

ESTUDIO DEL AZUFRE EN ALGUNOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO
Y LA INTENDENCIA NACIONAL DEL PUTUMAYO

Por

HECTOR FABIO AYALA LEON

Tesis de grado presentada como requisito
parcial para optar al título de
INGENIERO AGRÓNOMO

Presidente de tesis

RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A., M.Sc.

Copresidente

JOAQUIN GAMBOA JAINES I.A., M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA

1.971

31.82
973
1.1

K

UNIVERSIDAD DE NARIÑO	
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS	
PASTO - COLOMBIA	
057220	
No. 19624	F. 1
Valor \$ 800.00	Vol.
Fecha 75-VIII-21	Don. K
Fact. Apuntes	Carje
Librería	Cmap.

"Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de grado,
son de responsabilidad exclusiva de su autor".

Artículo 1º del Acuerdo No. 324 de 11 de Octubre de 1966,
ordenado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad
de Nariño.

A LOS ESFUERZOS DE MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MARIA DEL SOCORRO

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

DEDICO :

HECTOR FABIO AYALA LEON

AGRADECIMIENTOS A :

RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A., M.Sc.

JOAQUIN GAMBOA JAYMES I.A., M.Sc.

MARIO RIASCO LAMERGA I.A., Ph.D.

FRANCISCO COSTES DE LA ESPINILLA

HERNAN HERNANDEZ GRJUSLA I.A.

**Facultad de Ciencias Agrícolas de la Uni-
versidad de Mariño.**

Empresas Municipales de Cali.

**Todas las personas que en una u otra forma
colaboraron en el desarrollo del presente
trabajo.**

- V -

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION.	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 GENERALIDADES DEL AZUFRE	3
2.1.1 <u>Historia.</u>	3
2.1.2 <u>Formas y contenidos de azufre en los suelos.</u>	3
2.1.3 <u>Ciclo del azufre.</u>	5
2.1.4 <u>Relación del azufre con algunos elementos del suelo.</u>	6
2.1.5 <u>El azufre en relación a las plantas y animales.</u>	9
2.1.6 <u>Oxidación-reducción del azufre en los suelos.</u>	10
2.1.7 <u>Deficiencias del azufre en suelos latinoamericanos.</u>	10
2.1.8 <u>Metodología en la determinación del azufre.</u>	11
III. MATERIALES Y METODOS	13
3.1 MATERIALES	13
3.1.1 <u>Descripción del hierro</u>	13
3.1.2 <u>Localidad.</u>	13
3.2 METODOS.	18
3.2.1 <u>Caracterización de los suelos</u>	18
3.2.2 <u>Fraccionamiento del azufre.</u>	19
3.2.3 <u>Métodos estadísticos.</u>	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.	21
4.1 AZUFRE TOTAL.	21

	Pág.
4.2 AZUFRE INORGANICO.	22
4.3 AZUFRE ORGANICO.	23
4.4 AZUFRE ASQUIBLE	24
V. CONCLUSIONES.	44
VI. RECOMENDACIONES	46
VII. RESUMEN.	47
SUMMARY.	49
VIII. BIBLIOGRAFIA	51
APENDICE	60

Tabla	I.	Fraccionamiento del azufre en suelos del departamento de Nariño y la Intendencia Nacional del Putumayo. Resultados en ppm. y como porcentaje del azufre total. . . .	28
Tabla	II.	Fraccionamiento del azufre en subsuelos del departamento de Nariño y la Intendencia Nacional del Putumayo. Resultados en ppm. y como porcentaje del azufre total.	29
Tabla	III.	Promedio de las fracciones de azufre en los suelos del departamento de Nariño y la Intendencia Nacional del Putumayo. Resultados en ppm. y como porcentaje de azufre total..	30
Tabla	IV.	Promedio de las fracciones de azufre en los subsuelos del Departamento de Nariño y la Intendencia Nacional del Putumayo. Resultados en ppm. y como porcentaje del azufre total.	31
Tabla	V.	Relaciones C/N, C/S orgánico, C/N/S orgánico en los suelos del departamento de Nariño y la Intendencia Nacional del Putumayo. . .	32
Tabla	VI.	Relaciones C/N, C/S orgánico, C/N/S orgánico en los subsuelos del departamento de Nariño y la Intendencia Nacional del Putumayo. . .	33
Tabla	VII.	Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación.	34

Tabla VIII.	Enunciones de regresión y coeficientes de correlación.	35
-------------	--	----

APENDICE

Tabla IX.	Algunas características generales de los suelos del departamento de Nariño y la Intendencia Nacional del Putumayo.	61
-----------	--	----

Tabla X.	Características generales de los subsuelos del departamento de Nariño y la Intendencia Nacional del Putumayo.	62
----------	---	----

FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo del azufre.	7
Figura 2. Relación entre el azufre orgánico y el azu- fre asequible en los suelos.	36
Figura 3. Relación entre el azufre orgánico y el azu- fre asequible en los subsuelos.	37
Figura 4. Contenido promedio de las distintas fraccio- nes de azufre en el clima medio.	38
Figura 5. Contenido promedio de las distintas fraccio- nes de azufre en la Llanura del Pacifico. .	39
Figura 6. Contenido promedio de las distintas fraccio- nes de azufre en la Sabana de Táquerres. . .	40
Figura 7. Contenido promedio de las diferentes fraccio- nes de azufre en el Altiplano de Ipiales. .	41
Figura 8. Contenido promedio de las diferentes fraccio- nes de azufre en el Altiplano de Pasto. . .	42
Figura 9. Contenido promedio de las diferentes fraccio- nes de azufre en la Intendencia Nacional del Putumayo.	43

ESTUDIO DEL AZUFRE EN ALGUNOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE HARIÑO
Y LA INFLUENCIA NACIONAL DEL PUTUMAYO (+)

Por

HECTOR RAHIO AYALA LEON

I. INTRODUCCION

A pesar de que el azufre es un elemento mineral básico en la nutrición de las plantas, es relativamente poca la importancia que se le ha dado, siendo por ello muy escasa la literatura que existe al respecto.

Es conocida la influencia que este elemento tiene en la síntesis de compuestos orgánicos. El azufre es constituyente de las proteínas; influye en la formación de la clorofila; mantiene a varios elementos en solución y parece que interviene reduciendo los nitratos en la nodulación de las leguminosas.

Dada la importancia que tiene este elemento y conociéndose algunos datos que indican cierta deficiencia, tal es el caso de Centro América (12), el Departamento de Fitotecnia de la Facultad de Ciencias Agrícolas, lo involucró en su amplio programa de estudios. Además, con las investigaciones efectuadas anteriormente sobre las diferentes fracciones de N-P-K y Ca y su concentración en estos mismos suelos, se podrá efectuar una evaluación más completa de la fertilidad de los suelos Hariñenses y de la In

(+) Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Ricardo Guerrero R., I.A., M.Sc. y Joaquín Gamboa J., I.A., M.Sc.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES DEL AZUFRE

2.1.1 Historia.

En 1768 comenzó en Alemania el uso del yeso para aumentar la producción de algunas cosechas, práctica que se extendió rápidamente a otros países europeos. De Saussure, en 1804, reconoció que el azufre es un elemento esencial de las plantas. Posteriormente y con base en los trabajos de Liebig, Davi y Boussingault, hubo mucha discusión acerca de la importancia o no del azufre en la producción vegetal. Definitivamente fue Bogdanoff quien en 1898 demostró en forma técnica experimental, que el azufre era necesario en la fertilidad de los suelos (23).

Dentro de la microbiología de los suelos, Gramer fue el primer investigador en demostrar, en 1870, que los filamentos de las bacterias del género Beggiatoa presentaban inclusiones de azufre. A finales del siglo pasado Winogradsky comprobó que el azufre es producido por la oxidación del sulfhídrico mediante acción de bacterias, a las cuales denominó Sulfobacterias. (12).

La primera investigación sobre bacterias reductoras del azufre (Desulfovibrio desulfuricans) correspondió a Beijerinck, quien de inmediato fue seguido por van Delden. El grupo de bacterias más importantes en la oxidación de los compuestos reducidos del azufre (Thiobacillus) fue investigado por Onofre a principios de siglo (12).

2.1.2 Formas y contenido de azufre en los suelos.

Al igual que el nitrógeno y fósforo, el azufre se encuentra en forma orgánica e inorgánica (23). Las rocas ígneas con-

tienen entre 0,05 y 0,3% de azufre, principalmente como sulfuros de hierro, cobre y níquel, siendo abundantes en las rocas básicas (12).

Williams (70) estudió algunos suelos australianos y señaló que las concentraciones de azufre total van desde 125 a 1018 ppm. En la revisión realizada por Whitehead (69) indica que las cantidades de azufre total en los suelos son muy variables, oscilando entre 2,2 y 3500 mgr. de azufre/100 gr., correspondiendo a los suelos pantanosos marinos y a los suelos salinos en áreas áridas las más altas cifras. Para suelos de Rothamsted (Inglaterra), Tabatabai y Bremner (64) dan valores próximos a los 290 ppm. y en suelos franceses Simon.Sylvestre (60) señala que el azufre total representa entre 0,0147 y el 0,024% del suelo. Además, Blasco (12) dice que la cantidad de azufre total no pasa por lo general de 500 ppm.

Un alto porcentaje del azufre total corresponde a la fracción orgánica. Esta fracción según diversos autores (32, 45, 51,) se subdivide en dos partes: una en la que no hay unión directa con el carbono y su reducción produce sulfhídrico y la otra es la que el azufre está unido directamente al carbono y su reducción produce sulfuro inorgánico.

Fassbender (28) indica que de manera general entre el 60 y el 90% del azufre total es orgánico, en casos extremos llega a 100%, en estudios realizados en suelos de Costa Rica y África. En algunos suelos canadienses Lowe y De Long (45, 46) señalan que el azufre orgánico varía entre 47 y 58% del azufre total en suelos orgánicos, mientras que en suelos inorgánicos el porcentaje de la fracción orgánica está entre 12 y 35%. De acuerdo a Freney (32) y Freney et al. (35), el porcentaje del azufre orgánico equivale al 90 y 98% del azufre total en diferentes suelos australianos. HoClung et al (49) estudiaron los suelos del trópico brasileño.

leño y encontraron que las cifras están comprendidas entre 10 y 247 ppm. Es muy posible que en algunos suelos tropicales exista una interferencia en la determinación de la fracción orgánica, ya que según Freney et al (34), algunos elementos como el hierro y el manganeso afectan los procesos de oxidación-reducción dentro de la marcha analítica.

Pausbender (28) informa que el azufre orgánico presente en la materia orgánica, proviene de los residuos vegetales y animales recién caídos al suelo. Consiste en su mayor parte de proteínas, aminoácidos (cisteína, cistina y metionina), péptidos (glutamina), vitaminas (tiamina, biotina), tiocianatos (mercaptano, taninas) y otros compuestos sulfurados.

Las concentraciones de azufre asequible o aprovechable son usualmente pequeñas para la planta en los suelos como lo señala Willians (71). Distintos autores (19, 40, 41, 59) dan los rangos de azufre más comunes disponibles para las plantas entre 10 y 50 ppm. Bardsley y Lancaster (5) consideraron que el azufre de reserva existente en el suelo se determina mediante la diferencia entre el azufre orgánico y el azufre asequible, encontrando una correlación altamente significativa entre la fracción de reserva y el azufre obtenido en las plantas en un lapso de tres cosechas.

2.1.3 Ciclo del azufre.

El ciclo del azufre es menos reportado en la literatura que el del nitrógeno, pero sus transformaciones se asemejan a las de éste, comprendiendo esencialmente los pasos de mineralización, inmovilización, oxidación del azufre y reducción de los sulfatos (12).

Barragán (4) describe el ciclo del azufre así: "el azu-

fre es normalmente absorbido por las raíces de las plantas como anión SO_4 pero también puede penetrar en las hojas como gas SO_2 cuando está presente en la atmósfera, siendo muy tóxico incluso a baja concentración. Penetra en el vegetal en forma oxidada siendo reducida hasta sulfhidrilo-SH; es muy utilizado en la formación de aminoácidos u otras moléculas orgánico-proteicas que contienen azufre. Después es redistribuido dentro de la planta como SO_4 y otros compuestos sulfurosos pasando de las hojas a los frutos y semillas en maduración. Cuando estos caen al suelo, por lo menos una parte se descompone reingresando el azufre nuevamente al suelo para combinarse o reaccionar con otros elementos allí presentes como iones de H que presentan gran afinidad para el azufre, originándose de nuevo el ácido sulfúrico (H_2SO_4), que aún en pequeñas cantidades va modificando constantemente el pH del suelo desde muy ácido a menos ácido, conforme vayan formándose las sales respectivas: sulfato de calcio, de potasio, de magnesio, etc. las que al ser solubilizadas nuevamente, serán reabsorbidas por la planta iniciándose nuevamente el ciclo del azufre. Es necesario tener en cuenta que, el intercambio catiónico del H sobre las superficies coloidales del suelo y el intercambio aniónico del sulfato (SO_4), son concomitantes y determinantes en la absorción de aniones y cationes por parte de las plantas".

Chaudry (23) esquematizó el ciclo del azufre que se presenta en la Figura 1.

2.1.4 Relación del azufre con algunos elementos del suelo.

Diversos autores (11, 20, 21, 22, 38) demostraron que los óxidos de hierro y aluminio retienen el azufre, significando que en los suelos abundantes en dichos sesquióxidos (como suelos del trópico y de origen volcánico) pueden presentar deficiencia de azufre asimilable.

