

MINERALIZACION DEL AZUFRE EN SUELOS BAJO CULTIVO DE CACAO

(Theobroma Cacao L.)

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Manuel Granados Núñez



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Marzo, 1972

MINERALIZACION DEL AZUFRE EN SUELOS

BAJO CULTIVO DE CACAO (Theobroma cacao L.)

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado

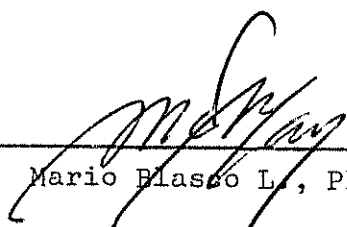
de

Magister Scientiae

en el

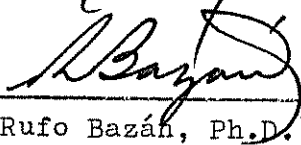
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



Mario Blasco L., Ph.D.

Consejero



Rufo Bazán, Ph.D.

Comité



Gilberto Páez, Ph.D.

Comité

Jorge Soria, Ph.D.

Comité

Marzo, 1972

A mi madre

A mis hermanos

A mi tía

Dedico.

AGRADECIMIENTOS

El autor dese expresar su mas sincero agradecimiento al Dr. Mario Blasco L., Consejero Principal, por su acertada orientación, valiosos consejos y estrecha colaboración presentada en el planeamiento y desarrollo del presente trabajo de tesis.

A los Drs. Rufo Bazan, Gilberto Páez, Jorge Soria y Kozen Igue, por su colaboración y asesoramiento que hicieron posible éste trabajo.

Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA por haber otorgado la beca

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de éste trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en Santa Marta, Colombia el 18 de Noviembre de 1936. Realizó sus estudios de bachillerato en el Colegio "Liceo Celedón" de Santa Marta terminándolos en 1955. Ingresó a la Facultad de Agronomía (Palmira) de la Universidad Nacional en 1958, graduándose como Ingeniero Agrónomo en 1962.

Prestó sus servicios profesionales al Instituto Geográfico Agustín Codazzi-Departamento Agrícola- desde 1963 hasta 1964.

En 1965 se vinculó a la Universidad Tecnológica del Magdalena como profesor de Suelos.

En Setiembre de 1970 ingreso a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica, habiendo obtenido el grado de Magister Scientiae en Marzo de 1972.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Azufre en los suelos	3
2.2. Principales factores que influyen en la asequi- bilidad del azufre en los suelos	5
2.3. Transformaciones microbiales del azufre en los suelos	7
2.4. Actividad metabólica del suelo.....	10
2.5. Factores que influyen en las transformaciones microbiales del azufre en el suelo	11
2.5.1. Temperatura	11
2.5.2. Humedad y aireación	11
2.5.3. Reacción del suelo	12
3. MATERIALES Y METODOS	13
3.1. Descripción general del área	13
3.1.1. Localización	13
3.1.2. Características ecológicas	13
3.1.3. Características edafológicas	13
3.2. Muestreo y preparación del material	14
3.3. Diseño experimental y tratamiento	15
3.4. Análisis de laboratorio	17
3.5. Análisis físicos	18
3.6. Análisis estadísticos.....	18

	Página
4. RESULTADOS	20
4.1. Producción de CO_2 durante la incubación de los suelos	20
4.2. Efectos de los distintos elementos aplicados, en la producción de CO_2	20
4.3. Efectos del tiempo de incubación en la pro - ducción de CO_2	26
4.4. Producción de S-SO_4 durante la incubación de los suelos	27
4.5. Efectos de los distintos elementos en la pro - ducción de S-S)_4	29
4.6. Efecto de la adición de material vegetal en las producciones de CO_2 y S-SO_4	33
4.7. Adición de azufre por los residuos vegetales de cacao	34
4.8. Azufre total,intercambiable,inorgánico y orgánico	35
5. DISCUSION	36
6. CONCLUSIONES	43
7. RESUMEN	45
7a.SUMMARY	47
8. LITERATURA CITADA	49
APENDICE	57

LISTA DE FIGURAS

Figura No.		Página
1	Efectos del N en la producción de CO_2 en los suelos estudiados.....	22
2	Efecto del P en la producción de CO_2 en los suelos estudiados.....	23
3	Efecto del K en la producción de CO_2 en los suelos estudiados.....	23
4	Efecto del Mg. en la producción de CO_2 en los suelos estudiados.....	24
5	Efecto del S en la producción de CO_2 en los suelos estudiados.....	24
6	Diagrama propuesto para explicar el comportamiento de la producción de CO_2	25
7	Retención de SO_4 por los suelos estudiados.....	28
8	Efecto del N en la producción de SO_4 en los suelos estudiados.....	30
9	Efecto del P en la producción de SO_4 en los suelos estudiados.....	31
10	Efecto del K en la producción de SO_4 en los suelos estudiados.....	32
11	Efecto del Mg en la producción de SO_4 en los suelos estudiados.....	32
12	Efecto del S en la producción de SO_4 en los suelos estudiados.....	32

1. INTRODUCCION

El azufre se presenta en los suelos en forma elemental, como sulfuros, sulfatos y en combinaciones orgánicas. Debido al fenómeno de retención, la concentración de azufre disponible en los suelos abundantes en alofana, caolinita y sesquióxidos de hierro y aluminio es deficiente. Una de las posibilidades de obviar esta diferencia, se encuentra en la mineralización de los compuestos orgánicos azufrados que representa entre el 45 y 95% del azufre total.

Los factores que condicionan el metabolismo de los compuestos azufrados en los suelos son difíciles de establecer debido a la inestabilidad química de los productos intermedios de las reacciones de mineralización. La biodegradabilidad de los materiales orgánicos azufrados y su consiguiente transformación en $S-SO_4^{=}$ es muy afectada por el tipo de residuos vegetales que recibe el suelo (cacao en el presente estudio) y por la influencia de los agentes químicos (sales) en la catálisis enzimática, así como por el potencial redox.

Precisamente las condiciones de oxidación-reducción que se establezcan en el suelo constituyen uno de los límites de la mineralización del azufre, porque mientras que en el caso del nitrógeno, tanto los productos de oxidación (NO_3^-) como los de reducción (NH_4^+) son aprovechados por las plantas, en el caso del azufre la reacción debe proceder por la vía oxidativa, ya que la reducción conlleva la producción de $S^{=}$, tóxico aún a bajas concentraciones para los vegetales.

En vista de la importancia de establecer algunas causas que re-

gulen la mineralización del azufre en suelos cacaoteros, se realizó la presente investigación, cuyos objetivos son:

- 1.- Medir la mineralización del azufre en éstos suelos
- 2.- Medir el contenido de azufre en algunas series de suelos, sembradas con cacao, pertenecientes al I.I.C.A.
- 3.- Medir el azufre adicionado por las hojas de cacao al suelo.
- 4.- Probar si algunos tratamientos con sales pueden mejorar las concentraciones de éste elemento en su forma asequible.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Azufre en los suelos

De acuerdo con Cairns y Richer (25) el azufre está presente en los suelos tanto en forma orgánica como inorgánica. En las regiones húmedas, está presente en minerales como piritita o marcasita (Fe_2S), cantidades menores sphaelrita (ZnS), calcopiritita (CuFeS_2), cobaltita (CoAsS), y cantidades variables de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Whitehead (102) anota una variación en el contenido de azufre en los suelos de distintas regiones del mundo de 2,2 a 3.500 mg S/100 gr.

Starkey (87) reporta en suelos de región húmeda, un contenido de 0,42% de S-total, de esto, 14% era sulfato; en suelo forestal 0,058% de S-total, 10% era sulfato, y en suelo húmedo 0,126% de S-total, 21% era sulfato. Birch (14) anota que la cantidad de azufre total en los suelos de Colombia, no pasa por lo general de 1.500 ppm. El azufre orgánico representa de 90 a 95% del azufre total, y la fracción inorgánica representa de 4 a 9%, y dentro de la fracción inorgánica, la mayor parte corresponde a la forma de sulfato adsorbido, y alrededor de 1 a 2% del S-total son formas inorgánicas en estado de oxidación menor que sulfato (102).

El sulfato soluble es rápidamente aprovechable por las plantas, la cantidad presente en la superficie del suelo a menudo es pequeña, y generalmente prueba ser inadecuada para el crecimiento de las plantas. La mayor porción de azufre en la superficie del suelo ocurre en combinaciones orgánicas, mientras que las formas inorgánicas predominan en los horizontes inferiores (104).

Cressman y Davis (30) anotan que en los suelos de Michigan (USA) el S-total varió considerablemente y fue generalmente mayor en las primeras seis pulgadas de profundidad, además, la cantidad de S-sulfato varió de 22 a 25 lbs/acre. El contenido de sulfato en los suelos varía de acuerdo a la estación climática y al tipo de suelo. En suelo mineral, el contenido de sulfato de acuerdo a los estudios de Jensen (53) fué en general bajo aunque en algunos casos se encontró mayor cantidad en el subsuelo.

Hay una relación estrecha entre el C-orgánico, nitrógeno total y azufre total en los suelos no calcáreos aproximadamente de 140:10:1,4. De acuerdo con Whitehead (102) la relación C:N:S de los suelos de las regiones templadas varía mayormente entre 110:10:1,0 y 155:10:1,7.

Los análisis de muestras de suelos demostraron que en general, el contenido de sulfato no fue influenciado por la cantidad de fertilizantes usados. Aunque el contenido de materiales orgánicos aumenta el contenido de S-total, grandes cantidades de superfosfato no tuvieron apreciable influencia, y en general parece no ser posible, un aumento en el contenido de azufre en el suelo por medio de fertilizantes (103).

En tierras demasiadas húmedas, tanto los sulfatos como el azufre elemental se reducen a sulfuros. El sulfuro de hidrógeno, aún en pequeñas cantidades es tóxico para las plantas y responsable del mal olor que se desarrolla después del estancamiento del agua en tierra fértil o sobre desperdicios de plantas (87).

El sulfato soluble es rápidamente aprovechado por las plantas, la mayoría de los suelos contienen poca cantidad, y no es sorprendente

que se reporte alguna correlación entre el sulfato soluble en agua y el crecimiento de las plantas (35).

La meteorización es un fenómeno muy importante por el cual el azufre de los minerales sulfuros es transformado a iones sulfatos, forma aprovechable por las plantas. La velocidad con que pasan los sulfuros a formas oxidadas dependen de los factores de la meteorización como principalmente humedad y temperatura, por eso, éste proceso es rápido en el trópico(14).

El azufre orgánico, que principalmente forma parte de las sulfoproteínas constituye una fracción importante del azufre total en suelos húmicos. La descomposición aeróbica de cisteína o cistina pura en suelos, resulta en una completa transformación de azufre a sulfato, mientras que en condiciones anaeróbicas, el principal producto que se forma es sulfhídrico (32).

Con metionina Whitehead (102) indica que la descomposición aeróbica en los suelos produce mercaptano, pero después de 7 a 14 días, se detecta presencia de sulfitos y un aumento en sulfatos

2.2. Principales factores que influyen en la asequibilidad del azufre en los suelos.

Algunas evidencias indican que el azufre en forma de sulfuro, así como también ciertas formas orgánicas de azufre, pueden ser retenidas por los suelos. En presencia de material orgánico fácilmente descomponible, como paja de cereal y almidón, los organismos del suelo pueden competir con las plantas por las plantas superiores por la pequeña cantidad de sulfato aprovechable, en suelos deficientes en azufre(32).

Harward y Reisenauer (48) indican que las investigaciones asociadas con adsorción de sulfatos, puede resumirse como sigue: a) la mayoría de los suelos tienen alguna capacidad de retener sulfatos, y la cantidad de sulfatos en el horizonte superficial generalmente es menor que en el subsuelo; b) las arcillas caoliníticas retienen mas sulfato que el grupo de las montmorillonitas; c) los óxidos de aluminio y hierro muestran una marcada tendencia a retener sulfatos; d) hay una fuerte dependencia entre la retención de sulfatos y el equilibrio del pH; la retención aumenta cuando disminuye el pH; e) el sulfato adsorbido esta en equilibrio cinético con el sulfato en solución; f) hay marcada diferencia en la retención de diferentes aniones con la retención de sulfato. En suelos ácidos, la retención de sulfato, envuelve esencialmente la química del Fe y Al.

Según Chao, Harward y Fang (27), los suelos latosólicos pardos, lateritas rojizas y los suelos ando, exhiben la mas alta adsorción de sulfato que otros suelos. Estos suelos tienen mayor cantidad de sesquióxidos y de aluminio cambiabile.

Los posibles mecanismos de adsorción de sulfato por el suelo, pueden ser tentativamente los siguientes:

- a) intercambio aniónico debido a las cargas positivas desarrolladas por el hierro hidratado y/o óxidos de aluminio, o en los bordes de los cristales de arcillas, especialmente caolinita a pH bajo.
- b) retención de ión sulfato por complejo hidroxialumínicos por coordinación.
- c) adsorción de sales que resulta de la atracción entre la superficie del coloide del suelo y la sal.

d) propiedades anfotéricas de la materia orgánica del suelo, que desarrolla cargas positivas bajo ciertas condiciones específicas (53, 84).

Los suelos que muestran una relativa capacidad de retener gran cantidad de sulfato, son relativamente bien desarrollados, altos en óxidos de hierro y aluminio, aluminio intercambiable y en algunos casos, en material amorfo como la alofana (32)

Llanos (62) encontró una correlación de 0,9351 entre adsorción de sulfato y la fracción limo + arcilla de los suelos. A mayor contenido de material fino, mayor superficie de adsorción en las partículas del suelo. También encontró que a mayor acidez del suelo hay mayor retención de sulfatos. Esto se puede explicar porque la acidez aumenta las cargas positivas del coloide del suelo y también neutraliza los grupos OH^- , disminuyendo su concentración y eliminando así un anión competidor del $\text{SO}_4^{=}$ en la coordinación con los sesquióxidos.

