

FORMAS Y MINERALIZACION DEL AZUFRE EN SUELOS VOLCANICOS DE NARIÑO,
COLOMBIA

Por

CARLOS ALBERTO MOSQUERA QUIJANO

Tesis de Grado presentada como requisito parcial
para optar al título de
INGENIERO AGRONOMO

Presidente de Tesis

HERNAN BURBANO ORJUELA I.A., M. Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA

1975

FN
T
546.2
M912
87.1

A-00013

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS
PASTO - COLOMBIA

No. 19437 F. 1
 Valor \$1.000 = Vol. _____
 Fecha 10 - 27 - 76 Tom. 1
 Fact. aprobación
 Librería autor Cmp. _____

A MIS PADRES
A MI ESPOSA
A MI HIJO
A NELLY

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

Artículo 10. del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

DEDICO :
CARLOS ALBERTO BOGUESA QUIJANO
como contribuyente a la realización del presente trabajo.

AN
T
546.2
M912
8f. 1

A-00013

UNIVERSIDAD DE NARIÑO	
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS	
PASTO - COLOMBIA	
No. <u>19437</u>	Fol. <u>1</u>
Valor <u>\$1.000 =</u>	Vol. _____
Fecha <u>10 - 27 - 76</u>	Fon. <u>X</u>
Rect. <u>Agropecuaria</u>	_____
Librería <u>autor</u>	Cmpo. _____

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MI HIJO

A NELLY

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

Artículo 10. del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

DEDICO
CARIOS ALBERTO RODRIGUEZ QUIJANO

AGRADECIMIENTOS A :

- A MIS PADRES HERNAN BURBANO ORJUELA I.A., M. Sc.
- A MI ESPOSA LUCIO LEGARDA BURBANO I.A., M. Sc.
- A MI HIJO EFREN CORAL QUINTERO I.A., M. Sc.
- A NELLY RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A., M. Sc.
- A MIS HERMANOS MIGUEL VIVEROS ZARANA I.A.
- A MIS FAMILIARES FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA
- A MIS AMIGOS ELVIRA GOMEZ SANTACRUZ

LUCY AGUILERA RIASCOS

Facultad de Ciencias Agrícolas de la
Universidad de Maricao

DEDICO :

Todos **CARLOS ALBERTO MOSQUERA QUIJANO**
fueron contribuyeron a la realización
del presente trabajo.

CONTENIDO

Pág.

I.	INTRODUCCION	1
II.	REVISION DE LITERATURA	2
2.1	Origen del azufre del suelo	2
AGRADECIMIENTOS A :		
2.2	Formas y contenido del azufre en el suelo	2
2.2.1	Azufre total	2
2.2.2	Azufre orgánico	3
2.2.3	Azufre disponible	4
2.3	Factores que influyen en la disponibilidad del azufre en el suelo	5
2.4	Mineralización del azufre en el suelo	6
III.	MATERIALES Y METODOS	7
3.1	Area de estudio	7
3.1.1	Ubicación y condiciones de clima	7
3.1.2	Suelos de la región de Toluca	7
3.1.2.1	Suelos de la zona de Toluca	7
	sobre ceniza volcánica	8
3.1.2.2	Suelos de la zona de Toluca	8
	complejo	8
3.1.3	Suelos de la región Toluca - Tepic	9
3.1.3.1	Suelos de material parental profunden- tamente de ceniza volcánica	9
3.1.3.2	Suelos de formación compleja	9
3.2	Muestreo	10
3.3	Análisis físico-químico general	10
3.3.1	Humedad	10
3.3.2	Textura	10
3.3.3	Densidad aparente	12

CONTENIDO

	Pág.
3.3.4 Reacción del suelo	12
3.3.5 Carbono orgánico	12
3.3.6 Materia orgánica	12
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
2.1 Origen del azufre del suelo	2
2.2 Formas y contenido del azufre en el suelo	2
2.2.1 Azufre total	2
2.2.2 Azufre orgánico	3
2.2.3 Azufre disponible	4
2.3 Factores que influyen en la disponibilidad del azufre en el suelo	5
2.4 Mineralización del azufre en el suelo	6
III. MATERIALES Y METODOS	7
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	7
3.1 Area de estudio	7
4.1 Características generales de los suelos	7
3.1.1 Ubicación y condiciones de clima	7
3.1.2 Suelos de la región de Pasto	7
4.1.7 Materia orgánica	13
3.1.2.1 Suelos desarrollados principalmente sobre ceniza volcánica	8
4.1.3 Capacidad de intercambio catiónico	13
4.1.4 Densidad aparente	16
3.1.2.2 Suelos desarrollados de materiales complejos	8
4.1.5 Textura	16
4.2 3.1.3 Suelos de la región Túquerres - Ipiales	9
10	16
3.1.3.1 Suelos de material parental preferen temente de ceniza volcánica	9
4.2.1 Azufre total	16
4.2.2 3.1.3.2 Suelos de formación compleja	9
4.2.3 Azufre inorgánico	16
3.2 Muestreo	10
4.3 Azufre reserva del suelo	16
3.3 Análisis físico-químico general	10
3.3.1 Humedad	10
4.4 3.3.2 Textura	10
3.3.3 Densidad aparente	12

3.3.4	Reacción del suelo	12
3.3.5	Carbono orgánico	12
3.3.6	Materia orgánica	12
3.3.7	Capacidad de intercambio catiónico	12
3.4	Fraccionamiento del azufre	12
3.4.1	Azufre total	12
3.4.2	Azufre orgánico	12
3.4.3	Azufre inorgánico	13
3.4.4	Azufre intercambiable	13
3.4.5	Azufre reserva del suelo	13
3.4.6	Azufre soluble en agua	13
3.5	Prueba de incubación	13
3.6	Análisis estadístico	14
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	15
4.1	Características generales de los suelos	15
4.1.1	Reacción del suelo	15
4.1.2	Materia orgánica	15
4.1.3	Capacidad de intercambio catiónico	15
4.1.4	Densidad aparente	16
4.1.5	Textura	16
4.2	Concentración de las fracciones de azufre en los suelos	16
4.2.1	Azufre total	17
4.2.2	Azufre orgánico	17
4.2.3	Azufre inorgánico	19
4.2.4	Azufre reserva del suelo	19
4.2.5	Azufre intercambiable	20
4.2.6	Azufre soluble en agua	21
4.3	Prueba de incubación	22

ILUSTRACIONES

	Pág.
4.3.1 Producción de sulfatos	22
4.3.2 Producción de CO ₂	26
FIGURA 1. Tipos de muestras y localización en la zona de estudio	27
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
FIGURA 2. Relación entre el CIC y el carbono orgánico, en la primera capa	45
5.1 Conclusiones	45
5.2 Recomendaciones	46
FIGURA 3. Relación entre el azufre total y el azufre inorgánico en la primera capa	48
VI. RESUMEN	48
SUMMARY	49
FIGURA 4. Relación entre el azufre total y el azufre inorgánico en la segunda capa	50
VII. BIBLIOGRAFIA	50
APENDICE	57
FIGURA 5. Relación entre el azufre reserva y el azufre orgánico, en la primera capa	39
FIGURA 6. Relación entre el azufre reserva y el azufre orgánico, en la segunda capa	40
FIGURA 7. Cambios en la concentración de S-SO ₄ y evolución parcial de CO ₂ en los suelos Pasto-Ípiales Km 15 y Pasto-Buzaco Km 7, por efecto de tratamientos con calcio y fósforo	41
FIGURA 8. Cambios en la concentración de S-SO ₄ y evolución parcial de CO ₂ en los suelos Pasto-Chachagüí Km 9 y Norido, por efecto de tratamientos con calcio y fósforo	42
FIGURA 9. Cambios en la concentración de S-SO ₄ y evolución parcial de CO ₂ en los suelos Pasto-Tungua Km 13 y Pupiales por efecto de tratamientos con calcio y fósforo	43
FIGURA 10. Cambios en la concentración de S-SO ₄ y evolución parcial de CO ₂ en los suelos Guacimal y Pasto-Chachagüí Km 14, por efecto de tratamientos con calcio y fósforo	44

ILUSTRACIONES

	Pág.
FIGURA 1. Sitios de muestreo y su localización en la zona de estudio	11
FIGURA 2. Relación entre la CIC y el carbono orgánico, en la primera capa	36
FIGURA 3. Relación entre el azufre total y el azufre inorgánico en la primera capa	37
FIGURA 4. Relación entre el azufre total y el azufre inorgánico en la segunda capa	38
FIGURA 5. Relación entre el azufre reserva y el azufre orgánico, en la primera capa	39
FIGURA 6. Relación entre el azufre reserva y el azufre orgánico, en la segunda capa	40
FIGURA 7. Cambios en la concentración de $S-SO_4$ y evolución parcial de CO_2 en los suelos Pasto-Ipiales Km 15 y Pasto-Buesaco Km 7, por efecto de tratamientos con calcio y fósforo	41
FIGURA 8. Cambios en la concentración de $S-SO_4$ y evolución parcial de CO_2 en los suelos Pasto-Chachagüí Km 9 y Nariño, por efecto de tratamientos con calcio y fósforo	42
FIGURA 9. Cambios en la concentración de $S-SO_4$ y evolución parcial de CO_2 en los suelos Pasto-Tangua Km 18 y Pupiales por efecto de tratamientos con calcio y fósforo	43
FIGURA 10. Cambios en la concentración de $S-SO_4$ y evolución parcial de CO_2 en los suelos Guachucal y Pasto-Chachagüí Km 24, por efecto de tratamientos con calcio y fósforo	44

TABLAS

		Pág.
TABLA	I. Características físico-químicas de los suelos estudiados, primera capa	28
TABLA	II. Características físico-químicas de los suelos estudiados, segunda capa	29
TABLA	III. Fracciones de azufre y participación porcentual referida al azufre total, primera capa	30
TABLA	IV. Fracciones de azufre y participación porcentual referida al azufre total, segunda capa	31
TABLA	V. Relaciones C : S-orgánico en los suelos estudiados	32
TABLA	VI. Mineralización o inmovilización del S-SO ₄ en ppm de los suelos estudiados por efecto de la adición de CaCO ₃ (500 ppm) y Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O (200 ppm) después de 3, 6, 9 y 12 semanas de incubación, primera capa	33
TABLA	VII. Producción acumulativa de CO ₂ , en mgr CO ₂ /10 gr de suelo, en los suelos estudiados por efectos de la adición de CaCO ₃ (500 ppm) y Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O (200 ppm), primera capa	34
TABLA	VIII. Producción parcial de CO ₂ , en mgr CO ₂ /10 gr de suelo, en los suelos estudiados por efectos de la adición de CaCO ₃ (500 ppm) y Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O (200 ppm), primera capa	35

APENDICE
FORMAS Y MINERALIZACION DEL AZUFRE EN SUELOS VOLCANICOS DE NARIÑO,
COLOMBIA (1)

Pág.

TABLA I. Análisis de variancia para la producción de sulfatos en los suelos del sector Pasto-Ipiiales Km 15 y Pasto-Buesaco Km 7, durante la prueba de incubación 2

TABLA II. Análisis de variancia para la producción de sulfatos en los suelos del sector Pasto-Chachagüí Km 9 y Nariño, durante la prueba de incubación 3

TABLA III. Análisis de variancia para la producción de sulfatos en los suelos del sector Pasto-Tangua Km 18 y Pupiales, durante la prueba de incubación 4

TABLA IV. Análisis de variancia para la producción de sulfatos en los suelos del sector Guachucal y Pasto-Chachagüí Km 24, durante la prueba de incubación 5

Se consideró oportuno adelantar en trabajo de laboratorio con suelos del Departamento de Nariño que tienen influjo de materiales volcánicos, para conocer tanto el estado de las diferentes fracciones de azufre, como para estudiar el metabolismo de este elemento en función de diferentes períodos de incubación, por efecto de la adición de cal y fósforo, que son prácticas dentro del manejo de suelos, muy generalizadas en la zona de estudio.

Finalmente, el presente trabajo trata de completar en parte el programa básico de investigación en suelos que viene adelantando la Facultad de Ciencias Agrícolas.

(1) Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Heróldo Burbano O. J.A., 1970.

II. REVISIÓN DE LITERATURA
FORMAS Y MINERALIZACIÓN DEL AZUFRE EN SUELOS VOLCANICOS DE NARIÑO,
COLOMBIA (1)

2.1 Origen del azufre del suelo

La corteza terrestre contiene aproximadamente un 0,06 por ciento de azufre. Este elemento se halla presente en forma de sulfuros, sulfatos y en combinaciones orgánicas con carbono y nitrógeno (39, 57).

CARLOS ALBERTO MOSQUERA QUIJANO

El azufre se encuentra normalmente en rocas primarias bajo la forma de sulfuros, y tiende a estar en cantidades mayores en las rocas ígneas básicas que en las ácidas (51).
I. INTRODUCCION
Después del conjunto de las rocas sedimentarias, aquellas de origen químico, tales como las evaporitas, tienen azufre en su composición: yeso y anhidrita formadas principalmente de $CaSO_4$ y $CaSO_3$. El azufre es indispensable para el normal desarrollo de los cultivos, sin embargo, el volumen de investigación para este elemento es muy bajo. Esta situación obedece principalmente a las siguientes causas: la metodología para su determinación ha resultado complicada, los síntomas de su deficiencia se pueden confundir con los de otros elementos o aquellos producidos por otros agentes y, las posibles carencias se han atenuado indirectamente al aplicar fertilizantes nitrogenados, potásicos, fosfatados o completos que también lleven azufre reductoras; es posible que también se presente en suelos de origen volcánico. En menores cantidades se encuentran algunos sulfuros tales como FeS_2 .
Se consideró entonces de interés, adelantar un trabajo de laboratorio con suelos del Departamento de Nariño que tienen influjo de materiales volcánicos, para conocer tanto el estado de las diferentes fracciones de azufre, como para estudiar el metabolismo de este elemento en función de diferentes períodos de incubación, por efecto de la adición de cal y fósforo, que son prácticas dentro del manejo de suelos, muy generalizadas en la zona de estudio.
sulfatos y compuestos misceláneos (9, 29).

Finalmente, el presente trabajo trata de completar en parte el programa básico de investigación en suelos que viene adelantando la Facultad de Ciencias Agrícolas.

(1) Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Hernán Burbano O. I.A., M. Sc.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Origen del azufre del suelo

La corteza terrestre contiene aproximadamente un 0,06 por ciento de azufre. Este elemento se halla presente en forma de sulfuros, sulfatos y en combinaciones orgánicas con carbono y nitrógeno (39, 57).

El azufre se encuentra normalmente en rocas primarias bajo la forma de sulfuros, y tiende a estar en cantidades mayores en las rocas ígneas básicas que en las ácidas (51). Dentro del conjunto de las rocas sedimentarias, aquellas de origen químico, tales como las evaporitas, tienen azufre en su composición: yeso y anhidrita formadas principalmente de $CaSO_4$ y $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, con una variante, la selenita, cuando la estructura es laminar; kieserita $MgSO_4 \cdot K_2SO_4$; kainita $KCl \cdot MgSO_4$ y langbeinita $MgSO_4 \cdot K_2SO_4$ (6). Los sulfatos complejos de calcio y magnesio y los de magnesio (epsomita) no son tan frecuentes en los suelos (25).

Como minerales primarios que contienen azufre están también los sulfuros. Entre estos se destaca la pirita FeS_2 que está asociada en los suelos a condiciones reductoras; es posible que también se presente en suelos de origen volcánico. En menores cantidades se encuentran algunos sulfuros tales como la esfalerita ZnS , la calcopirita $CuFeS_2$ y la cobalita $CoAsS$ (25, 39).

En el suelo existen muchos compuestos orgánicos azufrados. Sin embargo, la mayor cantidad del azufre orgánico se presenta como cisteína, cistina y metionina, siendo otro grupo importante el de los sulfoésteres. Pueden mencionarse de otra parte, compuestos sulfonados, vitaminas, antibióticos, isocianatos y compuestos misceláneos (9, 29).

2.2 Formas y contenido del azufre en el suelo

2.2.1 Azufre total

El contenido de azufre total en el suelo indica la reserva de este elemento, que puede ser convertido por acción química o bacterial en

sulfato, la forma más rápidamente aprovechable para las plantas. El azufre está presente en el suelo en formas diferentes, tanto orgánicas como inorgánicas. Por tanto, para determinar la cantidad total, es necesario convertir todo el azufre de estos compuestos, en una forma en la cual pueda ser analizado. Esto se puede conseguir bien por oxidación a sulfato o por reducción a sulfuro (5, 18).