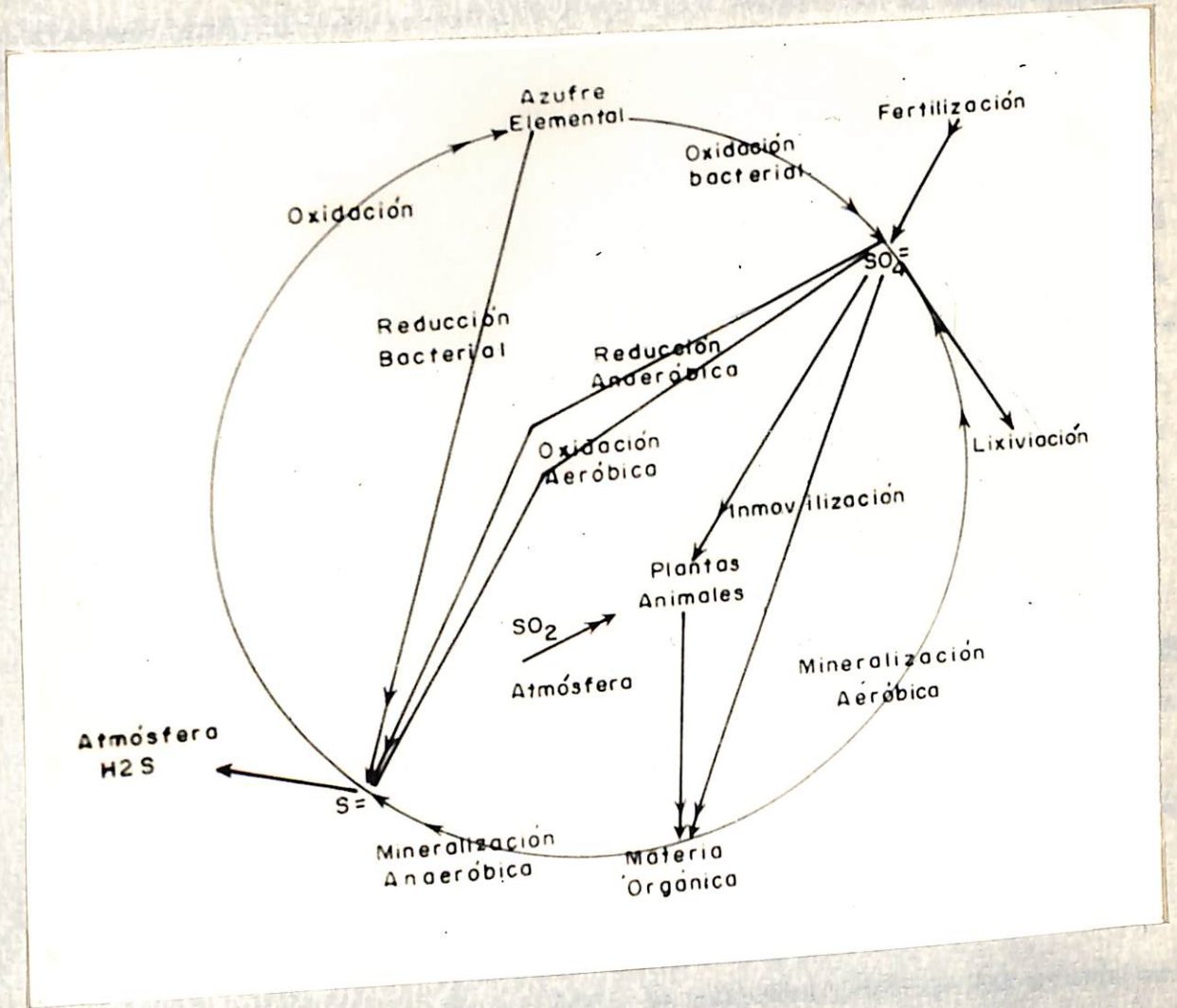


Figura 1. Ciclo del azufre propuesto por Chaudry (23).

Fotocopia: A. Duarte

Según trabajos de esos mismos autores, los requeridos retienen mas débilmente a los sulfatos que a los fosfatos, lo cual en términos generales una fertilización elevada con fosfatos representa el desalojamiento y pérdida por lixiviación de los sulfatos.

Las relaciones más importantes del azufre son las observadas con el carbono y el nitrógeno totales. Las relaciones C/S orgánico tienen valores semejantes a las de C/P orgánico, generalmente alrededor de 100. En casos extremos pueden llegar a valores de 600-700 (28). Según estudios realizados por Dominguez y Rodriguez (25), en suelos del Altiplano de Pasto, las diferentes relaciones del azufre con el carbono y el nitrógeno totales se aproximan a los promedios señalados para distintos tipos de suelos. Según Stewart (62), la relación de N/S oscila entre 6 y 12. La proporción N/S fue menor y variable que la proporción C/S. En Australia N/S fue de 10/1,21 en suelos calcáreos. En Nueva Zelanda dieron N/S de 10/1; en áreas de suelo pedregoso de Minnesota de 10/1,3 y en suelos negros de praderas y Chernozem fue de 10/1,5, esto sugiere la importancia del azufre en la formación y descomposición de la materia orgánica del suelo (28).

Según Blasco (12), la relación C/N/S de los suelos oscila mayormente entre 110/10/1,0 y 155/10/1,7. Barragán (4) dice que en varios suelos de Escocia se encontraron proporciones de 113/10/1,3 para suelos calcáreos y 147/10/1,4 para suelos húmicos no calcáreos. No obstante, las variaciones pueden ser muy diferentes dependiendo de la clase de suelo, según se desprende de los conceptos emitidos por Whitehead (69).

El mismo Whitehead (69), Williams et al. (73) y Williams y Steinsberg (72) señalan que algunos sulfatos como los de bario y de estroncio que están presentes en los suelos son prácticamente insolubles,

mientras que los de calcio son lentamente solubles y los de potasio, magnesio y sodio son fácilmente solubles.

2.1.5 El azufre en relación a las plantas y animales.

La importancia del azufre se desprende de un aspecto poco conocido: las cosechas requieren aproximadamente la misma cantidad de azufre que de fósforo (10, 11).

A este elemento se le ha prestado poca atención en las investigaciones, posiblemente por aspectos relacionados con la metodología analítica y por creencia de su existencia en los suelos en niveles adecuados, es esencial en la nutrición de las plantas y animales. El azufre es necesario para la síntesis de proteínas, principalmente a través de los aminoácidos L-cisteína, L-cistina y L-metionina. Es importante en la formación de la clorofila y mantiene elementos esenciales como el hierro y el manganeso en solución. La glutatión que contiene cistina, es importante en las reacciones de oxidación-reducción fisiológicas. El azufre es constituyente de muchos compuestos orgánicos que dan el olor y sabor a los vegetales (S-glucósidos, mercaptanos, sulfuros de alilo y vinilo, etc). Se requiere para la formación de vitaminas como biotina que aparece relacionada con la fijación de CO_2 y la tiamina que interviene en la descarboxilación de los α -cetocácidos. Ha sido aislado en varios antibióticos (penicilina, ticlutina, nisina, etc), y como cisteína interviene en la coenzima A. Muchas de las enzimas que actúan en el metabolismo contienen los grupos sulfhidrilo y disulfuro (12).

Beaton (9) indica que el azufre se almacena en las hojas antes de la floración y cuando se desarrolla el fruto se convierte en sulfato y se transloca a la semilla donde de nuevo pasa a combinaciones orgánicas.

2.1.6 Oxidación-reducción del azufre en los suelos.

De acuerdo a Fassbender (28), los procesos de oxidación y reducción de azufre en los suelos son importantísimos en la dinámica de este elemento nutritivo. Estos procesos son realizados en su totalidad por microorganismos. Las reacciones son factibles porque el azufre puede actuar con diferentes valencias o grados de oxidación entre + 6 (sulfato) y - 2 (sulfuros).

Se puede decir en síntesis que la formación de $S-SO_4^{2-}$ a partir de los compuestos orgánicos es muy poco conocida. Está establecido que la reacción se lleva a cabo en medio aeróbico y que el ácido cisteinsulfínico es paso intermedio de las distintas reacciones (12, 33, 36, 57).

La oxidación de compuestos inorgánicos a $S-SO_4^{2-}$ es por el contrario bien conocida. Un grupo de microorganismos, siendo el principal género Thiobacillus, por su acción bioquímica, hacen que el azufre elemental y los tiosulfatos pasen a formar parte de los sulfatos, en un medio aeróbico, siendo el metabolismo del tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$) el paso fundamental en la oxidación del azufre (16, 61, 67).

Cuando existen las condiciones anaeróbicas el azufre es reducido a sulfhídrico, sirviendo los sulfatos como aceptores de electrones para las bacterias reductoras, siendo la más importante la especie Desulfovibrio desulfuricans siguiéndole el género Desulfotomaculum (3, 12, 54, 55).

2.1.7 Deficiencias del azufre en suelos latinoamericanos.

El azufre es un elemento limitante en la producción agrícola de acuerdo a algunos resultados obtenidos en suelos de Latino

américa (27, 44, 49, 50, 43). Las causas de esto se pueden aducir a las bajas cantidades de materia orgánica existentes en suelos tropicales y a la fuerte retención del azufre por los óxidos de hierro y aluminio, como también de la alúmina.

A pesar de la gran abundancia del azufre total que ocurre en suelos volcánicos, no es ninguna garantía para la aprovechabilidad de las plantas; así Elasco, citado por Domínguez y Rodríguez (25) señala que la conversión de azufre aprovechable por las plantas en los suelos de Costa Rica es muy baja, posiblemente porque están complejados los compuestos orgánicos con la alúmina a través del aluminio.

Algunas erupciones volcánicas, como la del Irazú en Costa Rica (15) son abundantes en sulfatos solubles, pero estos sulfatos tampoco aparecen como muy asequibles porque o se fijan a medida que avanza la meteorización del suelo, o se lixivian como sucede en los primeros estados de descomposición de las cenizas volcánicas.

2.1.8 Metodología en la determinación del azufre.

2.1.8.1 Azufre total.

La comparación de cinco métodos para la determinación del azufre total en suelos, mostró que el método de oxidación ácida de Arkley y el método de oxidación alcalina de Tabatabai-Brenner, dieron casi idénticos resultados y fueron más precisos que los otros métodos estudiados. Las concentraciones obtenidas por el uso de espectrografía de rayos-X fluorescente para la determinación del azufre total en los suelos, fueron en promedio ligeramente mayores que aquellos obtenidos por los métodos de Arkley y Tabatabai-Brenner. Dichos resultados, indican que esta técnica se puede usar satisfactoriamente para el análisis ordinario del azufre en suelos minerales (65).

2.1.8.2 Azufre orgánico.

El azufre orgánico se manifiesta más fácilmente después de convertirlo a sulfatos (SO_4), por oxidación. Evans y Rost propusieron un método de oxidación del azufre orgánico con agua oxigenada y con suelo lavado en ácido. Pueden ocurrir mediante el empleo de este tipo de oxidación húmeda, algunas pérdidas de azufre por volatilización. Williams y Steinberg (72) emplearon hidróxido de sodio (NaOH) para extraer el azufre orgánico previa oxidación, pero las cantidades determinadas fueron inferiores a las determinadas por Evans y Rost, de acuerdo a la revisión de Bardsley y Lancaster (5).

El método presentado por Bardsley y Lancaster (5), consiste en la oxidación y retención del azufre orgánico por ignición de la mezcla de suelo con carbonato de sodio (Na_2CO_3). Habo de modificarse para asegurar la remoción de los sulfuros y sulfatos en la determinación. Este método es aplicable tanto en suelos ácidos como en suelos calóricos.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Descripción del área.

Para la realización del estudio, se dividió el departamento de Nariño en cinco zonas y la Intendencia Nacional del Putumayo en dos, basándose esta división en las condiciones geográficas y climáticas. El departamento de Nariño está situado al Sur Oeste de Colombia ($0^{\circ}50' - 2^{\circ}43' \text{ Lat. N., } 76^{\circ}47' - 79^{\circ}03' \text{ Long. O., Gr.}$). La Intendencia Nacional del Putumayo situada al Sur de Colombia ($0^{\circ}30' - 1^{\circ}12' \text{ Lat. N., } 76^{\circ}20' - 77^{\circ}01' \text{ Long. O., Gr.}$) (75).

3.1.2 Localidades.

3.1.2.1 Clima medio.

Esta región se encuentra situada en la parte Norte y Oriente del departamento de Nariño ($1^{\circ}17' - 1^{\circ}36' \text{ Lat. N., } 76^{\circ}05' - 77^{\circ}35' \text{ Long. O., Gr.}$) (75).

A pesar de la escasez y la falta de continuidad en los datos meteorológicos de esta zona, se puede decir, que aproximadamente su precipitación anual oscila entre los 1300 a 1900 mm; con una temperatura promedio de 20°C. y una altura sobre el nivel del mar que oscila entre 1350 a 1850 mts. (56).

Esta zona pertenece al Bosque Húmedo Subtropical (tropical). Es un área bastante montañosa alternada con algunos valles y cultivada con café, caña de azúcar, maíz y otros cultivos de menor importancia (56).

Rosero (56) dice que son suelos sobre cenizas volcánicas, ocupando una gran extensión y aunque se presenta con diferentes relieves y pendientes, son muy similares en su morfología y en sus características físico-químicas. Además afirma que poseen buenas características físicas que facilitan su laboreo, en cambio sus características químicas presentan ciertos problemas, especialmente en su capacidad catiónica de cambio que es alta presentado problemas en su poder regulador.

Las muestras se tomaron en pradera natural localizadas en Sandomi, La Unión, El Peñol y Sapaniego, que son las más representativas de esta región. Sus características físicas y químicas aparecen en las Tablas IX y X del apéndice, determinadas por Rosero (56).

3.1.2.2 Llanura del Pacifico.

Está localizada al Oeste del Departamento (1°25' - 1°42' Lat. N., 78°43' - 78°47' Long. O., Gr.) (75).

Es una zona que tiene una precipitación anual promedio de 3500 mm; una temperatura promedio de 26°C. y una altura sobre el nivel del mar entre los 60 - 1000 mts. Pertenece al Bosque Humedo Tropical (ph-T) y está conformada por los valles de los ríos que desembocan en el Océano Pacifico (2).

Gutiérrez, citado por Angulo et al (2) afirma que el plano costanero del Pacifico en la región de los ríos Mira, Rosario y Chagui están cubiertos de conglomerados volcánicos del Plioceno. Además señalan que la región está afectada por una intensa invasión marina comenzada a finales del Oligoceno y finalizando en el Mioceno.

Legarza y Mora (43) indican que estos suelos son menos fértiles de lo previsto para una zona tropical húmeda. El contenido de materia orgánica es baja, excepto en las regiones con formaciones de manglares, sugieren que las arcillas dominantes son caolinita sin descartar la influencia de cenizas volcánicas y arrastre de materiales más o menos meteorizados de la cordillera. Los colores de esos suelos presuponen que además, abundan sesquióxidos de hierro y aluminio.

Angulo, et al. (2) afirman que el drenaje es considerado como regular; su nivel freático en general se encuentra a menos de 1 metro, disminuyendo esta distancia en épocas lluviosas debido a la formación de una capa impermeable (Hardpan), en el subsuelo.

Las muestras fueron tomadas en Chilvi, Tangarreal, Esmeriella y Guayacana en prodera natural. Las características físicas y químicas fueron determinadas por Angulo et al, y se presentan en las Tablas IX y X del apéndice.

3.1.2.3 Sabana de Tiquozros.

Esté situada en la parte Sur del Departamento (1°05' - 1°05' Lat. N., 77°29' - 77°39' Long. O., Gr.) (75).

Registra una precipitación promedio de 750 mm. anuales con una temperatura de 11°C y una altura sobre el nivel del mar de 3000 mts. Pertenace al Bosque Húmedo Montano (bh-II) (75).

Es una región que forma parte del gran Altiplano del Ecuador surcado por grandes crestas montañosas y es una zona fría dedicada a cultivar papa y trigo que son productos de mucha importancia económica en el Departamento (75).

