

ESTUDIO SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DEL AZÚFRE EN
EL ALTIPLANO DE PASTO

Por

GUILLEMO DOMINGUEZ DUQUE
CARLOS HUGO RODRIGUEZ MOLINA

Tesis de grado presentada como requisito parcial para
optar al título de Ingeniero Agrónomo
del Departamento de Agronomía de la Universidad
de Nariño.

Presidentes de Tesis
MARIO BLASCO LAMENCA I.A., Ph.D.
RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A., M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA
1.971

AN
T
631.4
D 671

A LA COMISIÓN DE BIENES
A BIENES
A BIENES
A BIENES

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

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

[Faint, illegible text or stamp]

[Faint, illegible text or stamp]

A LA MEMORIA DE MI MADRE

A MI PADRE

A MI ESPOSA

A MI HIJA

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

FINIS

DEDICO :

GUILLERMO DOMINGUEZ DUQUE

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

DR. ROBERTO GARCÍA GARCÍA, M.D., Ph.D.

DR. HENRY GILBERTO SANCHEZ, M.D., Ph.D.

DR. J. J. JIMÉNEZ GARCÍA, M.D.

DR. J. J. JIMÉNEZ GARCÍA, M.D.

DR. J. J. JIMÉNEZ GARCÍA, M.D.

DR. J. J. JIMÉNEZ GARCÍA, M.D.

DR. J. J. JIMÉNEZ GARCÍA, M.D.

DR. J. J. JIMÉNEZ GARCÍA, M.D.

DR. J. J. JIMÉNEZ GARCÍA, M.D.

DR. J. J. JIMÉNEZ GARCÍA, M.D.

DEDICO :

CARLOS H. RODRIGUEZ MOLINA

AGRADECIMIENTO A :

MARIO BLASCO LAMENCA, I.A., Ph.D.

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

HERNAN BURBAÑO ORJUELA I.A.

FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA

PERSONAL DE LABORATORIO DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA UNIVERSIDAD
DE NARIÑO.

LAS PERSONAS QUE EN UNA U OTRA FORMA CO
LABORARON EN EL DESARROLLO DEL PRESENTE
TRABAJO.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
2.1 GENERALIDADES	2
2.1.1 <u>Situación.</u>	2
2.1.2 <u>Ecología y Climatología.</u>	2
2.1.3 <u>Geología y Topografía.</u>	2
2.1.4 <u>Propiedades químicas</u>	3
2.2 GENERALIDADES DEL AZUFRE	5
2.2.1 <u>Historia.</u>	5
2.2.2 <u>Formas y contenido del azufre en los</u> <u>suelos.</u>	5
2.2.3 <u>Relación del azufre con algunos ele-</u> <u>mentos del suelo.</u>	7
2.2.4 <u>El azufre en relación a las plantas</u> <u>y animales.</u>	8
2.2.5 <u>Oxidación-reducción del azufre en</u> <u>los suelos.</u>	8
2.2.6 <u>Deficiencias de azufre en suelos la-</u> <u>tinamericanos.</u>	9
III. MATERIALES Y METODOS	11
3.1 SUELOS	11
3.2 METODOS	11
3.2.1 <u>Caracterización de los suelos</u>	11
3.2.2 <u>Fraccionamiento del azufre.</u>	18
3.2.3 <u>Métodos estadísticos.</u>	26

	Pág.
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	27
4.1 FRACCIONAMIENTO DEL AZUFRE.	27
4.2 RELACION DEL AZUFRE CON LOS COMPUESTOS ORGA- NICOS	44
4.3 LIXIVIACION DEL AZUFRE	53
4.4 CORRELACION ENTRE EL S-TOTAL Y H ₂ S.	60
V. CONCLUSIONES	64
VI. RECOMENDACIONES	66
VII. RESUMEN	67
SUMMARY	68
VIII. BIBLIOGRAFIA	69

UNIVERSIDAD DE NARIÑO			
BIBLIOTECA			
ALBER TOQUIANO GUERRERO			
No.	19610 -	Fac.	_____
Ej.	_____	Vol.	_____
		Lib.	_____
Valor \$	_____	Don.	_____
		Can.	_____
		Com.	_____
Fecha	_____	Recd.	_____

ILUSTRACIONES

	Pág.
Figura 1. Municipio de Pasto. Localización de las regiones volcánicas estudiadas.	12
Figura 2. Esquema del aparato utilizado en la determinación de sulfuros.	23
Figura 3. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en suelos del Altiplano de Pasto.	37
Figura 4. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en subsuelos del Altiplano de Pasto.	38
Figura 5. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en el perfil frailejón (oryandepto) del Volcán Galeras.	39
Figura 6. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en el perfil cima (vitran depto lítico) del Volcán Galeras.	40
Figura 7. Contenido de las distintas fracciones de azufre en rocas del Volcán Galeras.	41
Figura 8. Comparación del contenido promedio de azufre total y azufre inorgánico en el Altiplano de Pasto y Volcán Galeras.	42
Figura 9. Relación entre el carbono orgánico y el azufre orgánico en los suelos.	45
Figura 10. Relación entre el carbono orgánico y el azufre orgánico en los subsuelos.	46

	Pág.
Figura 11. Relación entre el azufre total y el azufre orgánico en los suelos.	47
Figura 12. Relación entre el azufre total y el azufre orgánico en los subsuelos	48
Figura 13. Relación entre el nitrógeno total y el azufre orgánico en los suelos.	49
Figura 14. Relación entre el nitrógeno total y el azufre orgánico en los subsuelos.	50
Figura 15. Relación entre el azufre total y el nitrógeno total en los suelos.	51
Figura 16. Relación entre el azufre total y el nitrógeno total en los subsuelos	52
Figura 17. Relación entre el S-total y el H ₂ S en los suelos.	61
Figura 18. Relación entre el S-total y el H ₂ S en los subsuelos	62

IX. Caracterización del suelo de la zona de estudio (Municipio de San Juan de los Rios) del Estado de Veracruz	31
X. Caracterización del suelo de la zona de estudio (Municipio de San Juan de los Rios) del Estado de Veracruz.	33
XI. Caracterización edáfica, química y física de las fracciones de sulfuro en los suelos del Municipio de San Juan de los Rios.	37

TABLAS

		Pág.
TABLA	I. Algunas características generales de los suelos del Altiplano de Pasto.	13
TABLA	II. Algunas características generales de los subsuelos del Altiplano de Pasto	14
TABLA	III. Algunas características generales del perfil frailejón Volcán Galeras.	15
TABLA	IV. Algunas características generales del perfil cima del Volcán Galeras	16
TABLA	V. Algunas características generales de las rocas del Volcán Galeras.	17
TABLA	VI. Fraccionamiento del azufre en suelos del Altiplano de Pasto.	28
TABLA	VII. Fraccionamiento del azufre en subsuelos del Altiplano de Pasto.	29
TABLA	VIII. Fraccionamiento del azufre en el perfil frailejón (Cryandepto) del Volcán Galeras	30
TABLA	IX. Fraccionamiento del azufre en el perfil cima (Vitrandepto lítico) del Volcán Galeras.	31
TABLA	X. Fraccionamiento del azufre en rocas del Volcán Galeras.	32
TABLA	XI. Contenido máximo, promedio y mínimo de las fracciones de azufre en los suelos del Altiplano de Pasto.	33

TABLA XII.	Contenido máximo, promedio y mínimo de las fracciones de azufre en los subsuelos del Altiplano de Pasto.	34
TABLA XIII.	Contenido máximo, promedio y mínimo de las fracciones de azufre en el perfil frailejón (cryandepta) del Volcán Galeras . . .	35
TABLA XIV.	Contenido máximo, promedio y mínimo de las fracciones de azufre en el perfil cima (vitrandepto lítico) del Volcán Galeras. .	36
TABLA XV.	Relaciones C/N, C/S orgánico, C/N/S orgánico en los suelos del Altiplano de Pasto	54
TABLA XVI.	Relaciones C/N, C/S orgánico, C/H/S orgánico en los subsuelos del Altiplano de Pasto.	55
TABLA XVII.	Relaciones C/N, C/S orgánico, C/H/S orgánico en los suelos y roca del Volcán Galeras.	56
TABLA XVIII.	Lixiviación de azufre en suelos del Altiplano de Pasto mediante la adición de ácido clorhídrico 0.01N durante 5 días.	57
TABLA XIX.	Lixiviación de azufre en subsuelos del Altiplano de Pasto mediante la adición de ácido clorhídrico 0.01N durante 5 días. . .	58
TABLA XX.	Lixiviación de azufre en suelos y roca del Volcán Galeras mediante la adición de ácido clorhídrico 0.01N durante 5 días.	59

TABLA XXI. Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación (Resumen de las comparaciones)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PSICOLÓGICAS

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene como propósito principal el de establecer la relación que existe entre el nivel de inteligencia y el nivel de personalidad. Para ello se han utilizado los datos obtenidos en el estudio de la personalidad de los sujetos que participaron en el estudio de la inteligencia. Los resultados de este estudio se presentan en el capítulo II. En el capítulo III se discuten los resultados obtenidos y se comparan con los resultados de otros estudios realizados en este campo.

El estudio del nivel de inteligencia y del nivel de personalidad se ha realizado en un grupo de sujetos que han sido seleccionados para el estudio de la personalidad. Los datos obtenidos en este estudio se presentan en el capítulo II. En el capítulo III se discuten los resultados obtenidos y se comparan con los resultados de otros estudios realizados en este campo.

(1) Este estudio se realizó en el Instituto de Investigaciones Psicológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo la dirección de la Dra. María Elena López de Haro y la asistencia de la Dra. María Elena López de Haro.

ESTUDIO SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DEL AZUFRE EN
EL ALTIPLANO DE PASTO (+)

Por

GUILLEMO DOMINGUEZ JACOB

CARLOS HUGO RODRIGUEZ MOLINA

I. INTRODUCCION

El azufre es un elemento necesario para la nutrición de plantas y animales. Sin embargo, debido, posiblemente, a las dificultades que presentan los procesos analíticos de su determinación, los investigadores le han dedicado muy escasa atención. En suelos latinoamericanos hay una falta de datos considerable y, hasta donde se consultó la literatura, ningún fraccionamiento.

El estudio del azufre es impostergable, puesto que en muchas partes del mundo se viene reportando su deficiencia. Es muy probable que en un futuro no muy lejano, este elemento sea uno de los que reciba más atención en suelos del trópico por sus problemas de lixiviación y fijación. En el presente estudio se determinó el estado del azufre en algunos suelos volcánicos típicos de Pasto, Colombia.

(+) Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Mario Blasco L. I.A., Ph.D. y Ricardo Guerrero R., I.A., M.Sc.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES.

2.1.1 Situación.

El área estudiada corresponde al denominado Altiplano de Pasto y Volcán Galeras ($1^{\circ}10'$ lat. Norte; $77^{\circ}15'$ long. Oeste, Gr.), situados en el departamento de Nariño, Sur Oeste de Colombia ($0^{\circ}37' - 2^{\circ}43'$ lat. N., $76^{\circ}47' - 79^{\circ}03'$ Long. O., Gr.) (72).

2.1.2 Ecología y Climatología.

De acuerdo a la clasificación de Holdridge y siguiendo la dirección altiplano (2.500 m.s.n.m.)-Volcán Galeras (4.262 m.s.n.m.), se encuentran sucesivamente las formaciones: Piso Montano Bajo - bosques seco y húmedo; Piso Montano - bosque húmedo; Piso Subalpino - monte húmedo; Piso Alpino - tundra húmeda (10).

La inconsistencia de los registros climatológicos hace difícil establecer datos concretos para la zona estudiada. La Estación de Obonuco (2.670 m.s.n.m.), registra una precipitación anual de 700 mm. con una temperatura media de 13°C . En la Granja Experimental de Botana (2.750 m.s.n.m.), los promedios anuales de lluvia y temperatura son 781 mm. y 13°C , respectivamente.

2.1.3 Geología y Topografía.

Como es anotado por Varela, citado por Blasco (10), la mayor parte de Nariño está dominado por rocas eruptivas modernas que provienen de la actividad volcánica de fines del terciario hasta nuestros días. El Valle de Atriz o Altiplano de Pasto está constituido por una seq

cia de material volcánico cascagoso (40).

Bueno (14), indica que la composición predominante de las rocas eruptivas de los depósitos neovolcánicos es de brechas bastante compactas con cantos de andesitas, bombas andesíticas, tobas de lapilis, cenizas en diversos grados de compactación y derrames andesíticos.

Sisona (+), según Hubert Polissonnier & Bernard Réze Interro - Jean Coguel, clasifica las rocas del Volcán Galeras como lava microlítica básica con aflicte deficitario, conteniendo feldespatos y feldespatoides con dominancia calcocédica, de la familia de los teralitos, grupo de los traquibasaltos probablemente del tipo Tefrito.

Topográficamente, el Altiplano es una depresión (Valle de Atriz) en el Huilo de los Pastos, desde el cual se dividen los Andes en tres cordilleras.

2.1.4 Propiedades químicas.

Los suelos son moderadamente ácidos. En promedio el nitrógeno contenido de materia orgánica (10,85%) se presenta en el Hanto Incedo Subalpino, en la proximidad del cono volcánico del Galeras (40). Para los suelos del Altiplano, el promedio de la materia orgánica, se aproxima al 4% (52).

La capacidad catiónica de cambio es relativamente alta, aunque por el hecho de haber sido determinada por el método del acetato

(+) Material original no publicado.

de amonio, no se descarta una adsorción física del reactivo en los materiales inorgánicos amorfos. Estadísticamente la capacidad catiónica de cambio aparece más relacionada con la presencia de materia orgánica que con la fracción mineral menor de 2 micras (10).

La mayor concentración de bases ha sido reportada por Legarda y Mora (49), en la faja altitudinal Montano (B.T.X: 20,13 me/100 g). Esta es el área de más fuerte influencia volcánica en Maricao (excepción de los conos volcánicos que pertenecen a las fajas Subalpina y Alpina) (10).

En general, en los suelos del Altiplano se puede considerar que los contenidos de nitrógeno total y orgánico son altos. El nitrógeno intercambiable ($N-NH_4$) parece ser adecuado. No obstante desde el punto de vista de fertilidad de los suelos, posiblemente en cosechas de periodo largo (v.g. cereales) la cantidad de nitrógeno disponible no sea suficiente si se tiene en cuenta el débil poder amonificante encontrado en varios de los suelos estudiados (10).

En los andosoles del Altiplano, tanto el fósforo total como las otras fracciones (excepción del inerte) presentan cantidades menores que las reportadas para otros suelos volcánicos de América Central (10). El contenido de fósforo aprovechable es bajo (salvo en zonas fertilizadas) (52). El fósforo orgánico puede representar hasta un 25% del fósforo total. La suma de los fosfatos de hierro y aluminio (inferior al 15% del fósforo total) es siempre superior a la suma de los fosfatos cálcicos (10).

En los suelos del Altiplano el potasio total se puede considerar adecuado, aunque las cantidades estén por debajo del promedio

general. Teniendo en cuenta otras investigaciones realizadas en Colombia, Ordóñez (52), señala que en los suelos del Altiplano de Pasto es donde hay un mayor contenido promedio de potasio intercambiable, lo cual indica que actualmente cualquier plantación agronómica que se realice en el Altiplano tiene disponibilidades suficientes e inmediatas de potasio.

2.2 GENERALIDADES DEL AZUFRE.

2.2.1 Historia.

Históricamente, debido a los trabajos de De Saussure en 1804, se ha reconocido que el azufre es un elemento esencial constitutivo de las plantas, siendo Bogdanoff quien, en 1898, señaló la importancia del azufre en la fertilidad de los suelos (23).