El efecto del azufre en la planta está directamente relacionado con la presencia y concentración de otros elementos nutritivos en el suelo. Por lo tanto hay posibilidades de sinergismo y antagonismo (79).

2.3. Transformaciones microbiales del azufre del suelo.

Los microorganismos son capaces de metabolizar el azufre elemental y sus distintos compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. Según Alexander (4) los distintos procesos bioquímicos pueden agruparse en: a) mineralización de compuestos azufrados; b) inmovilización de los compuestos simples; c) oxidación de compuestos inorgánicos; y d) reducción de sulfatos a sulfuro. Todas éstas reacciones configu-

ran el denominado ciclo del azufre, cuya interpretación de acuerdo a Chaudry (26), se presenta en la Figura 1 del apéndice.

En el suelo existen muchos compuestos orgánicos azufrados que según Freney (40) pueden agruparse en : aminoácidos, compuestos sulfonados, ésteres, vitaminas, antibióticos, sulfuros, sulfóxidos, isocianatos y compuestos misceláneos. Muy pocos han podido ser aislados en estado libre en el suelo, por lo que en las determinaciones químicas se ha adoptado en dividirlos en: a) compuestos que tratados con reductante liberan sulfhídrico, y comprende todos los S-esteres, y b) aquellos que no liberan sulfhídrico que son los mas importantes por comprender los aminoácidos (63,80).

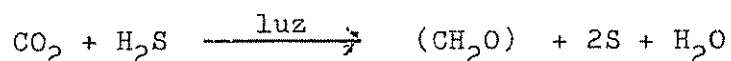
En la mineralización o inmovilización del azufre intervienen la mayoría de los microorganismos del suelo. Por el contrario, en los procesos de oxidación-reducción actúa una microflora especializada (14). El género más importante de las reacciones de oxidación es Thiobacillus, algunas de cuyas especies (T. thioparus, T. novellus, T. denitrificans, etc) son estrictamente quimioautotróficas obligatorias. El género Desulfovibrio, es el principal entre las reductoras y a él pertenecen las especies D. desulfuricans, D. vulgaris, D. salexigens (87, 99, 106).

La mayor parte del S-SO₄ mineralizado a partir de compuestos orgánicos proviene de los aminoácidos, cistina, cisteína y metionina. En el metabolismo de los dos primeros nombrados se presenta una reacción reversible cistina $\left\langle \text{----} \right\rangle$ cisteína, para proseguir a la formación del ácido cisteinsulfónico, considerado como el compuesto intermedio de la reacción, que puede pasar a ácido cisteico, o beta-sulfinilpirúvico, que en condiciones aeróbicas originan los sulfatos (107, 41, 40, 90).

En su degradación a compuestos simples la pectonina puede seguir dos caminos. Uno de ellos va a originar mercaptano de metilo, disulfuro dimetilo y ácido alfa-cetobutírico, mientras que en un segundo proceso puede formar homocisteína, cistationa y cisteína, para de aquí seguir a sulfatos por el camino previamente indicado (39,41).

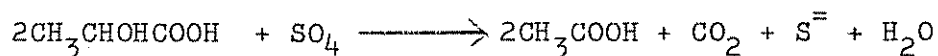
Si en el suelo predominan condiciones anaeróbicas, el producto final de las transformaciones de los aminoácidos azufrados es H_2S (59). Este proceso puede ocurrir por desulfidratación directa o mediante la formación de serina, catalizada por una sulfhidrasa. Según Meister et al (66) la transaminación de la cisteína con el ácido alfa-cetobutírico también produce H_2S .

Con respecto a las reacciones de oxidación del azufre inorgánico, el paso de los sulfuros (compuestos nativos del azufre) a S-elemental es realizado por las bacterias fotosintéticas Chlorobium y Chromatium (4,50), según la reacción:



Vishniac y colaboradores (97) señalan que las oxidaciones a $SO_4^{=}$ fundamentalmente proceden a través de la formación de tiosulfato ($S_2O_3^{=}$), que requiere la presencia de sulfinil tiosulfato ($R-S-S-SO_3^{-}$) como aceptor de electrones, siendo catalizada la reacción por la enzima tiosulfato reductasa.

Cuando las condiciones del suelo se vuelven anaeróbicas, se produce sulfhídrico, debido según a Peck (78) a que los sulfatos actúan como aceptadores de electrones para las bacterias reductoras:



Los donadores de hidrógeno en éstas reacciones de reducción son compuestos orgánicos (piruvatos, malatos, etc) procedentes de la descomposición anaeróbica de los carbohidratos del suelo (87).

El azufre se inmoviliza como consecuencia de requerirse en la composición celular. Según Alexander (4) el azufre representa entre 0,1 y 1,0% del peso seco celular.

Varios autores (14,20,69,107) señalan que la inmovilización del azufre en los suelos tiene lugar cuando la relación C:S es mayor de 50:1. Sin embargo, trabajos posteriores de Barrow (9) y Chaudry (26), elevan esa relación a 250:1.

2.4. Actividad metabólica del suelo.

La actividad metabólica del suelo se expresa en términos de consumo de O_2 o de producción de CO_2 (22). Distintos autores (13,26,33,100), sostienen que la medida del O_2 o del CO_2 , constituye un método adecuado para cuantificar el potencial bioquímico de los suelos.

El metabolismo de los suelos está influenciado por los distintos factores que determinan la actividad microbiana. Así se ha encontrado que esta actividad disminuye con la acidez, baja disponibilidad de nutrientes, inhibición enzimática, complejamiento de los materiales orgánicos, toxicidades, etc. (2,3,54,96,102). En suelos derivados de cenizas volcánicas Beaton y Broadbent et al (13,23) consideran que la producción de CO_2 es mejor en los suelos donde los materiales orgánicos sean frescos sin tiempo suficiente para estabilizarse con la alofana.

Cuando se realiza estudios en suelos incubados la producción de CO_2 es mayor en los primeros períodos, debido a que el humedecimiento

de las muestras secas produce un flujo inicial alto, de los compuestos orgánicos, además de que los microorganismos aprovechan los compuestos más solubles y por tanto más fáciles de degradar (23). El CO_2 es producido tanto por la actividad autotrófica como por la heterotrófica, siendo utilizado por los autotrofos como fuente de carbón (6,101).

2.5. Factores que influyen en las transformaciones microbiales del azufre del suelo.

2.5.1. Temperatura.

Williams (103) indica que con temperaturas inferiores a 10°C no hay formación de sulfatos a partir de compuestos orgánicos. Chaudry (26) señala que la mineralización del azufre aumenta con la temperatura hasta la 40°C .

Burns (24) anota que la temperatura óptima para la oxidación del azufre, no es la misma para todos los organismos, y en general la mejor desarrollo de éstos fluctúa entre 27°C y 40°C .

2.5.2. Humedad y aireación.

La acumulación de sulfhídrico señala la preponderancia de las condiciones anaeróbicas. A medida que aumenta la humedad en los suelos, el sulfhídrico se hace cada vez mayor para desplazar totalmente a los sulfatos en condiciones de anegamiento (99).

Attoe y Olson (7) encontraron que el porcentaje de azufre oxidado, en cuatro suelos, bajo favorables condiciones de tensión de humedad, estaba en proporción directa con el contenido de arcilla, siendo oxidado 66% en un suelo arcillo-limoso y 20% en un suelo arenoso-franco.

2.5.3. Reacción del suelo.

Aunque no existe mucha evidencia al respecto, la mineralización del azufre tiende a aumentar con el pH, posiblemente a causa de la mayor facilidad de hidrólisis de la materia orgánica en condiciones básicas, o al $\text{SO}_4^{=}$ liberado de los sitios de intercambio aniónico (77, 104).

La cal sirve para neutralizar la acidez producida por la oxidación del azufre, incrementa la acción del ión calcio, libera CO_2 y disminuye el ión hidrógeno y el sulfato, por precipitación de sulfato de calcio y formación de agua (24).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción general del area.

3.1.1. Localización.

Los suelos en estudio estan ubicados en los cacaotales sembrados en las series La Margot, Instituto y Reventazón, pertenecientes al Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del I.I.C.A. en Turrialba, Costa Rica.

3.1.2. Características ecológicas.

Según el mapa ecologico de Costa Rica preparado por Holdridge (49), la zona donde se llevo a cabo el estudio, corresponde al Bosque Sub-Tropical muy humedo. Con una altura sobre el nivel del mar de 630 metros, la temperatura media, máxima y mínima mensuales son 22,27 ; 27,14 y 16,99 grados centigrados respectivamente, como promedio de los últimos 13 años. La precipitación media anual es de 2682,5 mm como promedio de 27 años. La humedad relativa es de 87,7%.

3.1.3. Características edafológicas.

a) Serie La Margot, fase normal. (2)

Los suelos de ésta serie se encuentran ubicados en terrenos de topografía plana a casi plana, con pendientes que varían de 1 a 4%. En algunos sitios se encuentran pequeños montículos, con abundante material grueso y piedras que hacen al suelo más delgado, o depresiones con síntomas de drenaje imperfecto, que se evidencia por moteados y nivel freático al metro de profundidad.

b) Serie Instituto, fase normal. (2)

La topografía de ésta serie, fase normal, es de plana a casi plana, con pendientes que van de 0 a 3%; poseen un microrelieve constituido por pequeñas elevaciones o depresiones que en la mayoría de los casos dan origen a pequeños arroyos. El drenaje va de pobre a imperfecto, la tabla de agua siempre está presente a una profundidad que varía de 0,40 a 1,30 metro.

c) Serie Reventazón. (2)

Los suelos de ésta serie se hallan situados en terrenos de topografía plana con pequeñas ondulaciones o depresiones. Poseen un drenaje deficiente, que se manifiesta por presencia de un nivel freático alto y fluctuante, a una profundidad de 70 a 90 cms.

Los suelos de las tres series estudiados fueron clasificados por Aguirre (2) como Inceptisol, Tropepts y Typic Dystropepts.

3.2. Muestreo y preparación del material.

Se tomaron muestras de suelos en las series antes mencionadas, a una profundidad de 15 cms. con una pala, apartando previamente los residuos vegetales que se encontraban en la superficie. Se tomó una muestra entre árbol y árbol de cacao y en el centro del área comprendida entre cuatro árboles, formando una gran muestra, que fueron homogenizadas y colocadas en bolsas de polietileno, secadas al aire bajo sombra, molidas y pasadas por tamiz de 2 mm.

Las hojas de cacao que cayeron al suelo, se recogieron aproximadamente durante 6 meses (171 días) en cada zona de estudio, para pesarlas y medir el azufre adicionado por ellas. Para esto se dispusieron tres talegos de 1,50 m² aproximadamente, en lugares diferentes; uno en-

tre un árbol de sombra (*Erythrina poeppigiana*) y uno de cacao, otro entre dos árboles de cacao y el último debajo de un árbol de cacao.

Periodicamente se recogieron las hojas que caían en los talegos, se guardaban en bolsas de papel y se colocaban en una estufa de aire forzado durante 48 horas a 75°C. Después de determinado el peso seco de las muestras, se molieron en un molino Wiley con tamiz No. 40. El material seco y molido se guardó en frascos hermeticamente cerrados, para al final formar una muestra compuesta y analizar el contenido de azufre. Los híbridos de cacao sembrados en cada serie son: UF663 x UF613 y clones UF63 en la serie Reventazón; Clones IAL-42 e IAL-44 en la serie La Margot; y los híbridos UF296 x CC9 y UF677 x CC9 en la serie Instituto.

La distancia entre los árboles de cacao en la serie Reventazón y La Margot es de 2,5 metro en cuadro y en la serie Instituto la distancia entre árboles es de 3,0 metro en cuadro. La distancia entre árboles de sombra es de 9 metros en cuadro. La edad promedio de los árboles de cacao sembrados en las tres series es de 10 años.

3.3. Diseño experimental y tratamientos.

El diseño fue central compuesto semirotatable (repetición de un factorial 2^5 + diseño axial + 10 puntos centrales); N=52 combinaciones de tratamientos; debido a que se repitió $\frac{1}{2}$ de un factorial 2^5 . El diseño central compuesto rotatable para cinco variables (N-P-K-Mg-S) se tomó de Cochran y Cox (29).

Las combinaciones de tratamientos, aparecen en el Cuadro 1 del apéndice. De acuerdo con Bazan ("), los niveles de fertilizantes aplica-

(") Dr. Bazan R. Información personal

dos a los tres suelos estudiados ,son los siguientes :

	Kg/ha				
N	0	50	100	150	200
P ₂ O ₅	0	50	100	150	200
K ₂ O	0	25	50	75	100
Mg	0	25	50	75	100
S	0	25	50	75	100

Los fertilizantes se aplicaron en solución a los suelos, en tubos de ensayo, calculado de tal manera que su aplicación no sobrepasara la capacidad de campo de los suelos estudiados. Para ello se determino la capacidad de campo y el contenido de humedad del suelo seco al aire, antes de adicionar la solución de cada fertilizante. Todas las sales se aplicaron en ppm del elemento, después se incubaron los suelos a 30°C durante 1,5 y 10 semanas.

Aparte se hizo otro ensayo para estudiar la actividad microbial de los tres suelos, durante 10 semanas, midiendo la producción de CO₂ en siete oportunidades en la serie Instituto y seis en las series Reventazón y La Margot, durante el lapso de tiempo antes mencionado. Este ensayo comprendia 52 tratamientos.