Las muestras se tomaron en pradera natural localizadas en el Espino, Tiquerras, Espina, y Tasma. Las características químicas y físicas fueron determinadas por Feuillet y Feuillet (29) y sus datos se pueden observar en las Tablas IX y X del apéndice.

3.1.2.4 Altiplano de Ipiiales.

Se encuentra al Sur del Departamento (0°49' - 0°53' Lat. N., 77°38' - 77°50' Long. O., Gr.) (75).

Los datos meteorológicos son escasos pero puede decirse que la precipitación es de 1500 mm. anuales; con temperatura de 12°C. y una altura sobre el nivel del mar de 2950 mts. Perteneció al Bosque Muy Húmedo Montano (bmh-M). Esta región forma también parte del Altiplano del Ecuador. (75).

Desde el punto de vista económico ocupa un puesto muy destacado en el Departamento, especialmente por su ganadería y los cultivos de papa y cereales.

Las muestras se tomaron en Aidana, Ipiiales 1, Ipiiales 2 y Puyiales en pradera natural. Sus características físico-químicas fueron determinadas por González (37) y en las Tablas IX y X del apéndice se puede observar.

3.1.2.5 Altiplano de Paoto.

Su situación geográfica está comprendida entre 0°37' - 2°43' Lat. N., 76°47' - 79°03' Long. O., Gr.) (75).

La precipitación anual es de 800 mm.; con una tempera

tura de 13°C. y una altura sobre el nivel del mar de 2825 mts. Perteneció al Bosque Seco Montano Bajo (bs-MB). (75).

El relieve es ondulado, con suelos que tienen su origen en rocas ígneas extrusivas abundando las rocas masivas entre ellas las básicas como sienitas, andesitas, y basaltos (7).

Las muestras se tomaron sobre regiones representativas como son La Laguna, Catambuco, Botana y Obonuco en pradera natural. Sus características físicas y químicas las determinaron Domínguez y Rodríguez (25) y aparecen en las Tablas IX y X del apéndice.

3.1.2.6 Bajo Putumayo.

Localizado en 0°30' - 1°10' Lat. N., 76°20' - 76°30' Long. O., Gr.) (75).

La precipitación anual es de 3200 mm; con una temperatura de 26°C. y una altura sobre el nivel del mar de 750 mts. Perteneció al Bosque Húmedo Tropical (bh-T). Es una región dedicada al cultivo del arroz, plátano, maíz y caña (75).

La región de Hoccoa está integrada por colinas pizarrosas de un color gris negrozco. Puerto Caicedo está en plena planicie selvática y se encuentra constituido por arcilla y grutas abigarradas algo rojizas. Sus características físico-químicas pertenecen a una zona tropical húmeda (75).

Las muestras se tomaron en Hoccoa y Puerto Caicedo en pradera natural. Sus características físicas y químicas fueron determinadas por el autor del presente trabajo y aparecen en las Tablas IX y X del apéndice.

3.1.2.7 Alto Putumayo.

Tiene una localización entre 1°10' - 1°12' lat. N., 76°01' - 77°00' Long. O., Gr.) (75).

La precipitación anual es de 1769,6 mm; con una temperatura de 16,3°C. y una altura sobre el nivel del mar de 2450 mts. (66).

Pertenece al Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmb-MB). Inicialmente esta región fue un lago desaguado por el río Putumayo la cual fue cubierta por rocas y derrames volcánicos en su mayoría de naturaleza andesítica y rocas metamórficas (66).

Las muestras de Sibundoy se tomaron en cultivo (trigo), sin fertilizar y las de Santiago, en pradera natural. Sus características físicas y químicas fueron determinadas por Villota (66) y se presentan en las Tablas IX y X del apéndice.

3.2 METODOS.

Los análisis físico-químicos se realizaron en el Laboratorio de Química y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Bariño.

3.2.1 Caracterización de los suelos.

Los métodos utilizados para la caracterización fueron los siguientes:

3.2.1.1 Determinación de la humedad.

Por diferencia de peso después de someter las muestras de suelo a la estufa a 105°C. durante 24 horas (58).

3.2.1.2 Determinación del pH.

Por el método del potenciómetro, empleando una relación suelo o roca/agua:1:1 (39).

3.2.1.3 Determinación del carbono orgánico.

Por el método Walkley y Black (68).

3.2.1.4 Determinación de la materia orgánica.

Multiplicando el porcentaje de carbono orgánico por

1,724.

3.2.1.5 Relación carbono-nitrógeno.

Se obtuvo del cociente C/N.

3.2.2 Fraccionamiento del Azufre.

3.2.2.1 Azufre Total.

Se siguió la metodología propuesta por Tabatabai y Brooker con las modificaciones propuestas para la determinación de sulfatos por Johnson y Hishita (64).

3.2.2.2 Azufre Orgánico.

Se siguió el método propuesto por Bardeley y Lancaster

(5).

3.2.2.3 Azufre Asequible.

Se utilizó el método recomendado por Bardeley y Lancaster

(5).

3.2.2.4 Azufre Inorgánico.

Por diferencia entre el contenido de azufre total y

el azufre orgánico, se obtuvo la fracción de azufre inorgánico.

3.2.2.5 Reserva de azufre en el suelo.

Por diferencia, entre el azufre orgánico y el azufre cosequible, se obtuvo la fracción de reserva de azufre en el suelo.

3.2.2.6 Relación carbono-azufre.

Se obtuvo del cociente C/S orgánico.

3.2.2.7 Relación carbono-nitrógeno-azufre.

Se obtuvo teniendo en cuenta la razón 1000/10N/1S or-

gánico.

3.2.3 Métodos estadísticos.

Se utilizaron criterios de regresión y correlación

(26, 30).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

La concentración de las distintas formas de azufre, así como las cantidades porcentuales de las diferentes fracciones con respecto al azufre total se presentan en las Tablas I a IV. Las figuras 4 a 9, presentan las diferencias existentes en las distintas fracciones para cada una de las regiones estudiadas.

4.1 AZUFRE TOTAL.

De acuerdo a Blanco (12), la cantidad de azufre en los suelos no pasa de 500 ppm., los valores encontrados en el Altiplano de Pasto (2027,43), sobrepasan notablemente esta concentración, no así los valores de clima medio que llegan a 103,25 ppm.

La concentración de azufre total fue muy variable, en promedio el menor valor se obtuvo en los suelos de clima medio (103,25 ppm.) y el mayor en los suelos del Altiplano de Pasto (2027,43 ppm.). Estos valores están dentro del rango determinado en la revisión realizada por Whitehead (69).

En promedio la concentración de azufre total fue mayor en los suelos que en los subsuelos. Esto se debe a la mayor acumulación de materia orgánica en los suelos, cuyos porcentajes promedio son de 5,62% para los suelos y 4,14% para los subsuelos.

Los valores de azufre obtenidos en las regiones húmedas, como la Intendencia Nacional del Futumayo y la Llanura del Pacifico, son comparables con los observados en las zonas volcánicas. No ocurre lo mismo con los suelos de clima medio que, como ya se dijo, presentaron valores muy bajos en comparación a las otras regiones. Lo anterior se podría ex-

plicar basándonos en la topografía que predomina en esta zona, en general de altas pendientes, que facilitan notablemente la pérdida de nitrógeno a causa de la erosión hídrica.

4.2 AZUFRE INORGÁNICO.

La concentración de azufre inorgánico al igual que del azufre total presentó una amplia variabilidad. En promedio, el valor más bajo se obtuvo en los suelos de clima medio (16,09 ppm.), valor que contrasta con el valor máximo que se obtuvo en los suelos del Altiplano de Pasto (1803,99 ppm.).

La alta concentración de la fracción inorgánica determinada en los suelos de origen volcánico (Sabana de Tóquerres, Altiplano de Pasto e Ipiales), posiblemente puede ser explicada por las recientes deposiciones volcánicas en especial la región influenciada por los materiales del Volcán Azufre que como el nombre lo dice, presenta altos porcentajes de azufre elemental, parte de este material pudo ser fácilmente arrastrado por las aguas desde la Zona Andina hacia la zona del Putumayo. En general, se encuentran en las laderas materiales amarillentos, inertes, insolubles en agua y cristalinos que coinciden con las características descritas por Barragán (4) para la fracción de azufre elemental.

En general, existe una predominancia del azufre inorgánico sobre el azufre orgánico (57,54% en los suelos de la Llanura del Pacífico hasta 85,37% en los suelos de la Sabana de Tóquerres). La excepción corresponde a los suelos de clima medio en donde solo el 16,77% del azufre total corresponde a esta fracción.

En promedio los suelos presentan mayores contenidos de azufre inorgánico que los subsuelos, excepción hecha de los suelos de cli-

un medio en donde el promedio para los subsuelos es mayor que para los suelos. Posiblemente esto se deba a la mayor pérdida de azufre que se presenta en la capa superficial a causa de la escorrentia. Es muy probable que con el tiempo, si no se efectúan prácticas de Conservación de Suelos, el azufre presente en el subsuelo sufra también una disminución por este mismo fenómeno erosivo.

4.3 AZUFRE ORGANICO.

Para los suelos la concentración de azufre orgánico fluctuó en promedio entre 87,15 ppm. (suelos de clima medio) y 346,52 ppm. (Ilanura del Pacífico). Estas concentraciones sobrepasan a las encontradas por McClung, et al. (50), en suelos cultivados del Brasil (24-60 ppm.), estos mismos autores encontraron que en suelos vírgenes las concentraciones oscilaban entre 10 y 247 ppm.

Con excepción de los suelos de clima medio, en los cuales el 83,22% del azufre total corresponde a la fracción orgánica, en los demás suelos esta forma es inferior a la inorgánica con cantidades relativas que oscilan entre 14,59% (Sabana de Tiqueros) y 42,45% (Ilanura del Pacífico). La explicación posible de estos resultados, puede estar basada en la cantidad de materia orgánica presente en estos suelos, además se debe tener en cuenta que los suelos de clima medio no están influenciados por el Volcán Azufre, que como se dijo con anterioridad es notablemente rico en azufre elemental, de allí la predominancia de la fracción inorgánica en los suelos de la Sabana de Tiqueros y la Ilanura del Pacífico que aunque distantes pueden haber sido influenciados por procesos de erosión hídrica.

A pesar de que algunos trabajos en suelos Australianos (32)

demuestran que el azufre orgánico oscila entre el 90 - 98% del azufre total, en el presente estudio se encontró una predominancia de la fracción inorgánica, datos que coinciden con los encontrados por Domínguez y Rodríguez (25) para suelos del Altiplano de Pasto. Como se dijo anteriormente, es muy probable que este resultado se deba a la influencia de los materiales volcánicos en especial los suelos del Volcán Azufral que tienen un amplio radio de influencia sobre la Llanura del Pacífico, la Sabana de Tágüerres y la Intendencia Nacional del Putumayo.

4.4 AZUFRE ASEQUIBLE.

El azufre asequible en forma de sulfatos, cuyas concentraciones oscilan entre 40,64 ppm. (suelos de clima medio) y 119,74 ppm. (Llanura del Pacífico), son similares a las encontradas por Domínguez y Rodríguez (25). En términos generales y de acuerdo a los anteriores autorres, el nivel asequible es aceptable aunque el azufre de reserva (Tablas I - IV), es relativamente bajo, puesto que no alcanza a duplicar la fracción asequible.

Lo anterior podría indicar futuros problemas, puesto que al mineralizarse rápidamente la fracción de reserva, podrían presentarse pérdidas por lixiviación o erosión lo que ayudaría a aumentar el déficit de este elemento.

Los datos indican que las cantidades de azufre asequible son bajas en comparación del azufre total (14%). Es posible que en este resultado estén influyendo aspectos biológicos y físicos. En los primeros pueden estar incidiendo factores que inhiben los procesos de mineralización y en los segundos las posibles pérdidas por lixiviación en forma de sulfatos. Aunque en los suelos de clima medio aproximadamente el 50% del azufre total resultó asequible, hay que tener en cuenta que estos suelos

presentaron baja concentración de azufre total y orgánico, lo que hace pensar que en un corto tiempo se presenten deficiencias de este elemento para las plantas.

En el caso del Altiplano de Pasto, los suelos presentaron altas concentraciones de azufre total, no obstante se observa que el azufre asequible es relativamente bajo, similares datos fueron encontrados por Domínguez y Rodríguez (25), es probable además que la baja mineralización que se presenta en el Altiplano de Pasto (por lo que los citados autores recomiendan activar la mineralización con aplicaciones adecuadas de fertilizantes), pueda también presentarse cierta retención por la presencia de compuestos inorgánicos amorfos como la alófana o por los hidróxidos de hierro y aluminio (14, 20, 21, 22, 38).

El promedio más alto de azufre aprovechable o asequible lo presentaron los suelos de la Llanura del Pacífico (119,74 ppm.). Esta concentración posiblemente está asociada con el porcentaje de azufre orgánico (42, 45%). Es de pensar que en esta región la mineralización se presente en adecuadas condiciones lo que no sucedió en el Altiplano de Pasto. Además muchos de los materiales emanados por el Volcán Asufreal pudieron llegar a la Llanura del Pacífico, siendo mezclados con la materia orgánica existente. A pesar de que las condiciones texturales del suelo lo podían impedir una buena mineralización, es posible que ésta se presentó adecuadamente debido al secamiento que sufrió la muestra en el tiempo que duró en laboratorio, lo que facilitó la buena aireación del suelo y por consiguiente unas mejores condiciones para el desarrollo de la vida microbiana.

En las figuras 2 y 3 y las Tablas VII y VIII se presentan los coeficientes de correlación entre las fracciones de azufre y algunas propiedades del suelo "r", los de asociación " r^2 " y las ecuaciones de regresión.

Al correlacionar el porcentaje de arcillas con el azufre total, aprovechable y orgánico, se encontró una baja correlación y por consiguiente un bajo porcentaje de asociación. Del mismo modo, se comportaron estas fracciones cuando se correlacionaron con el pH del suelo.

Únicamente al correlacionar la fracción orgánica del azufre con el asequible, se encontró una correlación significativa $r = 0,59^+$; en términos de asociación se podría decir que aproximadamente en un 35% de la variancia en la fracción aprovechable es explicada por la relación lineal de la concentración del azufre orgánico. Lo anterior está indicando que la fracción orgánica es la que más aporta azufre asequible a la planta. En este caso, cabe pensar que, en gran parte, los nutrientes de azufre disponibles dependen de la mineralización de la materia orgánica.

La relación entre el azufre total y el azufre asequible en los suelos del Altiplano de Pasto, presentan los compuestos inorgánicos de azufre más insolubles y/o la más alta capacidad de retención. En el extremo opuesto están los suelos de clima medio, que por otra parte aparecen agotados. Por lo anterior es muy probable que estos suelos respondan a la aplicación de azufre.