Dentro de la microbiología de suelos, Cruser fue el primer investigador en demostrar, en 1870, que los filamentos de las bacterias del género Rozziatiba presentaban inclusiones de azufre, y a finales del siglo pasado Winogradsky demostró que el azufre es producido por la oxidación del sulfídrico mediante acción bacteriana (9).

2.2.2 Formas y contenido de azufre en los suelos.

De acuerdo a la revisión realizada por Whitehead (66), el azufre total de los suelos es muy variable, oscilando entre 2,2 y 3.500 mg. de S/100 g, correspondiendo las cifras más altas a suelos pantanosos marinos y suelos salinos en áreas áridas. En suelos australianos Williams (67), señala cantidades que van desde 125 a 1018 pps. de azufre total. Tabatabai y Bremner (62), dan valores próximos a las 290 pps. para los suelos de Rothamsted (Inglaterra), y para algunos suelos franceses Simon-Gyvestre (58), indica que el azufre total representa

entre el 0,147 y el 0,094% del suelo.

El azufre orgánico constituye un alto porcentaje del azufre total. Según diversos autores (30,42,48), esta fracción se subdivide en dos partes: una de ellas en la que el azufre está unido directamente al carbono y su reducción produce sulfuro inorgánico, y otra en que no hay unión directa con el carbono y su reducción produce sulfídrico.

De acuerdo a Freney (30), y Freney et al. (33), el azufre orgánico equivale al 90 - 98% del azufre total en distintos suelos australianos. En suelos canadienses Lowe y De Long (42,43), indican que la fracción orgánica del azufre varía entre 47 y 58% del total en suelos orgánicos, mientras que en suelos inorgánicos el porcentaje de azufre orgánico está comprendido entre 12 y 35%. En suelos del trópico brasileño Neclung et al. (46), dan cifras entre 10 y 247 ppm. Es posible que en algunos suelos tropicales haya interferencias en la determinación del azufre orgánico ya que, según Freney et al. (32), el hierro y el manganeso afectan los procesos de oxidación-reducción dentro de la marcha analítica.

En el suelo, los compuestos orgánicos azufrados más importantes son la cistina, cisteína y metionina, y en segundo término la taurina, tiamina, biotina y el ácido tióctico, también llamado lipoico (29,39,71).

Como señala Williams (68), los suelos muestran cantidades usualmente pequeñas de azufre asequible a las plantas. Datos obtenidos por distintos autores (19,37,38,57), permiten indicar que los rangos más comunes del azufre disponible para las plantas, aparecen comprendi-

dos entre 10 y 50 ppm. Bardsley y Lancaster (3), consideran como reserva del azufre en los suelos a la diferencia entre el azufre orgánico y el intercambiable, encontrando una correlación altamente significativa entre esa reserva y el azufre obtenido por las plantas en un lapso de tres cosechas.

2.2.3 Relación del azufre con algunos elementos del suelo.

Las relaciones más características del azufre son las observadas con el carbono y nitrógeno totales. Stewart (69), señala que la relación H/S varía entre 6 y 12. Las relaciones C/S orgánico tienen valores que oscilan, igualmente que las C/P, generalmente alrededor de 100. En casos extremos puede llegar a valores de 600 - 700 (27). La relación C/E/S orgánico puede ser aproximada a $130/10/1,3$ (5,66). No obstante las variaciones pueden ser bastante diferentes dependiendo de la clase de suelo, según se desprende de la revisión de Whitehead (66).

Diversos autores (11,20,21,22,35), han demostrado que el azufre es retenido por los óxidos de hierro y aluminio, significando que en suelos abundantes en dichos sesquióxidos (como los suelos tropicales y volcánicos), se pueden presentar deficiencias de azufre intercambiable. Por otro lado, y según los trabajos de esos mismos autores, los suelos ricos en sesquióxidos retienen más fuertemente los fosfatos que los sulfatos, lo cual en términos prácticos puede significar que una fertilización elevada con fosfatos representa el desalojamiento y pérdida de los sulfatos por lixiviación.

De acuerdo a Whitehead (66), Williams et al. (70), y Williams y Steinbergs (69), los sulfatos de bario y estroncio presentes en los suelos son prácticamente insolubles, los sulfatos de calcio son lentamente solubles, y los sulfatos de potasio, magnesio y sodio son fácilmente solubles.

2.2.4 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 (7,8).

El azufre es requerido por plantas y animales para la formación de las proteínas a través de la síntesis de los aminoácidos L-cistina, L-cisteína y metionina. Es importante para la formación de la clorofila y mantiene en solución elementos esenciales, como el hierro y manganeso. Se requiere para la formación de vitaminas, que como la biotina, es necesaria para la fijación de CO_2 . También es necesario para la coenzima A y para la conformación de uniones disulfúricas que regulan la estructura del protoplasma. El olor y sabor de muchas especies vegetales (mostaza, cebollas, ajos, etc) dependen de los compuestos azufrados (1,9,16,23,49).

De acuerdo a Beaton (6), el azufre se almacena en las hojas antes de la floración, y cuando se desarrolla el fruto se convierte en sulfatos y se translocan a las semillas donde de nuevo pasa a combinaciones orgánicas.

2.2.5 Oxidación-reducción del azufre en los suelos.

Es el fenómeno químico más importante del azufre, y de él depende su disponibilidad a las plantas. En síntesis se puede decir que la formación de S-O_4^{2-} a partir de los compuestos orgánicos es poco conocida. Está establecido que la reacción se realiza en medio aeróbico y el ácido cisteinsulfínico es paso intermedio de las distintas reacciones (9,31,34,55).

Por el contrario, la oxidación de los compuestos inor-

gánicos a $S-30\frac{4}{4}$ es bien conocida. Por acción bioquímica de un grupo especializado de microorganismos, de los cuales el más importante es el Thiobacillus, el azufre elemental y los tiosulfatos pasan a formar, en un medio aeróbico, sulfatos. El metabolismo del tiosulfato (S_2O_3) 2 parece como el paso fundamental en la oxidación del azufre (15,59,63, 64).

En condiciones anaeróbicas, el azufre inorgánico es reducido a sulfhídrico, sirviendo los sulfatos como aceptores de electrones para las bacterias reductoras. El microorganismo más importante en esta reducción es el Desulfovibrio desulfuricans (2,53,54).

2.2.6 Deficiencias de azufre en suelos latinoamericanos.

Algunos resultados obtenidos en suelos latinoamericanos (26,41,46,47,51), hacen suponer que el azufre es un elemento limitante en la producción agrícola. Las causas que se aducen para estas deficiencias se desprenden del bajo contenido de materia orgánica en suelos tropicales y la fuerte retención del azufre por los óxidos de hierro y aluminio, y la alófana.

La abundancia de azufre total que, a veces, ocurre en suelos volcánicos no es ninguna garantía para la aprovechabilidad por las plantas. Así Blanco (+), señala que la conversión de azufre a aprovechable por las plantas en suelos costarricenses es muy baja, posiblemente porque están acoplados los compuestos orgánicos con la alófana a través del aluminio.

(+) comunicación personal.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 SUELOS.

Se estudiaron suelos de materiales volcánicos, pertenecientes a las zonas de Anganoy, Aranda, Botana, Catambuco, Cujacal, Jongobito, La Laguna, Mapachico, Nocondino, Obonuco y Yacuanquer en el Altiplano de Pasto y estribaciones del Volcán Galeras (véase figura No. 1). Las muestras se tomaron bajo condiciones de pradera, tanto en el suelo como en el subsuelo. También se recogieron algunas piedras en la cima del Volcán Galeras, con el fin de analizar su contenido de azufre.

Algunas propiedades de estos suelos, de importancia para el desarrollo de la presente investigación, se encuentran en las Tablas I a V.

Las muestras fueron secadas al aire, tamizadas para que tengan la finura necesaria antes de realizar las diferentes determinaciones y guardadas en frascos de vidrio mientras se desarrolló el trabajo.

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 Nariño.

3.2.1 Caracterización de los suelos.

Los métodos utilizados para su caracterización fueron los siguientes:

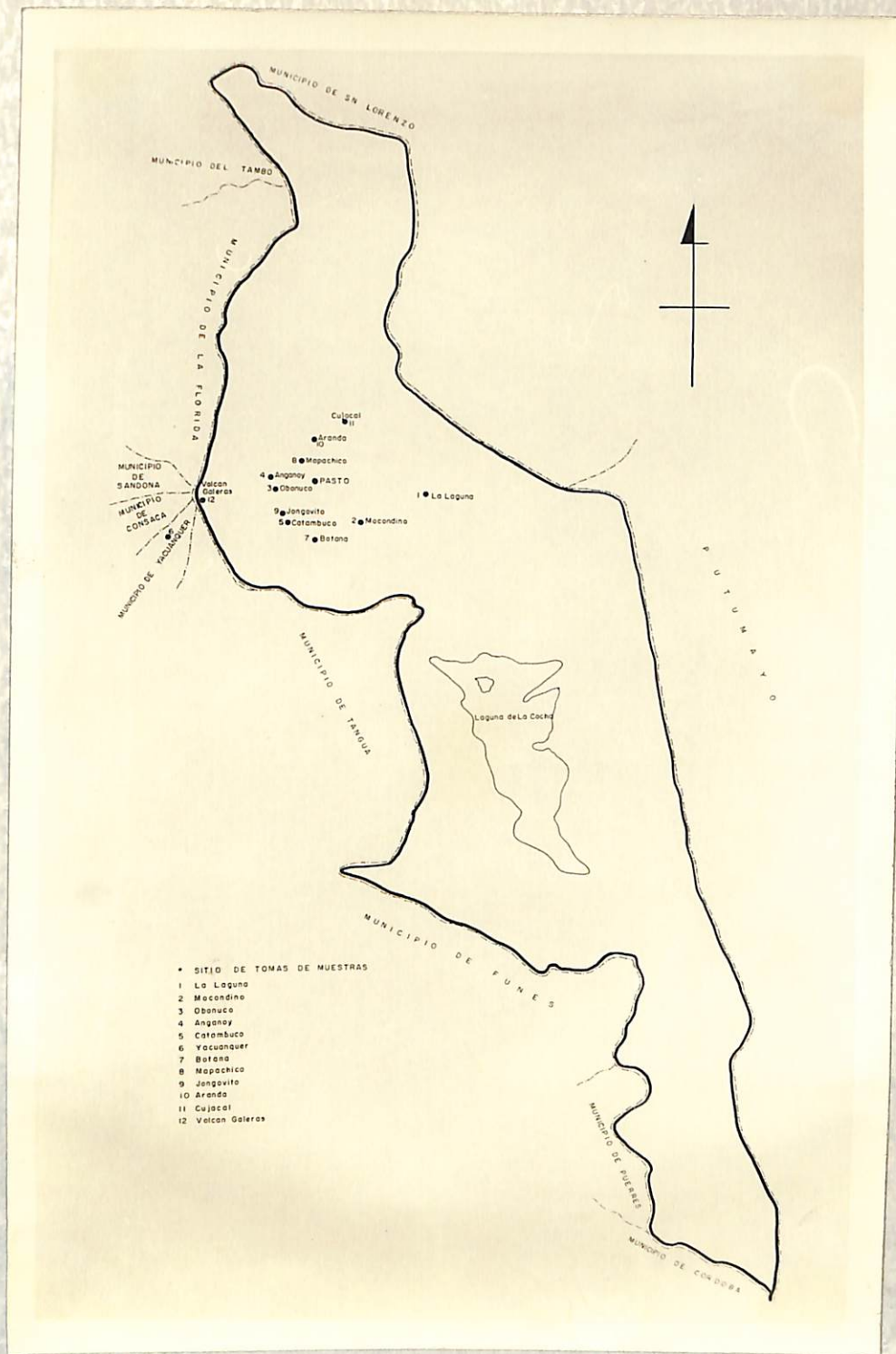


Figura No. 1. Municipio de Pasto. Localización de las regiones volcánicas estudiadas.

Foto: I. Santaorus

TABLA I

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS DEL AIRIPIANO DE PASTO

SU-LOS	PROFUNDIDAD		HUMEDAD %	PH	C. ORGANICO		C/N	N. O.	
	cm.	g.			ppm.	ppm.		ppm.	ppm.
ABANDI	0-45	8,92	5,50	58.163,28	4.062,28	34,32	198.273,49		
ABADA	0-29	6,13	5,50	25.553,26	3.657,19	6,70	44.571,02		
BOYARA	0-25	15,31	5,50	35.008,12	4.132,71	8,47	60.354,00		
CATALIBICO	0-30	15,56	6,30	39.382,85	4.449,06	8,95	67.896,03		
COJICAL	0-42	11,13	5,70	32.938,93	5.149,76	6,39	56.786,71		
JONCHINO	0-25	6,17	5,20	11.084,15	3.091,67	3,58	19.109,07		
LA LAGUNA	0-74	12,63	5,90	23.381,92	4.068,20	5,75	40.310,55		
MARACHICO	0-65	9,01	5,20	51.601,55	3.693,26	14,02	89.305,87		
MICORIBINO	0-92	11,15	5,80	44.548,92	5.446,35	8,18	76.802,34		
ORCHICO	0-30	5,33	5,70	39.587,83	3.716,04	8,23	52.733,42		
YACIBACUER	0-52	8,79	5,50	33.028,64	5.147,94	8,41	56.941,38		

CUADRO II

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUBSUELOS EN EL ALTIPLANO DE PASTO

SUELOS	PROFUNDIDAD cm.	HUMEDAD %	PH	C. ORGANICO ppm.	N. TOTAL ppm.	C/N	N. G. ppm.
ARANDAY B1	45-65	16,65	5,60	10.498,50	3.708,79	2,77	18.099,41
ARANDAY B2	65-X	8,25	5,50	8.053,80	2.985,54	2,70	13.834,75
ANANDA	59-X	15,09	6,30	10.772,42	3.335,31	3,23	18.571,65
BOYAMA	27-X	21,47	5,70	15.159,46	3.129,07	4,84	26.134,91
CATAJUNCO	80-X	15,25	5,70	5.253,40	4.033,75	1,30	9.060,31
CUJACAL	67-X	8,65	6,10	4.954,44	4.365,56	1,13	6.541,45
JONSOBINO	95-X	19,86	6,20	8.173,58	2.970,13	2,75	14.091,25
LA LAGUNA	70-X	30,06	6,20	23.254,73	3.714,51	6,26	40.091,15
MAPACHICO B1	65-102	11,27	5,50	5.073,91	3.006,52	1,69	8.747,42
MAPACHICO B2	102-X	15,59	6,50	10.403,10	1.780,09	5,84	17.934,94
MOCOMBO	98-X	26,31	6,10	24.403,09	3.359,05	7,26	42.070,93
ORONDO	30-X	3,41	6,60	10.051,45	1.997,88	5,03	17.228,70
YACULQUEB B1	54-72	17,16	6,10	14.621,57	3.378,09	4,33	25.207,59
YACULQUEB B2	72-X	19,95	6,60	8.348,52	1.544,96	5,40	14.392,85

TABLA III

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PERFIL FRONTAL DE LA ERUCCION VOLCAN CALTEPEC
(Clasificación: Cryodopto)

CARACTERÍSTICAS	PROFUNDIDAD EN CENTÍMETROS			
	0 - 70	70 - 120	120 - 180	180 - X
ALTITUD	3.890 mts.			
PH	5,40	5,80	5,70	5,60
h HIEDRA	7,00	6,64	13,46	4,86
CARBONO ORGANICO PPM.	52.387,20	20.602,85	55.550,02	7.801,58
HIPOCIBURO TOTAL PPM.	5.243,00	4.090,71	5.178,31	2.055,26
Ca/N	9,99	5,04	10,73	3,79
MATERIA ORGANICA PPM.	90.315,53	35.519,31	95.760,23	13.449,92

TAMA IV

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PERFIL CIMA DEL VOLCAN CALERAS
(Clasificación: Vitranóptero lítico)

CARACTERÍSTICAS	PROFUNDIDAD EN CENTÍMETROS	
	0 - 9	9 - X
ALTITUD	4,100 mts.	
pH	5,60	5,00
% HUMEDAD	0,07	2,35
CARBONO ORGANICO ppm.	6,052,20	9,211,50
NITROGENO TOTAL ppm.	3,812,89	3,224,03
C/N	1,59	2,86
BASES ORGANICAS ppm.	10,433,99	15,800,63

TABLA V
ALGUNAS CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS NEVAS DEL VOLCAN CALDERAS

CARACTERISTICAS	
ALTITUD	4.200 mts.
PH	7,00
% HUMEDAD	0,25
CARBONO ORGANICO ppm.	6.977,40
NITROGENO TOTAL ppm.	898,24
C/N	7,77
MATERIA ORGANICA ppm.	12.029,04

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 (56).

