

20257

## EL AZUFRE EN SUELOS DE LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA\*

20257

Autores Ramon Guakdrón y José G. Salinas

Trabajo presentado en el Primer Congreso de la Ciencia del Suelo Villavicencio Colombia Octubre 4-10 1981  
Ing. Agrónomo Programa de Pastos Tropicales Suelos Nutrición de Plantas CIAT  
Ph.D. Edafólogo Programa de Pastos Tropicales Suelos Nutrición Plantas CIAT

### INTRODUCCION

El requerimiento de nuevas tierras para la producción de alimentos y los riesgos que este proceso implica ha inducido la necesidad de maximizar la eficiencia de cada uno de los recursos utilizados especialmente en aquellos considerados como escasos.

El azufre al igual que otros nutrientes es un recurso escaso y lo puede ser aun más de acuerdo al parámetro que se utilice para medirlo. Es requerido en cantidades similares a las del fósforo para la nutrición de las plantas y en muchos casos es suficiente en sistemas naturales de bosques y sabanas y aun en sistemas modificados de baja extracción e inmobilización de nutrientes. Sin embargo puede ser insuficiente o llegar a serlo en sistemas de producción intensivos especialmente cuando se cultivan especies con altos requerimientos nutricionales lo cual se refleja en cantidades elevadas de fertilizantes.

### CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DEL AREA

El Cuadro 1 muestra la extensión y distribución porcentual del área de los Llanos Orientales ocupada por cada una de las unidades fisiográficas que la componen. En general los factores climáticos y edáficos han generado condiciones que favorecen el lavado de los suelos, pobreza de minerales meteorizables y predominio de minerales de baja actividad en la fracción arcilla.

La alta acidez y baja disponibilidad de nutrientes de estos suelos en una forma muy generalizada han sido consideradas como los factores más limitantes para su utilización. Sin embargo áreas en donde las condiciones de topografía y drenaje lo han permitido la selección de especies adaptables al medio ha logrado producir un cambio en el concepto que se tenía sobre la pobreza de estos suelos (Spain 1977).

Algunas características de horizontes superficiales en suelos considerados como representativos del área se presentan en

el Cuadro 2. Con excepción de la unidad de aluviones (inundables) los suelos presentan condiciones aparentemente similares de baja fertilidad. Parámetros como porcentaje de materia orgánica y textura presentan diferencias que pueden ser muy importantes especialmente en el suministro de elementos desmovilizados mediante el proceso de mineralización de la materia orgánica y el acceso de las raíces en ausencia de impedimentos físicos o tóxicos a nutrientes acumulados en el subsuelo.

### ESTADO Y FORMAS DEL AZUFRE

El S probablemente es el cuarto elemento más limitante en suelos altamente meteorizados y si se consideran solamente los trópicos posiblemente sea el tercero o segundo dependiendo de la presencia y efectividad de las leguminosas en fijar nitrógeno (Fox 1980). El S no ha recibido atención como el nitrógeno, fósforo y potasio debido a que en muchos casos el uso de fertilizantes protadores de estos elementos también contienen S (Blair 1979).

En forma general se ha considerado como bajo el contenido de S en suelos trópicos debido a la baja materia orgánica presente, al bajo contenido de S en el material parental a la extremada meteorización y a las pérdidas producidas por lavado (Blair 1979). Según Olson y Engelstad (1972) el S total en los trópicos puede ser menor o igual a 100 ppm.

Deficiencias de S se manifiestan en suelos con altos contenidos de óxidos, baja materia orgánica y texturas arenosas (Sanchez 1976). Los suelos de los Llanos Orientales presentan variaciones tanto en contenido de materia orgánica como en textura en las unidades fisiográficas que los contienen (Cuadro 2).

De acuerdo a lo anterior y dependiendo de la presión por mayores índices de productividad es de esperar que las deficiencias de S sean más notorias en las unidades de altillana ondulada y serranía con texturas arenosas y posiblemente con una consecuente menor capacidad de retención de aniones.