De acuerdo a Fausbender (23), la relación C/S orgánico oscila alrededor de 100, aclarando que se puede llegar a valores extremos como 600 y 700. En el presente caso para los suelos se encontró que un 75% del total de las relaciones calculadas oscilaban entre el 0 y 200 y un 25% de más de 200. En cuanto a los subsuelos un 62% corresponde a las relaciones de 0 a 200 y un 38% a mayores de 200. Lo anterior concuerda con los datos presentados por Domínguez y Rodríguez (25), en estudios sobre los suelos del Altiplano de Pasto y por Bormann y Ilanos (14), en sus estudios de Costa Rica cuyas relaciones fueron 380, 148 y 697 en las regiones

de Aronón, Heredia y Couredo con influencias volcánicas.

Las relaciones C/N/S orgánico, de acuerdo a Blasco oscilan entre 110/10/1,0 y 155/10/1,7, en el presente caso, para la proporción del azufre, un 79% está para los suelos por debajo de 1,00 y un 21% por encima; para el sub suelo un 75% menor de 1,00 y un 25% mayor que 1,00. Los datos anteriores concuerdan con los encontrados por Dominguez y Rodríguez (25) en suelos del Altiplano de Pasto. Estos autores explican que al aproximarse a los promedios presentados por Whitehead (69) y Williams (71), están indicando una concentración normal de los niveles de azufre en los compuestos orgánicos.

FRACCIONAMIENTO DEL AZÚCAR EN SUELOS DEL DFTO. DE HAIÑO Y LA INTENDENCIA NACIONAL DEL FUTURAYO
 RESULTADOS EN PPS. Y COMO FOMENTAJE DEL AZÚCAR TOTAL

Región	Suelo	S-Total pps.	S-Inorgánico % pps.	S-Orgánico % pps.	S-Asequible % pps.	S-de reserva % pps.
Clima medio	Sardans	75,07	14,84 (19,77)	60,23 (80,23)	28,93 (48,01)	31,30 (42,00)
	La Unión	53,17	6,97 (13,09)	46,20 (86,90)	43,42 (81,10)	2,77 (5,70)
	El Peñol	168,55	8,94 (5,30)	159,60 (94,69)	26,65 (16,00)	132,94 (79,00)
Llanura del Pacífico	Santiago	116,23	33,63 (28,93)	82,60 (71,06)	63,60 (55,20)	18,99 (16,40)
	Chilvi	1089,29	391,98 (35,97)	697,41 (64,02)	168,12 (15,40)	529,28 (48,60)
	Tongraal	1021,10	802,70 (78,61)	218,40 (21,38)	77,82 (7,60)	140,58 (13,80)
	Repiella	889,11	563,81 (63,48)	324,30 (36,52)	220,03 (24,80)	104,27 (11,70)
Sabana de Tiqueros	Guayocara	54,28	28,28 (52,10)	26,00 (47,89)	13,02 (24,10)	12,97 (24,10)
	Esipico	1450,09	1173,78 (80,99)	286,30 (19,60)	56,45 (3,80)	229,84 (15,80)
	Tiqueros	827,33	730,73 (88,32)	96,60 (11,67)	86,04 (10,40)	10,55 (1,30)
Altiplano de Iyales	Cepina	1035,98	908,58 (87,70)	127,40 (12,29)	71,82 (7,00)	55,57 (5,40)
	Suana	1670,99	1423,19 (85,17)	247,80 (14,83)	118,89 (7,10)	128,91 (7,70)
	Aldana ¹	892,44	730,74 (81,88)	161,70 (18,11)	68,15 (7,60)	93,55 (10,50)
	Iyales ²	1007,01	874,02 (86,79)	133,00 (13,20)	122,22 (12,10)	10,77 (1,10)
	Iyales	568,62	355,03 (62,57)	226,80 (39,89)	74,36 (1,30)	152,43 (26,80)
Altiplano de Pardo	Puyales	1954,68	1756,58 (89,86)	198,10 (10,13)	54,73 (2,80)	143,36 (7,30)
	La Laguna	1406,19	1276,03 (90,74)	130,16 (9,25)	63,90 (4,60)	66,25 (4,70)
	Castabuco	4201,48	3974,54 (94,59)	226,95 (5,40)	39,83 (0,90)	187,11 (4,50)
	Botana	2080,23	1870,23 (89,90)	210,00 (10,09)	56,00 (2,70)	154,00 (7,40)
Intendencia del. del Futurayo	Otomaco	421,83	95,17 (22,56)	326,66 (77,44)	48,61 (11,60)	278,04 (6,60)
	Mocon	921,72	678,12 (73,57)	243,60 (26,43)	111,55 (12,20)	132,04 (14,30)
	Pto. Encicaco	1001,87	820,57 (81,90)	181,30 (18,09)	68,02 (6,80)	113,27 (11,30)
	Sibunday	1713,48	1522,71 (88,86)	190,77 (11,13)	32,28 (1,90)	158,48 (9,20)
	Santiago	1180,99	923,19 (78,17)	257,80 (21,83)	86,24 (7,40)	170,86 (14,00)

FRUCCIONAMIENTO DEL AGUAS EN SUBSUELOS DEL DPTO. DE NARIÑO Y LA INTERFERENCIA NACIONAL DEL PTUATO
 RESULTADOS EN PPA Y COND FORNEAJE DEL AGUAS TOTAL

Región	Subsuelo	S-Total ppa.	S-Inorgánico %		S-orgánico %		S-Disponible %		S-de reserva %	
			ppa.	ppa.	ppa.	ppa.	ppa.	ppa.		
Clima medio	Sandón	120,96	54,46 (45,02)	66,50 (54,97)	14,67 (1,30)	51,82 (43,00)				
	La Unión	87,66	24,66 (28,13)	63,00 (71,87)	31,45 (35,60)	31,55 (36,40)				
	El Peñol	44,20	21,80 (49,32)	22,40 (50,67)	16,83 (38,00)	5,58 (13,70)				
	Sasandó	53,06	15,50 (29,21)	37,56 (70,78)	13,82 (26,40)	23,74 (45,30)				
Llanura del Pacífico	Chilvi	781,85	67,28 (86,04)	109,07 (13,94)	22,75 (2,90)	86,31 (23,80)				
	Tangrajal	375,79	292,49 (77,83)	83,30 (22,16)	21,79 (2,80)	61,50 (16,48)				
	Rapitolla	26,22	10,31 (39,32)	15,91 (60,64)	15,31 (57,70)	0,59 (2,30)				
	Quayocana	958,50	864,00 (90,14)	94,50 (9,85)	31,33 (3,20)	63,17 (6,60)				
Sabana de Tiqueros	Isipano	496,77	431,67 (86,99)	65,10 (13,10)	20,39 (4,00)	44,70 (9,10)				
	Tiqueros	824,46	734,16 (89,04)	90,30 (10,95)	63,40 (7,60)	26,89 (3,30)				
	Ospina	144,47	89,97 (63,15)	52,50 (36,85)	49,24 (34,50)	3,26 (2,30)				
	Tana	719,98	646,48 (89,79)	73,50 (10,20)	36,00 (5,00)	37,50 (5,30)				
Altiplano de Iyales	Aldean	1037,29	883,29 (85,15)	154,00 (14,84)	66,56 (6,10)	91,44 (8,80)				
	Iyales 1	363,14	262,34 (72,24)	100,80 (27,75)	58,93 (16,30)	41,86 (11,60)				
	Iyales 2	732,14	599,14 (81,83)	133,90 (18,29)	22,31 (3,00)	111,58 (15,16)				
	Pupiales	543,32	349,41 (64,31)	193,90 (35,69)	105,57 (19,50)	88,32 (16,20)				
Altiplano de Pasto	La Laguna	1081,77	891,42 (82,40)	190,35 (17,59)	11,02 (1,00)	179,32 (16,60)				
	Catambuco	3020,46	2967,96 (98,26)	52,50 (1,73)	33,85 (1,10)	18,64 (0,60)				
	Botana	1174,13	1096,81 (93,41)	77,31 (6,58)	67,18 (5,70)	10,13 (0,90)				
	Obarruco	930,84	794,34 (85,33)	136,50 (14,66)	98,19 (10,50)	38,30 (4,10)				
Intendencia del Cauca	Nocoe	496,81	343,94 (69,22)	152,87 (30,77)	135,79 (27,40)	17,07 (3,40)				
	Pto. Calcedo	364,01	310,81 (85,38)	53,20 (14,61)	28,33 (7,80)	24,87 (6,90)				
	Sibundoy	943,32	643,72 (68,23)	299,60 (31,76)	95,49 (9,00)	214,10 (22,70)				
	Santiago	1614,43	1387,63 (85,95)	226,80 (14,00)	94,38 (5,80)	132,41 (8,20)				

TABLA III

PROMEDIOS DE LAS FRACCIONES DE AZÚCAR EN LOS SUELOS DEL DFTO. DE HARIÑO
Y LA INTERVENCIÓN NACIONAL DEL PUTUMAYO
RESULTADOS EN PPA. Y COMO PORCENTAJE DE AZÚCAR TOTAL

Región	S-Total ppa.	S-Inorgánico %	S-orgánico ppa.	S-Asquible %	S-de reserva ppa.
Clima medio	103,25	16,09 (16,77)	87,15 (83,22)	40,64 (40,00)	46,50 (36,00)
Manana del Pacífico	1766,19	459,89 (57,54)	316,52 (42,45)	119,74 (16,00)	196,77 (25,00)
Sabana de Tiquarres	1248,60	1059,07 (85,37)	189,52 (14,59)	83,30 (7,00)	106,22 (8,00)
Altiplano de Isiales	1105,69	929,24 (80,27)	179,90 (20,33)	79,86 (6,00)	100,03 (11,00)
Altiplano de Pardo	2027,43	1803,99 (74,49)	223,44 (25,54)	52,08 (5,00)	171,35 (6,00)
Intendencia Isl. del Putumayo	1204,51	906,14 (80,62)	218,36 (19,37)	74,69 (7,00)	143,76 (9,00)

TABLA IV

PROMEDIOS DE LAS FRACCIONES DE AZÚCARES EN LOS SUBSUELOS DEL DEPTO. DE NARIÑO
Y LA INTENDENCIA NACIONAL DEL PUTUMAYO
RESULTADOS EN PPM. Y COMO PORCENTAJE DEL AZÚCARE TOTAL

Región	S-Total ppm.	S-Inorgánico %	S-Orgánico %	S-Asequible %	S-de reserva %
Clima medio	76,47	29,10 (37,92)	47,36 (62,07)	19,18 (25,00)	28,17 (35,00)
Llanura del Pacífico	535,50	462,37 (73,33)	75,69 (26,64)	22,79 (17,00)	52,89 (12,00)
Sabana de Tiqueros	545,91	475,56 (82,21)	70,35 (17,77)	41,50 (13,00)	28,09 (5,00)
Altiplano de Ipiales	668,96	523,54 (75,88)	145,65 (24,14)	62,34 (11,00)	83,30 (13,00)
Altiplano de Pasto	1551,79	1437,63 (89,85)	114,16 (10,40)	60,06 (4,00)	61,60 (5,50)
Intendencia Nacional del Putumayo	854,64	671,52 (77,19)	183,11 (22,79)	86,00 (13,00)	97,11 (10,00)

RELACIONES c/s, c/s ORGANICO, c/s/s ORGANICO EN LOS SUELOS DEL DFTO. DE MARIÑO
Y LA INTENDENCIA NACIONAL DEL FUTURAYO

Región	Suelo	c/s*	c/s	c/s/s
Clima medio	Baudoná	4,97	247,50	49/10/0,20
	La Unión	11,10	913,40	111/10/0,10
	El Peñol	8,08	182,30	80/10/0,40
	Sasniego	8,90	312,30	89/10/0,30
Llanura del Pacífico	Chilvi	7,43	29,80	74/10/2,60
	Rangeroal	6,66	61,00	66/10/1,10
	Reguelilla	3,76	113,80	37/10/0,30
	Guayocana	7,81	1561,50	78/10/0,50
Sabana de Tiquarres	Espino	3,15	56,20	314/10/0,55
	Tiquarres	3,11	34,20	31/10/0,90
	Cordina	19,90	176,60	199/10/1,10
	Tasma	11,82	169,90	118/10/0,70
Altiplano de Ipiáles	Aldana	8,73	185,50	87/10/0,50
	Ipiáles 1	2,90	72,90	29/10/0,40
	Ipiáles 2	9,42	189,20	94/10/0,50
	Papiales	6,77	371,70	67/10/0,20
Altiplano de Pesto	La Laguna	10,26	490,80	102/10/0,50
	Catabuco	4,94	126,50	49/10/0,40
	Botana	10,71	174,30	107/10/0,60
	Obonuco	8,00	68,60	80/10/1,20
Intendencia Nal. del Futurayo	Zaca	10,05	82,50	100/10/1,22
	Pto. Caicobo	7,00	166,00	70/10/0,42
	Sibundoy	6,60	435,10	66/10/0,15
	Santiago	4,00	69,90	40/10/0,60

+ Datos tomados de Romero (56), Angulo et al. (2), Feuillet y Feuillet (29), González (37), y Dominguez y Rodriguez (25) y Villota (66).

RELACIONES C/N, C/S ORGANICO, C/H/S ORGANICO EN LOS SUBSUELOS DEL DPTO. DE
 NARIÑO Y LA DEPENDENCIA NACIONAL DEL PUTUMAYO

Región	Subsuelo	C/H ⁺	C/S	C/N/S
Clima medio	Sandoná	4,12	105,30	41/10/0,40
	La Unión	14,00	422,20	140/10/0,30
	El Peñol	27,14	848,20	271/10/0,30
	Semariégo	18,64	694,10	186/10/0,30
Ilanura del Pacífico	Chilivi	10,00	91,70	100/10/1,10
	Tenzareal	27,00	291,70	270/10/0,90
	Espirdella	19,60	122,50	196/10/1,60
	Guayacana	15,58	198,00	155/10/0,80
Sabana de Tóquerres	Espino	12,70	144/40	127/10/0,90
	Tóquerres	20,71	128,50	207/10/1,60
	Ospina	8,30	142,90	83/10/0,60
	Tasma	6,40	104,80	64/10/0,60
	Aldana	13,00	714,90	130/10/0,20
Altiplano de Ipiales	Ipiales 1	2,43	0,90	24/10/2,70
	Ipiales 2	4,65	203,10	46/10/0,20
	Pupiales	12,25	256,30	122/10/0,50
	La Laguna	6,94	164,40	68/10/0,40
Altiplano de Pasto	Catambuco	4,49	497,10	44/10/0,90
	Zotana	13,60	301,40	136/10/0,50
	Otonuco	4,32	159,00	93/10/0,60
	Kocca	2,98	17,00	30/10/1,70
Intendencia Nal. del Putumayo	Pto. Caicedo	6,17	69,50	62/10/0,80
	Sibundoy	5,00	96,70	50/10/0,50
	Santiago	6,30	52,90	63/10/1,20

+ Datos tomados de Rosero (56), Angulo et al. (2), Feuillet y Feuillet (29), González (37), Domínguez y Rodríguez (25) y Villota (66).