3.2.1.2 Determinación del pH.

Por el método del potenciómetro, empleando una relación suelo o roca/agua: 1:1 (36).

3.2.1.3 Determinación del carbono orgánico.

Por el método Walkley y Black (65).

3.2.1.4 Determinación del nitrógeno total.

Por el método de Kjeldhal modificado (13).

3.2.1.5 Determinación de la materia orgánica.

Multiplicando el porcentaje de carbono orgánico por 1,724.

3.2.1.6 Relación carbono - nitrógeno.

Se obtuvo del cociente C/N.

3.2.2 Fraccionamiento del Azufre.

3.2.2.1 Azufre total.

Se siguió el método propuesto por Chauldry y Cornfield (24).

a) Reactivos.

1. Acido nítrico fumante.
2. Acido nítrico del 25% (en volumen).
3. Solución digestiva: se disolvieron 100 grs. de nitrato de potasio en 600 ml. de agua destilada. Se añadieron 350 ml. de

ácido nítrico fumante y agua destilada hasta completar un volumen final de 1 litro.

4. Solución de ácido acético y fosfórico. 900 ml. de ácido acético se mezclaron con 300 ml. de ácido ortofosfórico.

5. Solución de goma acacia y ácido acético. 5 gr. de goma acacia se disolvieron en 500 ml. de agua caliente. Se filtró caliente a través de un papel filtro Whatman No. 42. Se dejó enfriar y se diluyó con ácido acético hasta completar un litro.

6. Cloruro de bario tamizado (1 mm).

7. Suspensión de sulfato de bario. 18 gr. de cloruro de bario se disolvieron en 44 ml. de agua caliente. Se añadió 1 ml. de la solución estándar concentrada de azufre-sulfato ($S-50\frac{1}{4}$) y se llevó hasta ebullición. Esta suspensión se preparó nuevamente cada día antes de usarse.

8. Solución estándar concentrada de azufre-sulfato, ($S-50\frac{1}{4}$), 1 mg/ml. Se disolvieron 1,088 gr. de sulfato de potasio seco en la estufa a 105°C, durante 24 horas, en agua destilada y se llevó a volumen de 200 ml.

9. Solución estándar de azufre, 10 microgramos por mililitro. 10 ml. de la solución estándar concentrada de azufre-sulfato ($S-50\frac{1}{4}$), se diluyeron con agua destilada hasta 1 litro. (curva estándar de 0 a 120 microgramos de $S-50\frac{1}{4}$).

b) Procedimiento.

Se pesó 1 gr. de suelo (seco al aire y tamizado 2 mm) en un crisol de porcelana. Se añadieron 10 ml. de la solución di

gestiva. El crisol se calentó hasta sequedad en baño María y se llevó luego a un horno eléctrico a 550°C., por 3 horas. Se enfrió a temperatura ambiente, se adicionaron 5 ml. de ácido nítrico del 25% (en volúmen) y se llevó nuevamente durante 1 hora a baño María. Se añadió a continuación un volúmen conocido de agua destilada a fin de extraer las sales solubles y se filtró a través de un papel filtro Whatman No. 42. Se diluyó a volúmen conocido y se tomó una alícuota considerable para la determinación turbidimétrica.

Determinación turbidimétrica. La alícuota tomada (no más de 15 ml. y con un contenido no mayor de 120 microgramos de S- SO_4), se pipetó a un balón aferado de 50 ml. Se adicionaron sucesivamente 2,5 ml. de ácido nítrico del 25% y 2 ml. de la solución de ácido acético y fosfórico y se llevó a volúmen de 22 ml. Se tapó el balón, se mezcló el contenido y se añadieron 0,5 ml. de la suspensión de sulfato de bario (la cual se agitó antes de usarse) y 0,3 gr. de cristales de cloruro de bario. Taponado, se invirtió el balón 5 veces. Después de 10 minutos se invirtió 10 veces y luego de 5 minutos 5 veces. Se adicionó después de 5 minutos 1 ml. de la solución de goma acacia-ácido acético. Se llevó a volúmen conocido con agua destilada, se invirtió 5 veces, manteniéndose a continuación en reposo por hora y media. Se invirtió entonces el balón 10 veces, y se determinó la densidad óptica en el espectrofotómetro Coleman de absorción con red de difracción, modelo Universal 14, a una longitud de onda de 440 m μ , con filtro de interferencia No. 14214. Se interpretaron las lecturas mediante curva elaborada en papel semilogarítmico y preparada a partir de lecturas de soluciones patrones de 0 a 120 microgramos de S- SO_4 .

3.2.2.2 Azufre orgánico. Se siguió el método propuesto por Bardaley y Lancaster (4). Se pesaron 2,5 gr. de suelo en un ori-

sol de porcelana, mezclándolos luego con 0,5 grs de bicarbonato de sodio (en polvo). Después se espolvorearon 0,5 grs. de bicarbonato sobre la superficie de la mezcla. Se llevó el crisol a un horno eléctrico a 500°C., por 3 horas. Se dejó enfriar, se pasó el contenido a un "erlenmeyer" de 50 ml y se adicionaron 25 ml de la solución extractora de Morgan. Se agitó por 30 minutos, se filtró, se diluyó a volumen conocido y se tomó una alícuota adecuada para la determinación turbidimétrica.

3.2.2.3 Azufre intercambiable. Se utilizó el método recomendado por Bardsley y Lancaster (3), ligeramente modificado. Se agitaron 5 grs de suelo con 25 ml. de la solución extractora de Morgan por 30 minutos. Se filtró, se llevó a volumen conocido y se tomó una alícuota adecuada para la determinación turbidimétrica.

3.2.2.4 Azufre soluble en agua. De acuerdo a Massoumi y Cornfield (45), se agitaron durante 30 minutos 10 gramos de suelo con 50 ml. de agua. Se filtró, se llevó a volumen conocido y se tomó una alícuota adecuada para la determinación turbidimétrica.

3.2.2.5 Azufre inorgánico. Por diferencia entre el contenido de azufre total y el azufre orgánico, se obtuvo la fracción de azufre inorgánico.

3.2.2.6 Reserva de azufre en el suelo. Por diferencia, entre el azufre orgánico y el azufre intercambiable, se obtuvo la fracción de reserva de azufre en el suelo (3).

3.2.2.7 Lixiviación del azufre. Se empleó la técnica de Garman, ligeramente modificada, descrita por Ordóñez (52): se pesaron

10 gr. de suelo, se colocaron en un embudo provisto de papel filtro Whatman No. 42. Diariamente y por espacio de 5 días se adicionaron 100 ml. de ácido clorhídrico 0.01N, tomando cada día en la fracción lixiviada, una alícuota adecuada para la determinación turbidimétrica.

3.2.2.8 Sulfuros. Se siguió el procedimiento descrito por Chaudry (23). El esquema del aparato utilizado se puede observar en la Figura No. 2.

El dióxido de carbono (de un cilindro), controlado mediante manómetros, se pasó a través del fresco lavador y ampollita contadora de gotas (B en la figura), que contenía solución de acetato de zinc y acetato de sodio. El gas circuló a través del conducto C al balón D de 100 ml, debidamente acoplado al condensador E (20 cms. de longitud y 1,5 cms. de calibre). El condensador mediante el adaptador F se conectó al embudo G de 100 ml. dotado de la llave H. La corriente de gas burbujó, por último, dentro del tubo "Poliget" I (18 cms. de largo y 2 cms. de diámetro), el cual se inclinó a 45°, aproximadamente, con respecto a un plano horizontal.

Todas las superficies de las juntas y la llave H se lubricaron con ácido ortofosfórico.

a) Reactivos. (Todos los reactivos, diluciones y lavado final del aparato se hicieron con agua redestilada).

1. Ácido clorhídrico 6N. El HCl concentrado se agitó durante un minuto con unos centímetros de aluminio (para reducir las trazas de materiales oxidantes), antes de efectuar la preparación.

2. Solución absorbente de Acetato de zinc y aceta

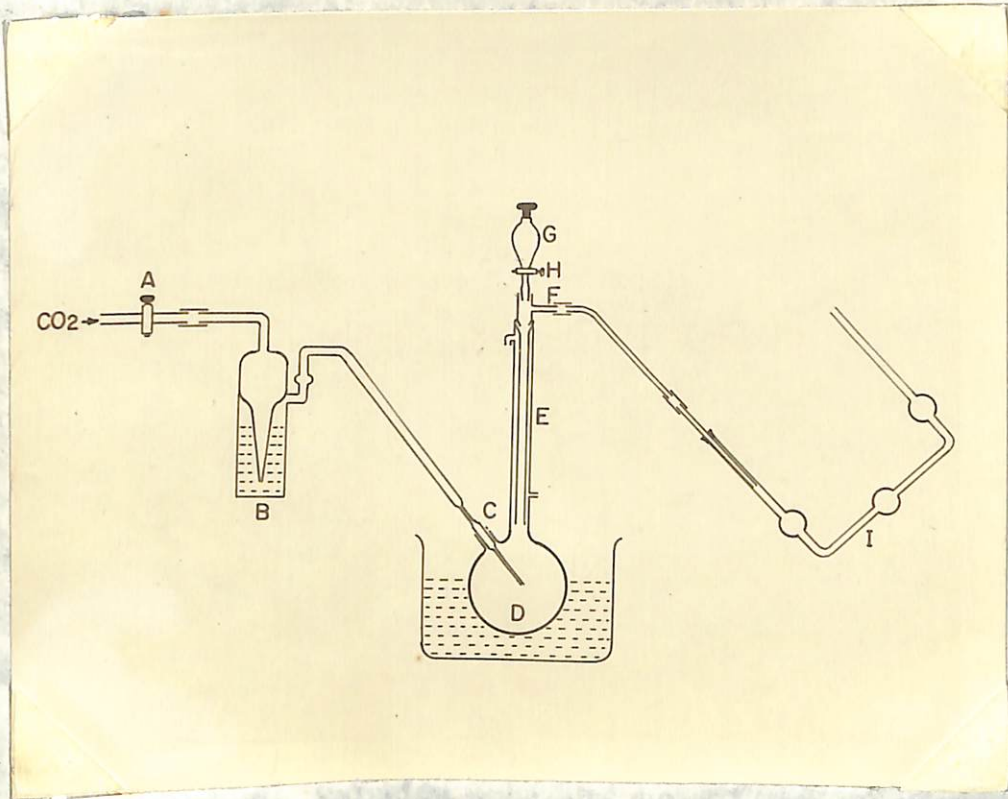


Figura No. 2. Esquema del aparato utilizado en la determinación de sulfuros.

Nota: I. Santacruz

to de sodio. Se disolvieron 50 gr. de acetato de zinc dihidratado y 12,5 gr. de acetato de sodio trihidratado en agua, se llevó a volumen de un litro y se filtró a través de un papel filtro Whatman No. 1.

3. Solución de sulfato férrico amoniacal. 24 gr. de sulfato férrico amoniacal ($24H_2O$) se disolvieron en agua, que contenía 5 ml. de ácido sulfúrico concentrado y se llevó a volumen de 200 ml.

4. Solución de dimetilfenilendiamina para-biológico hidrato. 1,0 gr. de dimetil-fenilendiamina para-biclorhidrato, se disolvió en 700 ml. de agua redestilada. Se añadieron 200 ml. de ácido sulfúrico concentrado, se enfrió y se llevó a volumen de 1 litro.

5. Solución diluyente (se preparó antes de usarse). 10 ml. de la solución absorbente de acetato de zinc y acetato de sodio, 10 ml. de la solución de dimetilfenilendiamina para-biclorhidrato y 2 ml. de la solución de sulfato férrico amoniacal se mezclaron y se diluyó hasta volumen de 100 ml.

6. Solución estándar concentrada de $S-SH_2$ (conteniendo 200 ppm. de $S-SH_2$). 0,7506 gr. de $H_2S \cdot 9H_2O$ se disolvieron en agua redestilada y se llevó a volumen de 500 ml. Esta solución es estable por una semana, si se la mantiene en un refrigerador a 4 - 5°C.

7. Solución estándar de $S-SH_2$ (conteniendo 1 ppm. de $S-SH_2$) 5 ml. de la solución estándar concentrada de $S-SH_2$ se diluyeron a un volumen de un litro. Esta solución se preparó antes de usarse.

b) Procedimiento.

10 ml. de la solución de acetato de zinc y acetato de sodio y 50 ml. de agua redestilada se pipetearon en el tubo "poligot", colocándolo luego en posición de trabajo. La corriente de CO_2 se hizo circular a través de todo el aparato cerca de 5 minutos, de 4 a 5 burbujas por segundo, con el objeto de eliminar el aire del mismo. La muestra (con un contenido no mayor de 300 microgramos de S-SH_2), se llevó al balón (D en la figura), con la ayuda de una mínima cantidad de agua, y la corriente de gas circulando lentamente. 30 ml. de $\text{HCl } 6\text{N}$ se añadieron al embudo G. El flujo de CO_2 se suspendió mientras el ácido descendía al balón al abrir la llave H, la cual se cerró inmediatamente después de que todo el ácido hubo descendido y nuevamente se hizo circular la corriente de gas.

El balón se puso en agua, mantenida entre 60 y 70°C., y el flujo de gas continuó cerca de 10 a 11 minutos. Durante este período el balón y el condensador debidamente acoplados se agitaron ocasionalmente. Se desconectó el tubo "poligot" (con el tubo de vidrio sumergido), se añadieron 10 ml. de la solución dimetilfenilendianina para-biclorhidrato, se tapó el tubo en ambos terminales y se mezcló el contenido. Se adicionaron luego 2 ml. de la solución de sulfato férrico amoniacal y se mezcló. En su totalidad, se transfirió el contenido a un balón de 100 ml. y se enrasó a ese volumen con agua redestilada. Después de 10 a 12 minutos de reposo a temperatura ambiente, se pipeteó una alícuota (con un contenido no mayor de 4 microgramos de S-SH_2) de esta solución a un balón de 25 ml. y se llevó a volumen con la solución diluyente. Al cabo de 10 a 20 minutos se tomó la lectura en el espectrofotómetro Coleman de absorción con red de difracción, modelo Universal 14, a una longitud de onda de 670 mμ., con filtro rojo de interferencia No. 14215. Se interpretaron las lecturas mediante curva de

borada previamente de soluciones patrones. Con cada grupo de determinaciones se corrió un blanco.