Además se midieron la producción de CO₂ durante 10 semanas de incubación ,manteniendo los tres suelos a capacidad de campo, y la cantidad de sulfato producido durante 5 y 10 semanas de incubación, con la adición de 0,1 - 0,3 - 0,7 - y 1,0% de residuo vegetal provenientes de las hojas de cacao, para estudiar el efecto de éstos tratamientos en la actividad microbial de los suelos y en la mineralización del

azufre.

3.4. Analisis de laboratorio.

3.4.1. Sulfatos de los extractos de los suelos

Se siguió el metodo propuesto por Chaudry (26).

3.4.2. Azufre total en suelos.

Para determinar el azufre total en suelos, se siguió el método descrito por Chaudry (26).

3.4.3. Azufre total en plantas.

Para determinar el azufre total en plantas se siguió el método descrito por Chaudry (26).

3.4.4. Azufre organico.

Se siguió el método descrito por Beaton y Burns (13).

3.4.5. Reacción del suelo (pH)

Para esta determinación se siguió la técnica propuesta por Peech (78); se determinó el pH en agua (relación suelo/agua 1:1)

3.4.6. Materia orgánica.

La materia orgánica se determinó de acuerdo a la técnica expuesta por Saiz del Rio y Bornemiza (83), basada en el método de Walkley y Black.

3.4.7. Nitrógeno total.

La determinación de nitrógeno total se hizo por el metodo semimicro Kjeldahl propuesto por Bremner (21), modificado por Diaz-Romeu y Balerdi (34).

3.4.8. Determinación de CO₂

Se siguió el método propuesto por Cornfield (33), basado en la

reacción del CO_2 con el bario para formar BaCO_3 .

3.4.9. Adsorción de sulfato por los suelos.

Se siguió la técnica descrita por Llanos (62).

3.5. Análisis físicos.

3.5.1. Humedad e las muestras secadas al aire.

El porcentaje de humedad se detrmínó por gravimetría, a partir de 40 gr. de suelo secado al aire, sometidas a secado al horno, durante 24 horas a 105°C (45).

3.5.2. Distribución de tamaño de partículas.

Se determinó siguiendo el método propuesto originalmente por Boyoucos (20).

3.5.3. Retención de humedad a 0,33 bars.

Se siguió el método de Richards (81), modificado por Forsythe (37).

3.6. Análisis estadístico.

Los datos obtenidos se procesaron en una computadora IBM-1130. El analisis estadístico utilizado para interpretar los resultados experimentales de investigación consistió de análisis de regresión múltiple. Se detrmínó la tasa de incremento de CO_2 y SO_4 "Y", por unidad del factor "X", en este caso los elementos nutritivos.

El modelo matemático que se utilizó es el siguiente :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{44}X_4^2 + b_{55}X_5^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{15}X_1X_5 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{25}X_2X_5 + b_{34}X_3X_4 + b_{35}X_3X_5 + b_{45}X_4X_5$$

Para los ensayos con material vegetal en la producción de CO_2 y SO_4 se hizo un factorial de la forma $5 \times 3 \times 6 \times 2$, para el CO_2 . Donde : 5 representa tratamientos, 3 suelos, 6 fechas de lecturas de CO_2 , y 2 repeticiones de tratamientos. Para SO_4 se hizo otro factorial de la forma $5 \times 2 \times 3 \times 2 \times 2$. Donde : 5 representa tratamientos, 2 métodos de extracción de SO_4 , 3 suelos, 2 repeticiones, y 2 fechas.

4. RESULTADOS

4.1. Producción de CO_2 durante la incubación de los suelos

Los valores de CO_2 determinados en los distintos períodos de incubación aparecen en el Cuadro 2 del apéndice. Los resultados dan en promedio 81,9; 97,3 y 11,8 mg CO_2 /10 gr. de suelo respectivamente para los suelos localizados en las series Reventazón, La Margot e Instituto. Si bien, los valores absolutos de CO_2 son más altos en la serie Instituto, al relacionarlos con los porcentajes de materia orgánica (Cuadro 3 del apéndice), la mejor mineralización del carbono corresponde a la serie Reventazón (25,8%), seguida de las series Instituto (22,1%) y Reventazón (10,7%).

Los residuos vegetales de los árboles de cacao de las series de los suelos Reventazón e Instituto adicionan al suelo son similares, 8,8 y 8,6 ton/ha/año (Cuadro 4 del apéndice). La mejor tasa de mineralización encontrada en la serie Instituto explicaría porque la acumulación de materia orgánica es mayor en la serie Reventazón (13,07%). El cacao tal de la serie La Margot, adiciona 5,2 ton/ha/año de residuos vegetales. La menor concentración de carbohidratos en el suelo puede ser una de las causas de la más rápida mineralización del carbono en esta serie.

4.2. Efectos de los distintos elementos aplicados, en la producción de CO_2 .

El efecto de cada uno de los elementos sobre la tasa de incremento de CO_2 aparecen en las Figuras 1 a 5. La explicación del comportamiento de las distintas curvas de CO_2 se intenta a través del diagrama que se sugiere en la Figura 6.

El máximo de actividad heterótrofica y autotrófica en un habitat dado esta condicionada a que exista un balance nutricional que permita a los microorganismos obtener todos los elementos requeridos para la síntesis protoplasmática (crecimiento celular), además de proveer la energía necesaria para las reacciones bioquímicas (metabolismo). Así, la necesidad de un elemento inorgánico en el balance nutricional del ecosistema se medirá por el impacto que cause en la producción.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se puede decir que aquellos elementos que producen un incremento negativo de CO_2 no son necesarios o que estan en suficiente cantidad, mientras que los elementos o sus combinaciones (tratamientos) que ocasionan un incremento positivo son requeridos, hasta alcanzar el punto máximo de evolución de CO_2 , para mejorar las reacciones bioquímicas del suelo. A la vista de las Figuras 1 a 5 se podría interpretar que el orden de prioridades de los cinco elementos que se usaron en las tres series estudiadas, tendrían la secuencia :

Instituto	K > Mg > P > S > N
La Margot	N > K > S > Mg > P
Reventazón	S > N > P > K > Mg

requiriéndose K y Mg en la serie Instituto; N, K, S y Mg en la serie La Margot, y S en la serie Reventazón.

Algunas curvas de las Figuras 1 a 5 evidencian un aumento de concentración de CO_2 después del punto estacionario, precisamente con aquellos elementos que se han considerado, desde el punto de vista bioquímico.

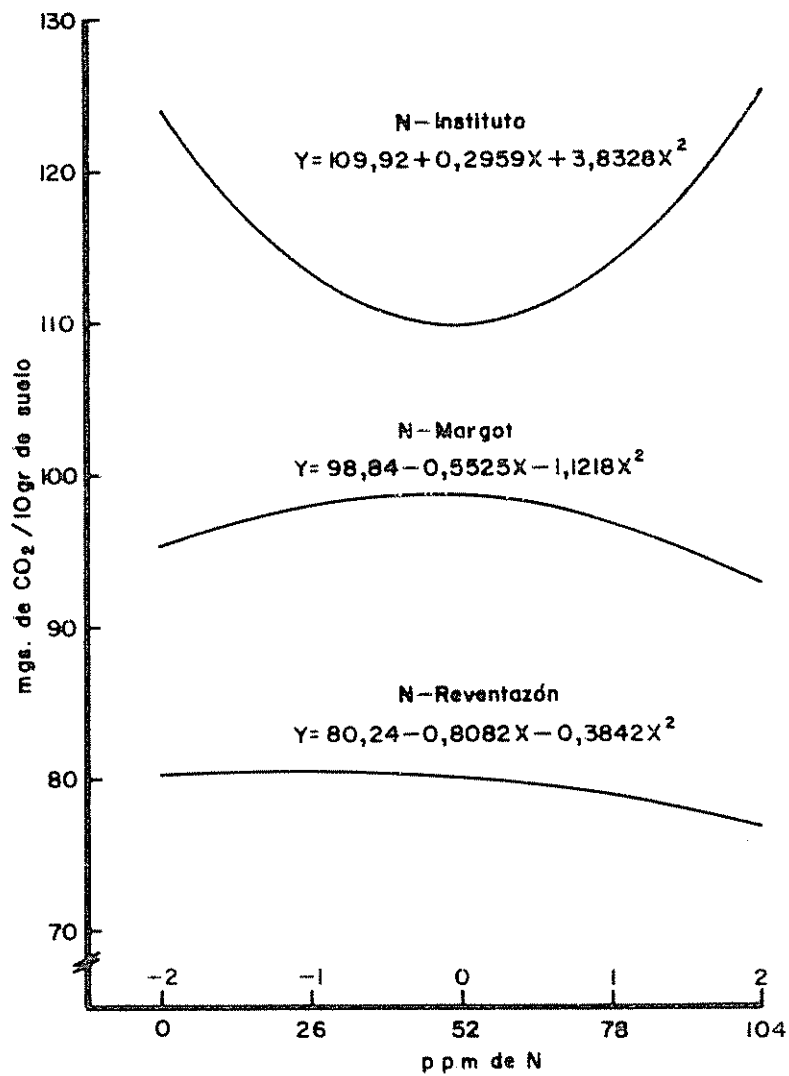


Fig. 1— Efecto del N en la producción de CO₂ en los suelos estudiados.

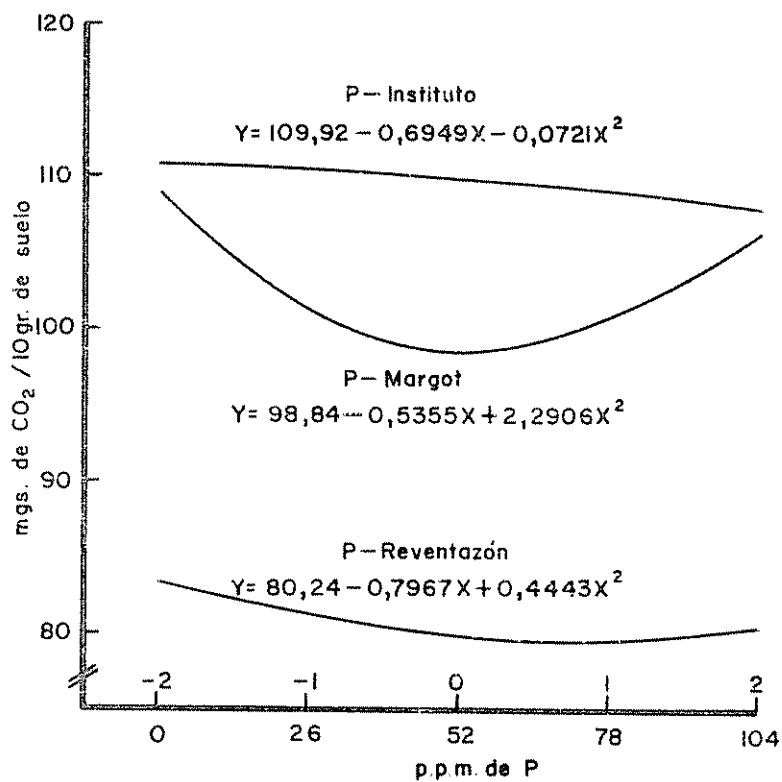


Fig 2 -- Efecto del P en la producción de CO₂ en los suelos estudiados.

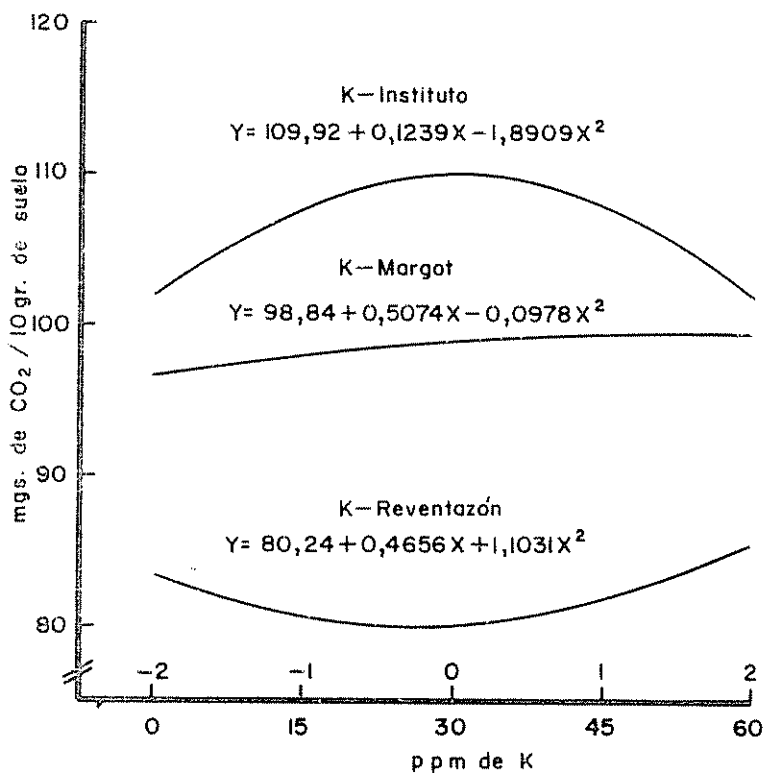


Fig 3 -- Efecto del K en la producción de CO₂ en los suelos estudiados.