TABLA VII

EQUACIONES DE REGRESION Y COEFICIENTES DE CORRELACION
(Resumen de las comparaciones)

X	Y	EQUACION DE REGRESION	r	OBTENIDO	r ² %	C.L.
SUELOS						
AZUFRE ORGANICO	AZUFRE ASQUINILE	Y= 34,56 + 0,20X	0,59 ⁺		35,00	23
AZUFRE INORGANICO	AZUFRE ASQUINILE	Y= 76,28 - 0,0037X	0,06 NS.		0,40	23
AZUFRE TOTAL	AZUFRE ASQUINILE	Y= 74,92 + 0,011X	0,02 NS.		0,04	23
AZUFRE TOTAL	AZUFRE ORGANICO	Y= 164,24 + 0,037X	0,24 NS.		5,70	23
PI	AZUFRE ASQUINILE	Y= 51,87 + 3,97X	0,05 NS.		0,20	23
PI	AZUFRE ORGANICO	Y= 403,08 - 49,05X	-0,22 NS.		4,80	23
CARBONO ORGANICO	AZUFRE ORGANICO	Y= 223,11 - 6,76X	-0,10 NS.		1,00	23
C. C. C.	AZUFRE ASQUINILE	Y= 93,97 - 0,71X	-0,16 NS.		2,90	23
ARCILLAS	AZUFRE ASQUINILE	Y= 82,06 - 0,33X	-0,10 NS.		1,00	23
ARCILLAS	AZUFRE TOTAL	Y= 1328,38 - 13,85X	-0,22 NS.		4,80	23
ARCILLAS	AZUFRE ORGANICO	Y= 186,10 + 0,77X	-0,08 NS.		0,70	23

⁺ Significativo

NS No significativo.

ECUACIONES DE REGRESION Y COEFICIENTES DE CORRELACION
(Resumen de las comparaciones)

X	Y	ECUACION DE REGRESION	r OBTENIDO	r ² %	G.l.
SUBSUELON					
AZUFRE ORGANICO	AZUFRE ASEQUIBLE	Y= 41,87 + 0,048X	0,25 HS.	6,70	23
AZUFRE DROMANICO	AZUFRE ASEQUIBLE	Y= 42,87 + 0,0098X	0,17 HS.	2,80	23
AZUFRE TOTAL	AZUFRE ASEQUIBLE	Y= 39,60 + 0,013X	0,22 HS.	4,80	23
AZUFRE TOTAL	AZUFRE ORGANICO	Y= 84,77 + 0,035X	0,31 HS.	9,60	23
PH	AZUFRE ASEQUIBLE	Y= 54,10 - 0,89X	-0,01 HS.	0,02	23
PH	AZUFRE ORGANICO	Y= 210,27 -17,40X	-0,16 HS.	2,80	23
CARBONO ORGANICO	AZUFRE ORGANICO	Y= 125,97 + 9,10X	0,28 HS.	9,00	23
C. C. C.	AZUFRE ASEQUIBLE	Y= 53,12 - 0,19X	-0,06 HS.	0,40	23
ARCILLAS	AZUFRE ASEQUIBLE	Y= 48,57 + 0,0075X	0,004 HS.	0,001	23
ARCILLAS	AZUFRE TOTAL	Y= 777,31 - 2,6X	-0,07 HS.	0,50	23
ARCILLAS	AZUFRE ORGANICO	Y= 122,50 - 0,56X	-0,15 HS.	2,20	23

HS. No significativo.

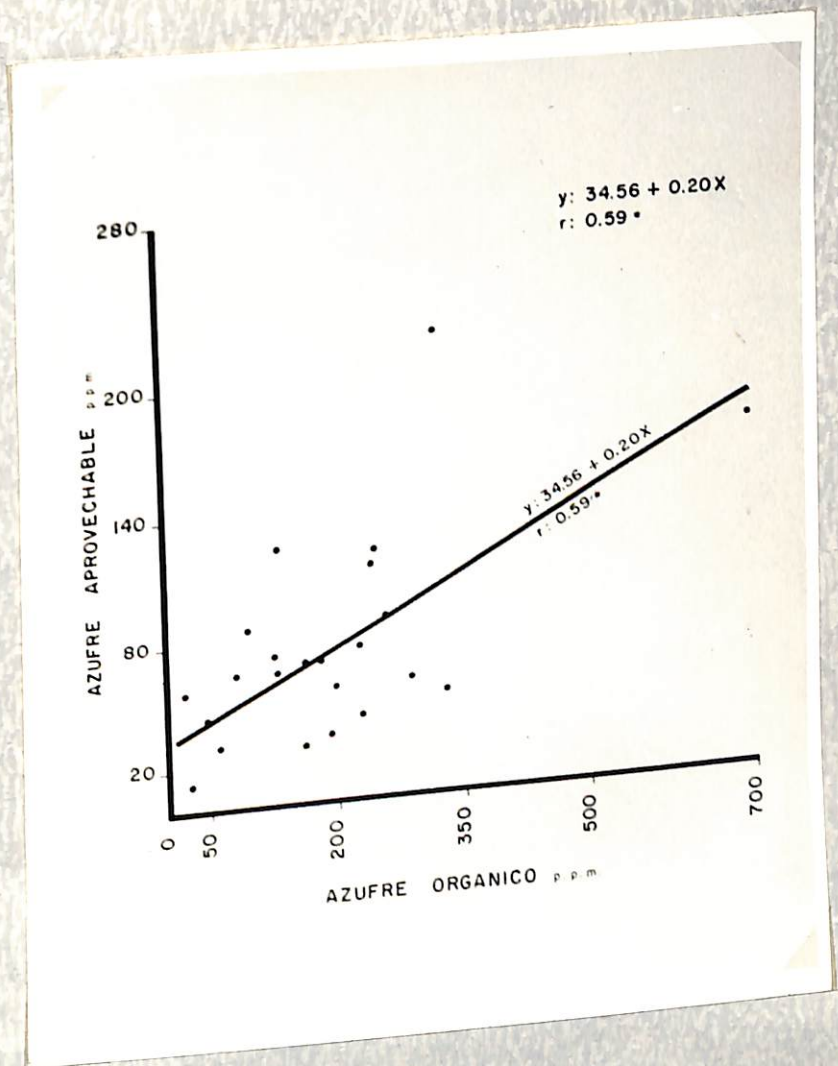


Figura 2. Relación entre el azufre orgánico y el azufre asequible en los suelos.

Fotocopia: A. Duarte.

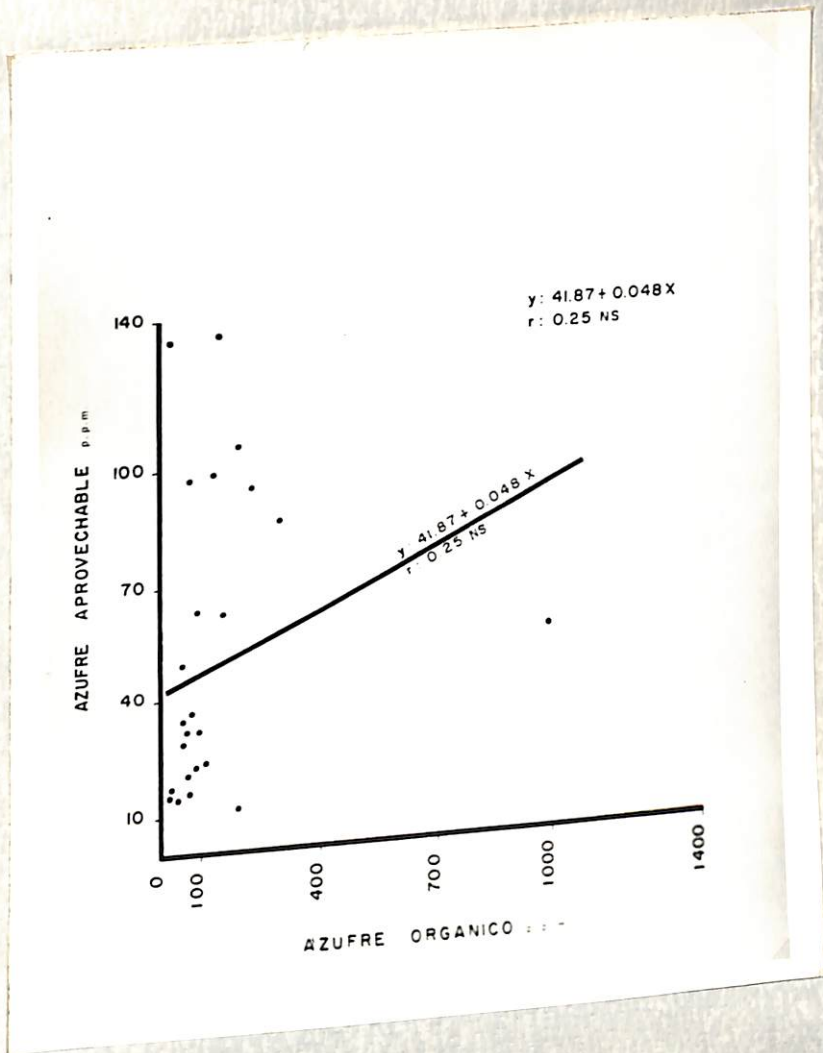


Figura 3. Relación entre el azufre orgánico y el azufre aprovechable en los subsuelos.

Fotocopia: A. Durto

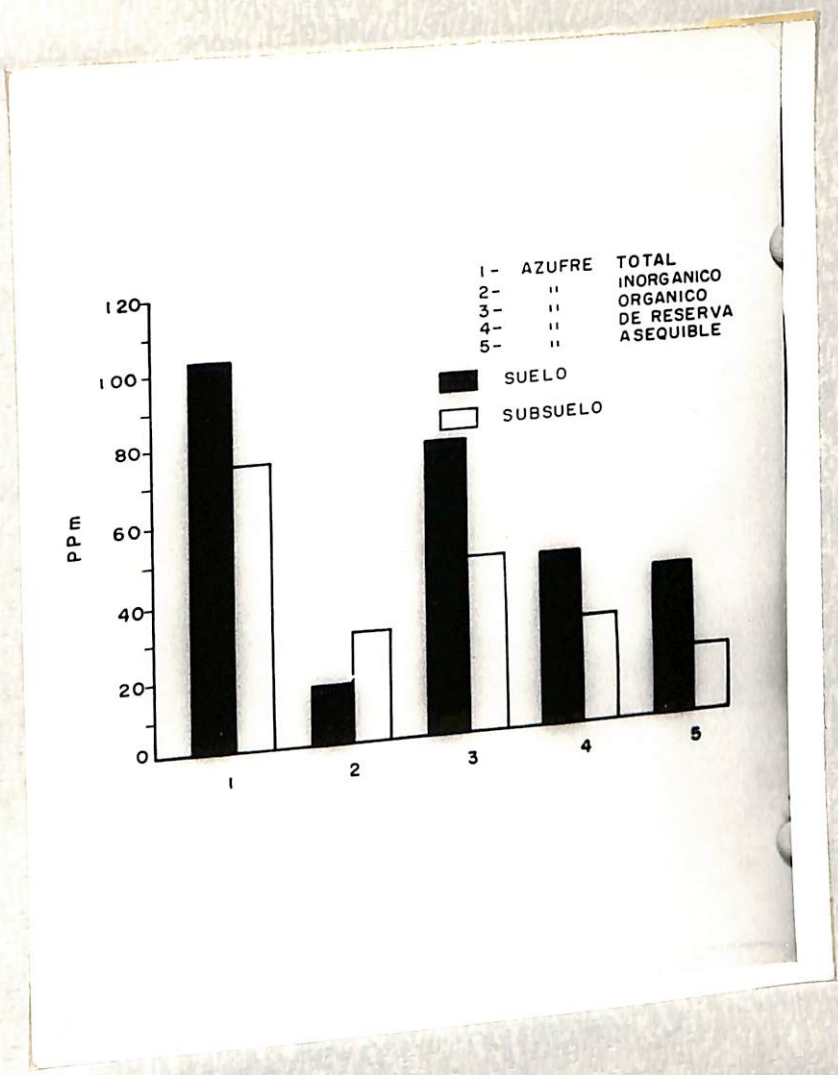


Figura 4. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en el clima no dio.

Fotocopia: A. Duarte

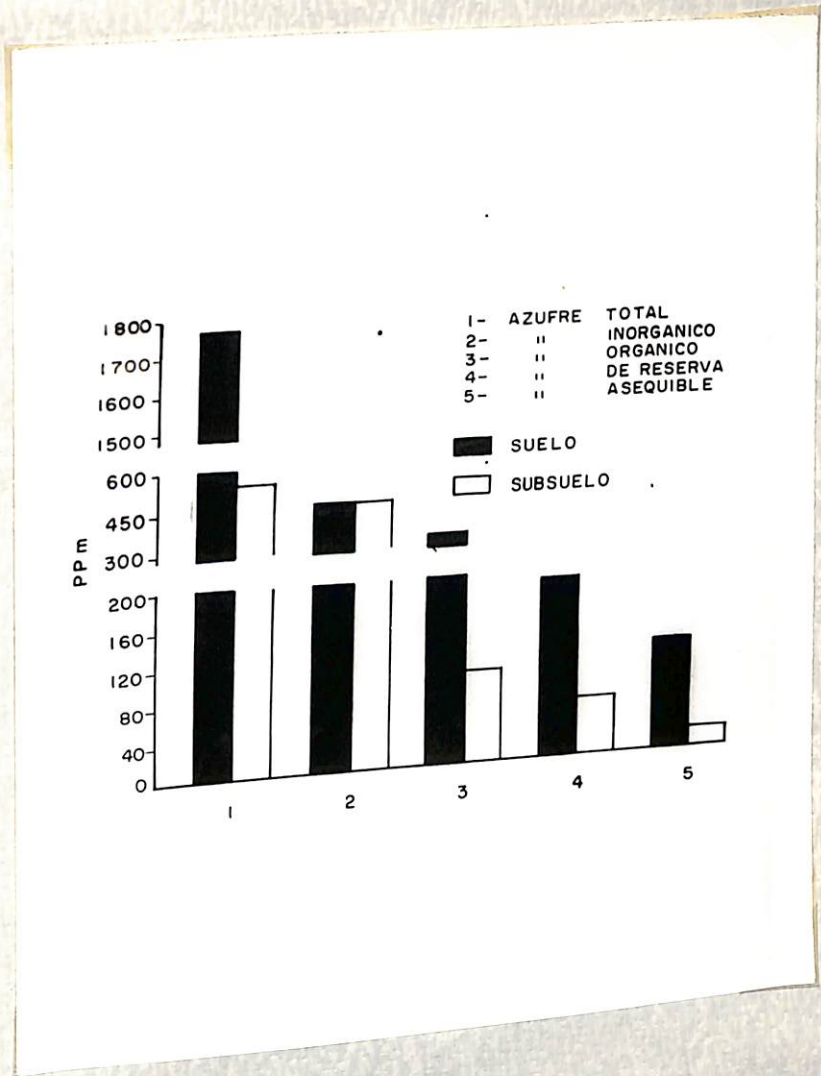


Figura 5. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en la Llanura del Pacífico.