Para cada muestra se experimentó con 2, 5 y 10 gr., a fin de obtener la cantidad adecuada para la técnica.

c) Preparación de la curva estándar (0 - 4 microgramos de S-SH₂). Se corrió con cada grupo de determinaciones. 0, 1, 2, 3 y 4 ml. de la solución estándar de S-SH₂, se pipetearon en sondas iguales de 25 ml. A cada uno se añadieron sucesivamente 2,5 ml. de la solución de acetato de zinc y acetato de sodio, 2,5 ml. de la solución diacetilfenilondiamina para-biclorhidrato y 0,5 ml. de la solución de sulfato férrico amoniacal. Se mezcló y se llevó a volumen. Después de 10 a 20 minutos se leyó la absorbida en el espectrofotómetro Coleman. La curva se elaboró en papel semi-logarítmico.

3.2.2.9 Relación carbono-azufre. Se obtuvo del cociente C/S orgánico.

3.2.2.10 Relación carbono-nitrógeno-azufre. Se obtuvo teniendo en cuenta la razón 100C/10N/1S orgánico.

3.2.3 Métodos estadísticos.

Se utilizaron criterios de regresión y correlación

(25, 28).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En el presente capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos, con la siguiente secuencia: fraccionamiento del azufre, relación del azufre con los compuestos orgánicos, lixiviación del azufre, correlación entre el S-total y H_2S .

4.1 FRACCIONAMIENTO DEL AZUFRE.

Los resultados que corresponden a las distintas formas estudiadas se presentan en las Tablas VI a XIV y gráficamente en las figuras 3 a 7; en la figura 8 está la comparación del contenido promedio del azufre total y azufre inorgánico en el altiplano (suelos y subsuelos) y Volcán Galeras (oryandepto, vitrandepto lítico y rocas).

Como se observa en las Tablas VI a X, los resultados obtenidos muestran, con la excepción del suelo de Anganoy, que la mayor concentración de azufre se obtuvo en las muestras del área de los frailejones (oryandepto) y cima del Galeras (vitrandepto lítico). Como era de esperarse, en las rocas volcánicas prácticamente todo el azufre fue inorgánico.

La mayor acumulación en las proximidades del cráter puede obedecer a algunas causas. Por un lado, como anotan Bornemissa y Morales (12), las cenizas pueden tener abundancia de sulfatos, y como la zona del cráter no ha sido utilizada por el hombre, es probable que se hayan producido menores pérdidas de azufre que en el Altiplano. Además, es factible pensar que las emanaciones sulfurosas del volcán sean condensadas por las bajas temperaturas y depositadas sobre el cono volcánico.

El contenido de las rocas examinadas 0.04% es más bien bajo, ya

TABLA VI

FRACCION FIENO DEL AZÚCAR EN SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO

Resultados en ppm.

SUELOS	S	S	S	S	S	S	S	S	H ₂ O
	Total	Orgánicos	Inorgánico	Intercomb.	Reserva	en el suelo	Reserva	soluble	en agua
AGUAY	1.202,01	522,82	684,19	30,50	492,32		19,25	0,326	
ARANDA	343,86	93,39	250,47	30,78	62,61		22,29	0,053	
BOTANA	880,97	221,39	659,58	32,28	189,11		14,99	0,046	
CATALERO	94,10	231,35	732,75	32,36	198,99		21,95	0,185	
CULICAL	520,09	151,14	369,95	26,67	124,47		7,78	0,057	
JOMBINO	276,04	123,16	152,88	29,73	93,43		11,15	0,106	
LA LAGUNA	171,20	144,17	27,03	51,81	92,36		15,77	0,022	
MARICHICO	885,16	501,44	383,72	106,83	394,61		8,18	0,134	
MICORDINO	489,09	288,99	200,10	42,24	246,75		7,78	0,044	
OSORICO	815,25	202,23	613,02	29,49	172,74		28,44	0,116	
YACUANGUER	509,14	213,23	295,91	13,60	199,63		7,61	0,045	
PROMEDIO	642,17	244,24	397,33	35,75	206,09		15,02	0,103	
S S Total	100,00	38,13	61,87	6,04	32,09		2,34	0,016	

TABLA VII

FRACCIONAMIENTO DEL AGUERO EN SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO

Resultados en ppm.

SUELOS	S ₁ Total	S ₂ orgánico	S ₃ Inorgánico Interomb.	S ₄ Reserva en el suelo	S ₅ Soluble en agua	U ₂ S
ARGEROY B ₁	3,261,53	209,97	3,051,56	46,66	163,31	5,83
ARGEROY B ₂	108,25	43,30	64,95	12,99	30,31	0,054
ABANIA	276,78	69,05	205,73	16,11	52,94	0,023
BOYANA	306,10	170,06	136,04	19,45	150,61	0,061
CATAMBUO	276,60	115,25	161,35	27,66	87,59	0,058
GUJICAL	171,67	43,46	128,21	18,47	24,99	0,043
JONGOBITO	225,34	119,86	105,48	23,97	95,89	0,060
LA LAGUNA	357,52	176,88	80,64	26,01	150,87	0,070
MAPACHICO B ₁	222,54	134,62	97,92	11,13	113,49	0,044
MAPACHICO B ₂	323,65	184,94	138,71	2,31	182,63	0,058
MOCODINO	449,66	136,41	313,25	15,16	121,25	0,076
OBENITO	583,23	111,68	471,55	10,34	101,34	0,021
YACUANQUE B ₁	262,44	51,55	210,89	16,40	35,15	0,012
YACUANQUE B ₂	203,08	33,59	219,49	15,59	18,00	0,072
PROMEDIO	500,45	113,61	386,84	18,73	94,88	0,054
Σ S Total	100,00	22,70	77,30	3,74	18,96	2,29
						0,011

TABLA VIII

FRACCIONAMIENTO DEL AZUFRE EN EL PERFIL PROFUNDO (Cruzandopto) DEL VOLCAN CALERAS

Resultados en ppm.

Profundidad cm.	S		S		S		S		Reserva en el suelo	Soluble en agua	H ₂ O
	Total	Orgánico	Inorgánico	Interamb.	Reserva en el suelo	Soluble en agua					
0 - 70	1,476,60	573,52	903,08	154,61	418,91	8,56	0,107				
70 - 120	2,520,97	1,151,71	1,369,26	164,23	987,48	14,93	0,128				
120 - 180	2,927,27	1,231,44	1,692,83	123,67	1,110,77	30,08	0,045				
180 - x	5,379,32	1,434,48	3,944,84	136,32	1,238,16	5,24	0,021				
PROMEDIO	3,076,04	1,098,54	1,977,50	144,71	953,83	14,70	0,075				
Σ S total	100,00	35,71	64,29	4,70	31,01	0,48	0,002				

1 30 1

TABLA IX

FRACCIONAMIENTO DEL AZÚCAR EN EL PERFIL CIMA (Vitrandopto Lírico) DEL VOLCAN CALERAS

Resultados en ppm.

PROFUNDIDAD cm.	S	S	S	S	S	S	S	S
	Total	Orgánico	Inorgánico	Intercomb.	Reserva en el suelo	Soluble en agua	H ₂ S	
0 - 2	1.319,38	330,85	988,53	58,00	272,85	7,06	0,262	
2 - 4	1.301,89	736,92	564,97	175,02	561,90	8,19	0,092	
PROMEDIO	1.310,64	533,89	776,75	116,51	417,38	7,63	0,177	
% S Total	100,00	40,73	59,27	8,89	31,84	0,58	0,014	

TABLA K

FRACCIONAMIENTO DEL ACEITE DE MOCAS DEL VOLCAN GALERAS
 En los resultados en pps.

FRACCIONES	ppm.	% S total
S TOTAL	425,06	100,00
S INORGANICO	417,04	98,11
S ORGANICO	8,02	1,89
S INTERCAMBIABLE	6,02	1,42
S RESERVA EN EL SUELO	2,00	0,47
S SOLUBLE EN AGUA	14,03	3,30
S ₂	40,33	9,49

TABLA XI

CONTENIDO MAXIMO, PROMEDIO Y MINIMO DE LAS FRACCIONES DE AZUFRE EN LOS SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO

Resultados en ppm.

FRACCIONES	MAXIMO	PROMEDIO	MINIMO
S TOTAL	1,209,01	642,17	171,20
S INORGANICO	732,75	397,33	27,03
S ORGANICO	522,82	244,84	93,39
S INTERCAMBIABLE	106,83	36,75	13,60
S RESERVA EN EL SUELO	492,32	206,09	62,61
S SOLUBLE EN AGUA	28,44	15,02	7,61
K ₂ O	0,326	0,163	0,022

TABLA XII

CONTENIDO MAXIMO, PROMEDIO Y MINIMO DE LAS FRACCIONES DE AZUFRE
EN LOS SUBSUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO

Resultados en ppm.

FRACCIONES	MAXIMO	PROMEDIO	MINIMO
S TOTAL	3.261,53	500,45	108,25
S INORGANICO	3.051,56	386,84	64,25
S ORGANICO	209,97	113,61	43,30
S INTERCAMBIABLES	46,66	18,73	2,31
S RESERVA EN EL SUELO	182,63	24,88	24,93
S SOLUBLES EN AGUA	30,31	11,48	3,34
R_2S	0,105	0,054	0,012

TABLA XIII

CONTENIDO MAXIMO, PROMEDIO Y MINIMO DE LAS FRACCIONES DE AZUFRE
EN EL PERFIL FRATONJON (Orizondopte) DEL VOLCAN CALERNAS

Resultados en ppm.

FRACCIONES	MAXIMO	PROMEDIO	MINIMO
S TOTAL	5.379,32	3.076,04	1.476,60
S INORGANICO	3.944,04	1.977,50	903,08
S ORGANICO	1.434,48	1.098,54	573,52
S INTERCAMBIABLE	164,23	144,71	123,67
S RESERVA EN EL SUELO	1.298,16	953,83	418,91
S SOLUBLES EN AGUA	30,08	14,70	5,24
S ₂ S	0,128	0,075	0,021

TABLA XIV

CONTENIDO MAXIMO, PROMEDIO Y MINIMO DE LAS FRACCIONES DE ALUMINA EN EL PERFIL CIMA (Vitrondoyto lítico) DEL VOLCAN CALFERNAS

Resultados en ppm.

FRACCIONES	MAXIMO	PROMEDIO	MINIMO
S TOTAL	1,319,38	1,310,64	1,301,89
S INORGANICO	989,53	776,75	564,97
S ORGANICO	736,92	533,89	339,85
S INTERMEDIANAS	173,02	116,51	58,00
S RESERV. EN EL SUELO	561,30	417,38	272,85
S SOLUBLE EN AGUA	0,19	7,63	7,06
H ₂ O	0,262	0,177	0,092

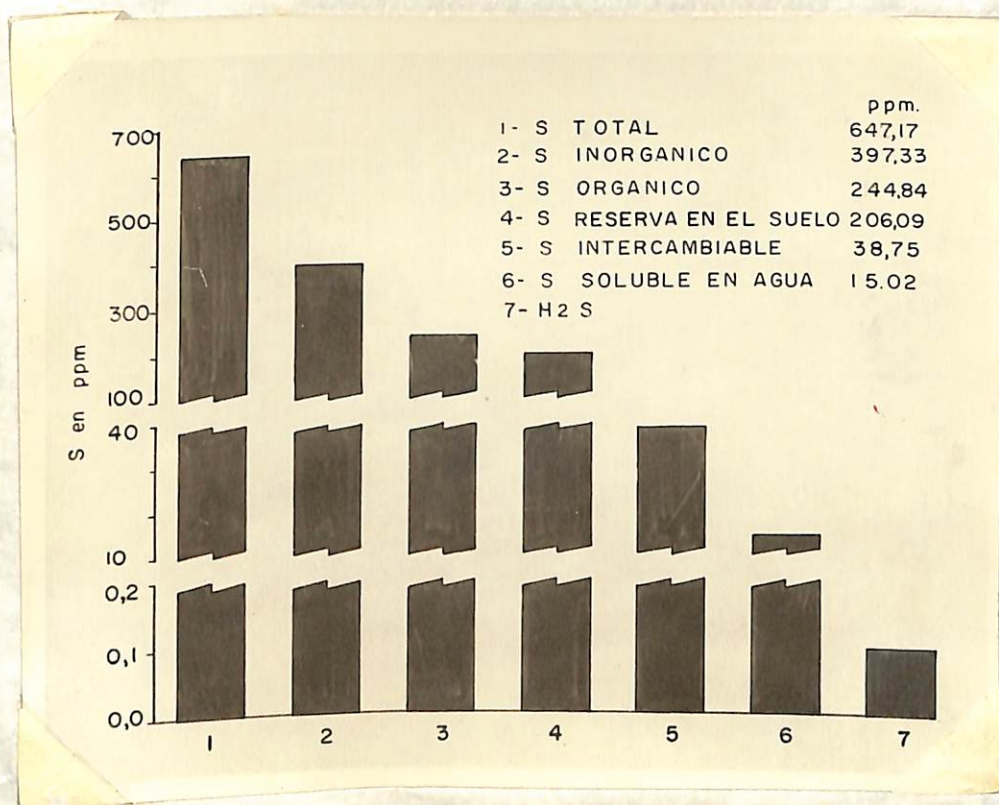


Figura No. 3. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en suelos del Altiplano de Pagto.

Foto: I. Santacruz

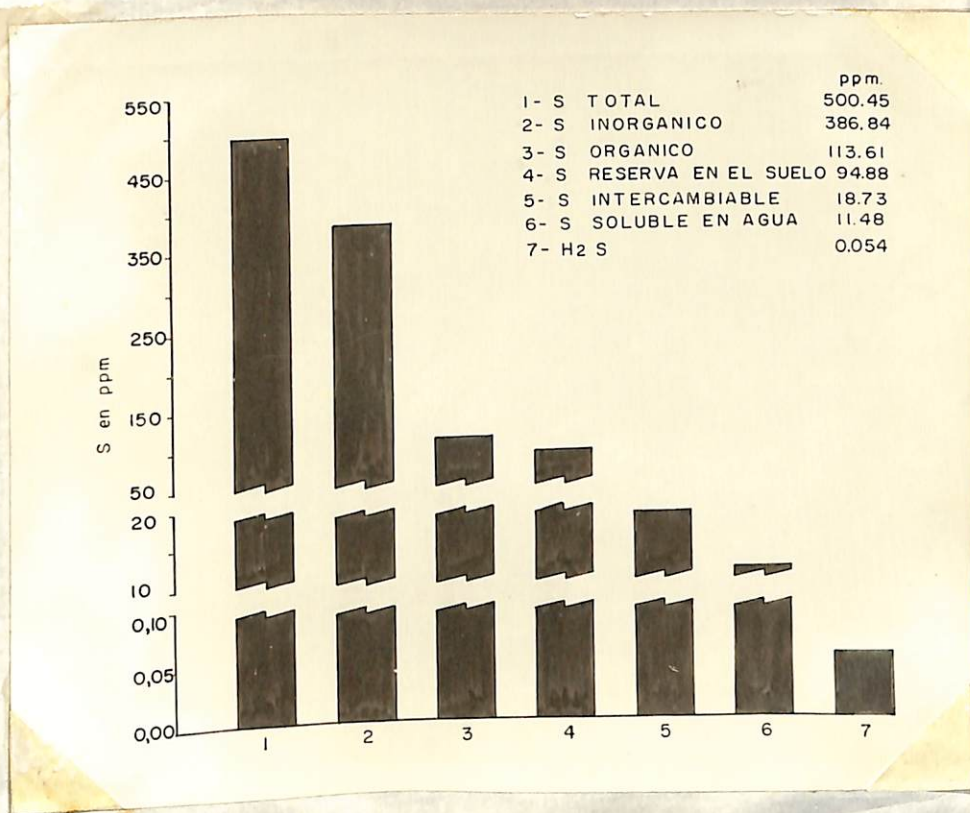


Figura No. 4. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en subsuelos del Altiplano de Pasto.

