla 4).

En estas zonas se presentan los suelos sulfatados con tendencia a formar sales de sodio y magnesio, lo que concuerda con Fitzpatrick (1993), quien expone que en los suelos sulfatados ácidos se presentan altas cantidades de sales.

**Tabla 4.** Características químicas de los suelos sulfatados ácidos de Montería (promedio de las variables químicas)

pH	M.O.	S	P	Ca	Mg	Na	K	Al	CIC	Ca	Mg	Na	Al
1.1	%	ppm	ppm	Cmol+Kg <sup>-1</sup>					*sb	%sat	%sat	%sat	%sat
5.82	3.4	388	23	16	14	2.2	0.6	0.7	35.13	45.54	39.85	6.26	1.99

\*sb, suma de base

**Municipio de San Carlos.** Región netamente productora de maíz y algodón para la agroindustria, como también la producción pecuaria semi intensiva, dentro de sus propiedades químicas se tienen: pH moderadamente ácido, materia orgánica

baja, lo que demuestra poca reposición de materiales orgánicos, el azufre excesivo y fósforo alto, con respecto a las bases: calcio y magnesio son altos con relación calcio/magnesio estrecha y sodio excesivo, potasio presenta niveles altos y aluminio alto (Tabla 5).

**Tabla 5.** Características químicas de los suelos sulfatados ácidos de San Carlos (promedio de las variables químicas).

pH	M.O.	S	P	Ca	Mg	Na	K	Al	CIC	Ca	Mg	Na	Al
1.1	%	ppm	ppm	Cmol+Kg <sup>-1</sup>					sb	%sat	%sat	%sat	%sat
5.48	1.9	317	36	15	11	1.4	0.6	1	29.06	51.61	37.85	4.81	3.44

\*sb, suma de base

**Municipio de San Pelayo.** Zona maicera y algodónera, con extensiones ganaderas, en donde los suelos de esta región poseen pH moderadamente ácido, materia orgánica media, azufre excesivo y fósforo medio, en lo

relacionado con las bases, el calcio y el magnesio se encuentran altos, con relación calcio/magnesio estrecha, el sodio es bajo y el potasio en un rango adecuado. El aluminio es bajo (Tabla 6).

**Tabla 6.** Características químicas de los suelos sulfatados ácidos de San Pelayo (promedio de las variables químicas).

pH	M.O.	S	P	Ca	Mg	Na	K	Al	CIC	Ca	Mg	Na	Al
1.1	%	ppm	ppm	Cmol+Kg <sup>-1</sup>					*sb	%sat	%sat	%sat	%sat
5.29	2.1	176	18	13	11	0.5	0.6	0.4	26.47	49.11	41.55	1.88	1.51

\*sb, suma de base

Se destaca la posibilidad de existir formación de sales de sulfato de magnesio, que pueden incidir en la asimilación de nutrientes, lo que coincide con Cardone (2000), quien confirma que el ión sulfato se encuentra en combinación con cationes tales como calcio, magnesio, potasio, sodio o amonio.

### Clasificación por variable química

Se realizó un análisis de componentes principales, que permitiera reducir la dimensionalidad de las variables evaluadas y su influencia en la clasificación de los suelos sulfatos ácidos de Córdoba. En la tabla 7 se observa que se establecieron 5

componentes, donde la primera de ellas está determinada por el Azufre, lo que significa que es el elemento que permite realizar una mejor clasificación de los suelos sulfatados ácidos (SSA), dicha componente explica 98% de la variabilidad evaluada; esto además reduce la dimensión de las variables a utilizar únicamente la primera componente.

En las otras cuatro componentes se puede observar que cada una de ellas está representada por un elemento químico del suelo, clasificándolas por orden de aporte a la variabilidad son: Fósforo, Calcio, Magnesio y materia orgánica respectivamente.

**Tabla 7.** Distribución de los elementos químicos del suelo en las componentes principales.

Componente	Caracterización	Variabilidad
1	S	0.983
2	P	0.014
3	Ca	0.002
4	Mg	0.001
5	M.O	0.0001

### Clasificación de individuos

Al realizar el análisis por clúster para agrupar los individuos (sitios), con características

homogéneas tomando como variable principal la primera componente (azufre), se encontraron 4 grupos, con  $R^2 = 0.95$  (Tabla 8).