Fotocopia: A. Duarte

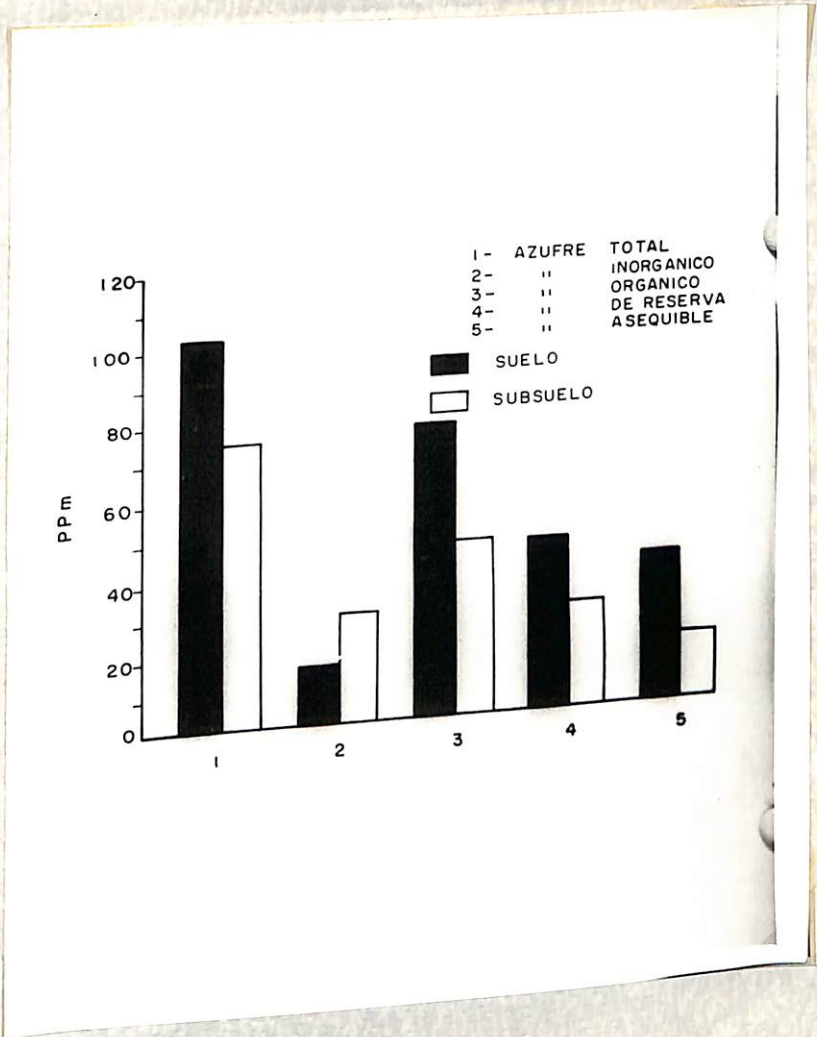


Figura 6. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en la Sabana de Tâquerres.

Fotocopia: A. Duarte

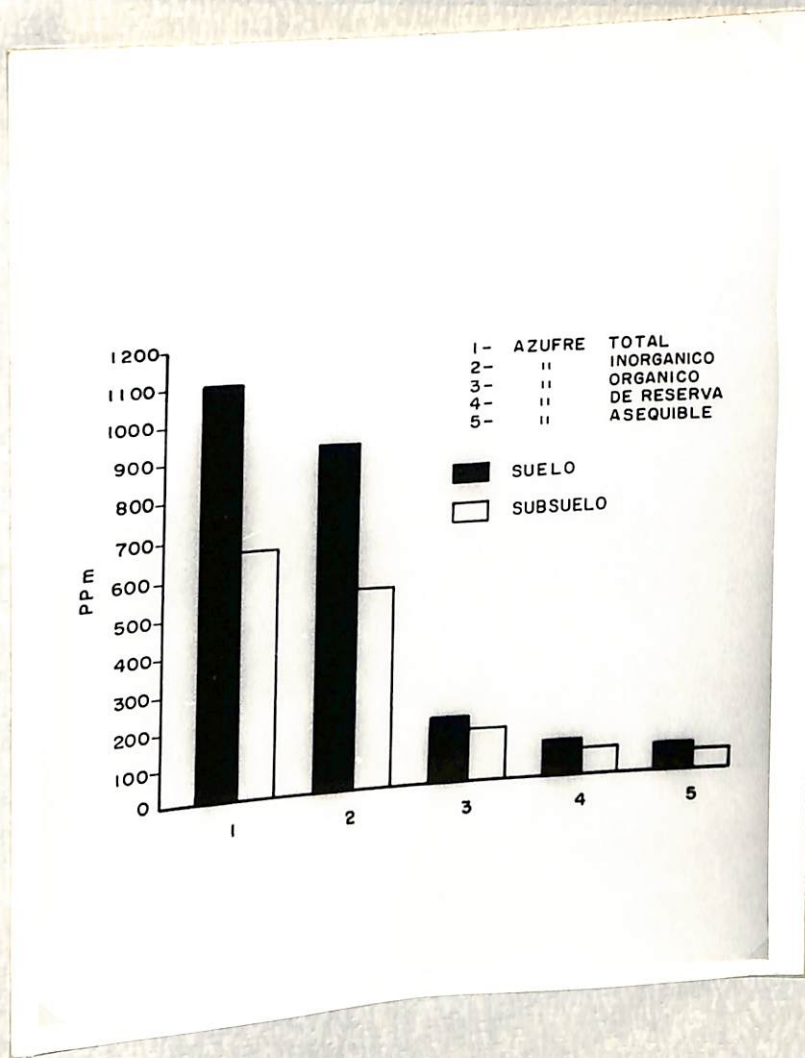


Figura 7. Contenido promedio de las diferentes fracciones de azufre en el Altiplano de Ipialas.

Fotocopia: A. Duarte

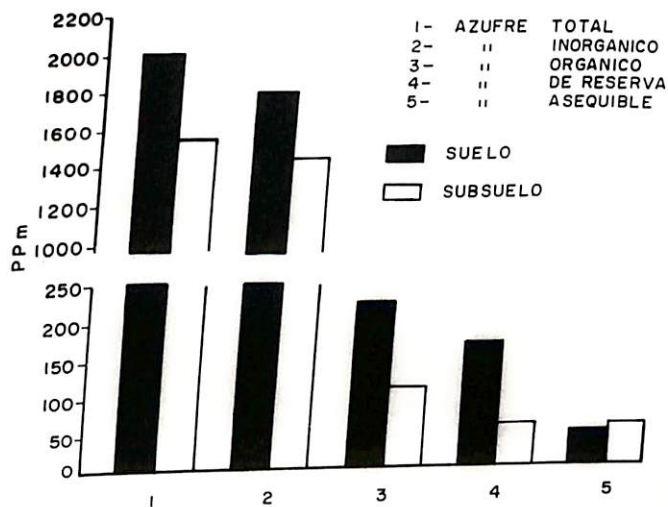


Figura 8. Contenido promedio de las diferentes fracciones de azufre en el Altiplano de Pasto.

Fotocopia: A. Duarte

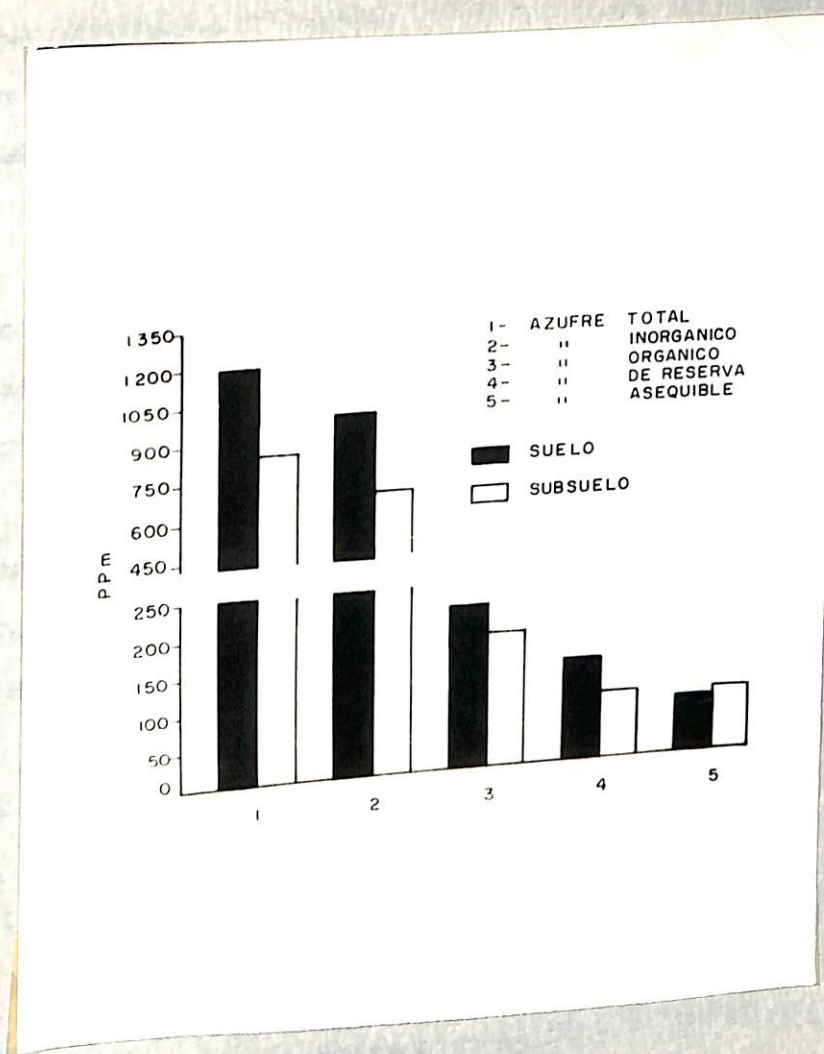


Figura 3. Contenido promedio de las diferentes fracciones de azufre en la Intendencia Nacional del Patusayo.

Fotocopia: A. Duarte

V. CONCLUSIONES

1. Los contenidos promedio de azufre total e inorgánico fueron muy variables de región en región. Los suelos de clima medio presentaron los valores más bajos y los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto los más altos.
2. En promedio, para las regiones estudiadas, el azufre inorgánico predomina sobre el orgánico. La excepción corresponde a los suelos de clima medio en donde solo el 16,7% del azufre total es inorgánico.
3. Los suelos de la región de clima medio presentaron el más bajo promedio de azufre orgánico (87,15 ppm.) y los suelos de la Llanura del Pacífico el más alto (316,5 ppm.).
4. El azufre asequible correlacionó significativamente con el azufre orgánico, indicando que ésta fracción es la que más aporta azufre disponible a la planta.
5. Dadas las concentraciones de azufre de reserva detectadas, es muy posible que en un futuro próximo se presenten deficiencias en suelos de clima medio.
6. Los procesos de mineralización presentan cierta inhibición los cuales inciden en las bajas cantidades de azufre aprovechable.
7. Los niveles de azufre de los compuestos orgánicos son normales de acuerdo a las relaciones C/S orgánico y C/N/S orgánico.
8. Dada la relación entre el azufre total y el aprovechable, los

suelos del Altiplano de Pasto presentan los compuestos inorgánicos de azufre más insolubles y la más alta capacidad de retención, no así los suelos de clima medio que demuestran un agotamiento progresivo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se deben efectuar estudios de campo y de invernadero para conocer la correlación existente entre las distintas formas de azufre presentes en el suelo y la absorción de azufre por las plantas (cultivos de clima frío y medio).
2. Estudiar con detenimiento los diferentes factores que puedan incidir en una mineralización de azufre orgánico.
3. Para los suelos de clima medio efectuar prácticas de Conservación de Suelos para evitar las posibles pérdidas que se están presentando debido a la erosión hídrica.
4. Dados los problemas que se presentan en las diferentes técnicas analíticas usadas para la determinación del azufre, sería conveniente efectuar pruebas comparativas de estas metodologías.
5. Se deben efectuar trabajos de invernadero y de campo que permitan conocer cuál es el patrón específico del azufre asimilable para los suelos de Mariño y el Putumayo.
6. Para los suelos de clima medio es conveniente efectuar aplicaciones de fertilizante cuyos componentes tengan la forma de sulfatos tales como sulfato de amonio, de potasio, etc.

VI. RESUMEN

Se estudiaron en los suelos del departamento de Mariño Sur Oeste de Colombia y la Intendencia Nacional del Putumayo Sur de Colombia, algunas fracciones de azufre y sus correlaciones con los compuestos orgánicos. El Departamento se dividió en cinco zonas y la Intendencia en dos. Las regiones estudiadas fueron: a. Clima medío, localizado entre 1350 - 1850 mts (4500 - 6166 pies) sobre el nivel del mar; con una temperatura promedio de 20°C. (68°F.) y una precipitación anual de 1300 - 1900 mm. (51 - 75 pulgadas). b. Llanura del Pacífico, situada entre 60 - 1000 mts. (200 - 3333 pies) sobre el nivel del mar; con una temperatura y precipitación promedio anual de 26°C. (79°F.) y 3500 mm. (138 pulgadas), respectivamente. c. Sabana de Tógueres, localizada a 3000 mts. (10.000 pies) sobre el nivel del mar; con una temperatura y precipitación promedio de 11°C. (50°F.) y 750 mm. (30 pulgadas) al año, respectivamente. d. Altiplano de Ipiales, se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 2950 mts. (9833 pies), una temperatura y precipitación promedio anual de 12°C. (54°F.) y 1500 mm. (59 pulgadas), respectivamente. e. Altiplano de Pasto, se encuentra a 2825 mts. (9416 pies) sobre el nivel del mar; con una temperatura de 13°C. (55°F.) y una precipitación promedio de 800 mm. (31 pulgadas) al año. f. Bajo Putumayo, situado a 750 mts. (2500 pies) sobre el nivel del mar; con una temperatura y precipitación promedio de 26°C. (79°F.) y 3200 mm. (126 pulgadas) anuales. g. Alto Putumayo, localizado a 2150 mts. (7166 pies) sobre el nivel del mar; con una temperatura y precipitación promedio anual de 12°C. (54°F.) y 5500 mm. (217 pulgadas), respectivamente.