Foto: I. Santacruz

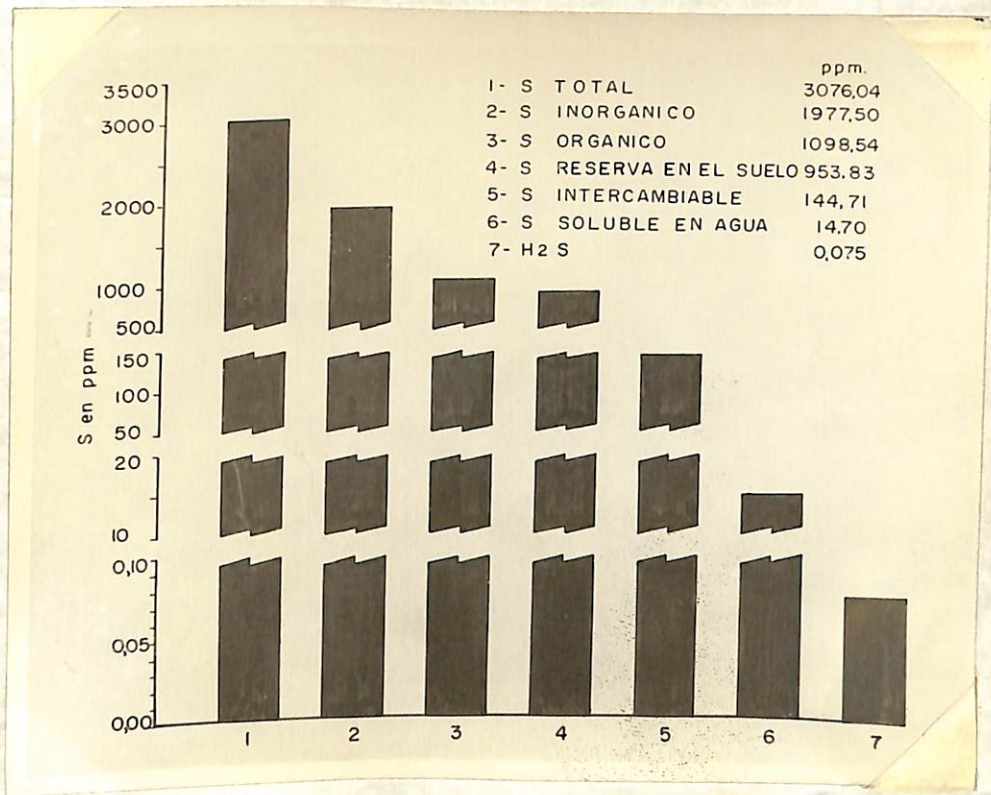


Figura No. 5. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en el perfil frailejón (organ-depto) del Volcán Galeras.

Foto: I. Santacruz

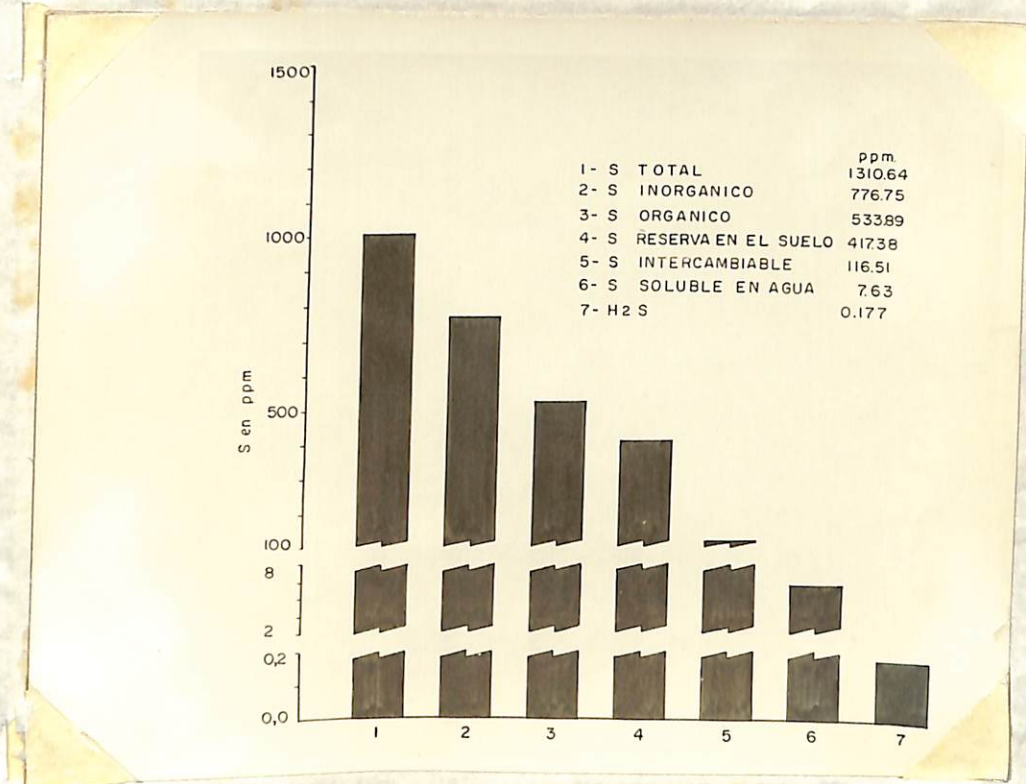


Figura No. 6. Contenido promedio de las distintas fracciones de azufre en el perfil cisa (vitrandepto lítico) del Volcán Galeras.

Foto: I. Santacruz

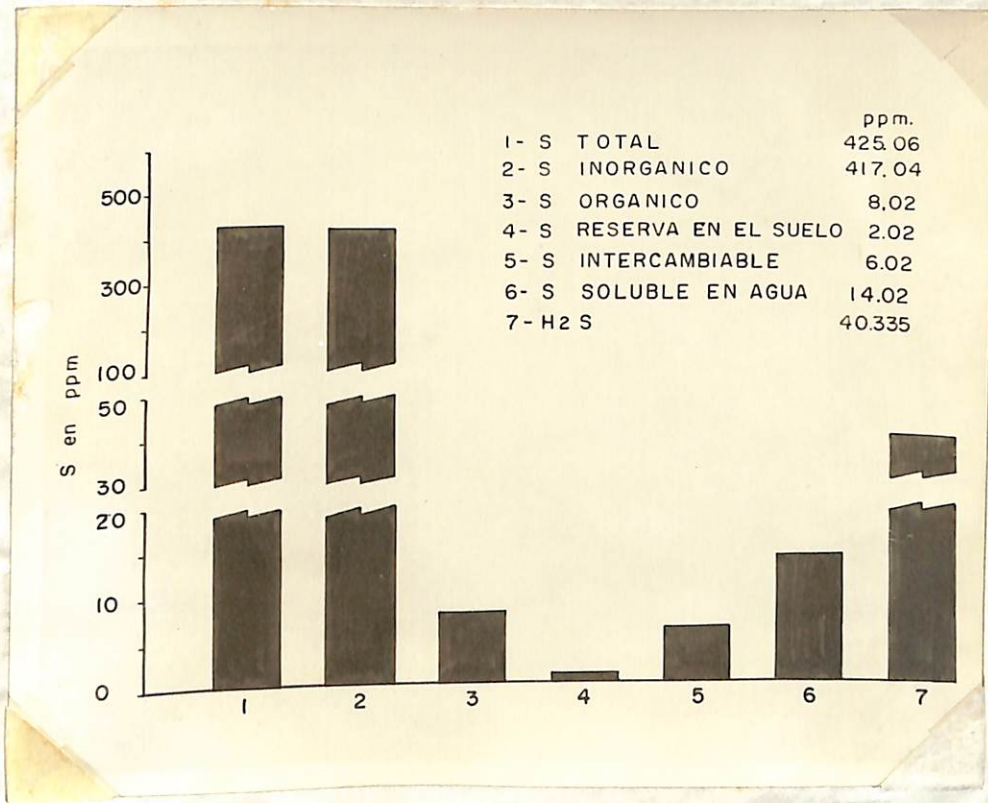


Figura No. 7. Contenido de las distintas fracciones de azufre en rocas del Volcán Galeras.

Foto: I. Santacruz

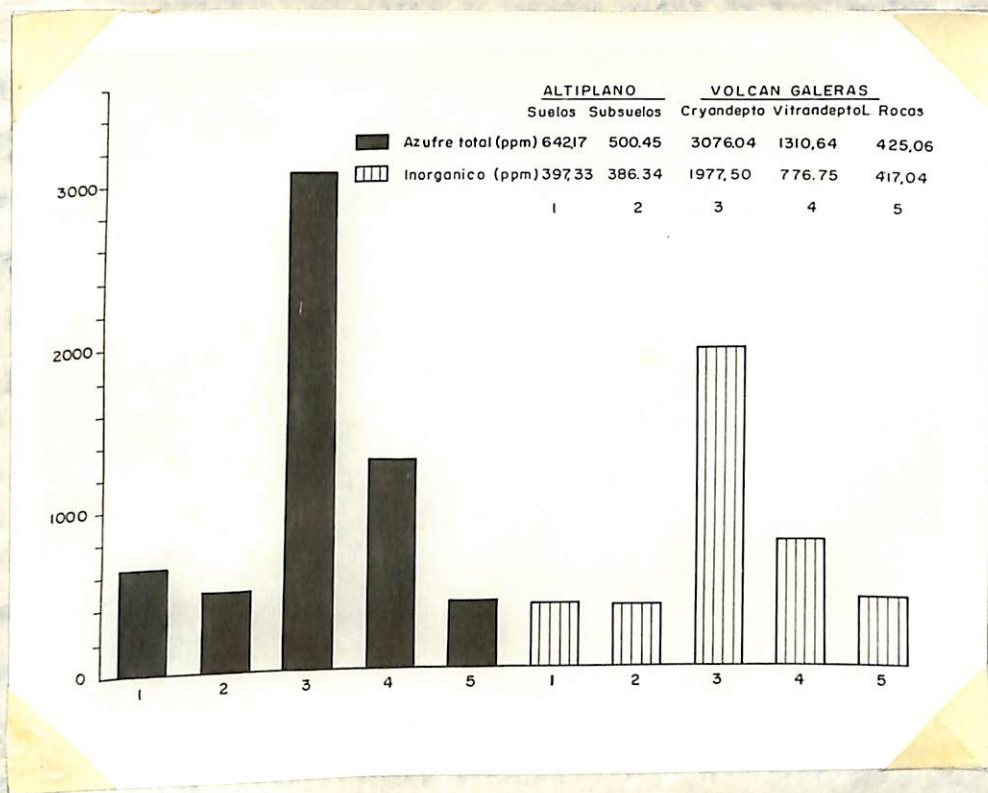


Figura No. 8. Comparación del contenido promedio de azufre total y azufre inorgánico en el Altiplano de Pasto y Volcán Galeras.

Foto: I. Santaeruz

que según Whitehead (66), la mayoría de las rocas ígneas presentan un contenido de azufre comprendido entre 0,05 y 0,3%. Aunque solo es una muestra representativa del cono volcánico, hasta cierto punto es indicativo de que los materiales volcánicos del Galeras no pueden ser clasificados como ricos en contenido de azufre.

Las cantidades promedio de azufre total de los suelos son similares a las obtenidas por Blasco (+), en suelos volcánicos de Costa Rica. Llamo la atención que esas cantidades están distribuidas muy irregularmente, y así algunas muestras como Jongobito y la laguna son definitivamente deficientes en azufre. Los subsuelos son más pobres que los suelos. En general, tanto para suelos y subsuelos, si se descarta Anganoy, el promedio del Altiplano entraría en los límites de la deficiencia.

En los suelos estudiados el azufre inorgánico es una fracción más importante que la correspondiente a la forma orgánica. Estos resultados son acordes con los obtenidos por Low y De Lang (42, 43), y diferentes de los reportados por Freney y colaboradores (30, 33), para los suelos australianos. Posiblemente, ello se debe a la influencia de las continuadas (y recientes) erupciones del Galeras y a cierto agotamiento del nivel de materia orgánica. No se debe olvidar que los suelos volcánicos típicos contienen fácilmente 10 - 15% de materia orgánica (61), promedio que no se consigue en el Altiplano.

Sobre los niveles de azufre (sulfatos) asequibles directamente a las plantas, no es fácil sacar conclusiones hasta que no se establezcan algunas correlaciones de campo. Pero sí se tiene en cuenta que los requeri

(+) comunicación personal.

nientos de azufre de las plantas son iguales a los del fósforo, y cinco a diez veces menor que los del nitrógeno (7, 8), es evidente que los niveles intercambiables correspondientes al azufre son mejores que los del fósforo y nitrógeno (10, 50). Sin embargo, la reserva que tienen los suelos no se muestra muy provechosa pues apenas triplica a la fracción intercambiable.

Las cantidades de sulfídrico encontradas son bajas. Es evidente que en este resultado influyó el secado de las muestras. Sería interesante observar los niveles que corresponden a condiciones de capacidad de campo.

4.2 RELACION DEL AZUFRE CON LOS COMPUESTOS ORGANICOS.

Las figuras 9 a 16 muestran las correlaciones estadísticas del azufre orgánico con el carbono orgánico, azufre total y nitrógeno total (que en estos suelos es 95% orgánico según Molina y Blanco, 50), y la correlación del azufre total con el nitrógeno total. En la Tabla XXI, se presenta el resumen de las ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación para las distintas variables.

Como se observa, hay una correlación altamente significativa entre el contenido de carbono y azufre orgánico de los suelos estudiados, lo cual confirma la íntima asociación del azufre con la materia orgánica. Similar correlación fue obtenida por Masoumi y Cornfield (44), en suelos ingleses. Esta buena correlación se vuelve a repetir entre el azufre total y orgánico de los suelos y subsuelos, lo que demuestra la estrecha dependencia entre ambos. En los subsuelos esta correlación no se repite debido a la fuerte disminución de la materia orgánica.

Estas correlaciones sugieren que en los suelos, por el momento,

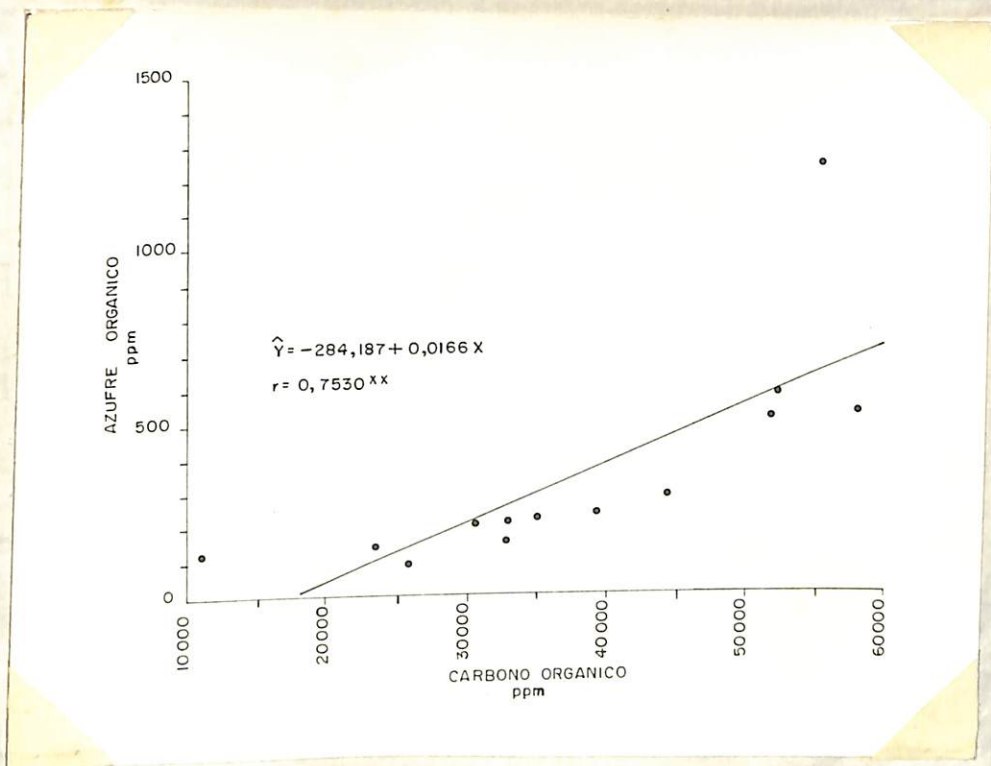


Figura No. 9. Relación entre el carbono orgánico y el azufre orgánico en los suelos.