Fracciones de S en la capa arable (0-20 cm) de algunos suelos en tres unidades fisiográficas de los Llanos se presentan en el Cuadro 3. No existe información para las unidades de serranía y aluviones. Como se puede apreciar los contenidos

Cuadro 1 Unidades fisiográficas de Los Llanos Orientales de Colombia

Unidad fisiográfica	EXTENSION	
	Has	%
Alt llanura plana Sector alto (93%) Bajos (7%)	3 438 000	20.3
Alt llanura ondulada Bajos (7-25%)	1 600 000	9.5
Serranía Bajos (25')	4 785 000	28.3
Aluviones viejos inundadizos Fértiles Bajos (80%) Diques (20%)	3 144 000	18.6
Infértiles Médanos o dunas (15%) Llanura eólica (85%)	1 790 000	10.6
Terrazas aluviales Terraza alta Terraza media Terraza baja Vegas y vegones	1 245 000	7.3
Piedemonte	925 000	5.4
Total	16 927 000	100.0

Fuente: Sánchez y Cocnrare (1980)

Cuadro 2 Características en horizontes superficiales de suelos representativos de los Llanos Orientales de Colombia

Unidad Fisiográfica	Profundidad	Textura	pH	H <sub>2</sub> O	P	Ca	Mg	K	Al	Sat Al
	cm			%	ppm	-----meq/100gr-----			%	
Altillanura plana	0-20	F Ar L	4.5	3.7	1.6	0.10	0.02	0.08	2.8	93
Altillanura ondulada	0-40	F A	4.9	1.4	0.6	0.05	0.04	0.01	2.8	97
Serranía	0-25	A	4.7	0.6	0.8	0.05	0.07	0.02	1.9	93
Aluviones viejos										
Fértiles	0-10	Ar	4.6	3.8	15.7	5.67	2.72	0.59	3.7	29
	10-42	Ar	5.0	1.3	24.7	2.96	1.62	0.31	5.4	52
Infértiles	0-25	F L	4.5	3.1	5.6	0.15	0.08	0.06	3.7	88
Terrazas aluviales	0-14	F Ar	4.5	4.5	4.2	0.88	0.74	0.22	1.9	64
	14-26	F Ar	4.6	2.3	5.3	0.22	0.24	0.19	0.7	85
Piedemonte	0-11	F Ar	4.7	1.3	4.2	0.39	0.30	0.17	1.3	58
	11-31	F Ar	4.0	0.8	1.9	1.15	0.32	0.14	1.9	52

Fuente Sánchez y Cochrane (1980)

Cuadro 3 Fracciones de azufre en suelos de los Llanos Orientales de Colombia

Unidad Fisiográfica	Profundidad	Textura	S Disponible	S- Fracciones				Referencia	
				S-Total	S-Orgánico		S-Inorg		
			ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	
Altillanura plana	0-20	F Ar L	14	330	118	36	212	64	
Altillanura plana cultivada (pastos)	0-20	F Ar L	23	280	101	36	179	64	
Altillanura ondulada	0-20	F A	15	275	60	22	215	78	
Terrazas aluviales									
Terraza alta	0-30	F Ar L	5	360	90	25	270	75	(a)
" "	0-30	Ar L	8	338	104	31	234	69	(a)
" "	0-30	F L	6	427	85	20	342	80	(a)
Terraza baja	0-30	F Ar L	5	306	33	11	273	89	(a)

(a) Guerrero y Burbano (1979)

dos de S total del suelo en la información disponible superan ampliamente 100 ppm S predeterminados para suelos tropicales (Olson y Engelstad 1972) Estos contenidos de S total son mayores que los niveles encontrados en suelos de sabana en Brasil (McClung et al 1959) y no muy diferentes en promedios a los previstos para la zona templada (Olson y Engelstad 1972) En los Llanos Orientales de Colombia Guerrero y Burbano (1979) determinaron en promedio para 18 suelos 417 ppm de S total con un rango entre 254 y 737 ppm Por otra parte Pedroza y Lora (1974) encontraron 394 ppm de S total en La Libertad (terrazas) y 405 ppm en El Viento (altillanura plana)