La concentración del azufre total en los suelos y subsuelos varió entre 76 - 2027 ppm., de la cual el azufre orgánico representó el 31% y el inorgánico el 69%. Lo anterior demostró una predominancia de la forma

inorgánica sobre la orgánica. La concentración de azufre asequible fue en términos generales normal, aunque para los suelos de clima medio se puede presentar una posible deficiencia debido al bajo porcentaje (15%) de azufre de reserva que se detectó.

La correlación significativa que se encontró entre el azufre orgánico y el aprovechable, indica que la materia orgánica de acuerdo a los procesos de mineralización existentes es la fuente de esta importante fracción.

SUMMARY

Some sulfur fractions, such as total, organic, inorganic, available, in reserve and their correlation with organic compounds in soils from Department of Mariño S.W. of Colombia and Putumayo Intendency S. of Colombia were studied. Mariño was divided into five zones and Intendency into two, for purpose of the study, as follows: a. Mild climate zone, from 1350-1850 mts. (4500-6166 feet) above sea level, mean temperature of 20°C. (68°F.) and annual rainfall of 1300-1900 mm. (51-75 inches). b. Pacific Plains from 60-1000 mts. (200-3333 feet) above sea level, mean temperature and annual rainfall of 26°C. (79°F.) and 3500 mm. (138 inches). c. Tâquerros Savanna at 3000 mts. (10,000 feet) above sea level, mean temperature and annual rainfall of 11°C. (50°F.) and 750 mm. (30 inches) respectively. d. Ipiales Highlands at 2950 mts. (9833 feet) mean temperature and annual rainfall of 12°C. (54°F.) and 1500 mm. (59 inches) respectively. e. Pasto Highlands 2825 mts. (9416 feet) above sea level, with a mean temperature of 13°C. (55°F.) and mean annual rainfall of 800 mm. (31 inches). f. Low Putumayo at 750 mts. (2500 feet) above sea level, mean temperature and annual rainfall of 26°C. (79°F.) and 3200 mm. (126 inches). g. High Putumayo at 2150 mts. (7166 feet) above sea level, with a mean temperature and annual rainfall of 12°C. (54°F.) and 1,769,6 mm. (217 inches) respectively.

The total sulfur concentration in the different soils and sub-soils varied from 76 to 2027 ppm., 31% of which was organic and 69% inorganic. This showed a predominance of the inorganic form over the organic one. The available sulfur concentration was in general normal although it would be possible for the mild climate zone soils to show a deficiency of it due to a low percentage of sulfur in reserve which was determined.

The significant correlation founded between organic sulfur and

available sulfur shows that organic matter is a resource of this important fraction in accordance to the actual mineralisation processes.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ALLANAY, W.H. and J.F. THOMPSON. 1966. Sulfur in the nutrition of plants and animals. *Soil Sci.* 101:240-247.
2. ANGULO, N. et al. 1970. Fraccionamiento de nitrógeno, fósforo y potasio en el piso tropical del departamento de Narriño; Llamara del Pacifico. Tesis de grado. (no publicada). ITA. Universidad de Narriño. Pasto.
3. ARANUDI, C. and R. GRAVERI. 1964. Microbial proces in the metabolism of sulfur in soil. *Agrochimica.* 8:285-302.
4. BARRAGAN, J. 1970. La biósfera y los ciclos del nitrógeno, fósforo y azufre. Int Revisiones bibliográficas sobre química de suelos. Turrrialba, IICA. 2-30p. (miscografiada).
5. BARDSLEY, C.E. and J.D. LANCASTER. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. *Soil Sci. Amer. Proc.* 24: 265-268.
6. _____ 1965. Methods of soils analysis Part 2. Amer. Soc. Agron. Monograph No. 2:1108-1110.
7. BARRIOS, M.P. 1969. Determinación de Molibdeno, cobre y cobalto, en algunos suelos del Altiplano de Pasto. Tesis de grado. (no publicada). ITA. Universidad de Narriño. Pasto. 100p.
8. BARRON, H.J. 1961. Studies on mineralization of sulphur from soil organic matter. *Anstr. Jour. Agric. Res.* 12:306-319.
9. BRAYTON, J.D. 1966. Sulfur requirements of cereals, tree fruits,

vegetables and others crop. Soil Sci. 101:267-282.

10. BIXBY, D.W. and D.L. RUCKER. 1965. Adding plant nutrient sulphur to fluid fertilizers. The Sulphur Inst., London. Bull. Tech. No. 11. 16p.
11. _____, et al. 1964. Adding plant sulphur to fertilizer. The Sulphur Inst., London. Bull. Tech. No. 10. 41p.
12. BLASCO, M. 1970. Microbiología de suelos. IICA. Turrialba. 247p.
13. _____. 1969. Características químicas de los suelos volcánicos de Nariño, Colombia. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, IICA-FAO. Turrialba, Costa Rica. B-8:1-10.
14. BORNEMISZA, M. and R. LIANOS. 1967. Fulphate movement, adsorption and desorption in three Costa Rica soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:356-360.
15. _____, and J.C. MORALES. 1969. Some chemical characteristics of recent volcanic ash. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:528-530.
16. BURES, C.R. 1967. Oxidation of sulphur in soils. The Sulphur Inst. London. Tech. Bull. No. 13. 41p.
17. COLEMAN, R. 1966. The importance of sulfur as a plant nutrient in world crop production. Soil Sci. 101:230-239.

18. CONRAD, J.P. 1950. Sulfur fertilization in California and some related factors. Soil Sci. 70:43-54.
19. COWLING, D.W. and H.P. JONES, L. 1970. A deficiency in soil sulfur supplies for perennials in England. Soil Sci. 110:343-354.
20. CHAO, T.T., M.E. HARWARD and S.C. FANG. 1965. Exchange reactions between hydroxyl and sulfate ions in soils. Soil Sci. 99:104-108.
21. _____, 1962. Adsorption y desorption phenomens of sulfate ions in soils. Soil Sci. Proc. Soc. Amer. 26:234-237.
22. _____, 1962. Movement of S³⁵ tagged sulfate through soil columns. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26:27-32.
23. CHAUDRY, I.A. 1966. Studies on sulphur metabolism in soils. Ph.D. Thesis, University of London. 186p.
24. _____ and A.H. CORNFIELD. 1966. The determination of total sulphur in soils and plant material. The Analyst. 91:528-530.
25. DOMINGUEZ, G. y C.H. RODRIGUEZ. 1971. Estudio sobre algunos aspectos del azufre en el Altiplano de Pasto. Tesis de grado. (no publicada). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 77p.
26. DOMS, F.P. 1965. La estadística, qué sencilla. Paraninfo. 183p.

27. ESPINOSA, F.M. 1966. Preliminary information on sulphur deficiency in El Salvador. ISIC. El Salvador. Bol. Inf. Supl. No. 21.

28. PASSENDER, H.V. 1963. Azufre. In: _____ Química de Suelos. Enrialbe, IICA, 256-266pp. (mimeo).

29. BUELLST, C. y BUELLST, A. 1971. Fraccionamiento del nitrógeno, fósforo y potasio en los suelos del Altiplano de Tiquorres bajo condiciones de pradera. Tesis de grado. (no publicada). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Narino. Pasto. 88p.

30. FISHER, A.R. y P. YATES. 1963. Tablas estadísticas para investigadores científicos. 3a. ed. Aguilar, Madrid. 131p.

31. FRENEY, J.R. 1967. Sulfur-containing organics. In McLaren, A. D. y G.H. Petersen. ed. Soil biochemistry. Dekker, New York. 229-259p.

32. _____ 1961. Some observations on the nature of organic sulphur compounds in soil. Austr. Jour. Agric. Res. 12:424-432.

33. _____ 1960. The oxidation of cysteine to sulfate in soils. Austr. Jour. Biol. Sci. 13:387-393.

34. _____, et al. 1970. The determination of carbon bonded sulphur in soil. Soil Sci. 109:310-318.

35. _____ 1966. Extraction chemical nature and properties of soil organic sulphur. Jour. Sci. Food Agric. 20:440-445.

36. FRENEY, J.R. and P.J. STEVENSON. 1966. Organic sulfur transformation in soils. *Soil Sci.* 101:307-316.
37. GONZALEZ, G. 1971. Fraccionamiento del fósforo en el Altiplano de Ipiales. Departamento de Hariffo. (Tesis en desarrollo). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Hariffo. Pasto. 80p.
38. HARMARD, M.E. and H.M. REISENAUER. 1966. Reactions and movement of inorganic soil sulfur. *Soil Sci.* 101:326-335.
39. JACKSON, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Trad. por José Beltrán Martínez. Omega, Barcelona. 662p.
40. KANWAR, J.S. and S. MOHAN. 1962. Sulphur in soils. Distribution of forms of sulphur in Punjab soils. Proc. Symp. Fertilizer Indian Soils. *Bull. Nat. Inst. Sci.* 26:31-36.
41. KILMER, V.J. and NEARPASE. 1960. The determination of available sulfur in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24:337-340.
42. KUN, E. 1961. The metabolism of sulfur-containing compounds. In Greenberg, D.M. ed. *Metabolic pathways*. Academic Press, New York. Vol. II:237-261.
43. LEGARDA, L. y E. MORA. 1969. Estudio de ciertas características de algunos suelos de Hariffo relacionados con las formaciones ecológicas. Tesis de grado. (no publicada). IFA. Universidad de Hariffo. Pasto. 166p.
44. IOTT, V.L. et al. 1960. Sulfur deficiency in coffee. IREC. Bra-

oil. No. 22.

45. LOHRE, L.S. and V.A. DE LONG. 1963. Carbon bonded sulphur in calcareous Quebec soils. *Canad. Jour. Soil Sci.* 43:151-155.
46. _____ 1961. Aspects of sulphur status of three Quebec soils. *Canad. Jour. Soil Sci.* 41:141-146.
47. MASSOUHI, A. and A.E. CORNFIELD. 1964. Total sulphur and water-soluble sulphate contents of soils and their relations to other soil properties. *Jour. Sci. Food Agric.* 15:623-625.
48. _____ 1963. A rapid method for determining sulphate in water extracts of soils. *The Analyst.* 88:321-322.
49. NOCIANO, A.C., L.M. DE FREITAS and W.L. LOTT. 1959. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulphur. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 23:221-224.
50. _____ *et al.* 1960. Preliminary fertility studies on "Cassipou Corredos" Soils in Brazil. *IBRC. Brasil.* No. 13.
51. MELVILLE, G.E. *et al.* 1969. Investigation on the use of a chelating resin for the extraction of sulphur from soil. *Jour. Sci. Food Agric.* 22:203-206.
52. MILLER, D.S. and C. DONOSO. 1963. Relation between the sulfur/nitrogen ratio and the protein value of diets. *Jour. Sci. Food Agric.* 14:345-349.

53. MULLER, E.B. 1965. Sulphur deficiency in some Central American soils. *Turrialba*. 15:208-215.

54. POSTGATE, J.R. 1965. Recent advances in the study of the sulfate reducing bacteria. *Bacteriol. Rev.* 29:425-441.

55. _____ 1959. Sulfate reduction by bacteria. *Ann. Rev. Microbiol.* 13:505-520.

56. ROSERO, G., L.C. 1970. Fraccionamiento del nitrógeno en algunos suelos del Clima Hedo del Departamento de Nariño. Tesis de grado. (no publicada). ITA, Universidad de Nariño. Pasto. 114p.

57. SCHARFENSEEL, H.W. and R. KRAUSSE. 1963. Radio-chromatographic investigations on the cycle of sulfate and of the S-amino acid cysteine and methionine. *Z. Pflanz. Dung. Bodenk.* 101:11-23.

58. SILVA, P. et al. 1963. Métodos analíticos de Laboratorio de Suo-
los. 2a. ed. Agustín Codazzi. (Bogotá). 13p.

59. SIMON-SILVESTRE, G. 1969. Los sulfatos solubles du sol. *Ann. Agron.* 20:435-447.

60. _____ 1967. Observations sur le cycle annuel du soufre dans un sol sous climat modorément pluvieux. *Agrochimica.* 12-60-68.

61. STRAKEY, R.L. 1966. Oxidation and reduction of sulphur compounds. *Soil Sci.* 101:297-306.

62. STEWART, B.A. 1967. Nitrogen-Sulphur relationships in plant tissues, plant residues and soil organic matter. In: Jacks, G.V. ed. Soil Chemistry and fertility. ^{SSS} L., Aberdeen. 131-138p.
63. SWINDALE, L.D. 1969. Properties of volcanic ash soils. In Panel sobre suelos derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. IICA/FAO. Turrialba, Costa Rica. B-10:1-9.
64. TABATABAI, M.A. and J.M. BRENNER. 1970. An alkaline oxidation method for determination of total sulfur in soils. Soil. Sci. Amer. Proc. 34:62-65.
65. _____ . 1970. Comparison of some methods for determination of total sulfur in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:417-420.
66. VILLOTA, M., M.J. 1970. Determinación de boro, cobalto, cobre y molibdeno, en los suelos del Valle del Sibundoy; Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis de grado. (No publicada). ITA, Universidad de Nariño. Pasto. 88p.
67. VISHNIAC, W. and P.A. TRUDINGER. 1962. Symposium on autotrophy. V. Carbon dioxide fixation and substrats oxidation in the chemosynthetic sulfur and hydrogen bacteria. Bact. Reviews. 26:168-175.
68. WALKLEY, A. and I.A. BLACK. 1934. An examination of the Degtjarev method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.

69. WHITESHEAD, D.C. 1964. Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle. *Soils and Fert.* 27:1-8.
70. WILLIAMS, C.H. 1967. Some factors affecting the mineralization of organic sulphur in soils. *Plant and soil.* 26:205-223.
71. _____ 1967. Nitrogen, sulphur and phosphorus, their interactions and availability. In Jacks, C.V. ed. *Soil Chemistry and fertility.* I.S.S.S., Aberdeen. 93-111p.
72. _____ and A. STEINBERGS. 1964. The evaluation of plant available sulphur in soils. II. The availability of adsorbed and insoluble sulphates. *Plant and soil.* 21:50-62.
73. WILLIAMS, C.H. et al. 1960. Carbon, nitrogen, sulphur and phosphorus in some scottish soils. *Jour. Soil Sci.* 2:334-346.
74. YOUNG, L. and A.C. HAN. 1958. *The metabolism of sulphur compounds.* Methuen, London. 180p.
75. ZAMBRANO, D.H. et al. 1969. Atlas agrológico del Departamento de Bariloche. Tesis de grado. (no publicada). I.M. Universidad de Bariloche. *Pasto.* 257p.