En general, el azufre total en los suelos de cultivo puede oscilar de casi cero a 600 ppm, mientras que en suelos orgánicos puede estar sobre las 5.000 ppm. Muchos suelos contienen sin embargo, entre 100 y 500 ppm (5). Según Whitehead (60), quien revisó información para suelos de Europa, Africa y Norte América, el azufre total varía entre 20 y 3.500 ppm. En suelos de Francia, Simon-Sylvestre (54) halló concentraciones de azufre total que fluctúan entre 940 y 1.470 ppm. La información para suelos de la parte Este de Australia, da valores extremos para el azufre total correspondientes a 38 y 545 ppm (28). Para suelos de Brasil (San Pablo y Paraná) se encontró un promedio de azufre total igual a 166 ppm, en tanto que para suelos de Estados Unidos (Iowa) dicho promedio fue de 319 ppm (47). Blasco (11) para suelos de América Central da valores de azufre total que oscilan entre 470 y 2.300 ppm. En suelos de Nicaragua, Burbano (13) detectó concentraciones de azufre total que van de 496 a 1.250 ppm. Granados (34) encontró para suelos de Costa Rica que el azufre total fluctúa entre 2.400 y 3.400 ppm. Dominguez y Rodriguez (21) indican que el valor máximo de la forma total de azufre para suelos volcánicos de Colombia (Nariño) equivale a 700 ppm. En otro estudio sobre la misma zona y un sector del Putumayo se encontró como máxima concentración de azufre total 2.080 ppm (3). En suelos derivados de cenizas volcánicas (Chile), Schalscha, Estrada y Galindo (52) detectaron valores para el azufre total comprendidos entre 300 y 1.000 ppm.

2.2.2 Azufre orgánico

El azufre orgánico presente en el suelo proviene de los residuos vegetales y animales que caen a éste, así como también de los productos de la actividad microbial. Esta fracción representa en un momento dado una fuente de abastecimiento para los cultivos, ya que por transformaciones bioquímicas puede pasar a formas disponibles para éstos (1, 25, 27).

En suelos de Australia, Freney (28) indica que el azufre orgánico representa un 93%. Lowe y Delong (43, 44) encontraron en suelos del Canadá (Quebec), a través de dos trabajos, que los máximos porcentajes del azufre orgánico fueron 58 y 70. Los suelos de San Pablo y Paraná (Brasil) registraron un promedio de azufre orgánico igual a 88,8%; este promedio para suelos de Iowa (Estados Unidos) fue igual a 95,6% (47). Para suelos del área del Caribe, Haque y Walmsley (36) hallaron que el azufre orgánico varía entre 90 y 98%. Blasco (11) encontró que el conjunto de suelos de Centro América por él estudiados tienen 35% de azufre orgánico. La participación porcentual del azufre orgánico registrada por Burbano (13), para suelos de Nicaragua, oscila entre 13,1 y 36,4. Los valores de azufre orgánico según Granados (34), quien trabajó con suelos en Costa Rica corresponden a 38 - 60%. En suelos volcánicos de Colombia el valor promedio del azufre orgánico equivale a 22,7% (21). Para suelos de Colombia ubicados en el Putumayo los valores extremos de azufre orgánico son 11,1 y 26,4% (3).

2.2.3. Azufre disponible

El azufre soluble es rápidamente absorbido por las plantas y representa la fuente inmediatamente disponible. Esta tiene su origen bien a partir de la oxidación del azufre elemental o del anhídrido sulfuroso, o bien puede proceder de la materia orgánica por efecto de la acción microbiana (5, 29).

En suelos de Centroamérica, Blasco (11) encontró las siguientes concentraciones promedias de azufre disponible : Guatemala 20 ppm, El Salvador 14 ppm y Costa Rica 59 ppm. Según este autor, en términos agrícolas, si las plantas requieren cantidades similares o ligeramente superiores de azufre que de fósforo, se puede considerar que casi todos los suelos presentan una concentración deficitaria.

El estudio de los suelos de la región Pacífica de Nicaragua indica que, los niveles de la fracción disponible son bajos. Las concentraciones extremas corresponden a 7,6 y 31,2 ppm, y el promedio es del orden de las 15,7 ppm (13).

Para suelos de Costa Rica, un estudio adelantado recientemente sobre la base de 30 muestras y utilizando como solución extractora el fosfato de calcio encontró que, los valores extremos de azufre disponible varían entre 1,9 y 42,9 ppm (49).

Los suelos del Altiplano de Pasto registraron como concentraciones extremas 13,6 y 106,8 ppm, con una concentración promedio de 38,7 ppm (21). Un trabajo más amplio sobre suelos del Departamento de Nariño dió como valor máximo y mínimo 220 ppm y 13,0 ppm, respectivamente; su promedio fue del orden de las 75,1 ppm (3).

2.3 Factores que influyen en la disponibilidad del azufre en el suelo

Algunas evidencias indican que el azufre en forma de sulfato, así como también ciertas formas orgánicas, pueden ser retenidas en el suelo. En presencia de material orgánico de fácil descomposición, los microorganismos del suelo pueden competir con las plantas superiores, por la pequeña cantidad de sulfato aprovechable en suelos deficientes en azufre (15).

La adsorción del sulfato en el suelo puede reseñarse así: buena parte de los suelos tienen alguna capacidad para retener sulfatos y la capacidad de éstos en el horizonte superficial generalmente es menor que en el subsuelo; las arcillas kandíticas retienen más sulfato que el grupo de la montmorillonita; de la misma manera los óxidos de hierro y aluminio muestran una tendencia marcada a retener sulfatos; hay dependencia entre la retención de sulfatos y el equilibrio del pH, la retención aumenta cuando disminuye el pH; el sulfato adsorbido está en equilibrio cinético con el sulfato en solución; hay marcada diferencia en la retención de otros aniones con la retención de sulfatos (37, 40). De otra parte, los suelos que poseen capacidad para retener gran cantidad de sulfatos, son relativamente bien desarrollados, altos en óxido de hierro y aluminio, aluminio intercambiable y en ciertos casos, en material amorfo como la alófana (17).

2.4 Mineralización del azufre en el suelo

Los factores que se indican a continuación inciden sobre el proceso de mineralización del azufre en el suelo : adición de materiales orgánicos que pueden conducir a la inmovilización; temperatura, cuyo óptimo corresponde a 35°C; humedad, con efecto favorable cuando se aproxima a la capacidad de campo; pH, el volumen de azufre que se mineraliza en el suelo no está en relación con el pH de éste, sin embargo si a un suelo se le ajustan distintos pH, hay tendencia al incremento de mineralización con aumento de pH (9, 29).

En suelos de Costa Rica se encontró que en la primera semana de incubación se llevó a cabo la mayor mineralización del azufre. Adiciones de azufre inorgánico aumentaron la mineralización al igual que en algunos casos la aplicación de nitrógeno. Por el contrario, las aplicaciones de fósforo, potasio y magnesio hicieron disminuir la producción de sulfatos (34).

El trabajo de Blasco (11), con un grupo de 27 suelos de Centro América evidenció que en ninguno de éstos hubo una producción apreciable de SH_2 , cuando se incubaron a 0,01 y 0 bares. A iguales niveles de tensión, la adición de 1% de celulosa incrementó las condiciones reductoras. Se consiguió ganancias netas de azufre con tratamientos a base de $(\text{PO}_4\text{H}_2)\text{Ca}$ y $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$. La aplicación de cal a partir de CO_3Ca en solución, no mejoró la producción de sulfatos y la aplicación de azufre tuvo efectos variables, ya que condujo tanto al proceso de mineralización como al proceso de inmovilización.

El estudio de Burbano (13) realizado a través de una prueba de incubación con suelos de la región Pacífica de Nicaragua indica que, dentro de la posibilidad : mineralización o inmovilización, predominó este último proceso. Se encontró que en general la cuarta semana, es un punto crítico en el proceso de la incubación, a partir del cual cae fuertemente la liberación de anhídrido carbónico y se registra un incremento en la producción de sulfatos. Se puede asumir entonces, que la adición de fertilizantes inducirá a la inmovilización del azufre intercambiable del suelo en el primer mes de su aplicación, mientras que a partir de este periodo existe la posibilidad de que mejore la disponibilidad del azufre.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Area de estudio

3.1.1 Ubicación y condiciones de clima

El área de estudio ocupa las regiones centro y sur del Departamento de Nariño. La topografía en general es ondulada, con zonas relativamente planas o ligeramente onduladas en el Valle de Atriz y en el Altiplano Túquerres - Ipiales (20).

La región de Pasto está localizada entre los 2.500 y 2.800 m.s.n.m., con una precipitación pluvial promedio de 700 mm al año, y una temperatura media de 13,5°C. Corresponde a las formaciones montano bajo seco y húmedo (61).

Las características de clima para la región de Ipiales son : altura 2.000 - 4.000 m.s.n.m., precipitación pluvial 500 - 1.000 mm anuales y temperatura que oscila entre 6 y 22°C. Se encuentran las formaciones vegetales bosque húmedo montano y bosque seco (24).

La región de Túquerres se encuentra ubicada a una altura que está alrededor de los 3.000 m.s.n.m., registra una precipitación pluvial promedio de 750 mm al año, con una temperatura media de 11°C. Pertenece al bosque húmedo montano (61).

3.1.2 Suelos de la región de Pasto

Debe indicarse que la información para ésta y todas las regiones estudiadas se tomó del estudio "Suelos derivados de ceniza volcánica del Departamento de Nariño" (45) en razón de su calidad y porque éste se realizó en la misma zona, objeto de la presente tesis.

Los suelos de esta región han recibido un gran influjo de material piroclástico de los volcanes Galeras, Morazurco, Patascoy y Bordon-

cillo, y se pueden dividir en los dos grupos que se detallan a continuación :

3.1.2.1 Suelos desarrollados principalmente sobre cenizas volcánicas

Estos suelos presentan una morfología definida y demás propiedades similares a las descritas para los suelos denominados Andosoles. Son suelos profundos en los cuales el horizonte "A" en promedio pasa de los 50 cm de espesor. Los colores son oscuros en las primeras capas, a causa de la mayor cantidad de materia orgánica presente.

Los suelos tienen textura franco arenosa (aquellos que se encuentran a mayor altura), franco limosa y excepcionalmente franco arcillosa.

El contenido de carbón orgánico es muy alto en el primer horizonte y disminuye con la profundidad. Las relaciones C/N son mayores de 10. La saturación de bases de intercambio es baja, si bien la capacidad de cambio es alta. La reacción va de ácida a ligeramente ácida.

3.1.2.2 Suelos desarrollados de materiales complejos

En este grupo están los suelos desarrollados sobre ceniza y otros, como material coluvial andesítico, tobas y aun cenizas volcánicas trabajadas previamente o transportada por el agua. Presentan características variadas, que dependen de la proporción y clase de material con el cual se encuentra asociada la ceniza.

Los suelos de este grupo tienen colores algo más claros. Poseen por lo regular textura media, que puede llegar a franco arcillosa por lo menos en algunos de los horizontes inferiores. Se caracterizan por tener un bajo contenido de carbón orgánico. El contenido de bases intercambiables es bajo. La reacción es ligeramente ácida.

3.1.3 Suelos de la región Túquerres - Ipiales con perfiles AC, horizontes enterrados y líneas de piedra. Presentan colores oscuros en la parte superior y más claros con la profundidad, con excepción de los horizontes sepultados. La textura es franco arcillosa en los primeros horizontes y franco limosa en los inferiores. El carbón orgánico es alto y decrece con la profundidad. El pH se considera ligeramente ácido, siendo medias las cantidades de bases de cambio.

3.1.3.1 Suelos de material parental preferentemente de ceniza volcánica

Los suelos de esta región, han recibido el mayor influjo de los volcanes Azufral, Chiles y Galeras en su parte norte, y probablemente del Cayambe (Ecuador) por su parte sur. Los materiales que han originado los suelos de esta región, se pueden considerar más antiguos que los de la región de Pasto.

El muestreo para la realización del presente trabajo se hizo en la zona de A y B, incluidas las zonas de A y B. Generalmente, los suelos tienen perfiles del tipo AC, aunque se encuentran perfiles más complejos, con horizontes sepultados. En un alto porcentaje hay estratos pumíceos de colores blanco y amarillento que se encuentran en la parte inferior del horizonte "A" y cuyo espesor varía desde pocos centímetros hasta 50 metros.

La textura de los suelos en el primer horizonte, es en general, franco limosa que en algunos casos puede llegar a ser arcillosa. Son suelos de colores oscuros en la parte superior y más claros en los horizontes inferiores.

El carbón orgánico es alto en los primeros horizontes y decrece fuertemente con la profundidad. La capacidad de intercambio catiónico se puede considerar como media. La reacción está entre ácida y ligeramente ácida.

3.1.3.2 Suelos de formación compleja

Pertenecen a este grupo los suelos de origen lacustre del Valle de Guachucal que se encuentran alrededor de los 3.000 m.s.n.m. y los suelos con horizontes sepultados, ubicados en algunas vertientes que bordean al Altiplano de Ipiales y que se encuentran por encima de 3.100 m.s.n.m.

Son suelos poco desarrollados, con perfiles AC, horizontes enterrados y líneas de piedra. Presentan colores oscuros en la parte superior y más claros con la profundidad, con excepción de los horizontes sepultados. La textura es franco arenosa en los primeros horizontes y arenosa o franco limosa en los inferiores. El carbón orgánico es alto y decrece con la profundidad. El pH se considera ligeramente ácido, siendo mediana la cantidad de bases de cambio.

3.2 Muestreo

El muestreo para la realización del presente trabajo se hizo en base a 9 sitios, incluidas las dos primeras capas superficiales, teniendo como guía para el efecto y hasta donde fue posible, el estudio de Luna y Carlhoun (45). En la Figura 1 se observan los sitios de muestreo y su ubicación en la zona de estudio.

3.3 Análisis físico-químico general

Estos análisis y todas las determinaciones efectuadas en el trabajo se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariffo.

3.3.1 Humedad

El cálculo de la humedad se realizó por diferencia de peso expresado en base seca, después de llevar las muestras de suelo a la estufa (105°C) durante 24 horas (32).

3.3.2 Textura

Se siguió la técnica descrita por Gonzáles (32), que se efectúa utilizando el hidrómetro.

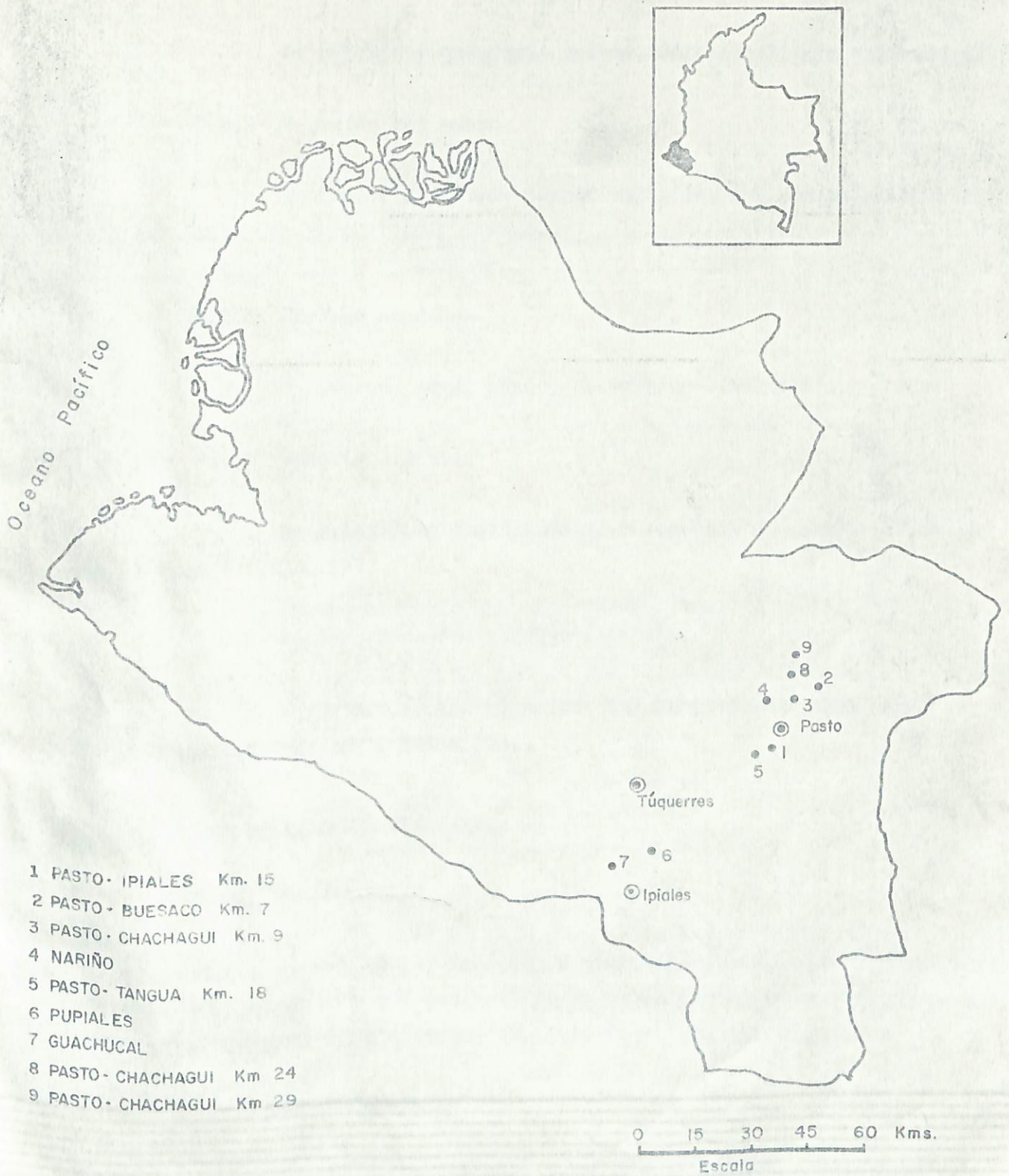


Fig. 1 Sitios de muestreo y su localización en la zona de estudio

3.3.3 Densidad aparente

Se determinó por medio del método del cilindro graduado (32).