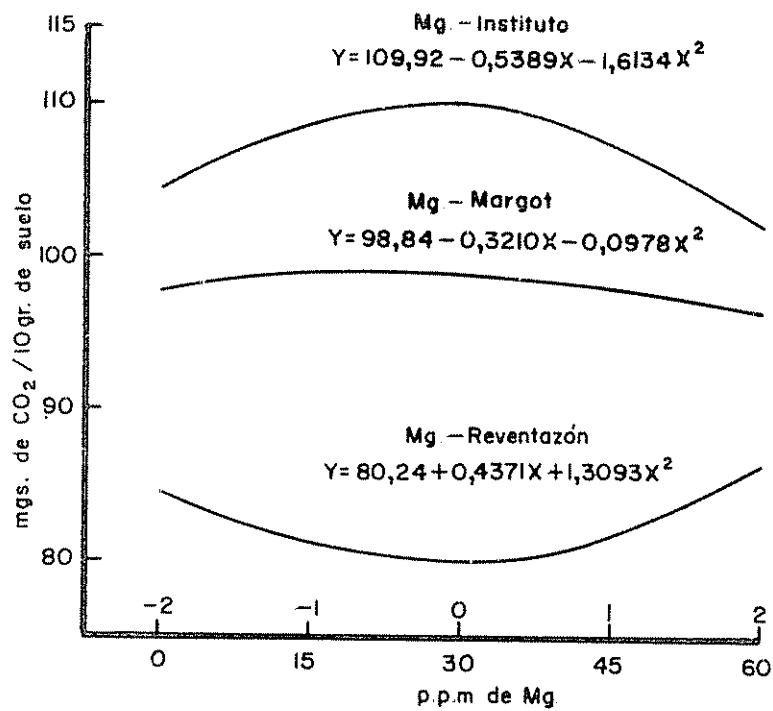


Fig 4- Efecto del Mg en la producción de CO₂ en los suelos estudiados.

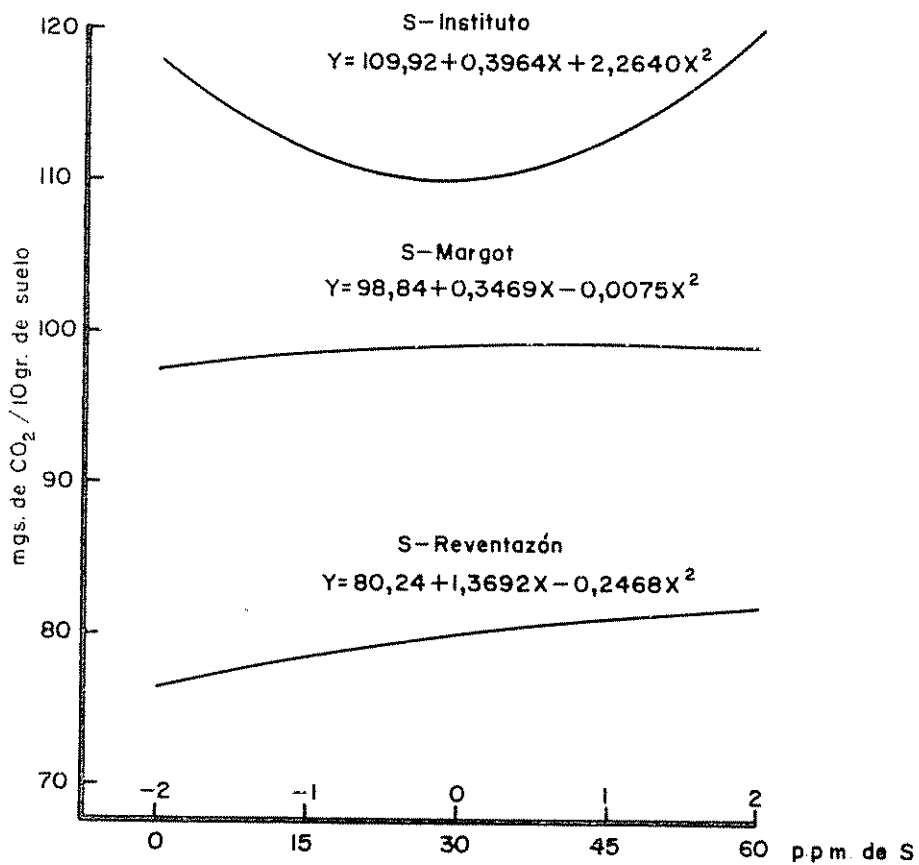


Fig 5- Efecto del S en la producción de CO₂ en los suelos estudiados.

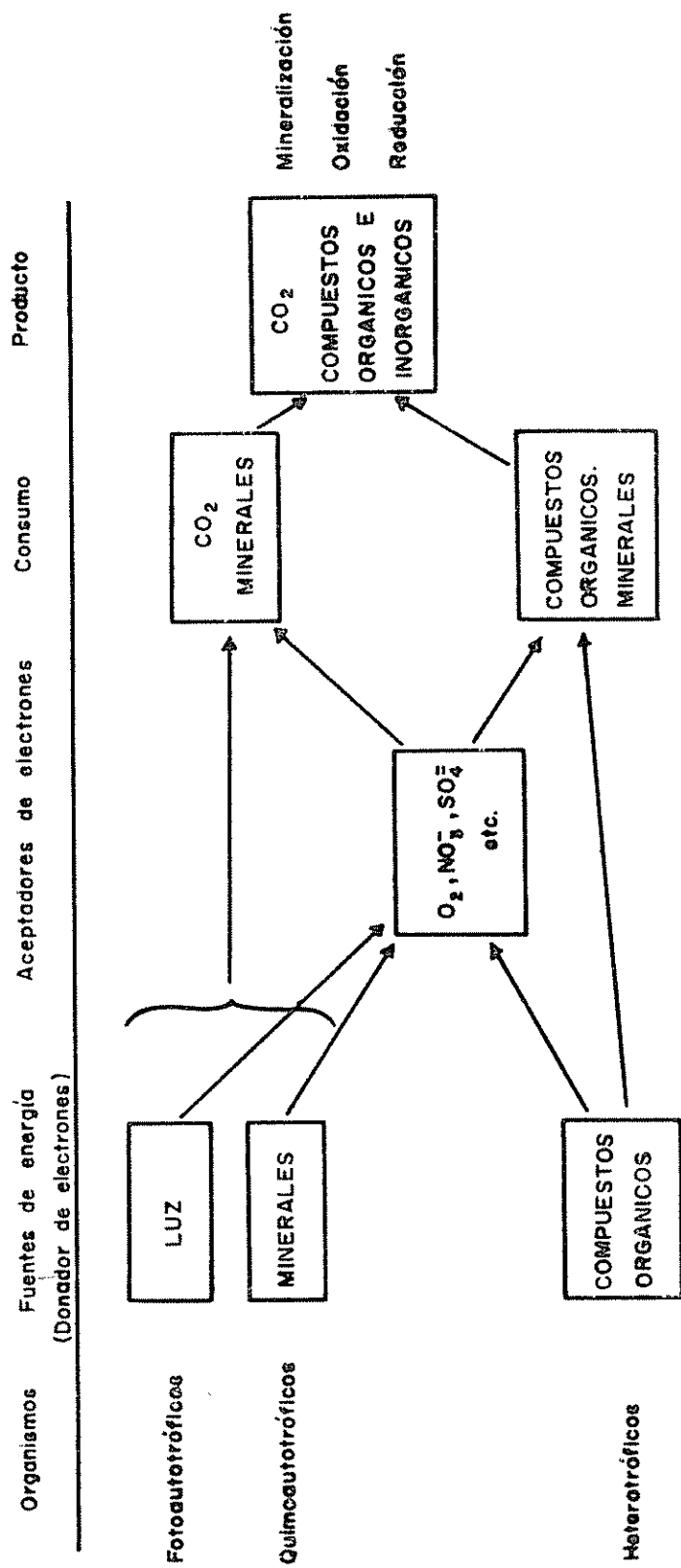


Fig. 6 — Diagrama propuesto para explicar el comportamiento de la producción de CO₂

co, como imprescindibles en su aplicación. Este aparente contrasentido, puede explicarse teniendo en cuenta que en toda reacción bioquímica se requieren elementos o compuestos aceptadores de electrones. Es decir, la actividad microbial, posiblemente heterotrófica, se desarrolla no como respuesta al elemento, sino por la acción de los radicales NO_3^- , SO_4^- ; PO_4^- , Mg^- (MgO) recibiendo H^+ . Mientras exista posibilidad de aceptación de electrones, los microorganismos pueden seguir descomponiendo materiales orgánicos, y por tanto, producir CO_2 .

Un poco más difícil es explicar la acción del KCl en la serie Reventazón. Sin embargo los cloratos (ClO_3^-) químicamente actúan como agentes oxidadores hasta que pierden $1/2 \text{O}_2$ quedando convertidos en cloritos (ClO_2^-). Esta reacción se produce principalmente en condiciones anaeróbicas, donde cualquier fuente oxigenada es aprovechada con el máximo de eficiencia debido a la escasez de O_2 .

En conjunto se vió que la adición de sales causó poca activación de los suelos bajo cultivo de cacao. Esto lleva la interpretación de que existe cierto equilibrio bioquímico, o en otras palabras, que la rata de descomposición de los residuos vegetales en el ecosistema tiende a ser suficiente para la nutrición de sus componentes heterotróficos y autotrófico.

4.3. Efectos del tiempo de incubación en la producción de CO_2 .

Los resultados que muestra el análisis de variancia (Cuadro 9) y los valores de CO_2 que aparecen en el Cuadro 2 del apéndice, permiten señalar que los períodos sucesivos de incubación afectan ostensiblemente la producción de CO_2 , que es mucho más vigorosa en los primeros días

de incubación para decaer paulatinamente.

La tendencia de producción observada tiene una explicación, el que en los primeros momentos de la incubación la población microbial dispone tanto de los compuestos orgánicos fácilmente solubles como de los resistentes. Al agotarse los primeros, la dificultad de biodegradabilidad de los compuestos orgánicos químicamente más condensados, hace que la actividad disminuya.

4.4. Producción de $S-SO_4^{=}$ durante la incubación de los suelos.

Los resultados de las distintas determinaciones químicas del azufre ($S-SO_4^{=}$) se presenta en el Cuadro 6 del apéndice. Los datos demuestran que las mayores concentraciones de $S-SO_4^{=}$ se obtuvieron en la primera semana, para disminuir con el tiempo de incubación. Caben dos explicaciones. Una de ellas es interpretar la disminución de $S-SO_4^{=}$ como reacción de inmovilización. En este caso los microorganismos consumen en su metabolismo fisiológico, el $S-SO_4^{=}$ producido en los primeros días de incubación. La segunda posición es que el $S-SO_4^{=}$ producido por los microorganismos es retenido por los coloides y óxidos de suelo (Ver Cuadro 5 y 10).

Para comprobar el grado de retención de $S-SO_4^{=}$ por éstos suelos se realizó un experimento, cuyos resultados se muestran en la Figura 7. En general los suelos retuvieron entre 74 y 65% del azufre adicionado, lo demuestra que aunque los microorganismos mineralizan azufre, éste no permanece en estado asequible sino que reacciona en el suelo para formar compuestos azufrados más estables.

En las medidas de mineralización del azufre se emplearon dos ti-

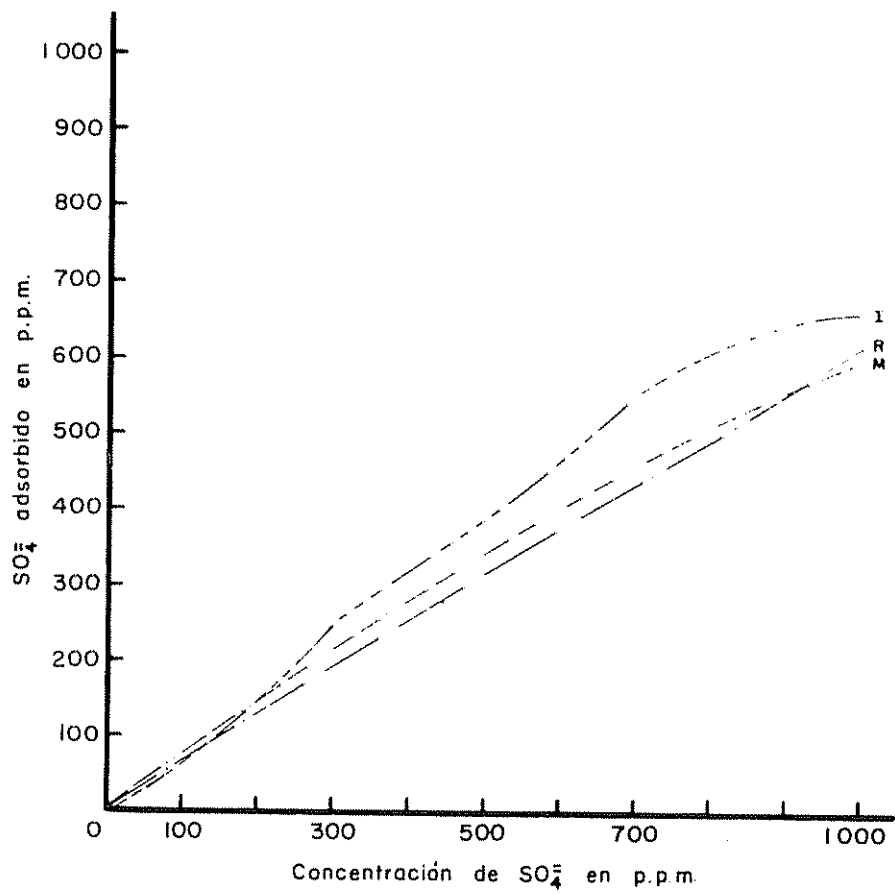


Fig 7- Retención de SO_4 por los suelos estudiados

pos de extractantes : agua y fosfato monocálcico (500 ppm de P). Los resultados demuestran (Cuadro 6 del apéndice) que los fosfatos desplazan mayores cantidades de azufre que el agua a la quinta semana de incubación, lo cual sugiere la interpretación, de que en los suelos utilizados, el radical $PO_4^{=}$ es mejor intercambiador del radical $SO_4^{=}$, que el agua (H^+ , OH^-).