A P P E N D I X

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS DEL DFTO. DE MARIÑO
Y LA INTENDENCIA NACIONAL DEL FUTURAYO

REGION	SUELOS	PROFUND. cm.	HUMEDAD %	PH	C.ORG. %	N.TOTAL %	C/N	M.O. %	C. C. O. mg/100gr.
Clima medio	Sandón	0-50	10,40	5,80	1,49	0,30	4,97	2,57	28,34
	La Unión	0-100	10,76	5,90	4,22	0,30	11,10	7,28	24,22
	El Peñol	0-60	5,34	5,90	2,91	0,36	8,08	5,02	26,45
	Samaniego	0-30	7,62	6,30	2,58	0,26	8,93	4,45	37,28
Llanura del Pacífico	Chilvi	0-50	6,27	5,60	2,08	0,28	7,43	3,59	24,29
	Tangraal	0-5	7,48	6,10	1,33	0,29	6,66	3,33	26,94
	Boyriella	0-15	11,01	5,40	3,69	0,98	3,76	6,36	35,93
	Guayacana	0-7	8,56	5,40	4,06	0,52	7,81	6,99	17,10
Sabana de Túquerres	Esipino	0-80	49,75	5,10	1,61	0,51	3,15	2,77	20,22
	Túquerres	0-75	43,88	6,60	0,33	0,10	3,11	0,56	22,05
	Ospina	0-85	15,10	5,80	2,25	0,11	19,90	3,87	21,51
	Tama	0-100	9,57	5,70	4,21	0,35	11,82	7,25	1,60
Altiplano de Iyiales	Alcázar	0-40	8,17	6,90	3,00	0,34	8,73	5,17	21,60
	Iyiales 1	0-40	6,00	7,70	0,97	0,33	2,90	1,67	16,54
	Iyiales 2	0-60	5,93	6,10	4,20	0,45	9,42	7,39	25,88
	Pupiales	0-20	11,69	5,90	7,76	0,14	6,77	13,37	34,88
Altiplano de Pasto	La Laguna	0-30	12,49	5,55	6,39	0,62	10,26	11,01	45,41
	Catambuco	0-35	15,10	5,00	2,87	0,34	4,94	8,35	29,80
	Botana	0-25	12,44	6,30	3,66	0,34	10,71	4,01	30,74
	Obenuco	0-25	20,42	5,95	2,24	0,27	8,00	3,86	28,50
Intendencia Nal. del Futurayo	Mocca	0-20	5,33	5,30	2,01	0,20	10,05	3,46	18,84
	Pto. Calcedo	0-15	5,45	4,70	3,01	0,43	7,00	5,19	17,70
	Sibundoy	0-40	10,54	5,10	8,30	1,25	6,60	14,30	53,70
	Santiago	0-20	12,47	5,40	1,80	0,45	4,00	3,10	30,00

SECCION	SUBSUELO	PROFUND. cm.	HUMEDAD %	PH	C. ORG. %	N. TOTAL %	C/N	H. O. %	C. C. C. mg/100 gr.
Lima medio	Sandoná	60-100	12,46	5,90	0,70	0,17	4,12	1,20	24,88
	La Unión	100-X	9,57	6,10	2,66	0,19	14,00	4,59	38,63
	El Peñol	60-X	7,80	5,00	1,90	0,07	27,14	3,28	45,06
	Samundego	30-X	10,54	7,00	2,61	0,14	18,64	4,60	45,04
Llanura del Pacifico	Chilivi	5-55	7,84	5,90	1,00	0,10	10,00	1,73	21,45
	Tangarual	5-85	7,36	5,80	2,43	0,09	27,00	4,19	14,38
	Espruella	15-65	4,89	5,70	1,95	0,10	19,60	3,38	10,60
	Guayacana	7-49	9,54	4,90	1,87	0,12	15,58	3,22	12,37
Sabana de Tiqueros	Bapino	20-110	4,58	6,80	0,94	0,07	12,70	1,62	13,54
	Tiqueros	75-125	6,38	6,70	1,16	0,05	20,71	2,00	12,83
	Oyuna	85-125	13,97	6,10	0,75	0,09	8,30	1,29	4,30
	Tama	100-180	10,76	6,40	0,77	0,12	6,40	1,32	11,20
Altiplano de Ipiiales	Aléana	20-80	6,38	6,60	11,01	0,30	13,00	18,98	21,11
	Ipiales 1	15-60	3,75	7,70	0,09	0,03	2,43	0,15	9,05
	Ipiales 2	60-120	4,59	5,10	2,72	0,58	4,65	4,68	19,60
	Pupiales	20-60	14,38	6,20	4,97	0,40	12,25	8,57	29,13
Altiplano de Pasto	La Laguna	30-90	3,02	5,60	3,13	0,45	6,94	5,39	52,30
	Catambuco	4-70	33,97	6,00	2,61	0,22	4,49	11,71	25,30
	Botana	25-70	20,42	5,50	2,33	0,17	13,60	4,01	32,62
	Obomaco	25-60	6,38	6,15	2,17	0,23	4,32	3,74	23,08
Intendencia Nat. del Putumayo	Kococ	20-70	10,40	5,40	0,26	0,09	2,98	0,45	22,03
	Pto. Guacado	15-120	12,00	6,10	0,37	0,06	6,17	0,64	8,39
	Sibunday	40-70	7,80	5,50	2,90	0,44	5,00	6,60	30,00
	Santiago	20-50	7,62	5,70	1,20	0,19	6,30	2,10	20,80

DESCRIPCION PORIENORIZADA DE LAS MARCHAS ANALITICAS

Anufre Total.

Se siguió la metodología propuesta por Tabatabai y Bremer (64), con las modificaciones presentadas por Johnson y Nishita y cuyo procedimiento es el siguiente: se coloca una muestra de suelo fino, seco al aire, que contiene 0,1 - 0,2 grs. de nitrógeno, en un frasco seco de digestión-destilación y se adicionan 3 ml. de solución de hipobromito de sodio. Se agita el frasco por unos cuantos segundos para que se mezcle el contenido y se deja reposar por unos 5 minutos. Luego se agita el frasco otra vez por unos pocos segundos y se coloca recto en un baño de arena situado en una cabina, regulando la temperatura de la arena, entre 250-260°C. Se calienta el frasco hasta que el contenido se evapore a sequedad, y se continúa calentando por espacio de 30 minutos. Se remueve el frasco del baño de arena, permitiendo que se enfríe 5 minutos, se adiciona 1 ml. de agua y se calienta el frasco, en el baño de arena, por unos pocos segundos para llevar el residuo a una suspensión. Se remueve el frasco en el baño de arena, agitándolo por unos pocos segundos y se deja enfriar a una temperatura ambiente. Se adiciona 1 ml. de ácido fórmico y 4 ml. de la mezcla reductora, se moja el empaque del frasco con una gota de agua y se conecta prontamente el frasco al aparato de digestión-destilación.

Para la determinación de los sulfatos, se siguió la técnica propuesta por Johnson y Nishita y que consiste en lo siguiente. Se coloca 10 ml. de solución lavadora de pirogalón y fosfato de sodio en la columna lavadora del gas. Se coloca 5 ml. de solución de acetato de sodio y acetato de zinc, en un frasco volumétrico de 50 ml. con tapa enmerilada, que se usará como receptor y se adicionan 5 ml. de agua destilada. Se conecta el tubo de desprendimiento del brazo lateral de la columna lavadora del

gas y se coloca el frasco receptor en su sitio. Se inserta el tubo de desprendimiento dentro del líquido cerca del fondo del frasco receptor. En todas las conexiones por donde pasa el azufre se usan tubos de "Tygon" insertados en tubos de caucho y se espata el frasco al condensador. Se conecta el tubo a la fuente de nitrógeno y se ajusta el flujo de nitrógeno para obtener una salida de 2 burbujas/segundo al frasco receptor. Se pasa agua fría a través del condensador, después de hacer fluir el nitrógeno durante 5 minutos, se enciende el microquemador y se mantiene el contenido del frasco receptor a baja ebullición durante 1 hora.

Se renueva el frasco receptor manteniendo el tubo de conexión en la solución de acetato de zinc. Se retira y se emplea una pipeta de entrega rápida. Se adiciona 5 ml. de solución de Para-aminodimetilanilina. Se tapa rápidamente el frasco y se mezcla el contenido a fondo, se añade 1 ml. de solución de sulfato férrico amoniacal, se mezcla el contenido nuevamente, se renueva el tubo de conexión; se lava con agua destilada y luego se diluye la solución del frasco y se lleva a un volumen con agua destilada. Se tapa el frasco y se mezcla el contenido a fondo. Después de 20 minutos y antes de 24 horas se lee la intensidad del color azul de metileno en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 660 milimicras, se emplea el filtro rojo para el azul de metileno. Si el color del azul de metileno es demasiado intenso para tomar la lectura, se efectúa una dilución adecuada con una solución que contenga 5 ml. de solución de Para-aminodimetilanilina y 1 ml. de sulfato férrico amoniacal en 50 ml. de agua destilada libre de azufre.

Para preparar la curva de calibración se procede de la siguiente manera: se disuelve 0,5434 grs. de sulfato de potasio en agua destilada libre de azufre y se diluye la solución a un volumen de 1 litro, emplea de agua destilada libre de azufre, para obtener así una solución que con

tenga 100 ppm. de azufre y una solución estándar de 100 ppm. Se prepara una serie de soluciones que contengan 0, 1, 2, 5, 10 y 20 ppm. de azufre. Se transfieren 4 ml. del agente reductor y se continúa el procedimiento en pleado para las muestras, se emplea 5 ml. de acetato de sodio y acetato de zinc y 5 ml. de agua destilada en el frasco receptor de 50 ml. Se construye un gráfico de concentración/absorbancia.

Azufre Orgánico.

Se agita 10 grs. de suelo seco a 105°C. con 50 ml. de HCl 1N durante 30 minutos. Se filtra la suspensión sobre un crisol Gooch tarado, cubierto con papel filtro, se transfiere todo el suelo con agua destilada. Se lava el residuo con 100 ml. de acetato de calcio 1 N, seguido con un lavado de agua destilada con el objeto de remover el exceso de acetato de calcio. Se deseca el crisol y su contenido a 105°C. con el objeto de efectuar los análisis en base de suelo seco. Se tamiza el suelo a través de malla 20.

Se pesa y se coloca 2,5 grs. de suelo tamizado por malla 20 en un crisol de porcelana de forma alta. Se mezcla intimamente 0,5 grs. de bicarbonato de sodio con el suelo y luego se añade una cantidad adicional de 0,5 grs. en forma de película, sobre la superficie. Se calienta la mezcla a 500°C. en un horno eléctrico por 3 horas. Se enfría la mezcla y luego se transfiere el contenido del crisol a un "erlenmeyer" de 50 ml. Por medio de una pipeta o bureta se agregan 25 ml. de la solución extractora, usando primero 10 ml. para lavar el crisol y se adiciona el resto lentamente para evitar la pérdida por separación. Después de cesar la reacción se agita el contenido del frasco por 30 minutos. La suspensión del suelo se filtra con papel seco Whatman No. 1. Se pipetea 10 ml. del filtrado dentro del balón aferado de 50 ml. Se adiciona 1 ml. de la solución de

gona de sosa y 1 ml. de HCl 6N. Se agita el contenido del frasco y se adiciona 0,5 grs. de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ cristalizado y se deja reposar el frasco por espacio de 1 minuto. Luego se agita el contenido hasta que los cristales estén disueltos. Después de 2 y antes de 8 minutos se lee la luz transmitida o absorbida sobre un colorímetro o espectrofotómetro usando un filtro de longitud de onda de 420 milimicras. Se determina la concentración de sulfato en una curva estandar.

Para construir la curva de calibración se procede de la siguiente manera: se disuelve 0,5434 grs. de sulfato de potasio en una solución extractora en balón aforado de 1 litro y se diluye la solución con más solución extractora. La solución resultante tiene 100 ppm. de azufre. Usando diferentes proporciones de la solución extractora y de la solución estandar de 100 ppm. se preparan soluciones con concentraciones de 0, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50 ppm. de azufre. A 25 ml. de cada una de las soluciones anteriores se adiciona 1 gramo de bicarbonato de sodio. Se pipetea 10 ml. de cada una de las soluciones resultantes dentro de un "erlenmeyer" de 50 ml. Se adiciona 1 ml. de la solución de sosa y 1 ml. de HCl 6N, y se continúa como con las muestras. Se lee la transmisión o absorción en un instrumento adecuado. Se lee la curva de la concentración del azufre. Este procedimiento fue propuesto por Bardsley y Lancaster (5).

Azufre asoquible.

Se utilizó también el propuesto por Bardsley y Lancaster (5) que es el siguiente: se agitan 10 grs. de suelo tamizado por malla 20 con 25 ml. de la solución extractora en un "erlenmeyer" de 50 ml. durante 30 minutos. Se filtra la suspensión del suelo con papel filtro Whatman No. 42 libre de sulfato. Se pipetea 10 ml. del filtrado a un "erlenmeyer" de 50 ml. Se añade un ml. de la solución patrón ácida, se agita en remolino

la solución y se añade 0,5 gra. de cristales de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Se deja reposar la mezcla por 1 minuto, luego se agita en remolino la solución en el "erlenmeyer" hasta que los cristales se disuelvan. En un intervalo de 2 a 3 minutos, después de que los cristales se han disuelto se lee la transmisión o absorción en un colorímetro o espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 milimicras y se encuentra la concentración de sulfatos con la curva estándar.

Para preparar una curva de calibración se procede como sigue: se disuelve 0,5434 gra. de sulfato de potasio en la solución extractora en un frasco de 1 litro y se alcanza el volumen de 1 litro con más solución extractora. La solución resultante tiene 100 ppm. de azufre. Se usan diferentes proporciones de la solución extractora y la estándar de 100 ppm. y se hacen series que contengan 0, 2, 5, 10, 20, 25, 30 y 40 ppm. de azufre añadido. Para esta operación se usan frascos volumétricos de por lo menos 25 ml. Se añaden 0,25 gra. de carbón a las soluciones estándar y se agitan durante 3 minutos. Se filtran las soluciones con papel filtro seco Whatman No. 42.

Se pipotean 10 ml. de cada solución en "erlenmeyer" de 50 ml. y se añade 1 ml. de la solución patrón de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Se mezclan los contenidos y se añaden 0,5 gra. de cristales de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y se deja que el frasco repose por 1 minuto; luego se agita en remolino el contenido del frasco hasta que los cristales estén disueltos. Se lee la absorción o transmisión dentro de 2 a 3 minutos en un colorímetro o espectrofotómetro con una longitud de onda de 420 milimicras. En papel milimetrado se coloca el porcentaje de luz transmitida o absorbida contra la concentración de azufre. Se debe realizar un blanco a pesar de la pureza de los productos químicos y el papel filtro.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
T Inventario: 57220
631.82 Autor: Héctor Fabio Ayala León
A973 Título: Estudio del azufre en algunos
Ej.1



T
631.82
A973
Ej.1

57220

Universidad de Nariño
Pasto (Nariño)

5 7 2 2 0

Universidad de Nariño
BIBLIOTECA
ALBERTO QUIJANO GUERRERO