Foto: I. Santaeraz

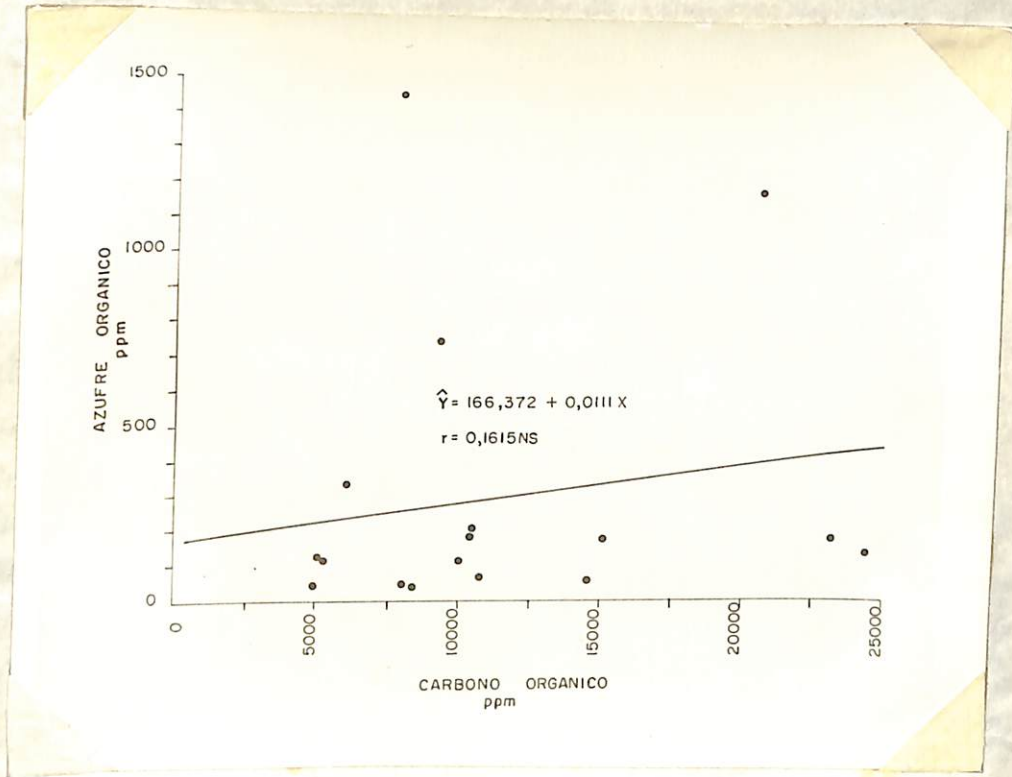


Figura No. 10. Relación entre el carbono orgánico y el azufre orgánico en los subsuelos.

Foto: I. Santacruz

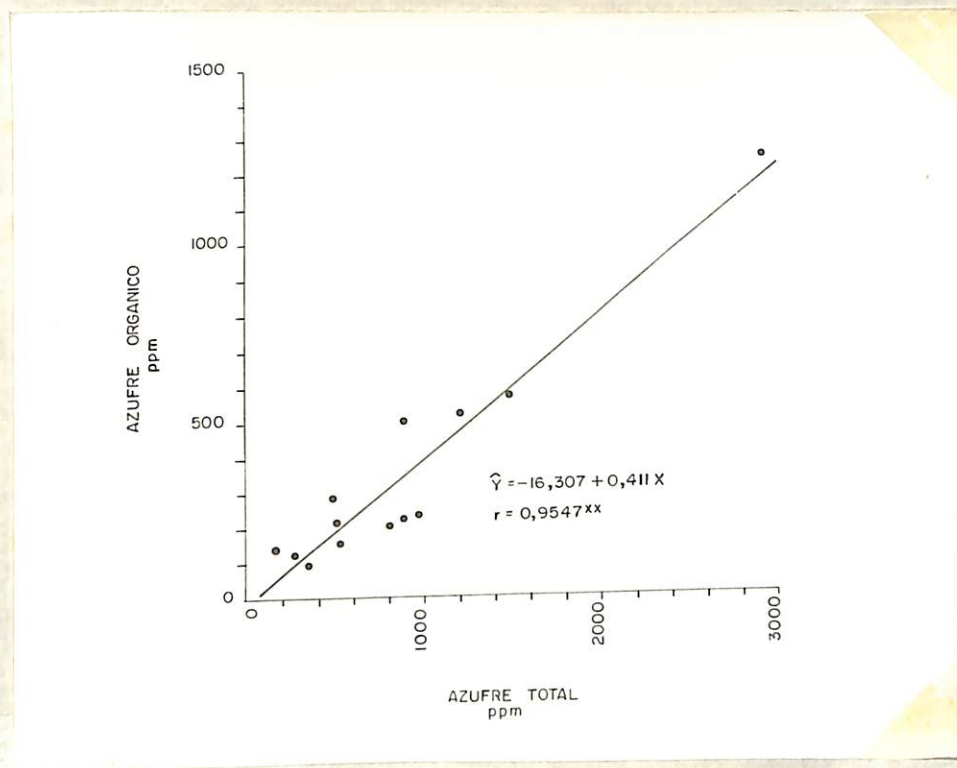


Figura No. 11. Relación entre el azufre total y el azufre orgánico en los suelos.

Foto: I. Santa Cruz

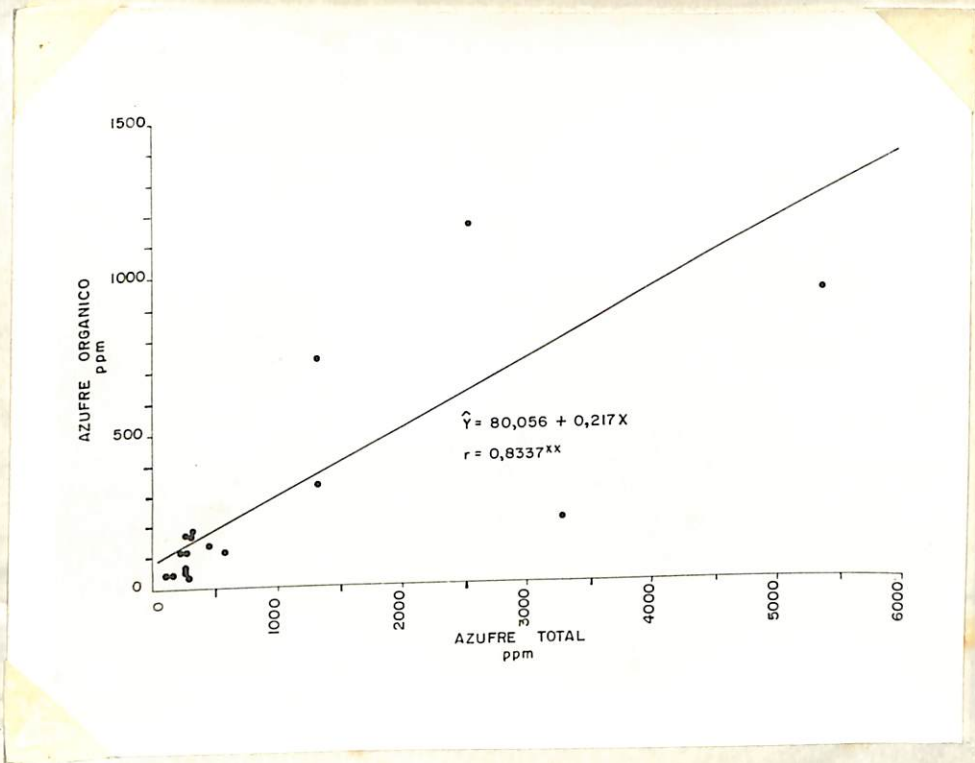


Figura No. 12. Relación entre el azufre total y el azufre orgánico en los sub-suelos.

Foto: I. Santacruz

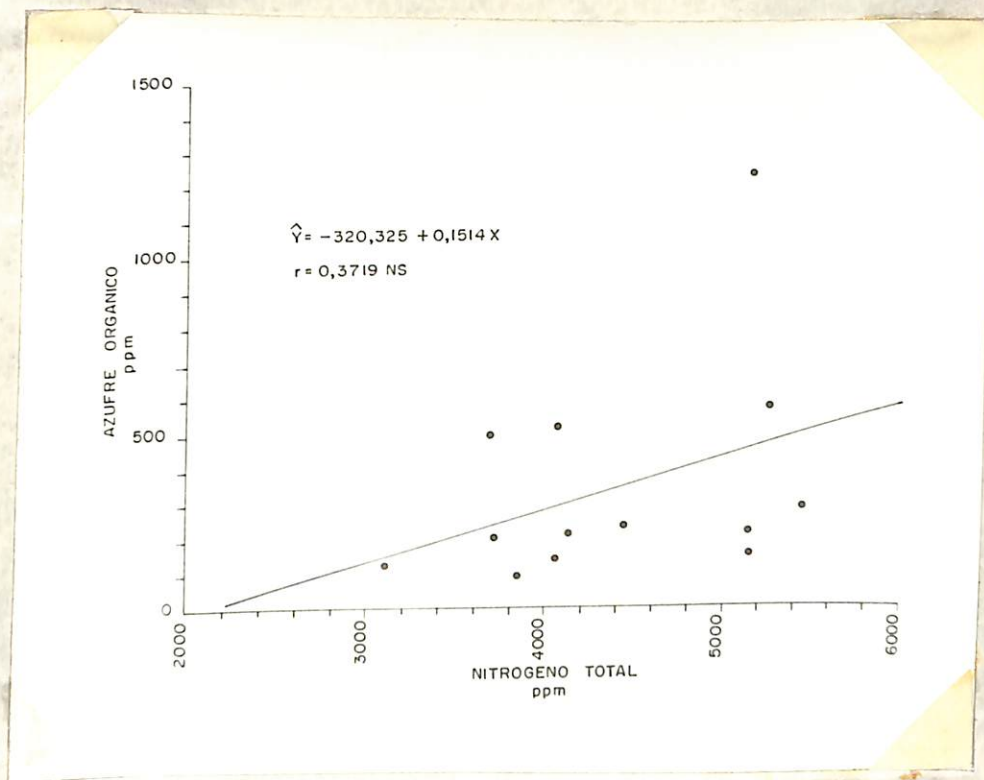


Figura No. 13. Relación entre el nitrógeno total y el azufre orgánico en los suelos.

Foto: I. Santacruz

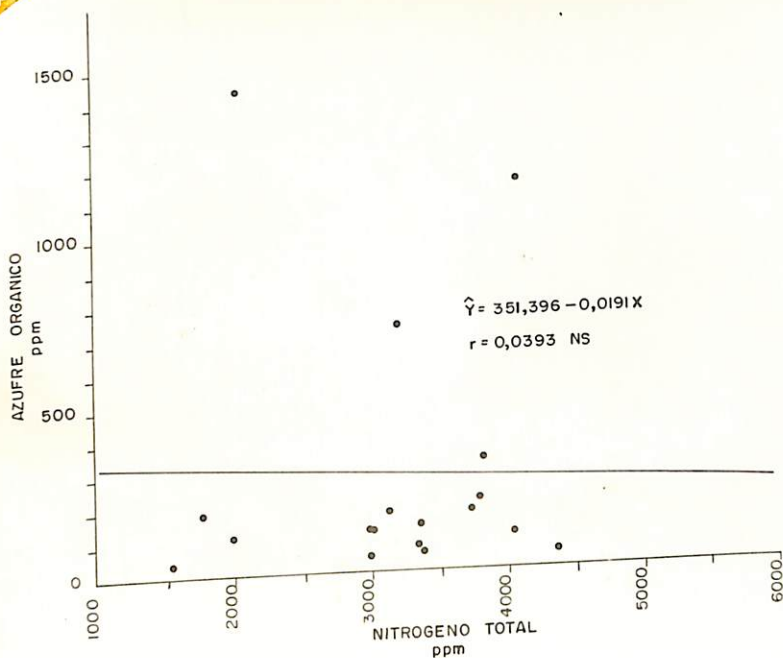
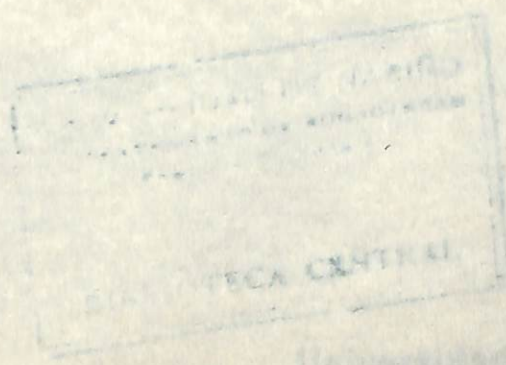


Figura No. 14. Relación entre el nitrógeno total y el azufre orgánico en los subsuelos.

Foto: I. Santacruz



Universidad de Maricao

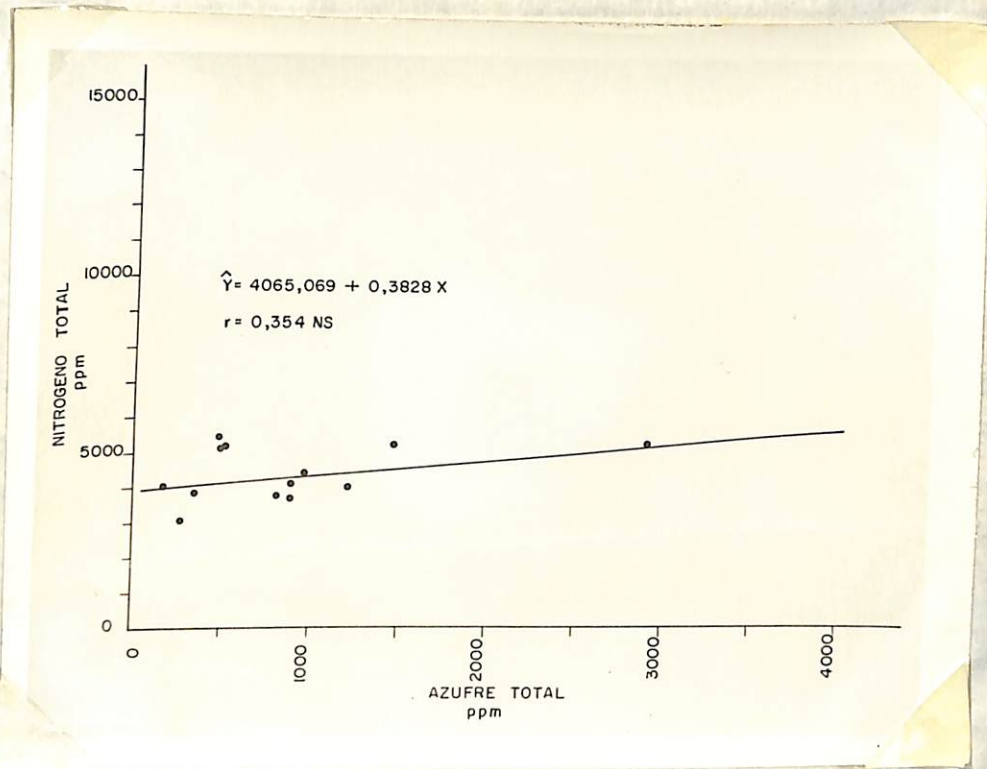


Figura No. 15. Relación entre el azufre total y el nitrógeno total en los suelos.