La mayoría del S en suelos tropicales no fertilizados está en la materia orgánica (Sanchez 1976) En los Llanos Orientales esto parece ser la excepción Los porcentajes del total del S en la forma orgánica oscila entre el 11 y 36 por ciento (Cuadro 3) Según Guerrero y Burbano (1979) el S-orgánico en los Llanos Colombianos es en promedio el 20.4% del S total Pedroza y Lora (1974) en dos sitios estudiados (La Libertad y El Viento) encontraron sin embargo predominancia de la forma orgánica

El S orgánico es una reserva para las plantas pero debe ser mineralizado para llegar a ser disponible Factores que afectan el proceso de mineralización de la materia orgánica afectan también su desmovilización Guerrero y Burbano (1979) concluyeron que a pesar de la baja proporción de la forma orgánica en estos suelos esta tenía una mayor incidencia en el suministro de S que la fracción inorgánica

Suelos con altos contenidos de óxidos de Al y Fe presentan una apreciable capacidad para adsorber iones sulfatos (Fox 1980) Lo anterior da como resultado un proceso de acumulación de S en suelos con este tipo de mineralogía (San

chez 1976) y algo similar también puede ocurrir en el sub suelo (Fox 1974)

Esta información podría dar una explicación sobre la predominancia de la fracción inorgánica aun en suelos de la altillanura plana donde los contenidos de materia orgánica son altos (4%)

El contenido de S total en el suelo y la proporción de sus formas orgánica e inorgánica pueden servir como parámetros para predecir el potencial de S pero no su disponibilidad real El S extraído con soluciones en base a fosfatos ha correlacionado bien con las respuestas obtenidas en plantas en la zona templada (Blair 1979) En el trópico se tiene poco conocimiento sobre el uso de análisis para medir disponibilidad de S

En el trabajo de Guerrero y Burbano (1979) el S extraído con  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  0.008 M correlaciona bien ( $r = 0.70$ ) con el S absorbido por las plantas Mediante el uso de este método se encontró un valor de S-disponible de 13 ppm en la capa arable de un suelo no cultivado en Carimagua y que fué constante a través del perfil (Cuadro 4)

Fluctuaciones de S-disponible en función de la precipitación y estrategia de fertilización han sido encontrados en cultivos de pastos mejorados bajo condiciones de campo en Carimagua (CIAT 1982) La época de muestreo la historia y el manejo del suelo deben ser considerados para lograr una mejor interpretación sobre la disponibilidad y consecuencia oferta de S

#### DINAMICA DEL AZUFRE

Áreas continentales dominadas en su clima por masas de

Cuadro 4 Distribución del azufre disponible en un perfil de suelo no cultivado en Carimagua

Profundidad	Arcilla	Arena	pH	S-Disponible
cm	%	%		ppm
0-20	38	12	4.1	13
20-40	40	12	4.0	14
80-100	45	12	4.9	15
180-200	45	12	5.0	11

aire originadas en regiones remotas con patrones marcados de precipitación lluviosa (seco húmedas) que dan lugar a la formación de vegetación de sabana y alejadas de zonas de contaminación industrial tienden a ser deficientes en S (Fox 1980 Sanchez 1976). En estas condiciones el agua de lluvia a pesar de sus bajas concentraciones en S y la apreciable capacidad de adsorción de S que presentan estos suelos (Fox 1974) podrían explicar los altos contenidos en S en contratiempos principalmente en forma inorgánica en los Llanos Orientales.