4.5. Efectos de los distintos elementos en la producción de $S-SO_4^{=}$.

En las curvas de las Figuras 8 a 12 las tasas crecientes de producción de $S-SO_4^{=}$ deben interpretarse como indicativo de la reacción de mineralización, mientras que las tasas decrecientes, pueden considerarse como consecuencia de uno o más fenómenos siguientes: a) inmovilización; b) retención del $S-SO_4^{=}$ mineralizado; c) cambio de $S-SO_4^{=}$ a $S-S^{=}$ que significaría la presencia de condiciones reductoras. La mineralización neta es la concentración detectada en cada caso menos la suma del $S-SO_4^{=}$ adicionado al suelo y las cantidades de las muestras testigo.

En cualquiera de los suelos cacaoteros de las tres series, la adición de azufre produjo la mejor mineralización. No es sorprendente por cuanto buena parte de los microorganismos que interfieren en las reacciones oxidativas del azufre, son autotrófos obligatorios o facultativos. Por eso la mayor abundancia del elemento-fuente de energía produce una mayor eficiencia en la mineralización.

La importancia del nitrógeno en la mineralización del azufre parece depender de la concentración inicial en el suelo. Los resultados demuestran que la dosis óptima de nitrógeno aplicado se desplaza de

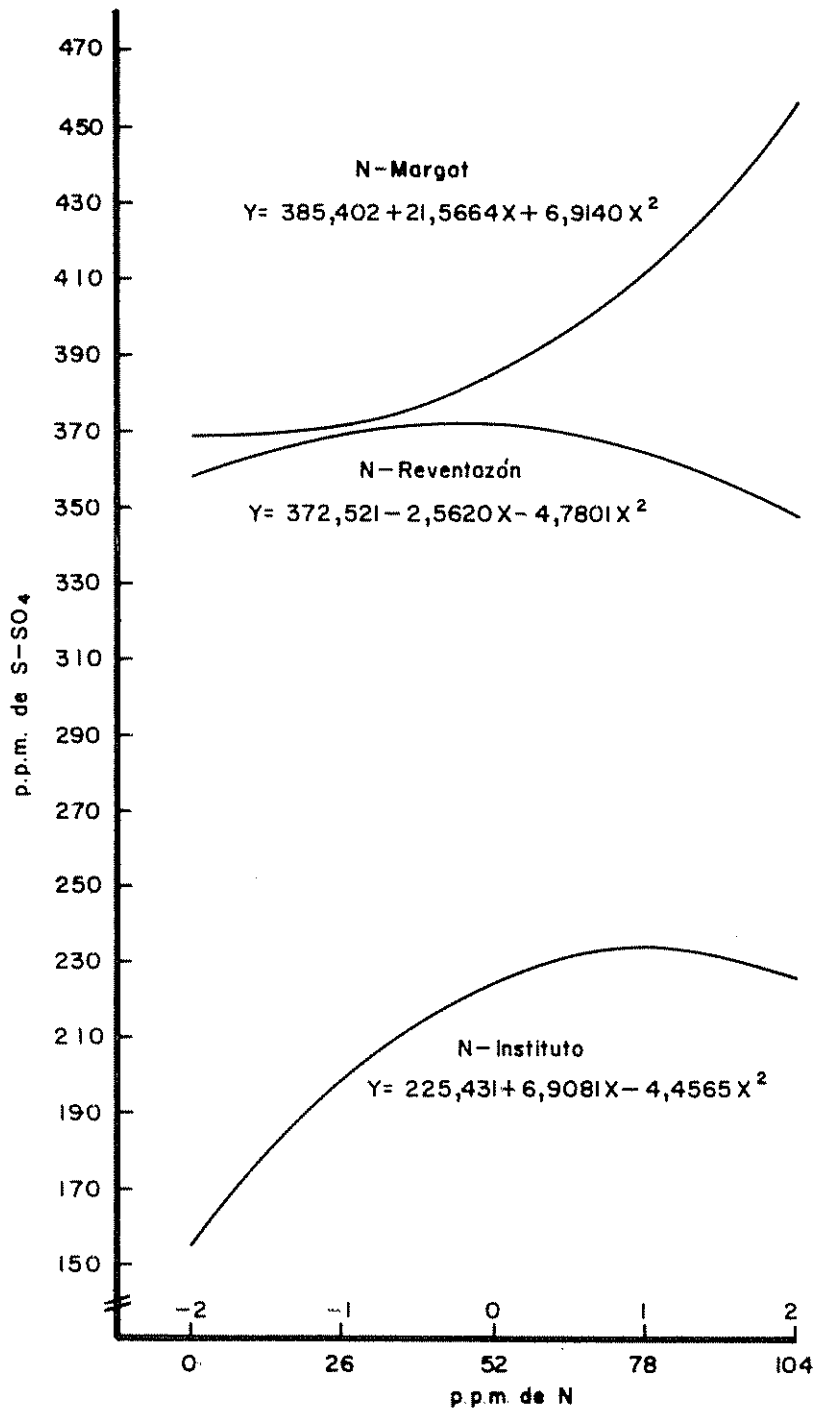


Fig. 8— Efecto del N en la producción de SO₄ en los suelos estudiados.

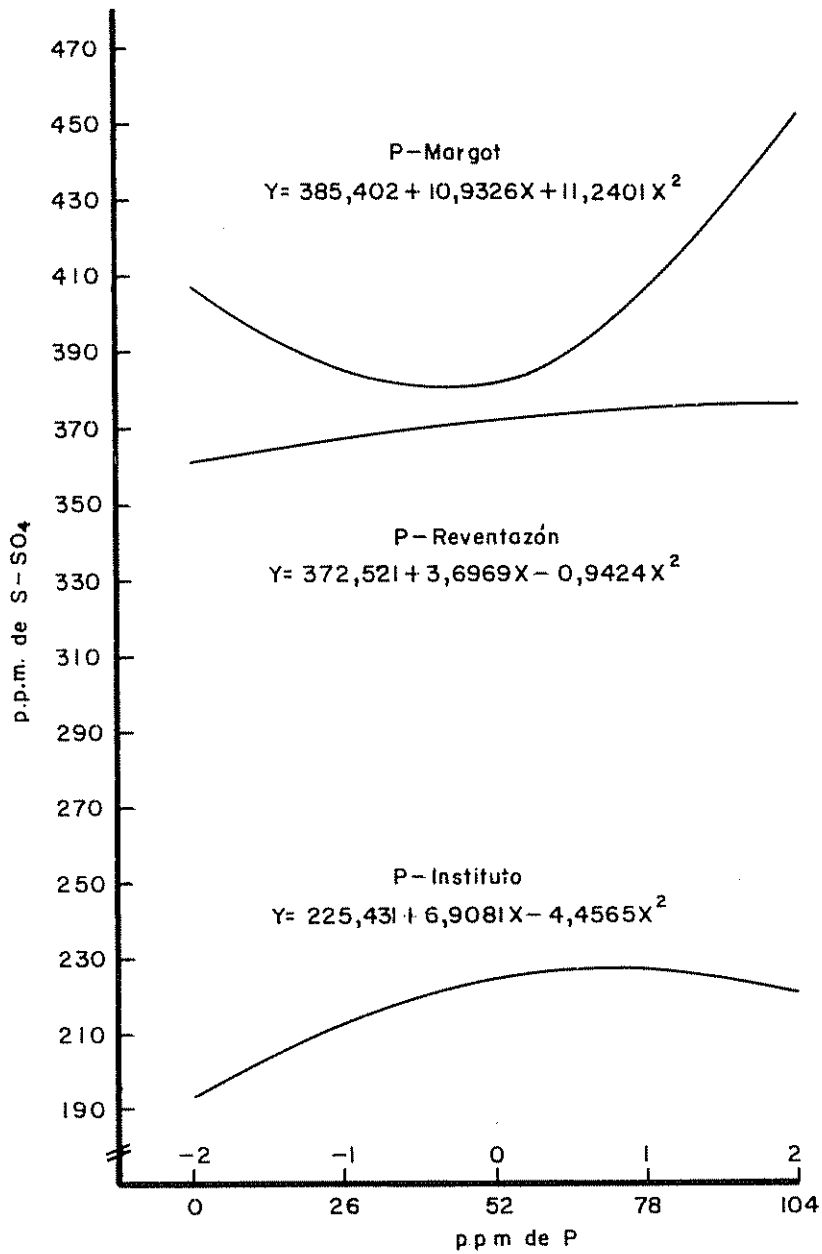


Fig 9 - Efecto del P en la producción de SO_4 en los suelos estudiados.

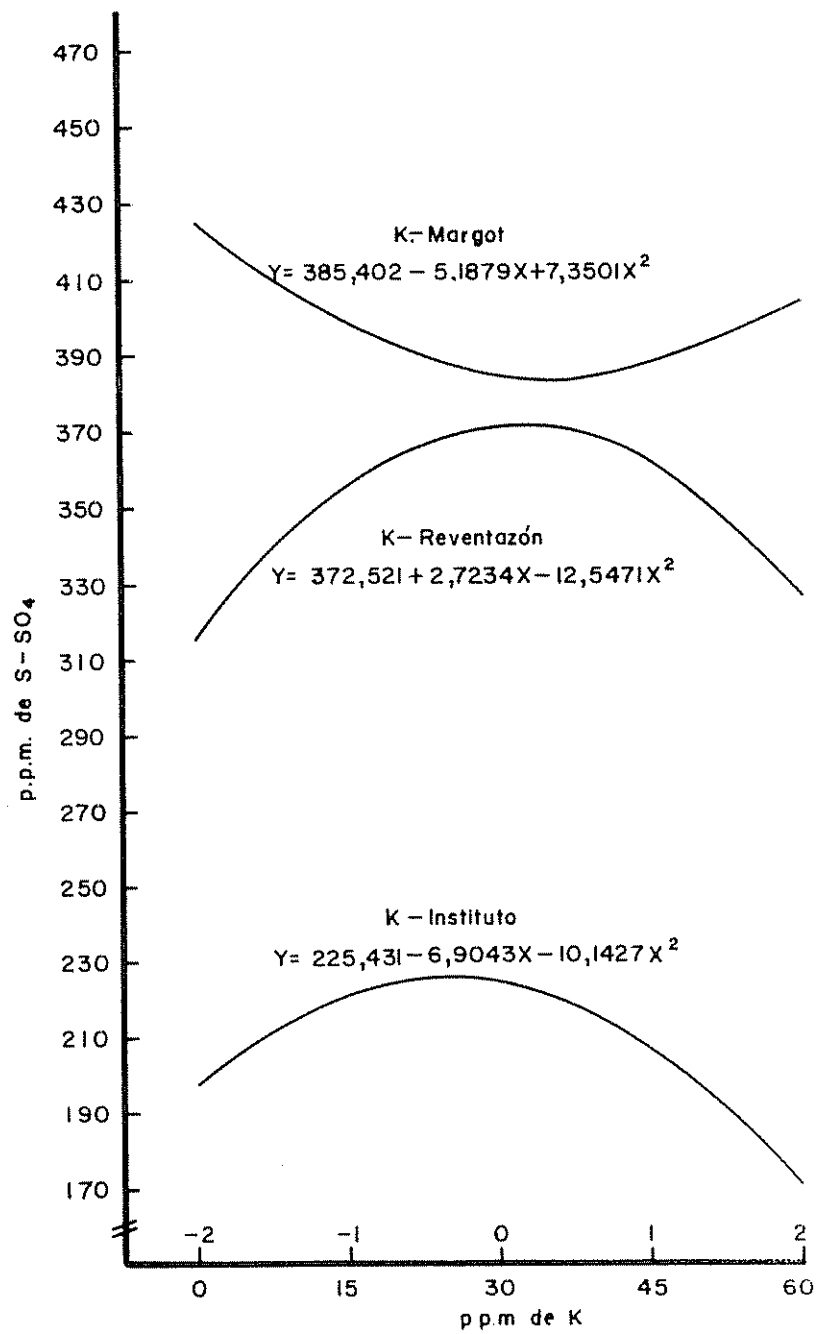


Fig 10- Efecto del K en la producción de SO₄ en los suelos estudiados.