3.3.4 Reacción del suelo

3.4.4 Azufre intercambiable

Se empleó el método potenciométrico, con una relación suelo-agua 1:1 (38).

3.3.5 Carbono orgánico

3.4.5 Azufre reserva del suelo

Se evaluó por el método de Walkley-Black (59).

3.3.6 Materia orgánica

Se calculó multiplicando el porcentaje de carbono orgánico por el factor 1,724 (25).

3.3.7 Capacidad de intercambio catiónico

Se determinó por el método del acetato de amonio normal y neutro de Schollenberger y Simon (53).

3.4 Fraccionamiento del azufre

3.4.1 Azufre total

Se evaluó por ignición y digestión con nitrato de potasio y ácido nítrico de acuerdo a Chaudry (19), pero modificándolo en base a una predigestión con ácido nítrico-ácido perclórico (13).

3.4.2 Azufre orgánico

Se midió por ignición a 500°C y extracción con fosfato de calcio según el método propuesto por Bardsley y Lancaster (4).

dad notable 3.4.3 Azufre inorgánico todo del peróxido de bario, como ya se referenció previamente.

Se calculó por diferencia entre las fracciones total y orgánica.

3.6 Análisis estadístico

3.4.4 Azufre intercambiable

En la primera parte del trabajo se utilizaron los criterios de regresión y correlación. Se determinó empleando como solución extractora el fosfato de calcio (26).

Las resultados se hizo utilizando un análisis de parcelas divididas, sobre la base de un diseño de experimento irrestictivamente al usar con 4 repeticiones (48).

3.4.5 Azufre reserva del suelo

Se calculó por diferencia entre las formas orgánica e intercambiable.

3.4.6 Azufre soluble en agua

Se evaluó de acuerdo al método propuesto por Chaudry (19).

En todos los casos y después de las diferentes extracciones, el azufre se estimó turbidimétricamente como sulfato, siguiendo la técnica de Masoumi y Cornfield (46).

3.5 Prueba de incubación

A muestras de 10 gramos de suelo, se les aplicó tratamientos de 200 ppm de P a partir de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 500 ppm de Ca a partir de CaCO_3 , dejando un Testigo. Se incubaron en tubos de ensayo cerrados con tapones de caucho, a capacidad de campo. La aireación se suministró con peróxido e hidróxido de bario (10), durante periodos de 3, 6, 9 y 12 semanas a temperatura de 18°C.

Al finalizar cada periodo de incubación se determinaron el S-SO₄ intercambiable, extraído con $(\text{PO}_4\text{H}_2)_2\text{Ca}$, y el CO₂, como expresión de la activi-

dad metabólica microbial por el método del peróxido de bario, como ya se referenció previamente.

4.1 Características generales de los suelos

3.6 Análisis estadístico

En las Tablas I y II se presenta la información acerca de las características físico-químicas de los suelos estudiados. En la primera parte del trabajo se utilizaron los criterios de regresión y correlación (14). Para la prueba de incubación la evaluación estadística de los resultados se hizo utilizando un análisis de parcelas divididas, sobre la base de un diseño de experimento irrestrictamente al azar con 4 replicaciones (48). El pH de los suelos en la primera capa fluctúa entre 5,6 y 6,0, pudiéndose calificar como medianamente ácido. En la segunda capa la reacción es ligeramente ácida y los valores extremos corresponden a 5,7 y 6,3 ubicándose así dentro de la categoría de acidez débil. En general, los resultados obtenidos para la reacción del suelo, están asociados aunque en forma inversa, con los contenidos de carbono orgánico, como se sabe, los constituyentes orgánicos del suelo generan ácidos por acción de diferentes grupos funcionales como los carboxílicos, los fenólicos y los metoxilicos (8, 42, 38). De otra parte, la disminución de la acidez en función de la profundidad, probablemente obedezca al lavado de bases que se presenta con mayor intensidad en las estratos superiores.

4.1.2 Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en la capa superficial según el criterio conceptual propuesto por Frye (30) se califica como alto, ya que en general, los suelos estudiados superan el 5%. Para la segunda capa los contenidos disminuyen en todos los casos, concordando así con la teoría que indica cómo la materia orgánica decrece a medida que se avanza en profundidad (23).

4.1.3 Capacidad de intercambio catiónico

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico en la primera capa son altos, oscilando entre 32,51 y 46,94 meq/100 g de suelo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Características generales de los suelos

En las Tablas I y II se presenta la información acerca de las características físico-químicas de los suelos estudiados.

4.1.1 Reacción del suelo

El pH de los suelos en la primera capa fluctúa entre 5,6 y 6,0, pudiéndose calificar como medianamente ácido. En la segunda capa la reacción sube ligeramente y los valores extremos corresponden a 5,7 y 6,3 ubicándose así dentro de la categoría de acidez débil. En general, los resultados detectados para la reacción del suelo, están asociados aunque en forma inversa, con los contenidos de carbono orgánico, como se sabe, los constituyentes orgánicos del suelo generan acidez por acción de diferentes grupos funcionales como los carboxílicos, los fenólicos y los metoxílicos (8, 42, 58). De otra parte, la disminución de la acidez en función de la profundidad, probablemente obedece al lavado de bases que se presenta con mayor intensidad en los estratos superiores.

4.1.2 Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en la capa superficial según el estimativo conceptual propuesto por Frye (30) se califica como alto, ya que en general, los suelos estudiados superan el 8%. Para la segunda capa los contenidos disminuyen en todos los casos, concordando así con la teoría que indica cómo la materia orgánica decrece a medida que se avanza en profundidad (25).

4.1.3 Capacidad de intercambio catiónico

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico en la primera capa son altos, oscilando entre 32,51 y 46,94 meq/100 g de suelo.

En la capa subsuperficial estos valores decrecen, sin embargo, siguen siendo altos ya que oscilan entre 24,47 y 42,32 meq/100 g de suelo. Para la capa superficial se encontró una correlación significativa al nivel del 5%, $r = 0,76$ entre la capacidad de intercambio catiónico y el carbono orgánico (Figura 2). Fuentes (31) trabajando con suelos de origen volcánico de Costa Rica también encontró que la CIC depende de la materia orgánica.

4.1.4 Densidad aparente

Los valores de la densidad aparente, que solo se determinaron para la primera capa, varían entre 0,71 y 0,95 g/cc. Sobre estos datos se puede decir que caen dentro de los rangos establecidos para suelos con influjo de cenizas volcánicas (56). Sin embargo, hay que anotar que probablemente los resultados están por encima de los reales en razón del método utilizado, porque se trabajó con suelo que no estaba en las condiciones naturales de campo. Observaciones en este sentido, ya se han formulado en otro estudio (2).

4.1.5 Textura

En relación con los separados del suelo se encontró predominio de las arenas y limos, sobre las arcillas. De esta forma resultaron clases texturales como franco, franco arenoso, franco arcillo arenoso y franco arcilloso. Excepcionalmente y en la segunda capa resultó un suelo arcilloso. Trabajos realizados con suelos similares también han encontrado el dominio de clases texturales medias (2, 22, 23, 33).

4.2 Concentración de las fracciones de azufre en los suelos

Las concentraciones de las diferentes fracciones de azufre, así como su participación porcentual referida a la forma total se presentan en las Tablas III y IV.

4.2.1. Azufre total ppm, en relación a la primera capa que posee 343,3 y 442,2 ppm, respectivamente.

Las concentraciones de azufre total fueron mayores en la primera capa que en la segunda, si bien se presentaron algunas excepciones. Las extremas correspondieron a 511,6 y 2.166,0 ppm, con una cifra promedio de 1.120,2 ppm. Los resultados para esta fracción son similares a los encontrados por Blasco (11) en suelos de América Central y a los reportados por Ayala, Guerrero y Gamboa (3) para suelos de Nariño y Putumayo. De otra parte, son superiores a las concentraciones determinadas en suelos de Nicaragua, Colombia (Altiplano de Pasto) y Chile (12, 21, 52). Los resultados para la fracción total, encontrados en este trabajo pueden considerarse como de un nivel medio, dentro de la gama de valores hallados para suelos de América Latina que en alguna forma tienen relación con las cenizas volcánicas.

La evaluación en la capa subsuperficial dió concentraciones máximas de azufre total equivalentes a 336,9 y 1.521,2 ppm; con un promedio de 683,1 ppm. Las menores concentraciones de azufre total en la segunda capa, coinciden con los registrados en otros trabajos (13, 21). Sin embargo, los resultados excepcionalmente altos de las muestras Nariño y Pasto - Chachagüí - Km 24 se pueden explicar en función de la mayor concentración de la forma inorgánica, que es dominante respecto a la orgánica en la segunda capa de estos dos suelos.

4.2.2. Azufre orgánico

La participación porcentual del azufre orgánico en la capa superficial oscila para la mayor parte de muestras entre 15,9 y 47,9%. Sólo los sitios Pasto - Buesaco Km 7, Guachucal - Ipiales y Pasto - Chachagüí Km 24 exhiben porcentajes iguales a 72,5 - 66,6 y 95,5, respectivamente. En el segundo estrato la situación cambia, porque hay predominio de la fracción orgánica sobre la inorgánica. Sólo en las muestras Nariño, Pasto - Tangua Km 18 y Pasto - Chachagüí Km 24 el aporte de la forma orgánica es inferior al 50%. Se debe destacar también la situación de las muestras Pasto - Chachagüí Km 9 y Nariño que tienen mayores concentraciones de azufre orgánico en la se-

gunda capa, 368,6 ppm y 462,0 ppm, en relación a la primera capa que posee 343,3 y 448,2 ppm, respectivamente.

Los resultados encontrados para la forma inorgánica indican que no sucede por... Los resultados acerca del azufre orgánico se podrían explicar de la siguiente manera: tomando el conjunto de los datos obtenidos y especialmente los correspondientes al estrato superficial, el presente trabajo coincide con la información suministrada en otras investigaciones efectuadas en suelos de América Latina tropical (3, 11, 13, 21, 34), en el sentido de que la fracción orgánica representa comparada con la inorgánica un menor aporte al azufre total de los suelos. Si se considera el azufre orgánico como una fuente de reserva en el abastecimiento de este elemento para los cultivos (1, 25, 27), los suelos estudiados tienen poca "materia prima" para que por acción bioquímica se pueda llegar a la producción de sulfatos asequibles. Además, y como se comentará más adelante, parece ser que la materia orgánica de estos suelos es pobre en compuestos azufrados, siendo por tanto más compleja la dinámica del azufre en los suelos de la zona de estudio.

El predominio de la forma orgánica dentro del azufre total en la segunda capa, quizá se pueda explicar teniendo en cuenta que en los horizontes subsuperficiales las condiciones ambientales para la actividad de la microflora son menos favorables que en el suelo superficial. Esto implicaría que la materia orgánica tiene mayores posibilidades de estabilizarse y en consecuencia, para mantener compuestos orgánicos azufrados, especialmente los aminoácidos.

El caso excepcional de las dos muestras que tienen mayores concentraciones de azufre orgánico en el segundo estrato, probablemente se deba a la génesis misma de los suelos, ya que las depositaciones de materiales ígneos causados por la actividad intermitente de los volcanes de la región, pueden haber enterrado material orgánico, que es el que se hace presente en estos sitios. Explicaciones en el mismo sentido, se han propuesto en trabajos realizados con suelos de América Central (11, 13). También puede ser que la situación obedezca a la remoción de materia orgánica desde el suelo superficial hacia los estratos inferiores, como ocurre en suelos con influjo de cenizas volcánicas.

4.2.3 Azufre inorgánico

Los resultados encontrados para la forma inorgánica indican que en buena parte, ésta supera a la forma orgánica en la capa superficial. Las concentraciones, excepto en tres muestras, oscilan entre 1.822,7 (84,2%) y 205,6 ppm (52,1%). De esta forma, parece que se generaliza el predominio del azufre inorgánico en muchos suelos de América Latina (3, 11, 13, 21, 34), en contraposición a la situación reportada para suelos de zona templada (28, 43, 44, 47). Aunque existen casos que se alejan de esta tendencia, como los hallados por Neptune, Tabatabai y Hanway (47) en suelos del Brasil y por Haque y Walmsley (36) en suelos del área del Caribe.

En la segunda capa la fracción inorgánica tiene valores comprendidos entre 37,1 ppm (11,0%) y 1.059,2 ppm (69,7%); la concentración promedio equivale a 341,2 ppm (40,0%). Para explicar estos resultados se deben tomar en consideración las razones expresadas para la forma orgánica en este mismo horizonte, ya que lo normal sería que se hallasen mayores concentraciones de la fracción inorgánica de azufre a medida que se profundiza en el perfil del suelo, obedeciendo ésto a la disminución progresiva de la materia orgánica.

En el presente trabajo se encontró una correlación altamente significativa entre el azufre total y el azufre inorgánico. Los coeficientes de correlación fueron 0,98 y 0,99 para la primera y segunda capa, respectivamente (Figuras 3 y 4). Esto implicará que en los suelos estudiados, la fracción inorgánica tiene mayor significado dentro del azufre total. Resultados similares fueron encontrados por Blasco (11) para suelos de Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica y por Burbano (13) para suelos de la región Pacífica de Nicaragua.

4.2.4 Azufre reserva del suelo

Las concentraciones de azufre reserva del suelo fueron superiores en la primera capa. En el suelo superficial dichas concentraciones

tuvieron valores máximos correspondientes a 308,4 y 607,0 ppm, con un promedio de 417,4 ppm. Las cifras extremas en la capa subsuperficial fueron del orden de las 201,1 y 438,8 ppm, y el valor medio de 306,6 ppm.

El estado del azufre reserva del suelo, en las dos capas es el resultado lógico de la forma de calcular esta fracción, que se consigue por diferencia entre el azufre orgánico y el azufre intercambiable. Como las concentraciones de la fracción orgánica son mayores en la primera capa, también son mayores las concentraciones de la forma en cuestión. Se debe indicar igualmente que, se encontró una correlación significativa al nivel del 5%, $r = 0,79$ entre el azufre reserva del suelo y el azufre orgánico en la capa superficial (Figura 5). En el segundo horizonte la tendencia fue la misma, y la relación tuvo carácter significativo al nivel del 1%, $r = 0,95$ (Figura 6). La explicación previa justifica las correlaciones encontradas.

4.2.5 Azufre intercambiable

El azufre intercambiable presentó en la primera capa concentraciones que van de 17,6 a 34,6 ppm, y un valor medio de 25,9 ppm. Para la segunda capa se deben dividir los suelos en dos grupos, el primero conformado por las muestras Pasto - Ipiiales Km 15, Pasto - Buesaco Km 7 y Pasto - Chachagüí Km 24 que tienen valores iguales a 49,5; 85,8 y 50,4 ppm, respectivamente, es decir, muestras con altos contenidos de azufre disponible. El segundo grupo está constituido por los restantes suelos y tiene concentraciones que fluctúan entre 15,4 y 29,9 ppm.

En general, los resultados registrados para la forma intercambiable son similares a los encontrados en suelos de Guatemala, El Salvador y Costa Rica (11) y superiores a los hallados en suelos de Nicaragua (13). En estos dos trabajos se utilizó como solución extractora el fosfato de calcio, al igual que en el presente estudio. Hay que indicar que en este caso, los valores de azufre intercambiable están por debajo de los detectados en otros trabajos en suelos de Nariño y Putumayo (3, 21). Esta falta de concordancia se debe, posiblemente a que en estos casos extrajeron el azufre con

la solución de Morgan. Al respecto, cabe indicar que para suelos de texturas medias a gruesas se ha encontrado que el fosfato de calcio extrae muy bien el azufre disponible (50). Por esto quizá los resultados obtenidos en el presente trabajo, semejan más las condiciones de extracción por parte de la planta.

El conjunto de valores para el azufre intercambiable, hace que éstos se califiquen como bajos, teniendo en cuenta los criterios de Blasco ('). No obstante, hasta que no se realicen trabajos para esta zona, en donde se correlacione la efectividad de diferentes soluciones extractoras con los rendimientos de una planta indicadora, no se puede llegar a una conclusión definitiva. Se aclara que un trabajo reciente efectuado con suelos de Costa Rica (49) dio niveles críticos para la forma disponible de azufre, que están muy por debajo de los propuestos por el autor antes mencionado.

El caso de las tres muestras que en la segunda capa tienen una mayor concentración de azufre intercambiable que en la primera, probablemente se debe al hecho de estar localizados los sitios de muestreo en regiones con alta precipitación pluvial, ya que su ubicación ecológica corresponde a condiciones de páramo. Esto significaría que, el sulfato se ha lixiviado desde la parte superficial hacia los horizontes inferiores por acción de la lluvia y posiblemente por la textura de los suelos. Como se sabe, este elemento es bastante afectado por los procesos de lixiviación (25).

4.2.6 Azufre soluble en agua

En la capa superficial se consiguieron las mayores concentraciones de azufre soluble en agua. Los valores estuvieron comprendidos entre 3,4 y 13,3 ppm, con un valor medio de 7,5 ppm. En la segunda capa las concentraciones variaron entre 2,3 y 10,8 ppm, siendo su promedio 5,23 ppm.