Las plantas toman el S desde la solución del suelo en forma de sulfato. Por tanto su concentración depende del balance de los procesos de mineralización, adsorción y desorción por arcillas, absorción por plantas y lixiviación. La remoción de S por los cultivos y las pérdidas por infiltración y escurrimiento así como también la volatilización causada por la práctica de la quema (dependiendo de los aportes externos (agua lluvia fertilizantes) pueden afectar severamente las reservas de S en el suelo. McClung y colaboradores (1959) encontraron en suelos de sabana en Brasil disminuciones de S-orgánico entre 24 y 60 ppm después de 20 a 30 años de cultivos.

En suelos alófanicos pobres en P como lo Oxisoles y Ultisoles se ha encontrado que la deficiencia extrema de P inhibe el crecimiento microbiano dando como resultado una baja tasa de mineralización (Munevar y Wollum 1977). En Brasil el P y Ca adicionados al suelo incrementaron la mineralización de la materia orgánica en un Oxisol deficiente en estos dos nutrientes (Sanchez 1976). El S orgánico es mineralizado en forma similar al N-orgánico pero el destino del S mineralizado puede ser diferente al del N en función de la capacidad de adsorción de S por el suelo. El sulfato mineralizado de la materia orgánica puede movilizarse en el perfil y acumularse en el subsuelo. Opuestamente al proceso de mineralización el S puede ser inmovilizado cuando la relación C/S es mayor a 400 en la materia orgánica y cuando los materiales contienen menos del 0.15% de S (Barrow 1961).

Reacciones de adsorción de P y S son muy importantes en suelos altamente meteorizados. En suelos de Carimagua (altillanura) la curva de adsorción de S fue similar a la de P con una capacidad media de 150 ppm. Asimismo la solubilidad del S adsorbido fue baja requiriendo 60  $\mu\text{g S/g}$  suelo para obtener 5 ppm de S en la solución del suelo (Fox 1974). La capacidad de adsorción de S depende de los minerales presentes. Según Aylmore y colaboradores (1967) los óxidos de Fe y Al retienen más S que la caolinita. En Carimagua el orden de intensidad de adsorción fue: óxidos amorfos hidratados > óxidos cristalinos > caolinita > minerales 2:1 (Fox 1974). Contenidos variables de estos mi-

nerales en la fracción arcilla (suelos del área han sido reportados por Mejía (1975) y Guerrero (1971)).

La adsorción de S por el suelo es afectada cuando se aplica P, esto es debido a que los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  reemplazan a los iones  $\text{SO}_4^{2-}$  de esta manera los iones no adsorbidos o reemplazados se movilizan y se acumulan a mayor profundidad (Sanchez 1976). El uso indiscriminado de fertilizantes fosfatados no portadores de S puede incrementar el nivel de sulfatos en horizontes superficiales para la absorción por especies que tienen sistemas radiculares no muy bien desarrollados.

El Cuadro 5 muestra los resultados obtenidos en un experimento de campo en Carimagua después de un año de manejo bajo corte de gramíneas y leguminosas sembradas en forma convencional de preparación del suelo (incorporación de residuos de sabana nativa y aplicación de bajas tasas de fertilizantes (22 kg P/ha como SFT 0.5 ton cal dolomítica 40 kg K/ha/año y micronutrientes). Estos resultados muestran que los contenidos de S-disponible (extractado con  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ) fueron superiores a los encontrados antes de la siembra aun en el tratamiento que no recibió azufre (CIAT 1982). En otro experimento después de dos años de pastoreo en una pradera de *Desmodium ovalifolium* se presentaron deficiencias de S como consecuencia del consumo por la planta e inmovilización en los residuos devueltos al suelo (CIAT 1982).

Lo anterior sugiere que las prácticas de preparación del suelo (aplicación de fertilizantes principalmente P y Ca en suelos de la altillanura) incrementan las tasas de mineralización de la materia orgánica favoreciendo la desmovilización del S. Una vez que disminuye con el tiempo la disponibilidad del P debido a diversos procesos disminuye la actividad microbiana y por tanto la mineralización de S de la materia orgánica del suelo y de los materiales devueltos al suelo.