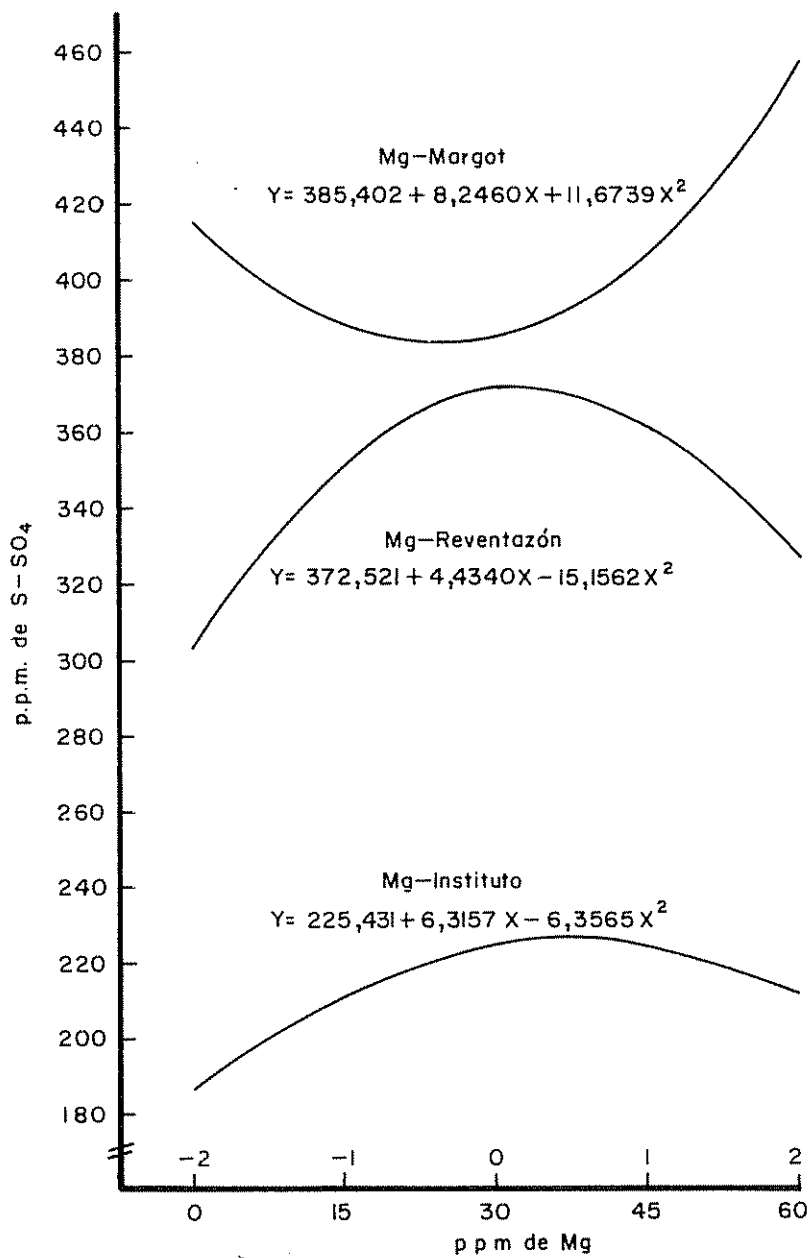


Fig II - Efecto del Mg en la producción de SO₄ en los suelos estudiados.

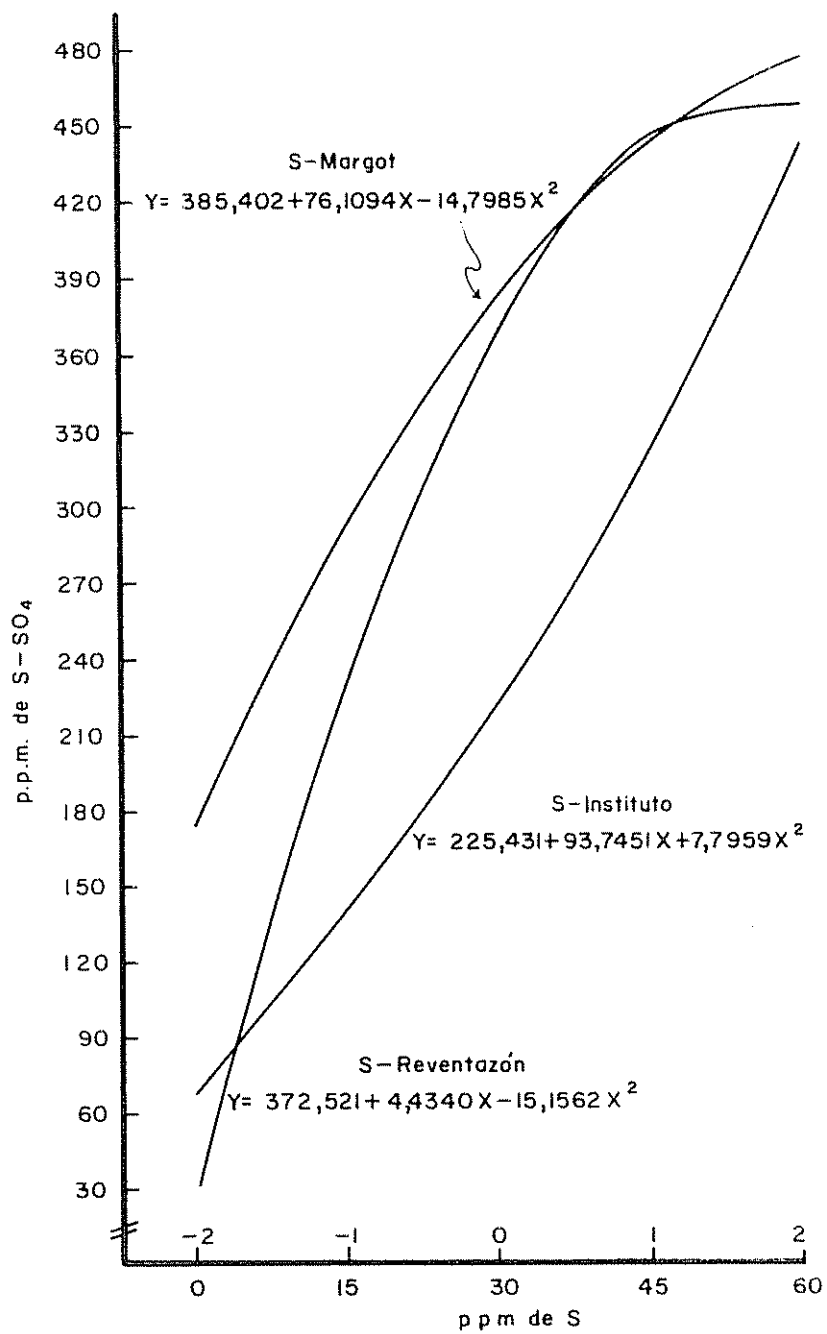


Fig. 12— Efecto del S en la producción de SO₄ en los suelos estudiados

100 a 150 y 200 Kg/ha, o sea de 52 a 78 y 104 ppm, en las series Reventazón, Instituto y La Margot, que muestran respectivamente una concentración de nitrógeno de 0,81%, 0,64% y 0,51%.

Al contrario de lo que sucede en las otras dos series, los resultados indican una disminución de $S-SO_4^{=}$ en la serie La Margot al adicionar K, Mg y P en cantidades de hasta 50 Kg/ha de K y Mg, y 100 Kg/ha de P (30 ppm de K y Mg, y 52 ppm de P). La causa más probable de éste hecho es que la concentración de esos tres elementos en el habitat natural, sea la apropiada para el desarrollo de las actividades de los microorganismos del azufre, lo cual lleva a considerar sus efectos en la parte creciente de la curva como aceptadores de electrones.

4.6. Efecto de la adición de material vegetal en las producciones de CO_2 y $S-SO_4^{=}$.

Se realizó un experimento tendiente a observar los efectos de las dosis crecientes de material vegetal en el CO_2 y el $S-SO_4$. Los resultados obtenidos para la producción de CO_2 se presentan en las Figuras 5, 6 y 7 y Cuadro 7 del apéndice, y para $S-SO_4^{=}$ en el Cuadro 10 del mismo. Los datos demuestran que la adición de material vegetal hasta 1% no influyen en el metabolismo total de los suelos estudiados. O sea, que el material vegetal añadido a los tubos de ensayo no fue mineralizado durante las diez semanas de incubación. El tamaño físico (40 mallas) del material vegetal pudo constituir un obstáculo para el ataque inicial de los microbios.

Se esperaba que la adición de residuos orgánicos causase inmovilización del $S-SO_4^{=}$ en todos los casos. A las cinco semanas de incuba -

ción aproximadamente el 50% de las muestras analizadas daban $S-SO_4^{=}$ mineralizado. Mas normales fueron los resultados obtenidos para diez semanas de incubación, donde solamente en dos casos hubo mineralización. Los datos sugieren que el proceso de inmovilización, como resultado del aumento de C sobre S, se patentiza con el período de incubación.

4.7. Adición de azufre por los residuos vegetales del cacao.

El análisis de los residuos vegetales recogidos en el campo, proveniente de la parte aérea del cacao y del sombrío poró (Erythrina peopeggiana), presentan un contenido de azufre de 1,08% en el cacaotal de la serie Instituto, y 0,78% en los situados en las series Reventazón y La Margot (Ver Cuadro 4 del apéndice). Considerando la adición total anual de residuo vegetal, el azufre que reciben los suelos es de 93,53 Kg/ha en la serie Instituto; 69,04 Kg/ha en el serie Reventazón y 40,77 Kg/ha en la serie La Margot.

Teniendo en cuenta el conjunto de los datos obtenidos en las mineralizaciones de C y $S-SO_4^{=}$, de todos los tratamientos empleados, la fórmula que da mayor producción de CO_2 y $S-SO_4^{=}$ es 100-100-50-50-50 de $N-P_2O_5-K_2O-Mg-S..$

A efectos del azufre la producción mejora en la serie La Margot a medida que es más concentrada la fórmula. En la serie Reventazón el N, K y Mg debe conservarse a niveles de 100-50-50 Kg/ha, mientras que P y S deben aumentar a su dosis máximas, en la serie Instituto K y Mg deben mantenerse en 50 Kg/ha. La acción de N y P es aumentativa en la producción de $S-SO_4^{=}$ hasta 150 Kg/ha (78 ppm), mientras que el S dió mejores resultados con la concentración máxima.

4.8. Azufre total,intercambiable,inorgánico y orgánico.

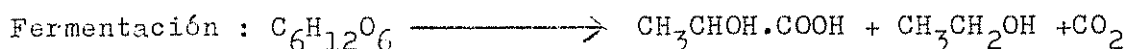
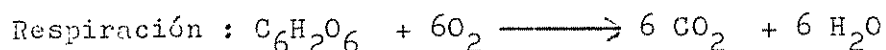
Se determinó el azufre total,intercambiable,inorgánico y orgánico,para conocer su concnetración en los suelos estudiados (Ver Cuadro 3 del apéndice).

En promedio el azufre orgánico representa 47.6% del azufre total en las tres series.El azufre inorgánico representa 52,3% del zufre total,y el azufre intercambiable 0,1% del total.

5. DISCUSION

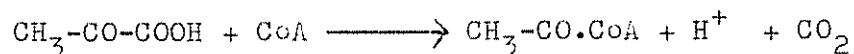
El metabolismo de los compuestos orgánicos de los suelos estudiados es más acelerado (139 mg CO₂/1000 gr. suelo/día en promedio) que el reportado por la literatura para suelos de zona templada (50 mg. CO₂/1000 gr. suelo/día en promedio) (4,36,70,77,93).

En relación con el sustrato orgánico, el CO₂ procede de dos tipos principales de reacción :



La primera conduce directamente a la oxidación del sustrato, mientras que la fermentación origina compuestos oxidados o reducidos, de menor peso molecular que el compuesto orgánico original (inicial) donador de electrones. En cualquier caso se produce la descomposición de la materia orgánica.

El valor energético del suelo aumenta con la descarboxilación por cuanto la tercera fase de energía en el metabolismo bioquímico corresponde al ciclo de Krebs, cuya entrada es precisamente la descarboxilación del piruvato para formar acetil-CoA.



y de acuerdo con distintos autores (58,56) por cada molécula de CH₃.CO.CoA oxidada se produce en total 20 enlaces de alta energía (Trifosfato de adenosina), que están en relación directa con la fosforilación oxidativa que reactiva según Mitchell (71), la energía microbial.

La descarboxilación en el ciclo de Krebs se repite en el paso

de los compuestos de 6 carbonos (cis-aconitato, citratos, isocitrato) a cetoglutaratos, y de éstos a succinatos, fumaratos y malatos (55).

La rápida mineralización de la materia orgánica también está indicando que, en los suelos de cacao estudiados, existe la liberación de los compuestos orgánicos que lleva en su composición. Probablemente en aquellas áreas del trópico y subtropico húmedo que reciben fuertes dosis de residuos vegetales buena parte de los elementos disponibles provengan de la biomasa. Así Acquaye (1) anota que la respuesta del cacao a NP en Ghana está relacionada con el contenido de P-orgánico de los suelos (estudió mineralización de P). Brinkman y dos Santos (22) señalan que la fuente de magnesio en los suelos de la Amazonía (Manaus-Itacoatiara), es la biomasa, similar conclusión anotan varios autores (84, 61, 82, 3).

Esta acción de la biomasa podría ser responsable, al menos en parte de la poca respuesta de la actividad del suelo a los tratamientos empleados. Se debe aceptar que a efectos de los dos componentes de la microbiota (autotróficos y heterotróficos), las condiciones naturales de los suelos de cacao estudiados son bastantes adecuadas. Si se considera que el ecosistema es la unidad funcional básica de la ecología (74), no parece desenfocado pensar que lo ocurrido en la microbiota se refleje en la macrobiota. Es decir, la reciclación de los elementos solubilizados a partir de los residuos vegetales por el cacao constituya una parte fundamental de su nutrición.

Es cierto que por el momento no existen trabajos al respecto por haberse insistido en bioquímica de suelo en usar un solo microorganism-

mo como indicador que al igual que sucede cuando se elige una sola macroplanta como indicadora, puede medir las condiciones más convenientes para esa unidad micro o macrovegetal, pero no puede representar el balance del suelo, que al menos en principio, debe aceptarse en relación al comportamiento de todo ecosistema.

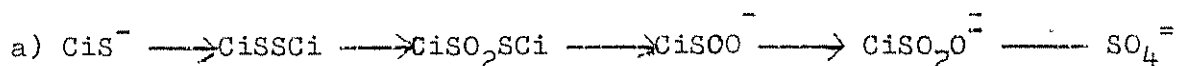
Concordando con otros autores (36,93), la producción de CO_2 fue mayor en los primeros estados de la incubación. Esto ocurre así por varias razones. Una de ellas es que el secamiento de los geles previo a la incubación conduce a la fragmentación de los geles coloidales orgánicos (15). Por tanto, aumenta la superficie orgánica expuesta al ataque microbial, lo cual favorece la mineralización porque como demostraron Lees y Quastel (60), Golberg y Gainey (46), éste fenómeno es dependiente de la superficie que presenta la fase sólida del suelo. Además el humedecimiento del suelo después de un período de secamiento, ocasiona la formación de una nueva generación de microorganismos (16) que es mucho más activa que cualquier otra desarrollada en la misma secuencia de incubación.