(') Información personal, Mario Blasco L.

Las mayores concentraciones de esta fracción en la primera capa se deben probablemente a que las condiciones que conducen a la solubilización de los compuestos azufrados, tanto por vía química como bioquímica son más favorables que en los estratos inferiores. Además, los niveles más bajos de la forma soluble en agua con respecto a la intercambiable son normales, toda vez que el intercambio del fosfato por el sulfato obra más efectivamente que la solubilización con agua, a través del hidroxilo.

4.3 Prueba de incubación

4.3.1 Producción de sulfatos

Los resultados de la prueba de incubación se presentan en la Tabla VI y en las Figuras 7 a 10. En las Tablas I a IV del Apéndice se registran los análisis de variancia para los datos de cada uno de los suelos incubados.

Para todos los suelos, con los tres tratamientos y durante los diferentes períodos de incubación predominó consistentemente el proceso de inmovilización sobre la mineralización. Esta situación es grave, si se considera que la pérdida del sulfato disponible a partir de los contenidos iniciales de las muestras, fue hasta del orden de las 30 ppm, concentraciones muy altas, comparadas con las máximas de inmovilización reportados en otros trabajos, que estuvieron alrededor de las 12 ppm (13). Se encontró un período en donde la inmovilización tiende a estabilizarse (6 semanas) para luego disminuir un tanto, liberando parte del $S-SO_4$ inmovilizado (9 semanas).

Los análisis de variancia en cada uno de los suelos evidenciaron que el factor tiempo y no el suministro de nutrimentos P y Ca), es el que influye en la concentración de sulfatos en la prueba de incubación. Por esta circunstancia, no se continuó con la evaluación estadística por medio de una prueba de rangos múltiples, por cuanto no se justifica, en razón de que en la práctica no interesa el proceso de inmovilización.

En primer lugar resulta evidente que las muestras tratadas con calcio y fósforo, 500 y 200 ppm, respectivamente, se comportan igual que el testigo. Por tanto, es probable que la inmovilización dependa, en principio, del ajuste de las condiciones ambientales (aireación, humedad, temperatura), que propician un flujo de población y de acción de los microorganismos, superior a la incidencia de los nutrimentos adicionados, y que alcanza un máximo alrededor de las 6 semanas de incubación para descender después.

Los resultados encontrados coinciden parcialmente con el trabajo de Blasco (11), quien halló que el encalamiento de los suelos no parece mejorar la producción de sulfatos. Sin embargo, reporta que, se obtienen ganancias netas de azufre (mineralización), cuando se aplica fósforo en base al fosfato de calcio. En otro estudio, Granados (34) indica que en algunos suelos de Costa Rica la aplicación de 100 Kg/Ha de fósforo (52 ppm) hizo disminuir la concentración de sulfatos. *be olvidar que este elemento lo contienen las células microbiales en cantidades que van de raras de 0,1 a 1X (1, 20, 30).*

Hay que aclarar con respecto al calcio que, el efecto de la aplicación de este elemento en suelos ácidos volcánicos no se encuentra dilucidado. Recientemente Neptune, Tabatabai y Hanway (47) encontraron que la aplicación de carbonato de calcio, en un rango de 1.000 a 4.000 ppm a suelos ácidos no volcánicos del Brasil y Estados Unidos (Iowa), liberaba parte de los sulfatos retenidos. Por otro lado, también se ha detectado que el calcio estabiliza la materia orgánica mediante la formación de humatos de calcio (7) lo cual se traduce en una disminución de la mineralización. Posteriormente Bornemisza y Pineda (12) trabajando con suelos volcánicos de Costa Rica, sugieren también dicha estabilización como una de las causas para explicar el bajo metabolismo de los compuestos orgánicos de esos suelos, además del acomplejamiento con la alófana. *principalmente con la alófana (41).*

La aplicación de fósforo en el trabajo se hizo, porque este elemento además de contribuir a mejorar la nutrición microbial, químicamente el anión PO_4^{-3} desplaza al anión SO_4^{-2} , lo cual significaría una ayuda extra a la liberación de los sulfatos retenidos. Sin embargo, los resultados obtenidos con la cantidad y fuente aplicada (200 ppm de P a partir de $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$) demuestran que no hubo acción en este aspecto. Se debe indicar también

que al analizar la acción del fósforo, hay que considerar el problema de fijación de este elemento, que podría ser en este caso hacia el P-Al y P-Fe, si se toma en cuenta la información que existe para suelos de esta región (35).

Se cree, que el fenómeno que ocurrió durante la prueba de incubación es fundamentalmente de inmovilización por las razones que se presentan a continuación.

No obstante que los contenidos de materia orgánica de estos suelos son altos, la concentración de azufre orgánico en la primera capa, con la cual se trabajó en la prueba de incubación, está por debajo de la concentración de la forma inorgánica. Esto hace pensar que la materia orgánica de estos suelos es pobre en compuestos azufrados y que en consecuencia el azufre que pudiera liberarse por acción bioquímica es utilizado por la microflora para síntesis celular, ya que no se debe olvidar que este elemento lo contienen las células microbiales en cantidades que van de menos de 0,1 a 1% (1, 29, 36).

Al considerar la relación C : S de los suelos en la capa superficial (Tabla V) los valores para las muestras Pasto - Ipiales Km 15, Pasto - Chachagüí Km 9, Nariño y Pasto - Tangua Km 18 corresponden a 49,2 : 1, 27,8 : 1, 40,3 : 1 y 47,5 : 1, respectivamente, estando por debajo del nivel crítico sugerido para que ocurra o nó, la mineralización (55). En los cinco suelos restantes la relación varía entre 57,5 : 1 y 176 : 1, por tanto, según el criterio anterior se tendría que presentar inmovilización. Para el primer grupo de estos suelos la situación podría interpretarse de dos maneras : bien la relación 50 : 1 no cuenta en este caso sino la riqueza de la materia orgánica en azufre o bien los materiales orgánicos son estabilizados a través de complejos organo-minerales conformados principalmente con la alófana (41).

Otra circunstancia que hace pensar en que el problema es mayormente de inmovilización, es que durante la prueba de incubación la evolución del CO₂, índice de la actividad microbial en el suelo, marchó muy paralela a la producción de sulfatos, es decir, a mayor cantidad de CO₂ en el respectivo período mayor volumen de azufre por debajo del nivel inicial en cada

muestra. Por tanto, la mayor actividad de la microflora se tradujo en un mejor aprovechamiento del azufre por parte de ésta, y no en una liberación del sulfato, detectable en las medidas que se realizaron en cada período de incubación. Esto se puede observar gráficamente en las Figuras 7 a 10.

Además de la inmovilización, es posible que en estos suelos se presente algún grado de adsorción del sulfato por la reacción de los suelos, que está dentro de condiciones de acidez; se conoce que a medida que el pH es más bajo mayores son las posibilidades para que ocurra este fenómeno. Los altos contenidos de materia orgánica en los suelos estudiados también favorecerían esta situación. Finalmente, la adsorción estaría influida por la presencia en los suelos de arcillas tales como la alófana que tienen capacidad de adsorber los sulfatos.

Cabría también la posibilidad según el criterio de Barjac y Frederick et al., citados por Haque y Walmsley (36) que, en la prueba de incubación se haya producido emisión de compuestos azufrados volátiles, tales como el metil mercaptano y el dimetil-sulfuro, aunque el suelo estuviera bajo condiciones aeróbicas. Estos compuestos volátiles se generarían a partir de la descomposición de la metionina, ya que existen en el suelo microorganismos capaces de producir este aminoácido a partir de la cisteína y, como los sulfatos pueden proveer de azufre para la síntesis de la cisteína, es posible que la pérdida de compuestos volátiles en condiciones aeróbicas ocurra vía de la metionina.

En condiciones de campo, el problema del azufre podría ser más complejo, por cuanto a más de los fenómenos de inmovilización y adsorción, los sulfatos tienen la posibilidad de perderse de los horizontes superficiales por efecto de la lixiviación y por acción de las aplicaciones más o menos altas de fósforo, práctica común en la zona de estudio, dados los bajos niveles de este elemento.

4.3.2 Producción de CO₂

La producción de CO₂ durante la prueba de incubación se presenta en las Tablas VII y VIII y en las Figuras 7 a 10.

La evolución del CO₂ en términos de producción parcial, es decir, en cada período de tres semanas, en muy pocos casos estuvo por debajo de los 20 mg/10 g de suelo. Los máximos de esta producción fueron del orden de los 42 mg/10 g de suelo. En general, los volúmenes de CO₂ en el primer período no fueron mayores con respecto a los otros tres, planteándose así una situación diferente con respecto a la teoría existente (9), que señala cómo al inicio de las incubaciones hay una mayor actividad microbial ya que se genera nueva población de microorganismos después de humedecer una muestra de suelo seco (10). En efecto, antes de iniciar la incubación del suelo, se seca al aire para preparar las muestras y, posteriormente se humedece hasta llevarlo a capacidad de campo, que es el nivel de humedad recomendado para estos trabajos.

En general, las producciones de CO₂ de los suelos estudiados superan a las registradas por Burbano (13) en suelos de la región Pacífica de Nicaragua, en donde se aplicaron como tratamientos el fósforo y el calcio. Por el contrario, son inferiores a las determinadas por Granados (34) en suelos de Costa Rica que había recibido fósforo en combinación con nitrógeno, potasio, magnesio y azufre. De esta manera se puede concluir que los suelos estudiados tienen una actividad microbial media.

Si se considera la acción de los microorganismos en relación a la concentración de sulfatos en el suelo, la tendencia en muchos casos es que a mayor evolución de CO₂ se incrementa la inmovilización del azufre, y en la medida en que ésta se hace menor la inmovilización se atenúa. Sería válido entonces el criterio ya expuesto en el cual se dice, que en estos suelos tienen mayor efecto sobre los procesos bioquímicos, los factores ambientales antes que los nutricionales.

Desde luego que en el comportamiento observado, además de los tratamientos, contribuyen las condiciones propias del suelo, como son pH, contenido de materia orgánica, presencia de alófana y temperatura. La acción de estos factores ya se discutió indirectamente al referirse a la producción de sulfatos.

Tabla 3
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS, PRIMERA CAPA

Suelo	pH	C-orgánico %	M.O. %	C.I.C. mg/100 g	D. A. gr/cc	Árcillos %	Limos %	Areñas %	Textura
Puerto-Charalán No 13	5,7	8,85	13,2	46,89	0,71	7,78	45,3	45,7	Francés
Puerto-Charalán No 7	5,8	6,60	11,03	42,88	0,62	7,52	32,3	60,2	Francés
Puerto-Charalán No 9	6,0	5,86	10,1	38,12	0,93	17,78	40,7	41,5	Francés
Macizo	6,0	5,64	9,72	37,42	0,87	11,52	24,26	64,2	Francés
Puerto-Cangas No 18	5,0	5,22	8,99	38,63	0,81	20,52	40,60	38,98	Francés
Poplar	5,7	5,73	9,53	37,64	0,72	12,52	42,60	44,88	Francés
Charalán	5,6	3,27	5,63	32,51	0,95	42,52	38,60	24,88	Arcillos
Puerto-Charalán No 24	5,6	6,83	15,22	46,84	0,79	20,52	26,80	53,48	Francés
Puerto-Charalán No 3	5,7	6,16	10,65	36,94	—	12,04	36,22	51,74	Francés

M.O. = materia orgánica
C.I.C. = Capacidad de intercambio catiónico
U.O. = Unidad aparente

TABLA I

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS, PRIMERA CAPA

Muestra	pH	C-orgánico %	M. O. %	C. I. C. meq/100 g	D. A. gr/cc	Arcillas %	Limos %	Arenas %	Clase Textural
Pasto-Ipiiales Km 15	5,7	8,85	15,3	46,69	0,71	7,78	46,5	45,74	Franco-limoso
Pasto-Buesaco Km 7	5,8	6,40	11,03	42,88	0,82	7,52	32,3	60,2	Franco-arenoso
Pasto-Chachagüf Km 9	6,0	5,84	10,1	38,12	0,93	17,78	40,7	41,5	Franco
Nariño	6,0	5,64	9,72	37,42	0,87	11,52	24,26	64,24	Franco-arenoso
Pasto-Tangua Km 18	5,9	5,22	8,99	38,67	0,81	20,52	40,60	38,88	Franco
Pupiales	5,7	5,73	9,13	32,66	0,72	12,52	42,60	44,88	Franco
Guachuca	5,8	3,27	5,63	32,51	0,95	42,52	30,60	26,88	Arcilloso arcilloso
Pasto-Chachagüf Km 24	5,6	8,83	15,22	46,94	0,79	20,52	26,00	53,48	Franco-arcilloso arenoso
Pasto-Chachagüf 5,7	5,7	6,18	10,65	36,94	—	12,04	36,22	51,74	Franco

M.O. = Materia orgánica

C.I.C. = Capacidad de intercambio catiónico

D.A. = Densidad aparente

C.I.C. = Capacidad de intercambio catiónico

D.A. = Densidad aparente

TABLA II

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS, SEGUNDA CAPA

Muestra	pH	C-orgánico %	H. O. %	C.I.C. meq/100 g	D. A. gr/cc	Arcillas %	Limos %	Arenas %	Clase Textural
Pasto-Ipiales Km 15	5,7	5,54	9,55	42,32	—	6,04	38,22	55,74	Franco-arenoso
Pasto-Buesaco Km 7	5,8	0,27	0,46	29,81	—	24,04	36,48	39,48	Franco
Pasto-Chachagüf Km 9	6,3	3,16	5,44	38,94	—	16,04	40,48	43,48	Franco
Nariño	6,0	1,35	2,32	35,26	—	38,04	28,22	33,74	Franco-arcilloso
Pasto-Tangua Km 18	6,0	3,07	5,27	32,93	—	18,04	40,78	41,18	Franco
Pupiales	5,8	3,04	5,24	28,78	—	8,26	40,86	50,88	Franco
Guachuca	5,9	1,91	3,29	26,00	—	40,04	32,48	27,48	Franco-arcilloso
Pasto-Chachagüf Km 24	6,2	2,66	4,58	24,47	—	8,26	38,56	53,18	Franco-arenoso
Pasto-Chachagüf Km 29	6,1	1,75	3,01	26,61	—	10,26	36,56	53,18	Franco-arenoso

M.O. = Materia orgánica
 C.I.C. = Capacidad de intercambio catiónico
 D.A. = Densidad aparente

TABLA III

FRACCIONES DE AZUFRE Y PARTICIPACION PORCENTUAL REFERIDA AL AZUFRE TOTAL, PRIMERA CAPA

Muestra	S-total ppm	S-orgánico ppm	S-orgánico %	S-inorgánico ppm	S-inorgánico %	S-reserva ppm	S-reserva %	S-intercambiable ppm	S-intercambiable %	S-soluble ppm	S-soluble %
Pasto-Ipiiales Km 15	1816,0	532,7	29,3	1283,3	70,7	498,1	27,5	34,6	1,9	10,4	0,605
Pasto-Buesaco Km 7	874,6	634,2	72,5	240,4	27,5	607,0	69,4	27,2	3,10	3,4	0,605
Pasto-Chachagüf Km 9	2166,0	344,4	15,8	1822,7	84,2	325,7	15,1	17,6	0,81	4,9	0,22
Narifo	1456,7	448,2	30,8	1008,5	69,2	428,9	29,5	19,3	1,32	4,5	0,30
Pasto-Tangua Km 18	1115,8	442,1	39,6	673,7	60,4	410,2	36,8	31,9	2,90	13,3	1,20
Pupiales	777,9	572,3	47,9	205,6	52,1	541,7	44,0	30,6	3,92	9,2	1,20
Cuschuca	511,6	341,0	66,6	170,5	33,3	308,4	60,2	32,7	6,40	7,7	1,50
Pasto-Chachagüf Km 24	557,5	535,2	96	22,3	4,0	516,4	92,6	18,8	3,70	5,0	0,90
Pasto-Chachagüf Km 29	805,5	351,2	43,6	454,3	56,4	330,4	41,0	20,8	2,60	9,1	1,20
Promedio	1.120,2	466,9	49,1	653,5	50,9	440,8	46,2	25,9	3,0	7,5	0,85

S-inorgánico = S-total - S-orgánico

S-reserva = S-orgánico - S-intercambiable

TABLA IV

FRACCIONES DE AZUFRE Y PARTICIPACION PORCENTUAL REFERIDA AL AZUFRE TOTAL, SEGUNDA CAPA

Muestra	S-total ppm	%	S-orgánico ppm	%	S-inorgánico ppm	%	S-reserva ppm	%	S-intercambiable ppm	%	S-soluble ppm	%
Pasto-Ipiales Km 15	412,2	100	374	77,7	38,2	9,2	324,5	78,8	49,5	12,0	6,0	1,5
Pasto-Buesaco Km 7	450,0	100	286,9	63,8	163,2	36,2	201,1	44,7	85,8	19,0	2,3	0,5
Pasto-Chachagüf Km 9	715,0	100	368,6	51,5	346,5	48,5	346,5	48,5	22,0	3,1	4,4	0,6
Nariño	1521,2	100	462,0	30,4	1059,2	69,7	438,8	28,9	23,2	1,5	4,5	0,5
Pasto-Tangua Km 18	802,1	100	385,0	48,0	417,1	52,0	358,4	44,7	26,6	3,3	7,0	0,9
Pupiales	370,4	100	256,1	69,2	114,3	30,8	240,5	64,9	15,6	4,2	5,3	1,4
Guachucal	427,8	100	273,8	64,0	154,0	36,0	243,9	57,0	29,9	7,0	10,8	2,5
Pasto-Chachagüf Km 24	1112,3	100	371,5	33,4	740,8	66,6	321,1	28,9	50,4	4,5	2,9	0,3
Pasto-Chachagüf Km 29	336,9	100	299,7	88,9	37,1	11,0	284,3	84,4	15,4	4,6	3,9	1,2
Promedio	683,1	100	342,0	59,0	341,2	41,0	306,6	53,4	35,4	6,6	5,23	0,98