## REQUERIMIENTOS DE AZUFRE

El requerimiento de un nutriente en particular es la cantidad que se necesita de él para establecer y mantener un sistema a un nivel de producción dado. La experimentación de campo es el método más eficiente para su cuantificación. En los niveles actuales de producción en los Llanos Orientales (altillanura serranía y aluviones) el S aportado por las lluvias y el S mineralizado de la materia orgánica probablemente son suficientes para reunir los requerimientos iniciales de las plantas.

El requerimiento de S es gobernado por la cantidad removida en el producto y el destino de este. Bajo condiciones de vegetación nativa debido al reciclaje del producto y a la baja tasa de crecimiento de las plantas el requerimiento de

Cuadro 5 Azufre disponible en el suelo extractado con fosfato monocálcico de áreas establecidas con gramíneas y leguminosas forrajeras con diferentes dosis de S bajo condiciones de campo en Carimagua, 1980-1981

Dosis de S		S - Disponible	
kg/ha	ppm*	Gramíneas	Leguminosas
<u>Antes de Siembra</u>			
-	-	4	4
<u>Al año de establecimiento</u>			
0	0	25	22
5	1.8	24	27
10	3.6	24	24
15	5.4	24	29
20	7.1	24	27
30	10.7	27	27

\* 1 ppm S = 2.8 kg S/ha

S es bajo pero se incrementa cuando la vegetación es reemplazada por cultivos (Figura 1). El aumento en la demanda de S causa un desequilibrio en el suelo y el tiempo necesario para que la deficiencia ocurra varía según las reservas del suelo, de la tasa de retorno o reciclaje y de los aportes externos de este elemento. La diferencia básica entre cultivos anuales y perennes es la cantidad de S recuperable desde el subsuelo por el sistema radicular (Blair, 1979).

Las plantas necesitan en promedio 0.25% S en el tejido con una relación N:S en las proteínas de 15:1. Por tanto, la deficiencia de S afecta no solo los rendimientos sino también la calidad de las proteínas (Blair, 1979).

En suelos vírgenes de sabana en Brasil se encontraron deficiencias agudas de S y respuesta hasta 20 kg S/ha en trabajos de invernadero (McClung et al., 1959). Según estos autores, la respuesta a S puede no ser común, sin embargo,

cuando elementos como N y P son suministrados plenamente y los cultivos son intensivos, pueden ocurrir deficiencias de S. Los trabajos de Pedroza y Lora (1974), Guerrero y Burbano (1979) con suelos de los Llanos Orientales en condiciones de invernadero también mostraron respuesta a S cuando se aplicaron otros nutrientes.

En otro experimento en invernadero con suelo de Carimagua hubo respuesta lineal a la aplicación de S en la producción de materia seca de leguminosas forrajeras tales como *Zornia latifolia* 728, *Stylosanthes capitata* 1019 y *Desmodium ovalifolium* 350 (CIAT, 1980). Cuando estas mismas leguminosas se evaluaron en condiciones de campo incluyendo *Pueraria phaseoloides* 9900 y las gramíneas *Andropogon gayanus* 621, *Brachiaria decumbens* 606, *Brachiaria humidicola* 679 y *Brachiaria brizantha* 665, no hubo respuesta significativa a dosis de S. En el tratamiento sin S un año después del establecimiento de las especies mencio-