Muy probablemente la mayor energía inicial que se presenta en las mineralizaciones depende también de la clase de compuestos orgánicos que existen en el suelo. Inicialmente la labor microbial vendrá facilitada por la presencia de compuestos solubles en agua, como los sacáridos, solubles en éter-benceno, como son las grasas, aceites o de compuestos fácilmente degradables por la debilidad de sus enlaces (es el caso del enlace péptido en los aminoácidos). A medida que estos compuestos vayan agotándose quedan como residuos las ligninas, polifenoles y

substancias quinoideas, todos de alto peso molecular y estables, que influyen disminuyendo la actividad microbiana, ya que la mineralización del carbono resulta más difícil.

Así mismo, a medida que los compuestos orgánicos se tornan más resistentes, la población bacteriana y fúngica es substituida en un buen porcentaje por actinomicetos (57,19). Es bien conocido (4) que la actividad de los actinomicetos en ningún caso supera la de bacterias y hongos aún por separados. También es necesario tener en cuenta que en el transcurso de la incubación parte del CO_2 liberado puede ser asimilado por los microorganismos autotróficos.

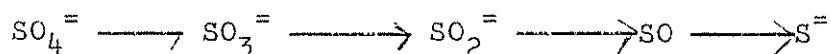
Con relación a las transformaciones del azufre la mineralización de los compuestos orgánicos azufrados (reacciones a y b generalizadas) y la oxidación de las formas inorgánicas (c), fueron las reacciones dominantes en la primera semana de incubación.



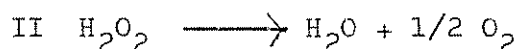
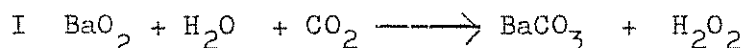
Esto indica que el suelo tenía condiciones aeróbicas puesto que solamente bajo condiciones de oxidación aparece $\text{SO}_4^{=}$ como terminal de las reacciones. Por otra parte, la mineralización ocurrida en esta primera semana de incubación significa que la actividad microbiana (producción) superó a la demanda fisiológica de consumo. Como el estímulo a la mineralización aumentó con la dosis del S-inorgánico aplicado a los suelos, cabe pensar que el suelo tiene una microflora adecuada es-

pecializada en la transformación del azufre (género Thiobacillus, Thio-
trix, Beggiatoa, etc, entre otros). NO obstante, considerando que hubo
un exceso de $S-SO_4^=$ mineralizado sobre el S-mineral aplicado y que la
máxima mineralización se produjo en la época de la mayor producción de
 CO_2 se puede afirmar que el proceso es predominantemente heterotrófico.

Después del período inicial, se presentó una pérdida de $S-SO_4$ acu-
mulado en los suelos como producto de la mineralización. Aunque la me-
todología analítica empleada no detecta $S-S^=$, se descarta que las pérdi-
das del $S-SO_4$ sean a través de la reacción reductora



indicativa de que en el suelo había anaerobismo, por cuanto la reacción
productora de oxígeno



se mantuvo al mismo nivel durante toda la incubación. La presencia de
 O_2 excluye que el terminal de la reacción sea $S-S^=$.

Existe la posibilidad de que éstos suelos pierdan el $S-SO_4$ por
el proceso de inmovilización que, aunque no se midió, es factible siem-
pre y cuando haya una proliferación microbial para cuyo mantenimiento
no baste la tasa de mineralización del azufre.

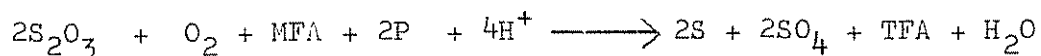
La causa más probable de la pérdida de $S-SO_4$ mineralizado, al me-
nos en un alto porcentaje, es su retención por los coloides del suelo
como se comprobó en el laboratorio. La retención obtenida confirma lo

sostenido por otros autores (62,52,55,28,29) en el sentido de que la presencia de óxidos de hierro y aluminio (en distintos grados de oxidación) y alofana, causa una disminución del S-SO₄ asequible mediante su retención. Muy probablemente los efectos de la retención sean menores en el campo que en el laboratorio, ya que en las incubaciones la retención es favorecida por un largo período de contacto, y por falta de competencia de las raíces.

En los suelos de cacao de las series Instituto y Reventazón los elementos N, P, K y Mg muestran más efecto en la mineralización del S-SO₄ que en la mineralización del C. Para el comportamiento de N y P en la actividad quimoautotrófica de las bacterias del azufre existe explicación: Thiobacillus denitrificans unicamente oxida el azufre en presencia de NO₃ (87). La ecuación generalizada es del tipo



Según Peck (78), el P es necesario para una completa oxidación de tiosulfato y tetrationato a sulfato, procediendo de la forma siguiente :

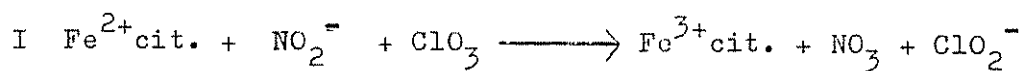


No se conoce cual pueda ser el papel de K y Mg sobre la actividad quimoautotrófica de las bacterias del azufre, aunque se sugiere la posibilidad de que se balanceen los medios nutritivos.

Una interpretación distinta parece derivarse del efecto que estos elementos produce en la mineralización del S-SO₄ en los suelos de la serie La Margot. Su papel no parece ser otro que el de aceptadores

de electrones. Esto es fácil para el caso de NO_3^- , PO_4^{3-} y Mg , ya que en cada caso no existen problemas de orden químico para que reciban H^+ .

Para la sal KCl no cabe esa explicación en forma directa. Sin embargo al disociarse queda libre el cloro que puede reducirse a través de su reacción con los citocromos ferricos dando oxígeno. La ecuación planteada (60) es :



es decir los cloratos pueden actuar como agentes oxidantes.

6. CONCLUSIONES

1. Los cacaotales localizados en las series Reventazón, Instituto y La Margot respectivamente aportan a los suelos las cantidades de 8,8; 8,6 y 5,2 ton/ha/año de residuos vegetales que producen un total de 69,0; 93,5 y 40,7 Kg/S-SO₄/ha/año.
2. El metabolismo de los residuos vegetales de los cacaotales es elevado, del orden de 139 mg CO₂/1000 gr. suelo/día, lo cual demuestra el alto valor energético, que poseen estos suelos para liberar los elementos inorgánicos de los compuestos orgánicos, favoreciendo su reciclación en el cacao.
3. Los nutrientes que más se requieren para la producción de CO₂ en los suelos estudiados son K y Mg en la serie Instituto; N, K, S y Mg en la serie La Margot y S en la serie Reventazón, y la dos primeras series son las que presentan mayor tasa de mineralización.
4. La producción de CO₂ y S-SO₄ es mayor en los primeros días de incubación en los suelos estudiados.
5. El fosfato monocálcico (500 ppm de P) desplaza mayor cantidad de azufre que el agua, en la 5a. semana de incubación.
6. La producción de CO₂ es mayor en los primeros días de incubación para decaer progresivamente. Esto es atribuible a que los microorganismos utilizan en los primeros momentos las reservas de los compuestos orgánicos solubles en agua o fácilmente biodegradables.
7. Al igual que ocurrió con la mineralización del carbono, la mineralización de S-SO₄ fue mayor en la primera semana de incubación. Debido a que en todo momento se mantuvieron condiciones aeróbicas, las

pérdidas de parte del S-SO₄ mineralizado se atribuyeron a su fijación por los coloides del suelo.

8. La producción de S-SO₄ se aumenta al aplicar dosis crecientes de S en los suelos estudiados.
9. De todos los tratamientos probados el que produce mejores resultados en las mineralizaciones de C y S-SO₄ es 100-100-50-50-50- Kg/ha de N-P₂O₅-K₂O-Mg-y- S.
10. En todos los casos la extracción de los sulfatos fue mas eficiente con el uso de fosfatos (cálcicos) que con el agua.
11. La adición de residuos vegetales no alteró la tasa de mineralización de C y S-SO₄ en las 10 semanas que duró la incubación de los suelos estudiados.
12. El porcentaje de S-inorgánico que se presenta en los suelos estudiados, es mayor que el porcentaje de S-orgánico.

7. RESUMEN

Las tres series de suelos, Reventazón, Instituto y La Margot (Inceptisol, Tropepts, Dystropepts, Typic Dystropepts, Fine, Loamy, mixed isohyperthermic and Inceptisol, Tropepts, Dystropepts, Typic Dystropepts, Fine, mixed isohyperthermic, respectivamente) usadas en esta investigación están localizadas en el IICA-CTEI en Turrialba, Costa Rica. El área corresponde al bosque subtropical muy húmedo, con una altitud de 630 m sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 22,7°C y 2682,5 mm de precipitación por año. Se llevó éste estudio para medir el metabolismo del suelo y la mineralización del azufre.

Los suelos de cacao estudiados muestran en promedio alta actividad metabólica (139 mg CO₂/1000 gr. suelo/día). Esta actividad microbiana y por tanto la evolución del CO₂ fue más alta en el primer período de incubación del suelo debido a la presencia de mayor cantidad de materiales carbonáceos solubles. La descomposición de la materia orgánica del suelo fue ligeramente afectada por la adición de sales inorgánicas.

Puesto que los suelos se incubaron aeróbicamente, se detectó S-SO₄ en todas las determinaciones químicas. El proceso de mineralización de S-SO₄ fue mucho más evidente en la primera semana de incubación. Después la ganancia neta de S-SO₄ tiende a disminuir. Esto es atribuible a la utilización microbiana del azufre aprovechable (asimilación) y a la retención del S-SO₄ mineralizado, por los óxidos hidratados y los coloides del suelo. La adición de S inorgánico aumenta la minerali-

zación del $S-SO_4$ en todos los suelos de cacao estudiados. También la mineralización del $S-SO_4$ se favoreció por la adición de 100,150 y 200 Kg/ha de N (52,78 y 104 ppm de N) en las series Reventazón, Instituto y La Margot respectivamente. Por otra parte, la aplicación de P, K y Mg a la serie La Margot rebajó la producción de $S-SO_4$.

Las cantidades de residuos vegetales de cacao depositadas en el suelo fueron 8,8; 8,6 y 5,2 ton/ha/año en las series Reventazón, Instituto y La Margot respectivamente. Estos residuos tuvieron un contenido de S de 1.08% (Instituto) y 0,78% (Reventazón y La Margot) los cuales suman anualmente a una adición de S neta de 93,5 Kg/ha; 69,0 Kg/ha y 40,7 Kg/ha a los suelos de las series Instituto, Reventazón y La Margot.

7a. SUMMARY

The three soil series, Réventazón, Unstitue and La Margot (Inceptisol, Tropepts, Dystropepts, Typic Dystropepts, Fine, loamy, mixed isohyperthermic and Inceptisol, Tropepts, Dystropepts, Typic Dystropepts, Fine, mixed isohyperthermic, respectively) used in this investigation are located in the fields of the IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica. This area which belongs to a very humid subtropical forest, and has an altitude of 630 m over sea level and the mean average temperature and mean average rainfall are 22,7°C and 2682,5 mm per year respectively. This study was carried to measure the metabolism of the soil and the S-mineralization.

The cacao soils studied showed on average, a high metabolic activity (139 mg CO₂/1000 gr. soil/day). This microbiological activity, and therefore CO₂ evolution, was higher in the first period of the soil incubation due to the presence of a greater amount of soluble carbonaceous materials. Decomposition of soil organic matter was little affected by the addition of inorganic salts.

Since the soils were incubated aerobically, S-SO₄ was detected in all chemical determinations. The S-SO₄ mineralization process was much more evident in the first week of incubation. Afterwards the net S-SO₄ gain tended to decrease, this being attributable to the microbial utilization sulfur (assimilation), and to the retention of the S-SO₄ mineralized by hydrated oxides and the soil colloids. Addition of inorganic-S enhanced the S-SO₄ mineralization in all cacao soils studied. Also the S-SO₄ mineralization was favored by the addition of

100,150 and 200 Kg/ha de N (52,78 y 104 ppm de N) in the Reventazón, Institute and La Margot series respectively. On the other hand, the application of P, K and Mg to the La Margot serie depressed S-SO₄ production.

Quantities deposited of vegetal residues from cacao in the soil were 8,8; 8,6 y 5,2 ton/ha/year in the Reventazon, Institute and La Margot series respectively. These residues had a S-content of 1,08% (Institute) and 0,78% (Reventazon and La Margot) which yearly amount to a net S addition of 93,6 Kg/ha; 69,0 Kg/ha and 40,7 Kg/ha to the soils of the Institute, Reventazon and La Margot series.