S-inorgánico = S-total - S-orgánico
 S-reserva = S-orgánico - S-intercambiable

REINTEGRACION O ENRIQUECIMIENTO DEL S-S EN LOS SUELOS ESTUDIADOS POR EFECTO DE LA ANEXION DE
 CADA 3 (300 ppm) Y 2 (200 ppm) DE S-S EN LAS ZONAS DE INCUBACION, PRIMERA CAPA

RELACIONES C : S-ORGANICO EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

Muestra y representativa	Valores totales remanentes			Mineralización o Inmovilización del azufre (*)		
	3	6	9	12	3	6
Muestra	6,4	4,6	12,5	5,6	10,0	27,1
Ca	6,4	4,0	12,5	5,6	10,0	27,1
P	16,0	5,0	11,0	5,0	10,0	25,5
Pasto-Ipiales, Km 15	4,3	4,3	49,2 : 1	14,0	138,5 : 1	26,0
Pasto-Buesaco, Km 7	13,0	5,7	57,5 : 1	16,2	6,8 : 1	25,0
Pasto-Chachagüf, Km 9	6,2	5,2	27,8 : 1	1,0	45,1 : 1	9,6
Nariño	7,6	4,5	40,3 : 1	1,1	9,0 : 1	7,9
Pasto-Tangua, Km 18	4,3	5,9	47,5 : 1	1,7	38,4 : 1	8,2
Pupiales	17,8	4,1	81,9 : 1	1,5	101,3 : 1	22,8
Guachuca 1	7,8	6,1	65,4 : 1	1,0	47,8 : 1	21,9
Pasto-Chachagüf, Km 24	6,5	6,1	176,6 : 1	1,7	24,2 : 1	26,8
Pasto-Chachagüf, Km 29	6,3	3,9	77,3 : 1	1,8	58,3 : 1	22,9
Guachuca 1	4,0	7,8	12,3	14,0	14,3	25,5
P	10,4	10,2	8,5	16,0	8,5	19,2
P	14,3	7,7	8,9	6,2	11,7	17,8
Ca	6,6	4,6	6,9	11,8	14,2	20,5
P	11,6	7,7	11,6	6,2	11,6	7,5

(*) : * = Inmovilización ; P = Mineralización
 () : * = S-S

TABLA VI

MINERALIZACION O INMOVILIZACION DEL S-SO₄ EN ppm DE LOS SUELOS ESTUDIADOS POR EFECTO DE LA ADICION DE CaCO₃ (500 ppm) Y Na₂HPO₄ · 2H₂O (200 ppm) DESPUES DE 3, 6, 9 Y 12 SEMANAS DE INCUENACION, PRIMERA CAPA

Muestras y Tratamientos	Valores totales semanales				Mineralización o inmovilización del azufre (1)			
	3	6	9	12	3	6	9	12
Pasto-Ipiales Km 15	6,4	4,6	12,5	8,6	- 28,2	- 30,0	- 22,1	- 26,0
	6,4	6,0	18,6	8,6	- 28,2	- 28,6	- 16,0	- 26,0
	14,0	4,0	11,8	9,3	- 20,6	- 30,6	- 22,8	- 25,3
Pasto-Buesaco Km 7	2,9	13,0	16,8	9,8	- 24,3	- 14,2	- 10,4	- 17,4
	5,1	4,3	14,9	10,0	- 21,1	- 22,9	- 12,3	- 17,2
	7,9	13,0	33,2	18,2	- 19,3	- 14,2	- 6,0	- 9,0
Pasto-Chachagüf Km 9	9,7	5,7	14,7	5,6	- 7,9	- 11,9	- 2,9	- 12,0
	3,5	6,2	12,4	8,0	- 14,1	- 11,4	- 5,2	- 9,6
	4,9	5,2	11,1	9,7	- 12,7	- 12,4	- 6,5	- 7,9
Nariño	7,8	4,5	14,7	11,1	- 11,5	- 14,8	- 4,6	- 8,2
	5,0	4,3	14,8	9,7	- 14,3	- 15,0	- 4,5	- 9,6
	20,8	5,9	14,8	9,7	- 1,5	- 13,4	- 4,5	- 9,6
Pasto-Tangua Km 18	12,8	4,1	10,7	9,5	- 19,1	- 27,8	- 21,2	- 22,4
	7,8	6,1	14,0	10,0	- 24,1	- 25,8	- 17,9	- 21,9
	9,5	6,1	13,5	12,5	- 22,4	- 25,8	- 18,4	- 19,4
Pupiales	10,7	7,8	11,0	7,7	- 19,9	- 22,8	- 19,6	- 22,9
	10,0	4,3	12,7	13,0	- 20,6	- 26,3	- 17,9	- 17,6
	9,9	3,9	17,6	12,8	- 20,7	- 26,7	- 13,0	- 17,8
Guachuca 1	8,0	7,8	12,3	12,0	- 20,7	- 24,9	- 20,4	- 20,7
	7,6	7,3	14,4	12,9	- 25,1	- 25,4	- 18,3	- 19,8
Pasto-Chachagüf Km 24	10,2	10,2	11,5	16,9	- 22,5	- 22,5	- 21,2	- 15,8
	14,3	7,1	8,3	8,2	- 4,5	- 11,7	- 10,5	- 10,6
	6,6	4,6	6,9	11,8	- 12,2	- 14,2	- 11,9	- 7,0
	11,4	7,4	11,4	8,2	- 7,4	- 11,4	- 7,4	- 10,6

(1) : - = Inmovilización; (") : T = Testigo

† = Mineralización

TABLA VII

PRODUCCION ACUMULATIVA DE CO₂, EN mgr CO₂/10 gr DE SUELO,
EN LOS SUELOS ESTUDIADOS POR EFECTOS DE LA ADICION DE CaCO₃ (500 ppm)
Y Na₂HPO₄ · 2H₂O (200 ppm), PRIMERA CAPA

Muestras	Tratamientos	Periodos de incubación			
		Semanas			
		3	6	9	12
Pasto-Ipiales Km 15	T (')	25,3	55,2	75,4	101,7
	Ca	29,9	55,9	74,6	110,8
	P	29,6	58,9	78,4	110,3
Pasto-Buesaco Km 7	T	25,5	46,0	68,0	99,2
	Ca	25,0	46,0	70,1	100,4
	P	22,5	45,8	72,6	111,6
Pasto-Chachagüf Km 9	T	26,6	48,1	72,9	102,7
	Ca	26,3	47,6	70,6	105,5
	P	27,3	55,2	77,4	111,8
Narifo	T	15,4	43,0	65,8	97,7
	Ca	21,8	41,7	63,5	100,7
	P	20,8	41,2	67,8	104,0
Pasto-Tangua Km 18	T	20,5	48,1	71,9	102,7
	Ca	27,6	53,9	71,6	110,3
	P	21,5	43,8	69,6	102,7
Pupiales	T	23,8	43,8	80,2	103,2
	Ca	25,8	49,6	74,4	110,6
	P	21,8	40,8	68,3	96,4
Guachuca	T	31,1	45,0	67,8	104,7
	Ca	27,8	43,0	66,8	108,8
	P	23,5	41,0	71,1	102,5
Pasto-Chachagüf Km 24	T	21,5	45,3	68,3	102,2
	Ca	19,8	48,0	68,8	101,5
	P	21,3	41,7	71,6	106,3

(') : T = Testigo

TABLA VIII

PRODUCCION PARCIAL DE CO₂, EN mgr CO₂/10 gr DE SUELO,
EN LOS SUELOS ESTUDIADOS POR EFECTOS DE LA ADICION DE CaCO₃ (500 ppm)
Y Na₂HPO₄ · 2H₂O (200 ppm), PRIMERA CAPA

Muestras	Tratamientos	Períodos de incubación			
		Semanas			
		3	6	9	12
Pasto-Ipiales Km 15	T (')	25,3	29,9	20,2	20,3
	Ca	29,9	26,0	18,17	36,2
	P	29,6	29,3	19,5	31,9
Pasto-Buesaco Km 7	T	25,5	20,5	22,0	31,2
	Ca	25,0	21,0	24,1	30,3
	P	22,5	23,3	26,8	39,0
Pasto-Chachagüf Km 9	T	26,6	21,5	24,8	29,8
	Ca	26,3	21,3	23,0	34,9
	P	27,3	27,9	22,2	34,4
Nariño	T	15,4	27,6	22,8	31,9
	Ca	21,8	19,9	21,8	37,2
	P	20,8	20,4	26,6	36,2
Pasto-Tangua Km 18	T	20,5	27,6	23,8	30,8
	Ca	27,6	26,3	17,7	38,7
	P	21,5	22,3	25,8	33,1
Pupiales	T	23,8	19,7	36,7	23,0
	Ca	25,8	23,8	24,8	36,2
	P	21,8	19,0	27,5	28,1
Guachucal	T	31,1	13,9	22,8	36,9
	Ca	27,8	15,2	23,8	42,0
	P	23,5	17,5	30,1	31,4
Pasto-Chachagüf Km 24	T	21,5	23,8	23,0	33,9
	Ca	19,8	28,7	20,8	32,7
	P	21,3	20,4	29,9	34,7

(') : T = Testigo

Fig. 2. Relación entre la CIC y el carbono orgánico, en la primera capa.

pag?

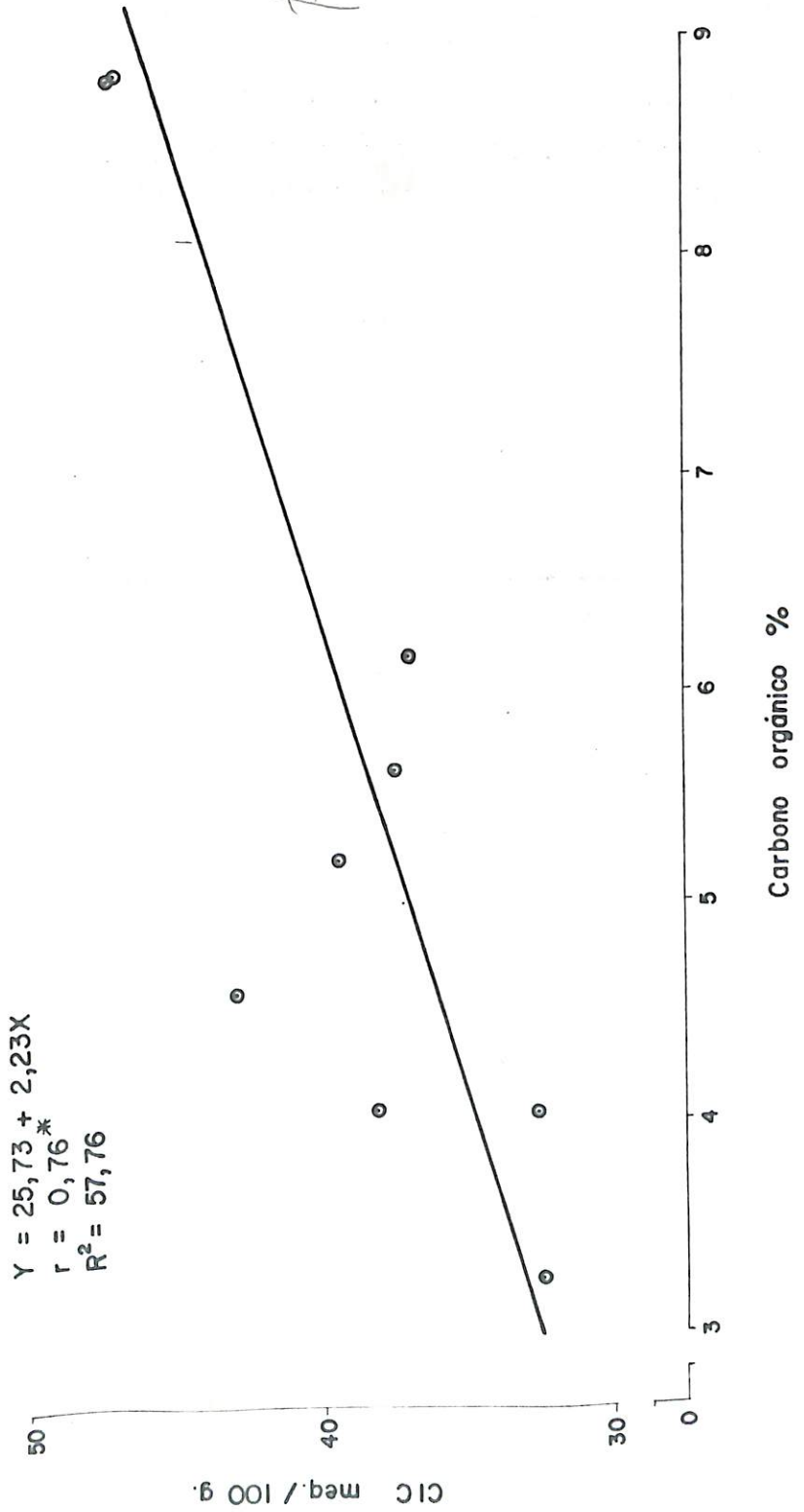


Fig. 2 Relación entre la CIC y el carbono orgánico , en la primera capa.

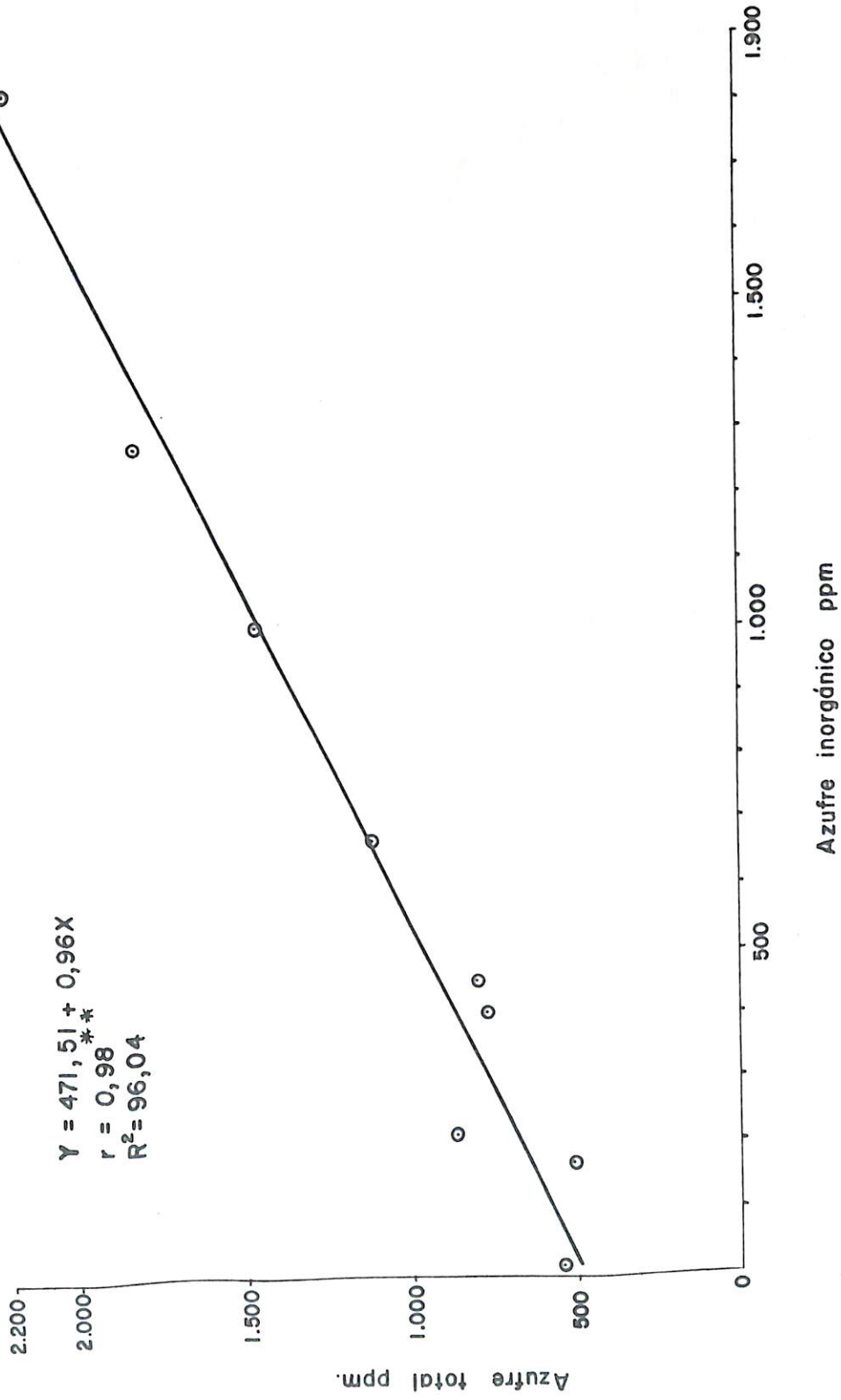


Fig. 3 Relación entre el azufre total y el azufre inorgánico, en la primera capa.