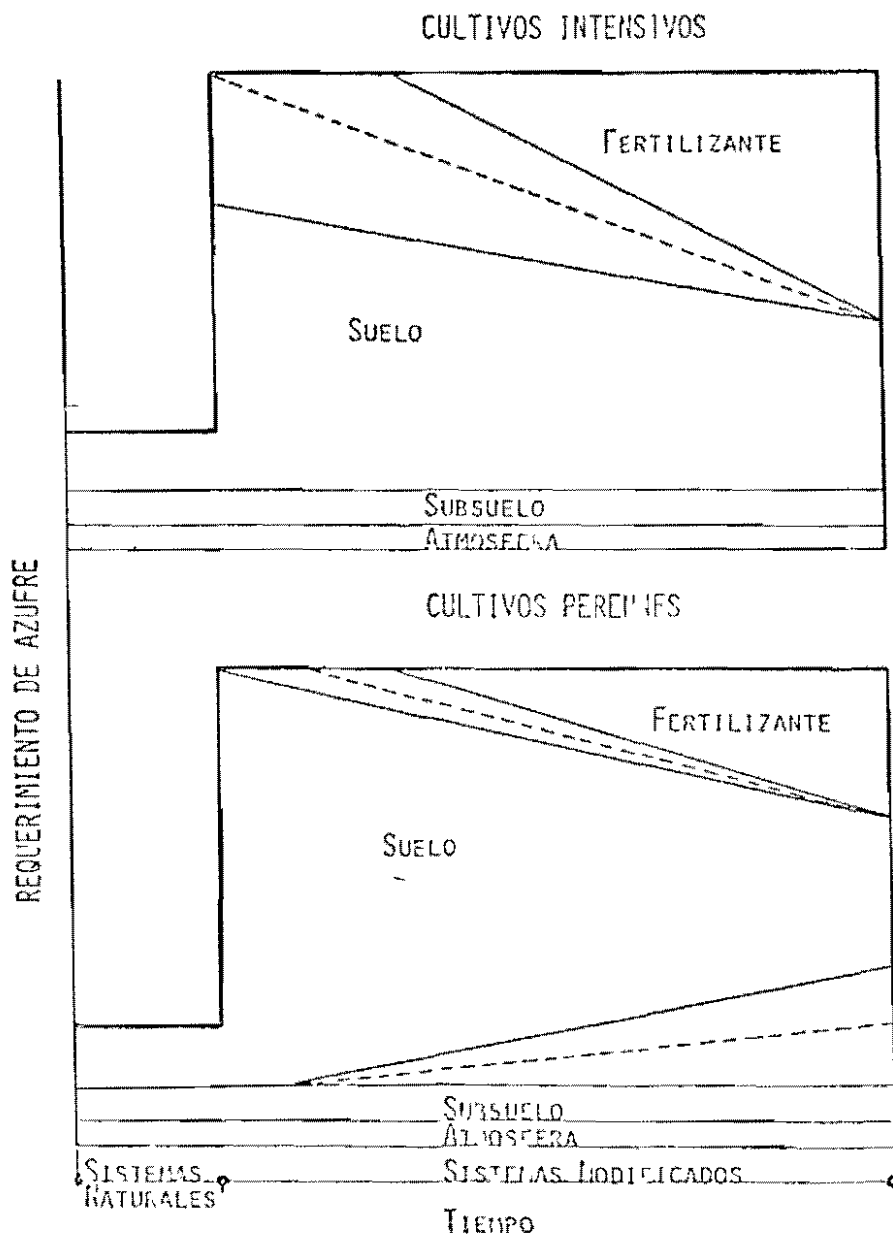


FIGURA 1 DIAGRAMA DE REQUERIMIENTOS DE AZUFRE EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCION Y FUENTES DE SUMINISTRO (CLAIR 1977 MODIFICADO)



Cuadro 6 Niveles críticos internos y externos de S tentativos para gramíneas y leguminosas forrajeras en suelo de Carimagua bajo condiciones de invernadero

ESPECIE	Nivel Crítico	Concentración
	Suelo	Crítica Tejido
	ppm S	% S
GRAMINEAS		
<u>Brachiaria humidicola</u> 679	11	0 14
<u>Andropogon gayanus</u> 621	12	0 15
<u>Brachiaria decumbens</u> 606	13	0 16
<u>Panicum maximum</u> 604	14	0 15
LEGUMINOSAS		
<u>Stylosanthes capitata</u> 1315	12	0 15
<u>Desmodium ovalifolium</u> 350	13	0 12
<u>Zornia latifolia</u> 728	14	0 14
<u>Stylosanthes capitata</u> 1019	15	0 17