**Tabla 8.** Grupos de clasificación de los sitios de evaluación en siete zonas del departamento de Córdoba.

Cluster	Azufre	Materia Orgánica	A1
1	58 - 125	2.33	1.0
2	138 - 300	2.81	1.2
3	340 - 515	3.17	1.23
4	550 - 1028	5.15	1.39

En esta clasificación se observa que se presenta una correlación entre el aumento de azufre y las variables químicas materia orgánica y aluminio, lo que demuestra la alta producción de ácido que destruyen la red cristalina de las arcillas con el consecuente aumento de aluminio soluble. En la tabla 9 se observan las localidades estudiadas y su distribución en análisis.

En la tabla 9 se observa que en las zonas de Cereté, Lórica, Montería, San Carlos y San Pelayo, donde se hizo un número representativo de sitios por zona, estos sitios se distribuyen en todos los grupos, es decir, se presentan todos los niveles de Azufre, lo que significa que los suelos de Córdoba presentan gran diversidad de niveles de Azufre desde los más bajos hasta los más altos.

**Tabla 9.** Distribución de los sitios de evaluación en cada zona dentro de cada grupo de clasificación.

Zona	Grupo				TOTAL
	1	2	3	4	
Cereté	18	4	7	15	44
Lórica	3	1	4	6	14
Montería	11	6	8	1	26
San Carlos	8	2	9	2	21
San Pelayo	3		1	6	10
Chinú	1			2	3
Cotorra			2		2
TOTAL	44	13	31	32	120

### Propuesta de clasificación de los suelos sulfatados, y sulfatados ácidos, con base a su contenido de azufre en el Medio y Bajo Sinú, Córdoba

En la tabla 10 se observa la propuesta de clasificación de los suelos sulfatados ácidos del departamento de Córdoba, donde se indica la variabilidad de SSA que existen,

comprendidos estos entre niveles altos y excesivos. A medida que se aumenta la concentración de azufre la tendencia es a presentarse mayor acumulación de aluminio intercambiable que ocasiona distorsión en la mitosis celular lo que coincide con lo expuesto por Rorison *et al.*, citados por Dent (1992).

**Tabla 10.** Propuesta de clasificación de los suelos sulfatados ácidos del departamento de Córdoba.

	Clase de Acidez			
	1	2	3	4
AZUFRE(ppm)	< 150	151 - 300	301- 600	> 601
M.O (%)	< 2.0	2.1 - 3.0	3.1 - 4.0	< 4.1
Al (Meq)	<1.0	1.1 - 1.5	1.5 - 2.0	>2.1

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El contenido de azufre es un buen clasificador de los suelos sulfatados ácidos en el departamento de Córdoba.
- En las diferentes zonas evaluadas se presentan todas las clases de suelos sulfatados ácidos, lo que significa que los suelos de esta región han sido afectados por los mismos procesos formadores.
- Con esta metodología se puede establecer una clasificación de los suelos sulfatados ácidos, lo que permitirá adelantar prácticas de manejo para cada tipo de suelo.
- En las diferentes zonas evaluada se puede estar presentando la formación de sales de sulfatos que pueden incidir en la producción de los cultivos de las zonas.
- Se determinaron 4 grupos de suelos sulfatados ácidos en el departamento de Córdoba.
- Se recomienda realizar los estudios de las características químicas de los suelos sulfatados ácidos de Córdoba con estadística univariada y realizar investigaciones para determinar las características de los suelos sulfatados ácidos actuales y potenciales.

## BIBLIOGRAFIA

- Dent, D. 1992. Reclamation of acid sulphate soils. *Advances in soil science* 17:82-83
- Dend, D. y Dawson, B. 2000. The acid test. <http://staffi.lboro.ac.uk/~cobrd/>. [Accedido 10 Agosto de 2000]
- Combatt, E. 2004. Efecto del enclamiento y el lavado sobre algunas propiedades químicas de un suelo sulfatado ácido magnésico del valle del río Sinú. Tesis M.Sc. Universidad Nacional de Colombia - Universidad de Córdoba, Montería, p.164
- Cordone, G. 2000. Importancia del azufre en la agronomía. <http://www.agrositio.com/principal/vertext.asp?ver=22> [Accedido 10 Agosto de 2000]
- I.G.A.C. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá. D.E. V. Edición.
- Fitzpatrick, R. 1993. Australia's unique saline acid sulphate soils associated with dry land salinity. *Proceeding of the First Nacional Conference on Acid Sulfate Soil, Coolangatta*, p.41-46
- Lines, R. y Sammut, J. 1999. An introduction to acid sulphate soils. *Acid sulphate soils assessment*. ASSA, p.5