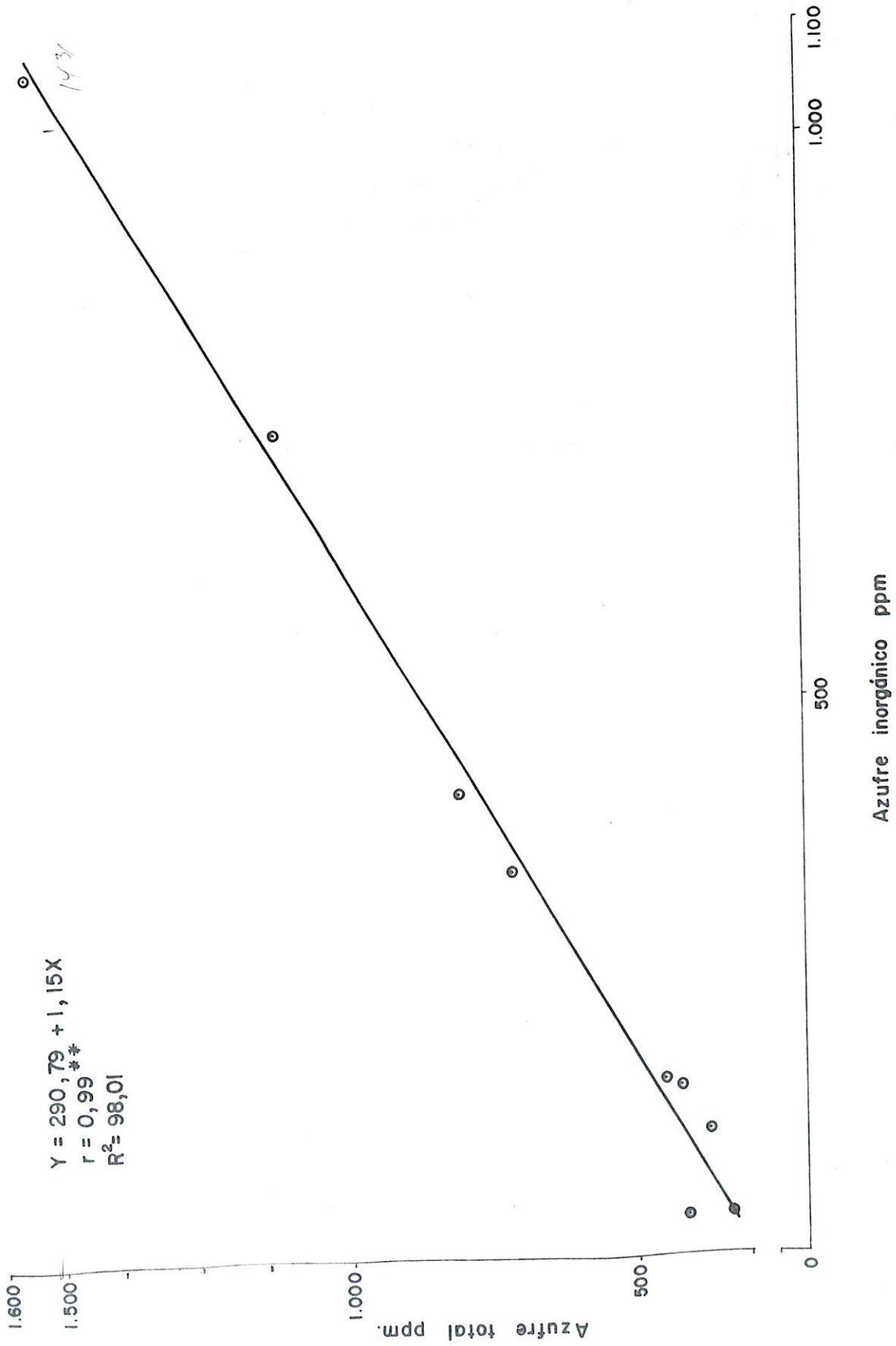
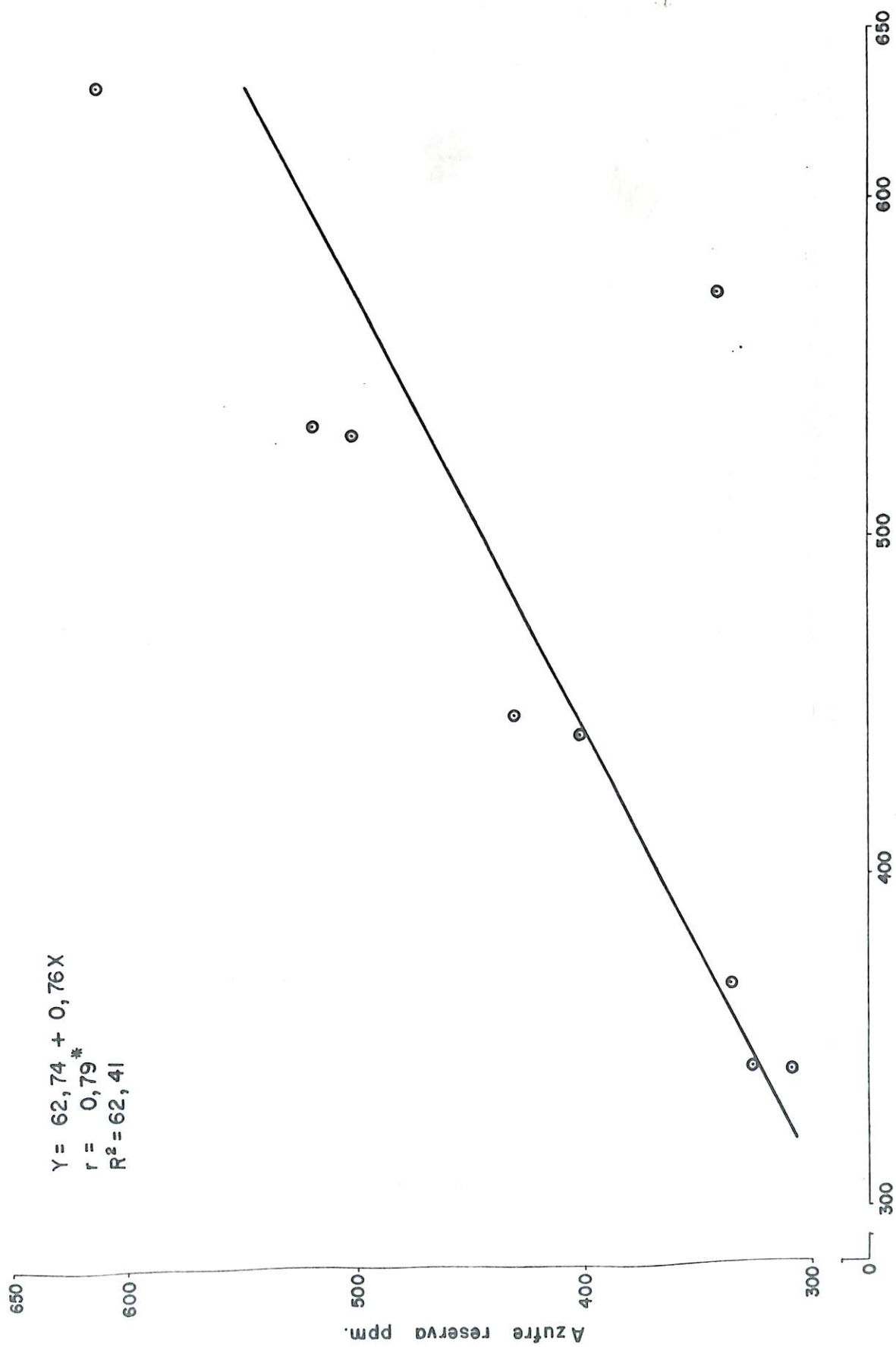


Fig. 4 Relación entre el azufre total y el azufre inorgánico, en la segunda capa.



Azufre orgánico ppm

Fig. 5 Relación entre el azufre reserva y el azufre orgánico, en la primera capa.

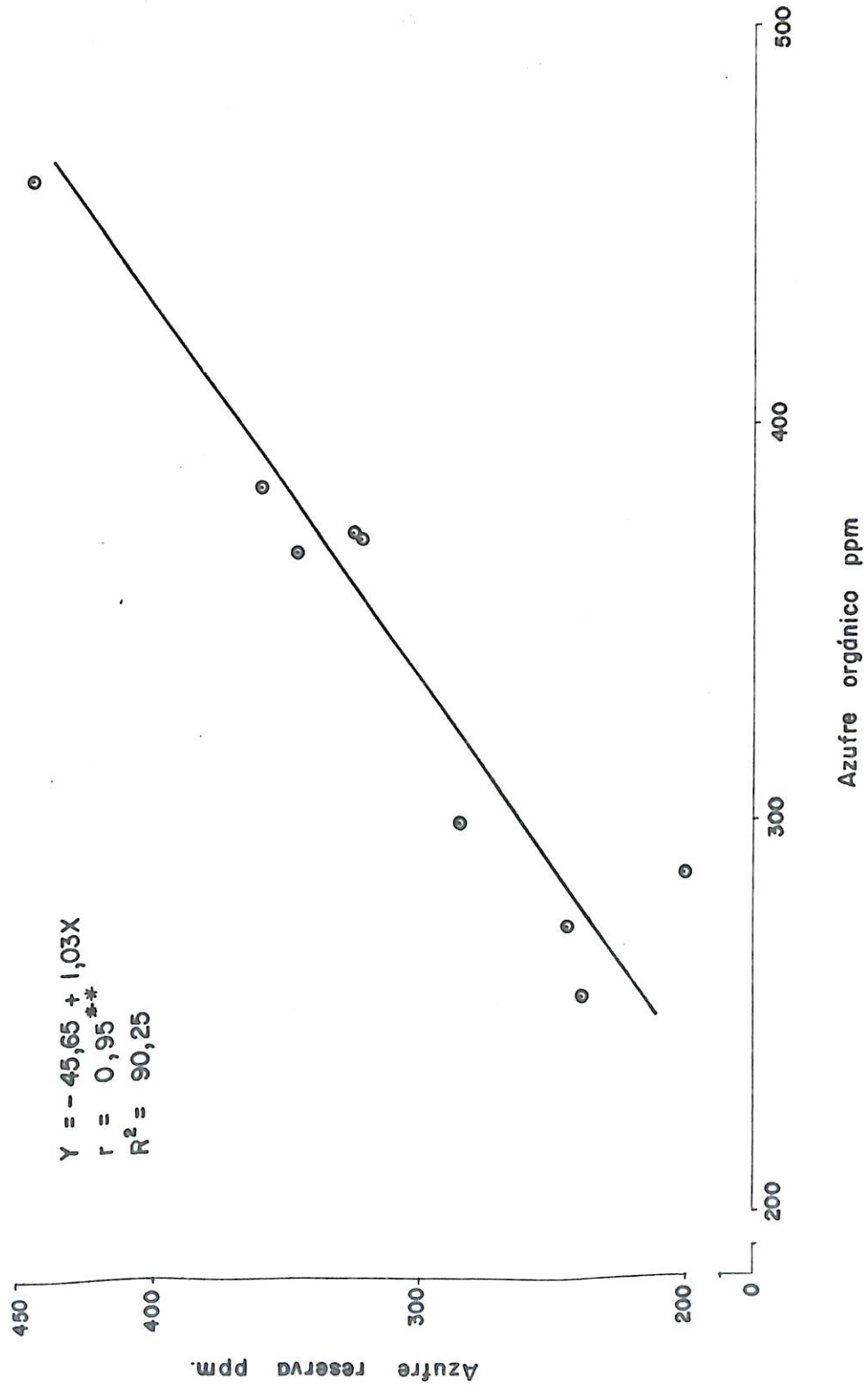


Fig. 6 Relación entre el azufre reserva y el azufre orgánico, en la segunda capa.

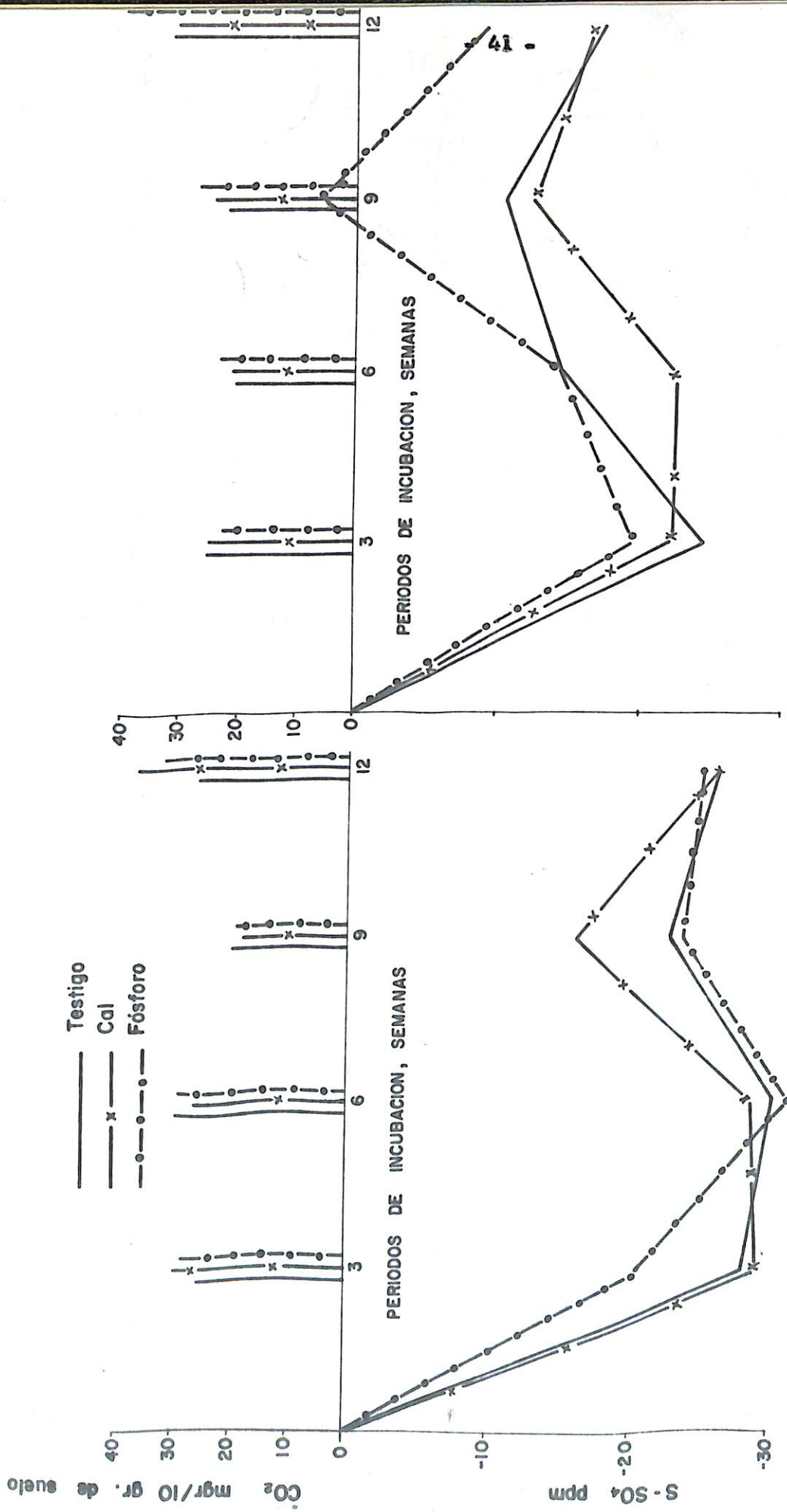


Fig. 7 Cambios en la concentración de S-SO₄ y evolución parcial de CO₂ en los suelos de Pasto - Ipicales Km15 y Pasto - Buesaco Km 7, por efecto de tratamientos con calcio y fósforo.