Foto: I. Santacruz



existe un buen balance de azufre.

No se encontró correlación estadística entre el azufre total y nitrógeno total. Se debe a que, entre las fracciones orgánicas nitrogenadas y azufradas tampoco se encontró correlación. Esto podría explicarse sabiendo que si bien el nitrógeno orgánico representa en los suelos estudiados el 95% del nitrógeno total (50), el azufre orgánico por el contrario, es menor que el azufre inorgánico, y por lo tanto es una fracción secundaria en los suelos.

En las Tablas XV a XVII, se muestran las relaciones o cocientes C/N, C/S orgánico y C/N/S orgánico. Las cifras obtenidas se aproximan a los promedios señalados para distintos tipos de suelos por Whitehead (66) y Williams (68), corroborando que los niveles de azufre de los compuestos orgánicos de los suelos del Altiplano son normales.

Todos estos datos dan pie para buscar los medios de activar la mineralización de la materia orgánica del Altiplano tratando de balancear la aplicación de fertilizantes, ahora que se conocen las fracciones de nitrógeno, fósforo y azufre. Todos los resultados convergen a señalar que los materiales orgánicos tienen un adecuado nivel de estos tres elementos. Será necesario ahora buscar qué tratamientos producen la mejor mineralización.

4.3 LIXIVIACION DEL AZUFRE.

Sobre este problema es también muy poco lo reportado en la literatura universal. Los datos obtenidos aparecen en las Tablas XVIII a XX.

Como el azufre elemental es insoluble en agua, no puede par-

TABLA XV

RELACIONES c/s, c/s ORGANICO, c/s/s ORGANICO EN LOS SUELOS
DEL ALTIPLANO DE PASTO

SUELOS	c/s	c/s	c/s/s
AREALDO	14,317	111,242	142/10/1,23
AREDA	6,703	276,830	67/10/0,24
BOTABA	8,417	158,129	85/10/0,52
CATAMBICO	8,851	170,230	88/10/0,52
CUTACAL	6,396	217,236	64/10/0,21
JORGORINO	3,585	89,997	36/10/0,40
LA LAGUNA	5,747	162,183	57/10/0,35
MAPACHICO	14,025	103,305	140/10/1,36
MOCONDINO	8,172	154,153	82/10/0,53
OSORNO	8,231	151,252	82/10/0,54
YACUQUEER	6,416	154,896	64/10/0,41
PROMIO	8,261	159,105	83/10/0,59

TABLA XVI

RELACIONES C/N, C/S ORGANICO, C/N/S ORGANICO EN LOS SUBSUELOS
DEL ALTIPLANO DE PASTO

SUELOS	C/N	C/S	C/N/S
ARGANDY B1	2,771	50,000	29/10/0,52
ARGANDY B2	2,697	185,000	27/10/0,14
ARANDA	3,230	156,000	32/10/0,21
ICATA	4,845	89,141	48/10/0,54
CATAMBO	1,303	45,600	13/10/0,28
CUYACAL	1,135	114,000	11/10/0,10
JONGCHITO	2,752	68,192	27/10/0,40
LA LAGUNA	6,260	131,471	62/10/0,48
MAPACHICO B1	1,688	49,715	15/10/0,41
MAPACHICO B2	5,844	56,251	58/10/1,04
MOCONDINO	7,263	176,895	72/10/0,41
OBONCO	5,031	90,002	50/10/0,56
YACUANQUER B1	4,327	283,638	43/10/0,15
YACUANQUER B2	5,404	248,541	54/10/0,22
PROMEDIO	3,896	124,175	39/10/0,32

TABLA XVII

RELACIONES c/n, c/s ORGANICO, c/n/s ORGANICO EN LOS SUELOS Y BOCA
DEL VOLCAN GALERAS

PERFIL	PROFUNDIDAD cms.	c/s	c/s	c/n/s
FRATLON	0 - 70	9,991	91,343	100/10/1,09
	70 - 120	5,036	17,889	50/10/2,81
	120 - 180	10,727	45,000	107/10/2,38
	180 - X	3,795	5,438	30/10/6,98
CIMA	0 - 9	1,587	10,893	16/10/0,86
	9 - X	2,857	12,500	28/10/2,28
BOCA		7,108	87,000	77/10/3,31

TABLA XVII

LIXIVIACION DE AZUFRE EN SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO MEDIANTE LA

ADICION DE ACIDO CLORHIDRICO 0.01% DURANTE 5 DIAS

Resultados en ppm.

SUELOS	1	2	3	4	5	TOTAL LIXIVIADO
ANGARAY	39,21	3,27	1,09	-	-	43,57
ARANDA	21,23	12,73	-	-	-	33,96
BOTARA	16,14	1,15	-	-	-	17,29
CATALBUJO	9,24	9,24	8,09	-	-	26,57
CUMICAL	6,89	13,33	2,22	-	-	24,44
JONCORITO	12,74	10,62	11,68	-	-	35,04
LA LAGUNA	24,76	16,89	11,26	-	-	52,93
MAPACHICO	41,42	13,08	8,72	-	-	63,22
MCCONNINO	13,34	4,45	-	-	-	17,79
OBORUNO	63,20	21,07	10,55	-	-	94,82
YACUARQUE	13,05	10,80	-	-	-	23,85

TABLA XIII

LIXIVIACION DE AZUFRE EN SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO MEDIANTE LA

ADICION DE ACIDO CLORHIDRICO 0.04N DURANTE 5 DIAS

Resultados en ppm.

SUELOS	1	2	3	4	5	TOTAL LIXIVIADO
ARCANOY B1	128,32	11,66	16,33	-	-	156,31
ARCANOY B2	32,48	12,99	1,08	-	-	46,55
ARANDA	5,75	14,96	2,30	-	-	23,01
BOTANA	34,01	4,86	2,42	1,21	-	42,50
CATAMBICO	13,83	1,15	-	-	-	14,98
CUJICAL	6,52	1,09	4,34	2,17	-	14,12
JONCOVITO	13,48	2,40	5,99	-	-	21,87
LA LAGUNA	15,61	13,01	10,44	-	-	39,06
MAPACHICO B1	28,93	3,34	-	-	-	32,27
MAPACHICO B2	35,83	4,62	1,15	-	-	41,60
MOCHELLO	12,63	1,26	-	-	-	13,89
OROFUCO	20,68	20,68	12,41	-	-	53,77
YACUANQUEB D1	25,77	1,72	-	-	-	27,49
YACUANQUEB P2	23,99	21,59	-	-	-	45,58

TAHA XX

LIXIVIACION DE AZUFRE EN SUELOS Y HOGA DEL VOLCAN CALDERAS MEDIANTE

LA ADICION DE ACIDO CLORHIDRICO 0.01M DURANTE 5 DIAS

Resultados en ppm.

PERFIL	PROP. onc.	1	2	3	4	5	TOTAL LIXIVIADO
FRASERON	0 - 70	23,54	14,98	-	-	-	38,52
	70 - 120	0,53	12,00	1,07	-	-	22,40
	120 - 180	22,69	21,58	22,69	2,27	-	69,23
	180 - X	12,58	4,19	5,24	-	-	22,01
CIWA	0 - 9	7,06	2,02	6,05	-	-	15,13
	9 - X	12,20	6,14	3,07	2,05	-	23,54
HOGA		14,04	12,03	-	-	-	26,07

derus mine cuando se oxida y pasa a sulfatos principalmente. Los compuestos orgánicos también ofrecen dificultad a lixiviarlos, por tanto deben mineralizarse. Prácticamente, se llega así a la conclusión de que la mayoría del azufre perdido fue en forma de sulfato. Esta posición concuerda con el hecho que Conrad (17), señala, afirmando que en las aguas de drenaje la principal forma de azufre encontrada es la de sulfato.

En las distintas lixiviaciones se observa que los sulfatos fueron perdidos rápidamente, todos antes del quinto día, y la cantidad perdida incluyó la fracción soluble en agua y parte de la forma intercambiable.

Comparando con los datos obtenidos por Córdoba, Melo y Prieto (18), se pierde mucho más azufre que nitrógeno, máximo teniendo en cuenta que el contenido de nitrógeno es mayor que el de azufre en los suelos del Altiplano. Este resultado demuestra la necesidad de preocuparse por la fertilización azufrada, especialmente en áreas de cultivos limpios o de hileras.

4.4 CORRELACION ENTRE EL S-TOTAL Y H_2S .

A manera de información y para que sirva de referencia en estudios de reducción del azufre, se presentan las correlaciones entre S-total y H_2S en los suelos y subsuelos estudiados (figuras 17 y 18). Sería interesante observar si al aumentar las condiciones reductoras del suelo el H_2S sigue dando una pobre correlación con el S-total. Ello significaría que un mal drenaje en los suelos del Altiplano sería más decisivo que la cantidad de azufre presente, en elevar los niveles de H_2S tan perjudiciales para las plantas.

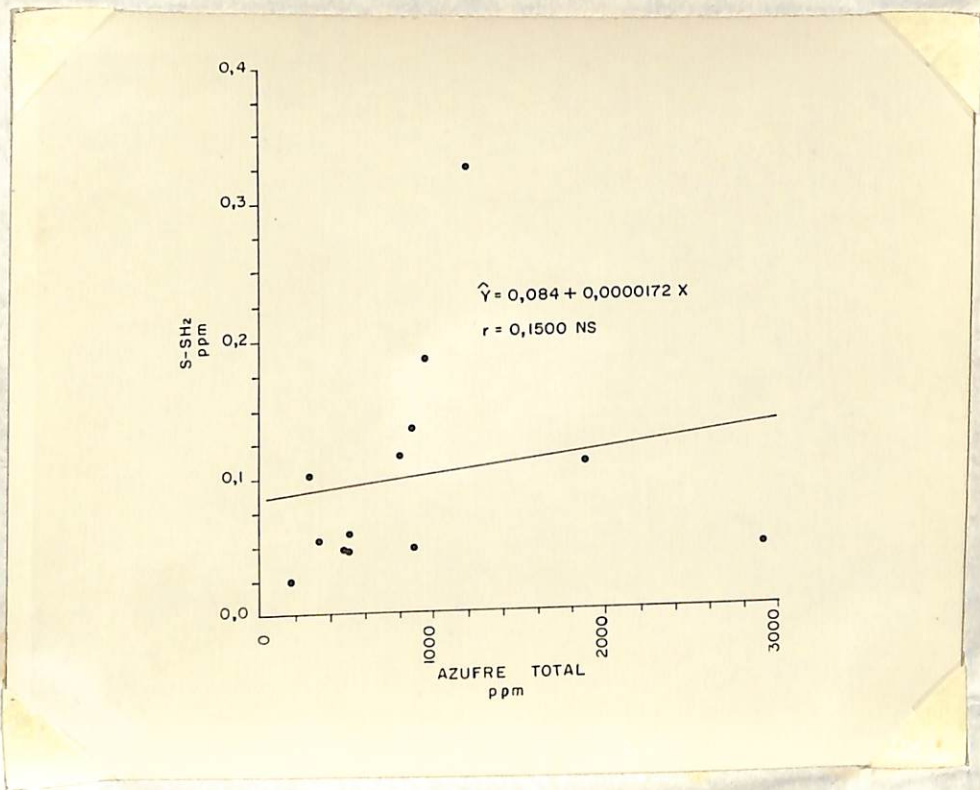


Figura No. 17. Relación entre el S-total y el H₂S en los suelos.

Nota: I. Santaerun

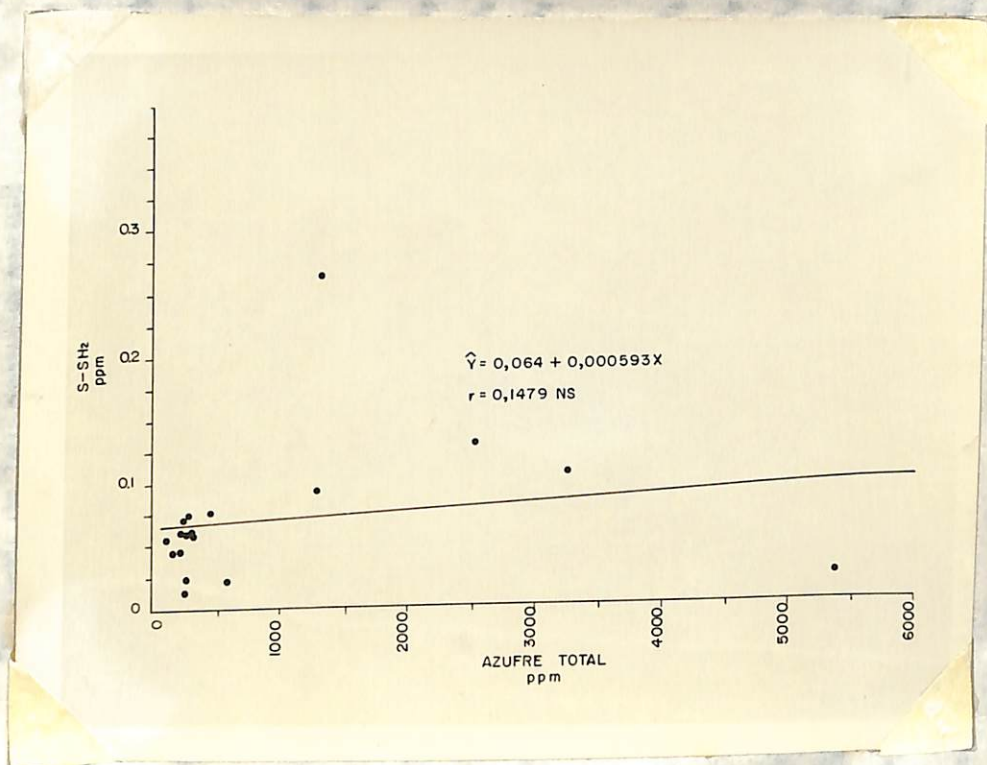


Figura No. 18. Relación entre el S-total y el H₂S en los subsuelos.

Foto: I. Santaeruz

TABLA XXI

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

X	Y	ECUACION DE REGRESION	r OBTENIDO	O.L.
SUELOS				
CARBONO ORGANICO	AZUFRE ORGANICO	$Y = -284,187 + 0,0166X$	0,7530**	11
AZUFRE TOTAL	AZUFRE ORGANICO	$Y = -16,307 + 0,4110X$	0,9547**	11
NITROGENO TOTAL	AZUFRE ORGANICO	$Y = -320,325 + 0,1544X$	0,3719NS.	11
AZUFRE TOTAL	NITROGENO TOTAL	$Y = 4065,069 + 0,3828X$	0,3540NS.	11
AZUFRE TOTAL	S-SH ₂	$Y = 0,084 + 0,0000172X$	0,1900NS.	11
SUELOS				
CARBONO ORGANICO	AZUFRE ORGANICO	$Y = 166,372 + 0,0111X$	0,1615NS.	16
AZUFRE TOTAL	AZUFRE ORGANICO	$Y = 30,056 + 0,2170X$	0,8337**	16
NITROGENO TOTAL	AZUFRE ORGANICO	$Y = 351,396 + 0,0191X$	0,0393NS.	16
AZUFRE TOTAL	NITROGENO TOTAL	$Y = 3177,534 + 0,0355X$	0,0609NS.	16
AZUFRE TOTAL	S-SH ₂	$Y = 0,064 + 0,000593X$	0,1479NS.	16

** Altamente significativo
NS No significativo.

V. CONCLUSIONES

1. El azufre total en promedio no sobrepasa el 0,07%. Los sub suelos son más pobres que los suelos. En general, tanto para suelos y subsuelos, si se descarta Anganoy, el promedio del Altiplano entra en los límites de la deficiencia.