Fuente CIAT (1981)

nadas el S disponible en el suelo fue dos veces mayor al nivel crítico externo y similar a la concentración crítica en el tejido (Cuadro 6) (CIAT 1981 1982)

El reciclaje de nutrimentos depende de los factores suelo planta clima y agentes modificadores del sistema. En Carimagua sistemas de pastoreo (baja intensidad) en base a la leguminosa *Desmodium ovalifolium* 350, dos años después de su establecimiento mostraron evidencia de una deficiencia de S que se manifestó en un bajo consumo por parte del animal, alto contenido de taninos y bajos contenidos de N y S en el tejido (menos de 0 10% S). La aplicación de 44 kg S/ha produjo un cambio dramático tanto en cantidad como en calidad y consumo del forraje ofrecido (CIAT 1982). De aquí que la utilización de especies con requeri-

mientos nutricionales internos bajos puede inducir un desequilibrio en la inmovilización de los elementos contenidos en los materiales retornados al suelo y hacer por tanto necesaria la aplicación de S en sistemas que aparentemente no lo necesitan.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALYMORE L A G K HESHANUL y P P QUIRK 1967 Adsorption and desorption of sulphate ions by soil constituents Soil Sc 103 10 15
- BARROW N J 1961 Studies on the mineralization of sulfur from soil organic matter Aust J Agr Res 12 306 391

- BLAIR G 1979 Sulfur in the tropics International Fertilizer Development Center IFDC Muscle Shoals Alabama 6a p
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL CIAT 1980 Informe Anual 1979 Cali Colombia
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL CIAT 1981 Informe Anual 1980 Cali Colombia
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL CIAT 1982 Informe Anual 1981 Cali Colombia (en Imprenta)
- FOX R L 1980 Responses to sulphur by crops growing in highly weathered soils Sulphur in Agriculture 4 16 22
- FOX R L 1974 Examples of anion and cation adsorption by soils of tropical America Trop Agric Trinidad 51 200 210
- GUERRERO R 1971 Soils of the Colombian Llanos Orientales Composition and classification of selected profiles Ph D Thesis Raleigh North Carolina State University 78 p
- GUERRERO RIASCOS R y H BURBANO 1979 Fracciones del azufre y niveles críticos de disponibilidad para la planta en suelos de los Llanos Orientales y la sabana de Bogotá Suelos Ecuatoriales Colombia 10 232 244
- McCLUNG P C L M M de FREITAS y W L LOTT 1959 Analyses of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulfur Soil Sci Soc Am Proc 23 221 224
- MEJIA L 1975 Characteristics of a common soil toposequence of the Llanos Orientales of Colombia M Sc Thesis Raleigh North Carolina State University 224 p
- MUNEVAR F y A G WOLLUM 1977 Effects of the addition of phosphorus and inorganic nitrogen on the carbon and nitrogen mineralization of some Andepts from Colombia Soil Sci Soc Am J 41 540 545
- OLSON R A y O P ENGELSTAD 1972 Soil phosphorus and sulfur In Soils of the Humid Tropics National Academic of Sciences Washington
- PEDRAZA L A y R LORA 1974 Disponibilidad del azufre para las plantas en dos suelos de los Llanos Orientales de Colombia Revista ICA 9 77 112
- SANCHEZ L F y T T COCHRANE 1981 Paisajes suelos y clima de los Llanos Orientales de Colombia En Caracterización del sistema de producción de ganado de carne en los Llanos Orientales (Meta) Colombia CIAT Cali Colombia (En prensa)
- SANCHEZ P A 1976 Properties and management of soils in the tropics Wiley Interscience 618 p
- SPAIN J M 1977 Field studies on tolerance of plant species and cultivars to acid soil conditions in Colombia En M J Wright editor Plant adaptation to mineral stress in problem soils Cornell University Ithaca N Y