Testigo
 Cal
 Fósforo

CO₂ mgr. / 10 gr. de suelo

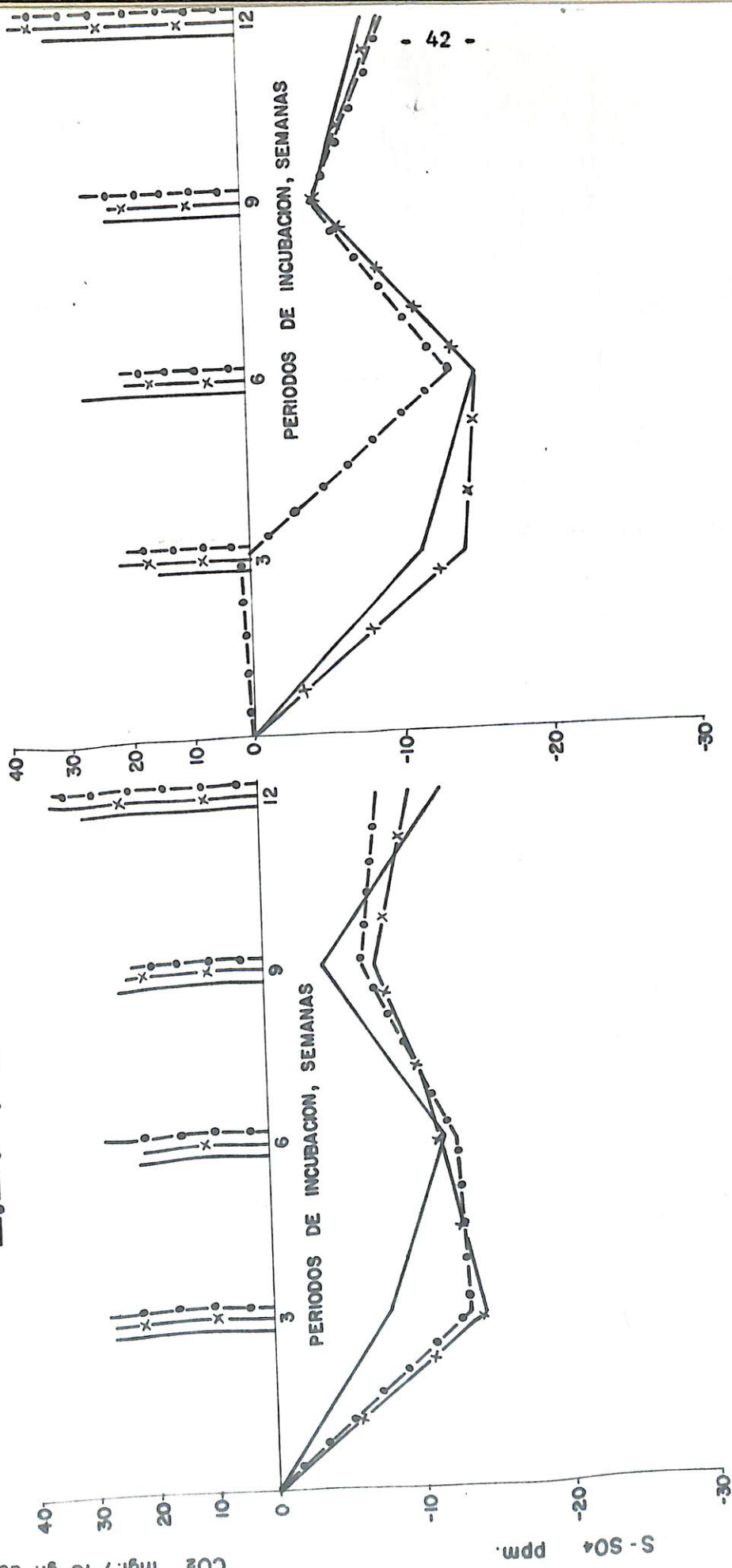


Fig. 8 Cambios en la concentración de S-SO₄ y evolución parcial de CO₂ en los suelos de Pasto - Chachagui Km 8 y Narifio por efecto de tratamientos con calcio y fósforo.

CO₂ mgr./10 gr. de suelo

Testigo
— x —
— o —

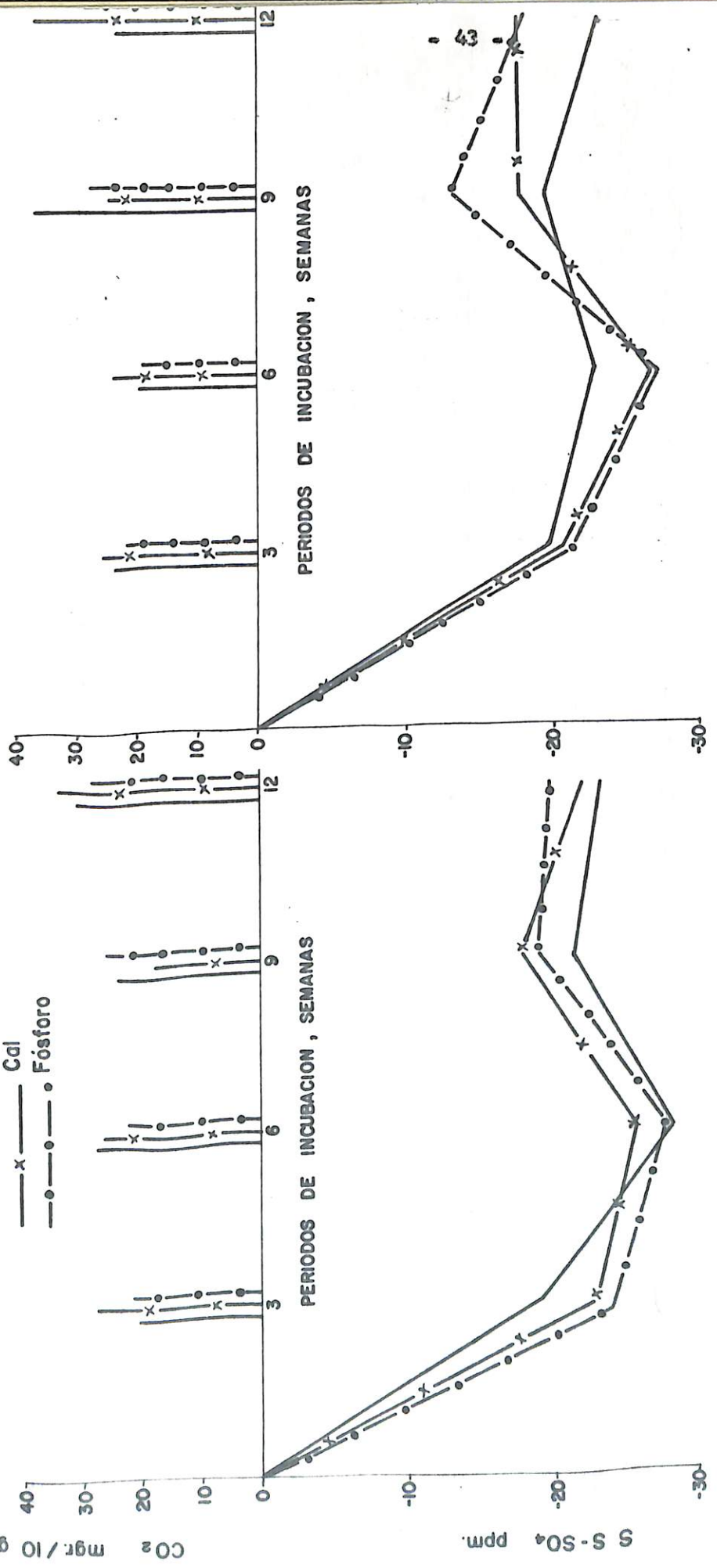


Fig. 9 Cambios en la concentración de S-SO₄ y evolución parcial de CO₂ en los suelos de Pasto - Tangua Km 18 y Pupiales por efecto de tratamientos con calcio y fósforo.

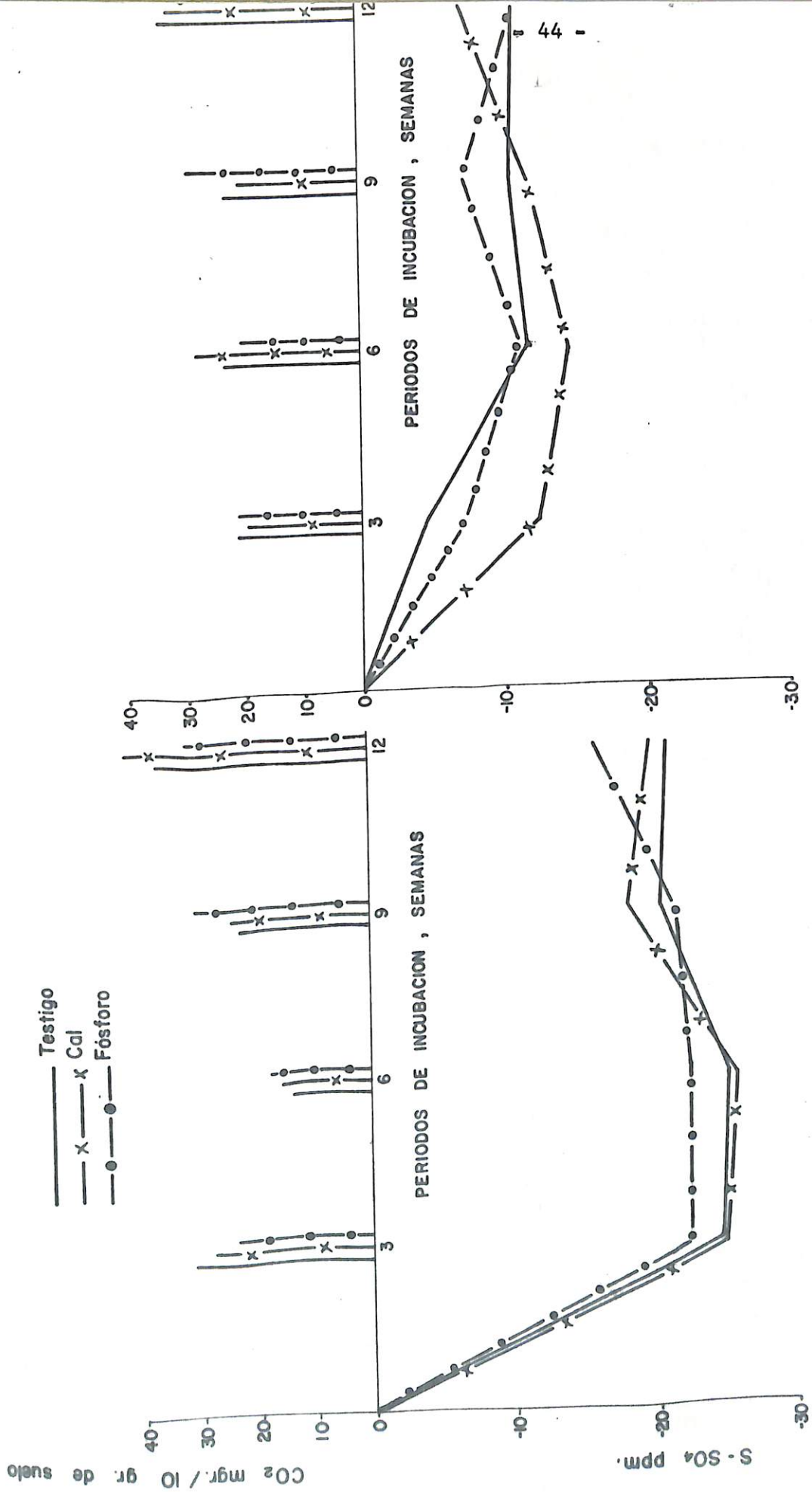


Fig. 10 Cambios en la concentración de S-SO₄ y evolución parcial de CO₂ en los suelos de Guachucal, Pasto - Chachagui Km 24 por efecto de tratamientos con calcio y fósforo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general, las mayores concentraciones de esta forma en la segunda capa de tres muestras, hacen pensar que existen problemas de lixiviación.

5.1 Conclusiones

1. Las características físico-químicas de los suelos son las siguientes : el pH va de medianamente ácido a débilmente ácido; los contenidos de materia orgánica son altos; la capacidad de intercambio catiónico es igualmente alta; la densidad aparente tiene valores por debajo de la unidad; la textura se asimila a la clasificación de media.

2. Las concentraciones de azufre total en los suelos tienen niveles medios y son mayores en la primera capa que en la segunda.

3. La mayor parte de muestras en la capa superficial tienen porcentajes de azufre orgánico que están por debajo del 50%. Sin embargo, en el segundo horizonte sí hay predominio de la fracción orgánica. Excepcionalmente, se encontraron tres muestras en las cuales el azufre orgánico es mayor en la segunda capa que en la primera.

4. La forma inorgánica supera a la orgánica en la capa superficial. Esta situación se invierte en la capa subyacente.

5. Existe una correlación altamente significativa entre el azufre total e inorgánico con porcentajes de asociación de 96,4% y 98%. Los coeficientes de correlación fueron 0,98 y 0,99 para la primera y segunda capa, respectivamente.

6. La fracción inorgánica en los suelos estudiados tiene un mayor significado con referencia al azufre total.

7. Hay una correlación al nivel del 5%, $r = 0,79$ en el suelo superficial, entre el azufre reserva del suelo y el azufre orgánico. Para la capa subsuperficial la correlación es altamente significativa con una asociación de 90,3%.

8. En general, los niveles de azufre intercambiable son bajos. Las mayores concentraciones de esta forma en la segunda capa de tres muestras, hace pensar que existen problemas de lixiviación.

9. Las concentraciones de azufre soluble en agua son muy bajas.

10. En la prueba de incubación, para todos los suelos, con los tres tratamientos y durante los diferentes períodos de incubación predominó el proceso de inmovilización sobre el de mineralización.

11. El factor tiempo y no el suministro de nutrientes es el que influye en la concentración de sulfatos en la prueba de incubación.

12. Es probable que la inmovilización dependa, en principio, del ajuste de las condiciones ambientales.

13. Además de la inmovilización, es posible que en los suelos estudiados se presente algún grado de adsorción del sulfato por las características físico-químicas de estos.

14. En base a la producción de CO_2 se considera que los suelos estudiados tienen una actividad microbiana media.

5.2 Recomendaciones

1. Continuar la experimentación con pruebas de incubación por un período más largo de tiempo que permita la separación, si es que existe, del efecto ambiental y del nutricional.

2. Adelantar una secuencia investigativa con este elemento por medio de trabajos que determinen la magnitud del fenómeno de lixiviación y que seleccionen un método adecuado para la evaluación de la forma disponible mediante una correlación suelo-planta.

3. Tener en cuenta el elemento azufre dentro de los programas de fertilización que se adelanten para suelos volcánicos de Narifio.

El presente trabajo se realizó con suelos volcánicos del Departamento de Narifio, sur-occidente de Colombia; 2.000 a 4.000 m.s.n.m., 500 a 1.000 mm de precipitación pluvial anual y 6 a 22°C de temperatura. El estudio se dirigió a conocer los formas y metabolismo del azufre.

Las características físico-químicas de los suelos son: pH, medianamente a débilmente ácido; materia orgánica alta, 5,6 a 15,2%; capacidad de intercambio catiónico, igualmente alta, 32,5 a 46,9 meq/100 g; densidad aparente inferior a la unidad y textura tipo franco.

El azufre total tiene niveles medios, 336,9 a 1.816 ppm, aunque es mayor en la primera que en la segunda capa. En la mayor parte de las muestras de la capa superficial, el azufre orgánico es inferior al 50%; en el segundo estrato hay predominio de la fracción orgánica, con un máximo hasta del 86,9%. El azufre inorgánico varía de 22,3 a 1.822,7 ppm en la primera capa, y de 37,1 a 1.059,2 ppm en la segunda. Se encontró alta correlación entre la fracción total e inorgánica. Los niveles de azufre intercambiable son bajos, 17,6 a 34,6 ppm en el suelo superficial, y 15,6 a 85,8 ppm en la capa subyacente. Las concentraciones de azufre soluble en agua también son bajas, los máximos en la primera y segunda capa corresponden a 13,3 y 10,8 ppm, respectivamente.

En la prueba de incubación, para todos los suelos, con los tres tratamientos (testigo, 200 ppm de P y 300 ppm de Co) y durante los diferentes períodos de incubación (3, 6, 9 y 12 semanas) predominó el proceso de inmovilización. El tiempo y no los nutrientes es el factor que influye en la concentración de sulfatos. La producción de CO₂ indica que los suelos estudiados tienen una actividad microbiana media.

VI. RESUMEN

El presente trabajo se realizó con suelos volcánicos del Departamento de Nariño, Sur-occidente de Colombia; 2.000 a 4.000 m.s.n.m., 500 a 1.000 mm de precipitación pluvial anual y 6 a 22°C de temperatura. El estudio se dirigió a conocer las formas y metabolismo del azufre.

Las características físico-químicas de los suelos son : pH, medianamente a débilmente ácido; materia orgánica alta, 5,6 a 15,2%; capacidad de intercambio catiónico, igualmente alta, 32,5 a 46,9 meq/100 g; densidad aparente inferior a la unidad y textura tipo franco.

Total-S has medium levels, 336,9 to 1.816 ppm although it is higher in the El azufre total tiene niveles medios, 336,9 a 1.816 ppm, aunque es mayor en la primera que en la segunda capa. En la mayor parte de las muestras de la capa superficial, el azufre orgánico es inferior al 50%; en el segundo estrato hay predominio de la fracción orgánica, con un máximo hasta del 88,9%. El azufre inorgánico varía de 22,3 a 1.822,7 ppm en la primera capa, y de 37,1 a 1.059,2 ppm en la segunda. Se encontró alta correlación entre la forma total e inorgánica. Los niveles de azufre intercambiable son bajos, 17,6 a 34,6 ppm en el suelo superficial, y 15,4 a 85,8 ppm en la capa subyacente. Las concentraciones de azufre soluble en agua también son bajas, los máximos en la primera y segunda capa corresponden a 13,3 y 10,8 ppm, respectivamente.