2. El azufre total de las rocas examinadas 0,04% es más bien bajo y prácticamente todo el azufre fue inorgánico (98,11% del S-total). Aunque solo es una muestra representativa del cono volcánico, hasta cierto punto es indicativo, de que los materiales volcánicos del Galeras no pueden ser clasificados como ricos en contenido de azufre.

3. El azufre inorgánico osciló entre el 60 y el 80% del azufre total; fracción más importante en los suelos estudiados que la correspondiente a la forma orgánica.

4. Sobre los niveles de azufre (sulfatos) asequibles directamente a las plantas, no es fácil sacar conclusiones hasta que no se establezcan algunas correlaciones de campo. Sin embargo, la reserva que tienen los suelos no se muestra muy promisoría pues apenas triplica a la fracción intercambiable.

5. Las correlaciones estadísticas observadas, altamente significativa entre el contenido de carbono y azufre orgánico, correlación que no se repite en los subsuelos, y altamente significativa entre el azufre total y orgánico de los suelos y subsuelos, sugieren que en los suelos, por el momento, existe un buen balance de azufre.

6. La relación C/N/S orgánico se aproximó a 130/10/1,3 corroboran

do que los niveles de azufre de los compuestos orgánicos de los suelos del Altiplano son normales.

7. Teniendo en cuenta otras investigaciones realizadas en el Altiplano, todos los resultados convergen a señalar que los materiales orgánicos tienen un adecuado nivel de nitrógeno, fósforo y azufre. Sería necesario buscar ahora qué tratamientos producen la mejor mineralización.

8. Se encontró que los sulfatos de los suelos del Altiplano se lixivian rápidamente, y la cantidad perdida incluyó la fracción soluble en agua y parte de la forma intercambiable.

9. A pesar de que el contenido de nitrógeno es mayor que el de azufre en los suelos del Altiplano, se pierde mucho más azufre que nitrógeno. Este resultado demuestra la necesidad de preocuparse por la fertilización azufrada, especialmente en áreas de cultivos limpios o de hileras.

10. Las cantidades de sulfídrico encontradas son bajas. Es evidente que en este resultado influyó el secado de las muestras. Sería interesante observar los niveles que corresponden a condiciones de capacidad de campo y si al aumentar las condiciones reductoras del suelo el H_2S sigue dando una pobre correlación con el S-total.

11. El porcentaje de S-total en las rocas del Volcán Galeras se encuentra en forma de sulfuros (blenda y pirita), que por oxidación pasan a sulfatos.

VI. RECOMENDACIONES

1. Mediante pruebas de invernadero, determinar cuáles son los límites críticos del azufre intercambiable del suelo para las plantas, en el Altiplano.

2. Realizar ensayos de campo y pruebas de invernadero, utilizando fertilizantes azufrados y factoriales que incluyan N-P-K y elementos menores.

3. Determinar el índice de mineralización del azufre en los suelos con distintos tratamientos físico-químicos. (humedad, pH, fertilizaciones, etc).

VII. RESUMEN

Se estudiaron en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto (Nariño, S.O. Colombia), algunas fracciones de azufre, sus correlaciones con los compuestos orgánicos y la determinación de la pérdida de azufre por lixiviación. El Altiplano está localizado entre los 7.500 y 8.400 pies (2.500 - 2.800 metros) sobre el nivel del mar, la temperatura y precipitación promedio son de 55°F (13°C) y 28 pulgadas (700 mm.) por año, respectivamente.

En los diferentes suelos y subsuelos estudiados el total de $S-SO_4$ varió entre 108 y 3.261 ppa., siendo el porcentaje de azufre inorgánico más alto que el azufre orgánico. Se encontró una correlación altamente significativa entre el carbono orgánico y el azufre orgánico, como también entre el azufre total y el azufre orgánico. Las pérdidas de azufre causadas por lixiviación fueron bastante altas, mayores que las reportadas para el nitrógeno en una investigación anterior.

SUMMARY

Some fractions of sulfur, their correlation with organic compounds and the determination of S-losses by leaching were studied in the volcanic soils obtained from the Highland of Pasto (Nariño, SW Colombia). The Highland lies at about 7,500 - 8,400 feet (2,500 - 2,800 metros) above sea level, and their mean average temperature and rainfall are 55°F (13°C) and 28 in (700 mm) per year, respectively.

In the different soils and subsoils studied total S- SO_4 ranged from 108 to 3261ppm., being the percentage of inorganic-S higher than of the organic-S. A highly significant correlation was established between the organic-C and organic-S, as well so between total-S and organic-S. S-losses through leaching were quite large, greater than that reported for the nitrogen in a previous investigation.

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. ARANUDI, G. and R. CRAVERI. 1964. Microbial process in the metabolism of sulfur in soil. *Agrochimica*, 8:285-302.
3. BARDLEY, G.E. and J.D. LANCASTER. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. *Soil Sci. Amer. Proc.* 24:265-268.
4. _____ 1965. Methods of soil analysis Part 2. Amer. Soc. Agron. Monograph No. 9:1108-1110.
5. BARRON, H.J. 1961. Studies on mineralization of sulphur from soil organic matter. *Austr. Jour Agric. Res.* 12:306-319.
6. BEATON, J.B. 1966. Sulfur requirements of cereals, tree fruits, vegetables and other crops. *Soil Sci.* 101:267-282.
7. BIXBY, B.H. and D.L. RUCKER. 1965. Adding plant nutrient sulphur to fluid fertilizers. The Sulphur Inst., London. Bull. Tech. No. 11. 16p.
8. _____, S.L. TISDALE and D.L. RUCKER. 1964. Adding plant sulphur to fertilizer. The Sulphur Inst., London. Bull. Tech. No. 10. 41p.
9. BEASCO, H. 1970. Microbiología de Suelos. IICA. Turrialba. 247p.

10. BLASCO, M. 1969. Características químicas de los suelos volcánicos de Mariño, Colombia. In Panel sobre Suelos derivados de Cenizas volcánicas de América Latina. IICA-FAO. Turrialba, Costa Rica. 2-8:1-10.
11. BORNEMISZA, E. and R. LLANOS. 1967. Sulfate movement, adsorption and desorption in three Costa Rican soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:356-360.
12. _____, and J.C. MORALES. 1969. Some chemical characteristics of recent volcanic ash. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:528-530.
13. BRENNER, J.W. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl Method. Jour. Agric. Sci. 55:11-13.
14. BUENO, J. 1946. Estudio Geológico del Departamento de Mariño que presenta al Laboratorio Nacional de Fomento y Minas de Pasto, al Ministerio de Minas y Petróleos. Pasto, Colombia. Informe No. 625.
15. BURNS, G.R. 1967. Oxidation of sulphur in soils. The Sulphur Inst. London, Tech. Bull. No. 13. 41p.
16. COLBUAN, R. 1966. The importance of sulfur as a plant nutrient in world crop production. Soil Sci. 101:230-239.
17. CONRAD, J.P. 1950. Sulfur fertilization in California and some related factors. Soil Sci. 70:43-54.

18. CORDOBA, H., M.A. MELO y J.V. PRINYO. 1970. Lixiviación y volatilización del Nitrógeno en algunos suelos del departamento de Nariño. Tesis de grado. (no publicada). ITA, Universidad de Nariño. Pasto. 106p.
19. CONLING, D.W. and H.P. JONES, L. 1970. A deficiency in soil sulfur supplies for perennial ryegrass in England. Soil Sci. 110: 343-354.
20. CHAO, T.T., H.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 phenomena 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. DOMB, F.P. 1965. La estadística, qué sencilla. Paraninfo. Madrid. 183p.

26. ESPINOSA, F.M. 1966. Preliminary information on sulphur deficiency in El Salvador. ISIC. El Salvador. Bol. Inf. Supl. No. 21.
27. PASSBENDER, H.W. 1969. Química de suelos. IICA. Turrialba. 266p.
28. FISHER, A.R. y F. YATES. 1963. Tablas estadísticas para investigadores científicos. 3a. ed. Aguilar. Madrid. 131p.
29. FRENBY, J.R. 1967. Sulfur-containing organics. In Molaren, A. D. y G.H. Petersen, ed. Soil biochemistry. Dekker, New York. 229-259p.
30. _____, 1961. Some observations on the nature of organic sulphur compounds in soil. Austr. Jour. Agric. Res. 12:424-432.
31. _____, 1960. The oxidation of cysteine to sulfate in soils. Austr. Jour. Biol. Sci. 13:387-393.
32. _____, G.E. MELVILLE and C.H. WILLIAMS. 1970. The determination of carbon bonded sulphur in soil. Soil Sci. 109:310-318.
33. _____, 1966. Extraction chemical nature and properties of soil organic sulphur. Jour. Sci. Food Agric. 20:440-445.
34. _____, and F.J. STEVENSON. 1966. Organic sulfur transformations in soils. Soil Sci. 101:307-316.

35. BARNARD, M.S. and H.W. REISEHAUER. 1966. Reactions and movement of inorganic soil sulfur. *Soil Sci.* 101:326-335.
36. JACKSON, M.L. 1964. *Análisis químico de suelos*. Trad. por José Beltrán Martínez. Oeaga, Barcelona. 662p.
37. KANWAR, J.S. and S. MOHAN. 1962. Sulphur in soils. Distribution of forms of sulphur in Punjab soils. *Proc. Symp. Fertiliser Indian Soils Bull. Nat. Inst. Sci.* 26:31-36.
38. KILMER, V.J. and NEARPASS. 1960. The determination of available sulfur in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24:337-340.
39. KUE, E. 1961. The metabolism of sulfur-containing compounds. In Greenberg, D.M. ed. *Metabolic pathways*. Academic Press, New York. Vol. II:237-261.
40. LEGARDA, L. y E. HERRA. 1969. Estudio de ciertas características de algunos suelos de Barilo relacionados con las formaciones geológicas. Tesis de grado. (no publicada). IITA, Universidad de Barilo. Pasto. 166p.
41. LOTT, M.L., A.C. NEGLING and J.C. HEDCALF. 1960. Sulfur deficiency in coffee. *IBGC, Brazil*. No. 22.
42. LONG, L.S. and M.A. DE LONG. 1963. Carbon bonded sulphur in selected Quebec soils. *Canad. Jour. Soil Sci.* 43:151-155.
43. _____ 1961. Aspects of the sulphur status of three Quebec soils. *Canad. Jour. Soil Sci.* 41:141-146.

44. MASSOUMI, A. and A.H. 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.
45. _____, 1963. A rapid method for detoxifying sulphate in water extracts of soils. *The Analyst.* 88:321-322.
46. McCLING, A.C., L.N. 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.
47. _____, J.R. GALLO, L.R. QUINN and G.C. MOTT. 1960. Preliminary fertility studies on "Causpos Cerrados" Soils in Brazil. *IBEC, Brazil.* No. 13.
48. MELVILLE, G.B., J.R. PRENEY and C.H. WILLIAMS. 1969. Investigation on the use of a chelating resin for the extraction of sulphur from soil. *Jour. Sci. Food Agric.* 20:203-206.
49. MILLER, D.S. and G. DONOSO. 1963. Relation between the sulfur/nitrogen ratio and the protein value of diets. *Jour. Sci. Food Agric.* 14:345-349.
50. MOLINA, G. y BLASCO, H. 1970. El nitrógeno en los suelos derivados de cenizas volcánicas del Altiplano de Pasto, Colombia. *Turrialba.* 20:288-292.
51. MULLER, L.S. 1965. Sulphur deficiency in some Central American soils. *Turrialba.* 15:208-215.

52. ORDÓÑEZ, H. 1969. Estudio sobre el potasio en algunos suelos del Altiplano de Pasto. Tesis de grado. (no publicada) ITA. Universidad de Nariño. Pasto. 114p.
53. POSTGATE, J.R. 1965. Recent advances in the study of the sulfate reducing bacteria. *Bacteriol. Rev.* 29:425-441.
54. _____ 1959. Sulfate reduction by bacteria. *Ann. Rev. Microbiol.* 13:505-520.
55. 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.
56. SILVA, F. *et al.* 1963. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 2a. ed. Agustín Codazzi. (Bogotá). 13p.
57. SIMON-GYLVESTRE, G. 1969. Les sulfates solubles du sol. *Ann. Agron.* 20:435-447.
58. _____ 1967. Observations sur le cycle annuel du soufre dans un sol sous climat modérément pluvieux. *Agrochimica.* 12:60-68.
59. STANLEY, R.L. 1966. Oxidation and reduction of sulphur compounds. *Soil Sci.* 101:297-306.
60. 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.

61. SWINBURN, L.D. 1969. Properties of volcanic ash soils. In Panel sobre suelos derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. IICA/FAO. Turrialba, Costa Rica. 2-19:1-9.
62. TABATABAI, H.A. and J.M. BREWER. 1970. An alkaline oxidation method for determination of total sulfur in soils. Soil. Sci. Amer. Proc. 34:62-65.
63. THODINGER, P.A. 1964. The effects of thiosulphate and oxygen concentration on tetrathionate oxidation by Thiobacillus X and T. thioarum. Mechon. Jour. 20:640-646.
64. VISNJIAC, N. and P.A. THODINGER. 1962. Symposium on autotrophy. V. Carbon dioxide fixation and substrate oxidation in the chemosynthetic sulfur and hydrogen bacteria. Bact. Reviews. 26:168-175.
65. 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.
66. WHITHEAD, D.C. 1964. Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle. Soils and Fert. 27:1-8.
67. WILLIAMS, C.H. 1967. Some factors affecting the mineralization of organic sulphur in soils. Plant and Soil. 26:205-223.
68. _____ 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.

69. WILLIAMS, C.H. and A. STRINBERGS. 1964. The evaluation of plant available sulphur in soils. II. The availability of adsorbed and insoluble sulphates. *Plant and soil*. 21:50-62.
70. _____, D.C. WILLIAMS and H.K. SCOTT. 1960. Carbon, nitrogen, sulphur and phosphorus in some scottish soils. *Jour. Soil Sci.* 2:334-346.
71. YOUNG, L. and A.C. HAN. 1958. The metabolism of sulphur compounds. Methuen, London. 180p.
72. ZAMBRANO, D.H., L. BRASO y V. NICHOLLS. 1969. Atlas agrológico del Departamento de Heriño. Tesis de grado. (no publicada). IFA. Universidad de Heriño. Pasto. 257p.

ANT
631.4
D671
Es. 1

19610
Dominguez Duque, Guillermo

Estudio sobre algunos aspectos del azufre en el altiplano.	VENCE
NOMBRE	<i>[Redacted]</i>
No. del Carnet	<i>[Redacted]</i>
NOMBRE	<i>Lucia Ortega de Pardo</i>
No. del Carnet	<i>8416101</i>
NOMBRE	<i>[Redacted]</i>

AN
T
631.4
D671
Es. 1

19610

Universidad de Nariño
BIBLIOTECA
ALBERTO QUIJANO GUERRERO

19610 -