En la prueba de incubación, para todos los suelos, con los tres tratamientos (testigo, 200 ppm de P y 500 ppm de Ca) y durante los diferentes períodos de incubación (3, 6, 9 y 12 semanas) predominó el proceso de inmovilización. El tiempo y no los nutrimentos es el factor que influye en la concentración de sulfatos. La producción de CO₂ indica que los suelos estudiados tienen una actividad microbial media.

VII. BIBLIOGRAFIA

SUMMARY

1. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, Wiley, 1964.
 Present work was carried out with volcanic soils of Department of Nariño, western-south of Colombia; 2.000 to 4.000 meters above sea level, 500 to 1.000 mm of annual rainfall and 6 to 22°C of temperature. This work was directed to know forms and its metabolism.

2. ARIAS, J. y GONZALEZ, E. Algunas propiedades físicas de dos suelos de lavados de cenizas volcánicas de Pasto, Colombia, determinadas por diferentes métodos. Turrialba 21 : 393-403. 1971.
 Physical and chemical soil properties are : pH, moderately to softly acid; high organic matter content, 5,6 to 12,5%; cation exchange capacity high too, 32,5 to 46,9 meq/100 g; bulk density under 1 and loam type texture.

416. 1973.
 Total-S has medium levels, 336,9 to 1.816 ppm, although it is higher in the first layer than the second. Organic-S is smaller than 50%; in most of top layer samples; in the second layer the organic fraction is the greatest one, with a maximum value of 88,9%. Inorganic-S varies from 22,3 to 1.822,7 ppm in the first layer and from 37,1 to 1.059,2 ppm in the second. High correlation was found out between total and inorganic form. Exchangeable-S levels are lows, 17,6 to 34,6 ppm for top layer and 15,4 to 85,8 ppm for second layer. Water soluble-S concentrations are low too, maximum values are 13,3 and 10,8 ppm for first and second layer respectively.

3. J. ARIAS, E. Mineralogía de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970.
 For the incubation proof, with the three treatments (control, 200 ppm of P and 500 ppm of Ca) and during different incubation periods (3, 6, 9 and 12 weeks) immobilization process predominated for all soils. Factor influencing sulphate concentration is time and not nutrients. CO₂ production shows that studied soils have a medium microbiological activity.

4. Guía para el estudio de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970.

5. Microbiología de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970.

10. BLASCO, M. Efecto de la humedad sobre la mineralización de carbono en suelos volcánicos de Costa Rica. Turrialba 21 : 7-12. 1971.
- VII. BIBLIOGRAFIA
1. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, Wiley, 1964. 472 p.
2. ARIAS, A. y GUERRERO, R. Algunas propiedades físicas de dos suelos derivados de cenizas volcánicas de Pasto, Colombia, determinadas por diferentes métodos. Turrialba 21 : 393-403. 1971.
3. AYALA, H., GUERRERO, R. y GAMBOA, J. Estudio del azufre en Nariño y Putumayo (Colombia). Anales de Edafología y Agrobiología 32 : 401-416. 1973.
4. BARDSLEY, C. E. y LANCASTER, J. D. Sulfur. In Black, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1102-1116.
5. BEATON, J. D., BURNS, G. R. y PLATOU, J. Determination of sulphur in soils and plant material. Washington. Sulphur Institute. Technical Bulletin No. 14. 1968. 56 p.
6. BESOAIN, E. Mineralogía de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 347 p.
7. BLASCO, M. y CORNFIELD, A. H. Effect of soil moisture content during incubation on the nitrogen-mineralizing characteristics of the soils of Columbia (South America). Geoderma 1 : 19-25. 1967.
8. _____. Guía para el estudio de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 30 p.
9. _____. Microbiología de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 247 p.

10. BLASCO, M. Efecto de la humedad sobre la mineralización de carbono en suelos volcánicos de Costa Rica. Turrialba 21 : 7-12. 1971.
11. DOMÍNGUEZ, J. Contenido y metabolismo del azufre en suelos volcánicos de Centro América. In Panel sobre suelos volcánicos de América. 2o. Pasto, Colombia, 1972. (en prensa). 77 p.
12. BORNEMISZA, E. y PINEDA, R. Minerales amorfos y mineralización de nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. 1o. Turrialba, Costa Rica, Julio 6-13, 1969. Turrialba, IICA, 1969. pp. B.7.1. B.7.7.
13. BURBANO, H. Metabolismo del azufre en suelos agrícolas de Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 93 p.
14. CALZADA, J. Métodos estadísticos para la investigación. 2a. ed. Lima, Sesator, 1964. 494 p.
15. CONRAD, J. Sulphur fertilization in California and some related factors. Soil Science 70 : 43-54. 1950.
16. CORNFIELD, A. H. A simple technique for determining mineralization of carbon during incubation of soils treated with organic materials. Plant and Soil 14 : 90-93. 1961.
17. CHAO, T., HARWARD, M. y FANG, S. Cationic effect on sulfate adsorption by soils. Soil Science Society of America Proceedings 37 : 35-38. 1973.
18. CHAPMAN, H. D. y PRATT, P. F. Methods of analysis for soils, plants and waters. s.l., University of California, 1961. 309 p.
19. CHAUDRY, I. A. Studies on sulphur metabolism in soils. Thesis Ph. D. London, University of London, 1966. 186 p.

20. CHAVES, M. et al. Estudio socioeconómico de Nariño. Bogotá, Arco, 1959
213 p.
21. DOMINGUEZ, G. y RODRIGUEZ, C. Estudio sobre algunos aspectos del azufre en el Altiplano de Pasto. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1971. 77 p.
22. DULCE, A. J. et al. Propiedades físicas de algunos suelos volcánicos del Altiplano de Ipiales, Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas, (Colombia) 3 : 3-22. 1971.
23. ESCOVAR, G., JURADO, R. y GUERRERO, R. Propiedades de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas del Altiplano de Pasto, Nariño, Colombia. Turrialba 22 : 338-346. 1972.
24. ESPINAL, T. L. y MONTENEGRO, E. Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1963. 210 p.
25. FASSBENDER, H. W. Química de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. 266 p.
26. FOX, R. L., OLSON, R. A. y RHOADES, H. F. Evaluating the sulphur status of soils by plant and soil tests. Soil Science Society of America Proceedings 28 : 243-246. 1964.
27. FREDERICK, L. R., STARKEY, R. L. y SEGAL, W. Descomposibility of some organic sulfur compounds in soil. Soil Science Society of America Proceedings 21 : 287-292. 1957.
28. FRENEY, J. R. Some observations on the nature of organic sulphur compounds in soil. Australian Journal of Agricultural Research 12 : 424-432. 1961.
29. ————. Sulfur-containing organics. In McLaren, A. D. y Peterson, G. H. eds. Soil biochemistry. New York, Decker, 1967. pp. 229-259.

30. FRYE, A. El análisis de suelos en la evaluación de su fertilidad para la aplicación de fertilizantes y correctores. In Reunión Nacional de Suelos. 3a. Ibagué, Colombia, Universidad del Tolima, Octubre 29-30, 1971. pp. 1-29.
31. FUENTES, R. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en algunos suelos ácidos de origen volcánico. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 107 p.
32. GONZALES, A. Manual de laboratorio de suelos. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 1969. 150 p.
33. GONZALES, S. Propiedades físicas de algunos suelos de la Sabana de Túquerres, Nariño, Colombia. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1972. 77 p.
34. GRANADOS, M. Mineralización del azufre en suelos bajo cultivo de cacao (Theobroma cacao L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 57 p.
35. GUERRERO, R. Formas de fósforo y sus relaciones con la fertilidad de los suelos. In Coloquio sobre suelos. 3o. Bogotá, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1974. pp. 349-387.
36. HAQUE, I. y WALMSLEY, D. Sulphur investigations in some west Indian soils. Tropical Agriculture 51 : 253-263. 1974.
37. HARWARD, M. E. y REISENAUER, H. M. Reactions and movement of inorganic soil sulfur. Soil Science 101 : 326-335. 1966.
38. JACKSON, M. L. Análisis químico de suelos. Trad. del inglés por José Beltrán Martínez. Barcelona, Omega, 1964. 662 p.
39. _____. Chemical composition of soils. In Bear, F. E., ed. Chemistry of the soil. 2nd. ed. New York, Reinhold, 1967. pp. 71-141.

40. KAMPRATH, E. J., NELSON, W. L. y FITTS, J. W. Sulfur removed from soil by field crops. *Agronomy Journal* 49 : 289-293. 1957.
41. _____. Azufre. In Sánchez, P. A., ed. Un resumen de las investigaciones edafológicas en la América Latina Tropical. Raleigh. Soil Science Department, North Carolina State University. Technical Bulletin No. 219. 1973. pp. 195-198.
42. KONONOVA, M. M. Soil organic matter. 2nd. ed. Trad. del ruso por T. Z. Nowakoswsky y A. C. Newman. Oxford, Pergamon Press, 1966. 544 p.
43. LOWE, L. E. y DELONG, W. A. Aspects of the sulphur status of three Quebec soils. *Canadian Journal of Soil Science* 41 : 141-146. 1961.
44. _____. y DELONG, W. A. Carbon bonded sulphur in selected Quebec soils. *Canadian Journal of Soil Science* 43 : 151-155. 1963.
45. LUNA, C. y CARLHOUN, F. G. Suelos derivados de ceniza volcánicas del Departamento de Nariño. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi 1973. 157 p.
46. MASSOUMI, A. y CORNFIELD, A. H. A rapid method for determining sulphate in water extracts soils. *Analyst* 88 : 321-322. 1963.
47. NEPTUNE, A. M. L., TABATABAI, M. A. y HANWAY, J. J. Sulphur fractions and carbon - nitrogen - phosphorus - sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 39 : 51-55. 1975.
48. PAEZ, G. Curso de diseño experimental. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. s.p. (Notas de clase).
49. PEREZ, A. Evaluación del azufre disponible en algunos suelos agrícolas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 68 p.

50. REHM, G. W. y CALDWELL, A. C. Sulfur supplying capacity of soils and the relationship to soil type. *Soil Science* 105 : 335-361. 1968.
chronic acidification method. *Soil Science* 37 : 29-30. 1934.
51. RUSSELL, E. J. y RUSSELL, E. W. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. 4a. ed. Trad. del inglés por Gaspar González. Madrid, Aguilar, 1968. 801 p. 1964.
52. SCHALSCHA, E. B., ESTRADA, C. y GALINDO, G. G. Sulfur status of some volcanic ash derived soils. *Agrochimica* 16 : 77-82. 1971 - 1972.
Facultad de Ciencias Agrícolas, 1969. 257 p.
53. SCHOLLEMBERGER, C. J. y SIMON, M. Determination of cation exchange properties of soil by the ammonium acetate method. *Soil Science* 59 : 14-17. 1945.
54. SIMON - SYLVESTRE, G. Observations sur le cycle annuel du soufre dans un sol sous climat modérément pluvieux. *Agrochimica* 12 : 60-68. 1967.
55. STEVENSON, I. L. Biochemistry of soil. In Bear, F. E., ed. *Chemistry of the soil*. 2nd. ed. New York, Reinhold, 1967. pp. 242-291.
56. SWINDALE, L. D. Propiedades de los suelos de cenizas volcánicas. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. I. Turrialba, Costa Rica, Julio 6-13, 1969. Turrialba, IICA, 1969. pp. B.10.1 - B.10.9.
57. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. del inglés por Jorge Balasch. Barcelona, Montaner y Simon, 1970. 760 p.
58. TOTH, S. J. The physical chemistry of soils. In Bear, F. E. ed. *Chemistry of the soil*. 2nd. ed. New York, Reinhold, 1967. pp. 142-162.

59. WALKLEY, A. y BLACK, I. A. An examination of the Degtjarov method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic aciditration method. Soil Science 37 : 29-38. 1934.
60. WHITEHEAD, D. C. Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle
Soils and Fertilizers 27 : 1-8. 1964.
61. ZAMBRANO, D. H., ERASSO, L. y NICHOLLS, W. Atlas agrológico del Departamento de Nariño. Tesis de Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1969. 257 p.

APPENDICE

TABLE I

ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA LA PRODUCCIÓN DE SULFATOS
EN LOS SUELOS DEL SECTOR PASTO-IPÍALES Km 15 Y PASTO-BUESACO Km 7,
DURANTE LA PRUEBA DE INCUBACIÓN

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc.
A (períodos)	3	386,6	128,9	10,65 ^{ns}
Error (a)	8	96,9	12,1	
B (tratamientos)	2	18,9	9,5	0,67
Error (b)	16	225,7	14,1	
MS	6	144,8	24,1	1,71
Total	35	872,9		

A P E N D I C E

ns : Significativo al nivel del 1%
F: al 5% = 4,07
F: al 1% = 7,59

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc.
A (períodos)	3	1.421,8 ^{ns}	473,9	12,31 ^{ns}
Error (a)	8	308,1	38,5	
B (tratamientos)	2	755,1	377,6	9,01 ^{ns}
Error (b)	16	670,5	41,9	
MS	6	41,6	56,9	1,35
Total	35	3.497,1		

ns : Significativo al nivel del 1%; F: 5% = 4,07 Períodos
F: 1% = 7,59
ns : Significativo al nivel del 1%; F: 5% = 5,63 Tratamientos
F: 1% = 6,23

TABLA I
TABLA I

ANALISIS DE VARIANCIA PARA LA PRODUCCION DE SULFATOS
EN LOS SUELOS DEL SECTOR PASTO-IPIALES Km 15 Y PASTO-BUESACO Km 7,
DURANTE LA PRUEBA DE INCUBACION

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc.
A (períodos)	3	386,6	128,9	10,65 ^{**}
Error (a)	8	96,9	12,1	
B (tratamientos)	2	18,9	9,5	0,67
Error (b)	16	225,7	14,1	
AB	6	144,8	24,1	1,71
Total	35	872,9		

** : Significativo al nivel del 1%
Ft al 5% = 4,07
Ft al 1% = 7,59

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc
A (períodos)	3	1.421,8	473,9	12,31 ^{**}
Error (a)	8	308,1	38,5	
B (tratamientos)	2	755,1	377,6	9,01 ^{**}
Error (b)	16	670,5	41,9	
AB	6	41,6	56,9	1,36
Total	35	3.497,1		

** : Significativo al nivel del 1%; Ft 5% = 4,07 Períodos
Ft 1% = 7,59

** : Significativo al nivel del 1% Ft 5% = 3,63 Tratamientos
Ft 1% = 6,23

TABLA II

ANALISIS DE VARIANCIA PARA LA PRODUCCION DE SULFATOS
EN LOS SUELOS DEL SECTOR PASTO-CHACHAGUI Km 9 Y NARIÑO
DURANTE LA PRUEBA DE INCUBACION

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc.
A (períodos)	3	399,2	133,1	13,5 ^{**}
Error (a)	8	67,0	8,4	
B (tratamientos)	2	12,8	6,4	0,55
Error (b)	16	187,2	11,7	
AB	6	92,0	15,3	1,31
Total	35	698,2		

** : Significativo al nivel del 1%

Ft 5% = 4,07

Ft 1% = 7,59

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc
A (períodos)	3	472,6	157,5	7,19 [*]
Error (a)	8	175,1	21,9	
B (tratamientos)	2	93,6	46,8	1,60
Error (b)	16	466,6	29,2	
AB	6	271,0	45,2	1,55
Total	35	1.478,9		

* : Significativo al nivel del 5%

Ft 5% = 4,07

TABLA III

ANALISIS DE VARIANCIA PARA LA PRODUCCION DE SULFATOS
EN LOS SUELOS DEL SECTOR PASTO-TANGUA Km 18 Y PUPIALES,
DURANTE LA PRUEBA DE INCUBACION

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc
A (períodos)	3	276,1	92,0	5,61 *
Error (a)	8	130,8	16,4	
B (tratamientos)	2	5,4	2,7	0,20
Error (b)	16	220,5	13,8	
AB	6	79,9	13,3	0,96
Total	35	712,7		

* : Significativo al nivel del 5%
ft 5% = 4,07

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc
A (períodos)	3	391,8	130,6	7,10 *
Error (a)	8	146,8	18,4	
B (tratamientos)	2	30,2	15,1	0,77
Error (b)	16	311,2	19,5	
AB	6	57,7	26,3	1,35
Total	35	937,7		

* : Significativo al nivel del 5%
ft 5% = 4,07

TABLA IV

ANALISIS DE VARIANCIA PARA LA PRODUCCION DE SULFATOS
EN LOS SUELOS DEL SECTOR GUACHUCAL Y PASTO-CHACHAGUI Km 24,
DURANTE LA PRUEBA DE INCUBACION

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc
A (períodos)	3	336,5	112,2	1,73
Error (a)	8	515,9	64,5	
B (tratamientos)	2	16,2	8,1	0,13
Error (b)	16	981,2	61,3	
AB	6	52,0	8,7	0,14
Total	35	1.901,8		

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc.
A (períodos)	3	114,3	38,1	5,4 †
Error (a)	8	57,0	7,1	
B (tratamientos)	2	9,3	4,7	0,16
Error (b)	16	459,9	28,4	
AB	6	165,7	27,6	0,97
Total	35	800,2		

† : Significativo al nivel del 5%
ft 5% = 4,07

ANT

546.2

19437

M912

Mosquera Quijano, Carlos A

Ej. 1

Formas y mineralización de
azufre en suelos volcanicos.

VENCE

NOMBRE *Alberto Cárdenas V.*

AN

19437

T

546.2

M912

Ej. 1