8. LITERATURA CITADA

1. ACQUAYE, D.K. y AKROFI, G.S. Soil fertility, irrigation and shade. In.Cocoa Research Institute Ghana Academy of Science. Report for the period 1 st April 1962-30 September 1963. 1964. p. 90-99.
2. AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del area del Centro de Enseñanza e Investigación. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1971. 139 p.
3. AHENKORAH, H. y AKROFI, G.S. The status of an amelonado shade manurial experiment (K1) at Tafo. In 2a. Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau. Bahia, Brasil, Nov. 1967. Memorias. p. 325-329.
4. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, Wiley, 1961. 472 p.
5. AOMINE, S y KOBAYASHI, Y. Effects of allophanic clay on the enzymatic activity of protease. Soil Science and Plant Nutrition. 10:28-32. 1964.
6. _____ y KOBAYASHI, Y. Effects of allophanic clay on the enzymatic activity of beta-amylase. Soil Science and Plant nutrition.12:7-12. 1966.
7. ATTOE, O,J, y OLSON, R.A. Factors affecting rate of oxidation in soil of elemental sulfur and that added in rock phosphate-sulfur fusions. Soil Science 101:317-321. 1966.
8. BARRAGAN, N. J. La biosfera y los ciclos del nitrógeno, fósforo y azufre. In Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Revisión bibliográfica sobre química de suelos. Turrialba, 1970 pp. 1-30.
9. BARROW, N. J. Studies on extraction and availability to plants of adsorbed plus solubles sulfate. Soil Science 104:242-249. 1967.
10. _____. Effect of the nitrogen and sulphur content of organic matter on the production of ammonium and sulphate. Nature 181: 1806-1807. 1958.
11. _____. Studies on the mineralization of sulphur from soil organic. Australian Journal of Agricultural Research 12:306-319. 1962.
12. _____. A comparison of nitrogen of sulphur from decomposing organic materials. Australian Journal of Agricultural Research 11:960-969. 1961.

13. BEATON, J. D. Determination of sulphur in soils and plant material. Sulphur Institute. Technical Bulletin Nº 14 1968. pp. 56-66.
14. BIRCH, H. F. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. Plant and Soil 10:9-13. 1968.
15. _____. Further observations on humus decomposition and nitrification. Plant and Soil 11:262-285. 1959.
16. _____. Mineralization of plant nitrogen following alternate wet and dry conditions. Plant and Soil 20:43-49. 1964.
17. BLASCO, M. Efecto de la humedad sobre la mineralización del carbono en suelos volcánicos de Costa Rica. Turrialba 21:7-12. 1971.
18. _____, et al. El estado del azufre en suelos volcánicos de Nariño (Colombia). Anales de Edafología y Agrobiología. 1972 (en prensa).
19. BODILY, H. L. The activity of microorganisms in the transformation of plant materials in soil under various conditions. Soil Science 57:341-349. 1944
20. BOUYOUOS, C. J. Recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Agronomy Journal 43:434-438. 1961.
21. BREMNER, J. M. Total nitrogen. In Black, C.A., ed. Methods of soil analysis, Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp 1149-1178.
22. BRINKMAN, W. L y DOS SANTOS, A. Natural waters in Amazonia. V. Soluble magnesium properties. Turrialba 21:459-465. 1971.
23. BROANBENT, F. E., JACKMAN, R. H. y McNICOLLI, J. Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. Soil Science 98:119-128. 1964.
24. BURNS, G. R. Oxidation of sulphur in soils. Sulphur Institute Technical Bulletin Nº. 13. 1968. pp 5-16.
25. CAIRNS, R. R. y RICHER, A. C. A comparative study of sulphur responsive and no responsive Grey Wooded soil. Canadian Journal of Soil Science 40:246-254. 1960.
26. CHAUDRY, I. A. y CORNFIELD, A. H. Studies on sulphur metabolism in soil. PhD Thesis. London, Imperial College of Science and Technology, 1966. 186 p.
27. CHAO, T. T., HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Soil constituents and properties in the adsorption of sulfate ions. Soil Science 94:276-283. 1962.

28. CHAO, T. T., HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Iron or aluminium coating in relation to sulfate adsorption characteristics of soil. Soil Science Society of American Proceedings 28:632-635. 1964.
29. _____, HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Movement of S³⁵ tagged sulfate through soil columns. Soil Science Society of American Proceedings 26:27-32. 1962.
30. CRESSMAN, H. F. y DAVIS, J. F. Sources of sulfur for crop plants in Michigan and effect of sulfur fertilization. Agronomy Journal 54:341-344. 1962.
31. COCHRAN, W. G. y COX, G. M. Experimental designs. 2nd. ed. New York, Wiley, 1957. 476 p.
32. CONRAD, J. Sulphur fertilization in California and some related factors. Soil Science 70:43-54. 1950.
33. CORNFIELD, A. H. A simple technique for determining mineralization of carbon during incubation of soils treated with organic material. Plant and Soil 4:90-93. 1961.
34. DIAZ-ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, IICA, 1967. 3 p.
35. ENSMINGER, L. E. y FRENEY, J. R. Diagnostic technique for determining sulfur deficiencies in crops and soil. Soil Science 101:283-290. 1966.
36. EKPETE, D. M. y CORNFIELD, A. H. Effect of varying static and changing moisture levels during incubation on the mineralization of carbon in soil. Journal of Agricultural Science 64:205-209. 1965.
37. FORSYTHE, W. Progresos recientes en el análisis de las partículas de los suelos por medio del método del hidrómetro. Agronomía (Perú) 33:16-17. 1966
38. FRAZER, G. H. Materia orgánica del suelo. In Bears, F.H. Química de suelo. Traducción de la 3a. ed. inglesa por J. de la Rubia Pacheco. Madrid, Interciencia, 1963. pp 173-212.
39. FREDERICK, L. R., STARKEY, R. L. y SEGAL, W. Decomposability of some organic sulfur compounds in soil. Soil Science Society of America Proceedings 21:287-292. 1957.
40. FRENEY, D. R. Sulfur-containing organics. In McLaren, A.D. y Peterson, G.H., eds. Soil Biochemistry. New York, Decker, 1967. pp. 229-259.

41. FRENEY, D. R. y STEVENSON, F. J. Organic sulfur transformation in soil. *Soil Science* 101:307-316. 1960.
42. _____, BARROW, N. J. y SPENCER, K. A. A review of certain aspects of sulphur as a soil constituent and plant nutrient. *Plant and Soil* 17:295-308. 1962.
43. _____ y SPENCER, K. A. Soil sulphate changes in the presence and absence of growing plants. *Australian Journal of Agricultural Research* 11:339-345. 1960.
44. GAMBOA, J. J. Dinámica del NPK en el suelo después de cinco fertilizaciones consecutivas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1971. 71 p.
45. GARDNER, W. H. Water content. In Black, C.A. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965 pp. 82-127.
46. GOLDBERG, S. H. y GAINNEY, P. L. Role of surface phenomena in nitrification. *Soil Science* 80:43-53. 1965.
47. HART, M. R. Observations on the source of acid in empolderer Mahgrove soil. I Formation of elemental sulphur. *Plant and Soil* 17:87-108. 1962.
48. HARWARD, M. E. y REISENAUER, H. M. Reactions and movement of inorganic soil sulfur. *Soil Science* 101:326-335. 1966.
49. HOLDRIDGE, L. R. Life zone ecology. San José, Costa Rica, Tropical Science Center, 1964. 124 p.
50. IVANOV, M. V. Microbial processes in the formation of sulfur deposits. Traducido del ruso por IPST. Washington, D.C., US Department of Agriculture, 1968. 298 p.
51. JACKMAN, R. H. Organic matter stability and availability in Taupo pomice. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 3: 6-23. 1960.
52. JACKSON, M. L. Aluminium bonding in soils: a unifying principle in soil science. *Soil Science Society of America Proceedings* 27:1-10. 1963.
53. JENSEN, J. Some investigations on plant uptake of sulfur. *Soil Science* 95:63-68. 1963.
54. JORDAN, H. V. y ENSMINGER, L. E. The role of sulfur in soil fertility. *Advances in Agronomy* 10:407-434. 1959.
55. KAMPRATH, E. J., NELSON, W. L. y FITTS, J. W. Sulfur removed from soil by field crops. *Agronomy Journal* 49:289-293. 1957.

56. KONN, E. E. y STUMP, P. K. Outlines of biochemistry. 2 nd ed. New York, Wiley, 1956. 468 p.
57. KRAŠILNIKOV, N. A. Soil microorganism and higher plant. Washington, D.C. US Department of Agriculture, 1961. 474 p.
58. KREBS, H. A. y LOWESTEIN, J. M. The tricarboxylic acid cycle. In Greenberg, D.M., ed., Metabolic pathway. 2 nd. ed. London, Academic Press, 1960. v.1, pp. 129-139.
59. KUN, E. The metabolism of sulfur-containing compound. In Greenberg, D.M., ed. Metabolic pathway. 2 nd. ed. London, Academic Press, 1960. v2, pp. 237-261.
60. LEES, H. y QUASTEL, J. H. Biochemistry of nitrification in soil. II. The site of soil nitrification. Biochemical Journal 40: 815-823. 1946.
61. LIABEUF, J y LOTODE, R. Resultats ans de controle d'un essai de fertilisation minerale sur cacaoyers en forest secondaire amenege a la statio Nkoemvone. In International Cocoa Research Conference, 3 th. 1971. Cocoa Institute, Tafo, Ghana. pp 608-613.
62. LLANOS, R. L. Estudios del movimiento, adsorción y desorción del sulfato en suelos, Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA. 1966. 62 p.
63. LOWE, L. E. y DE LONG, W. A. Aspects of the sulphur status of three Quebec soil. Canadian Journal of Soil Science 41:141-146. 1961.
64. _____ y DE LONG, W. A. Carbon bonded sulphur in selected Quebec soils. Canadian Journal of Soil Science 43:151-158. 1963.
65. MASSOUMI, A. y CORNFIELD, A. H. Sulfate levels in soil of varying pH during incubation with organic materials. Journal of the Science of Food and Agriculture 16:565-568. 1956
66. MEISTER, A., FRAZER, P. E. y TICE, S. V. Enzymatic desulfuration of beta-mercaptopyruvate to piruvate. Journal Biological Chemistry 206:561-569. 1954.
67. McCLUNG, A. C., DE FREITAS, L. M. y LOTT, W. L. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant response to sulfur. Soil Science 23:221-224. 1959.
68. MILLAR, H. C., SMITH, F. B. y BROWN, P. D. The rate of decomposition of various plant materials in soil. Journal of the America Society of Agronomy 28:914-923. 1961.

69. MILLER, P. R. y CLARK, F. E. The water and microorganisms. Yearbook of Agriculture. Washington, D.C., US Department of Agriculture, 1957. 785 p.
70. MILLER, R. D. y JOHNSON, D. D. The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification and nitrogen mineralization. Soil Science Society of America Proceedings 28:644-647. 1964.
71. MITCHELL, P. Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemi-osmotic type of mechanism. Nature 191:144-145. 1961.
72. NELLER, J. R. Extractable sulfate-sulfur in soil of Florida in relation to amount of clay in the profile. Soil Science Society of America Proceeding 23:346-348. 1959.
73. NELSON, L. E. The effect of pH on the acetate soluble sulfur content of a Mayhew soil in Mississippi before and after incubation. Soil Science Society of America Proceeding 28:290-296. 1962.
74. ODUM, E. D. ECOLOGIA. Trad. por Carlos Ottenwalder, México, D.F. Interamericana, 1959. 412 p.
75. OLSEN, R. A. Absorption to sulfur dioxide from the atmosphere by cotton plants. Soil Science 107:111-107. 1957.
76. OKE, O. L. Studies on metabolism of Nigerian soils and uptake by grasses. Journal of the Indian Society of Soil Science 18:163-169. 1970.
77. PARKINSON, D. y COUP, E. Microbial activity in a podzol. In Doeksen, J y van der Drift, J. eds. Soil organism. Amsterdam, North-Holland, 1963. pp. 167-175.
78. PECK, H. D. Symposium on metabolism of inorganic compounds. Bacteriological Reviews 26:67-94. 1962.
78. PEECH, M. Hydrogen-ion activity. In Black, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 914-926.
79. PEREIRA, J. R. Efecto de varios niveles de azufre sobre el crecimiento y composición química de plantas de tomate. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1970. 40 p.
80. PUTMAN, H. D. y SMITH, E. L. Studies on the free amino acid fractions of soil. Soil Science 87:22-27. 1959.

81. RICHARDS, L. A. Physical condition of water in soil. In Black, C. A., ed., methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of agronomy, 1965. pp. 128-152.
82. ROSAND, P.C., DE MIRANDA, E. R. y DO PRADO, E. P. Efeito da remoção de sombra e de aplicação de fertilizantes sobre a produção cacauero na Bahia. In Internacional Cocoa Conference. Cocoa Research Institute, Tafo, Ghana. 1971. pp 510-514.
83. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, IICA, 1961. 107 p.
84. SORIA, J. A preliminary report on experiment of hand pollination and fertilizers in cacao. In International Cocoa Research Conference 3 th. Cocoa Research Institute, Tafo, Ghana. 1971. pp. 608-613.
85. SPENCER, K, y FRENEY, J. R. A comparison of several procedures for estimating the sulphur status of soil. Australian Journal of Agriculture Research 11: 948-959. 1960.
86. STANFORD, G. y JORDAN, H. V. Sulfur requirements of sugar, fiber, and soil crops. Soil Science 101:258-266. 1966
87. STARKEY, R. L. Relations of microorganisms to transformations of sulfur in soil. Soil Science 70:55-65. 1950.
88. STEVENSON, I. L. Some observations on the microbial activity in remoistened air-dried soils. Plant and Soil 8:170-182. 1957.
89. STEWARD, B. A. Nitrogen-sulfur relationships in plant tissues, plant residues and soil organic matter. In Jacks, G.V., ed. Soil chemistry and fertility. Transactions of meeting of Commissions II and IV of the International Society of Soil Science. Aberdeen. 1967. pp. 131-138.
90. SWEETMAN, B. L. Structure of cystine disulfoxide. Nature 183: 744-755. 1959.
91. TAN, K. H. On the pedogenetic role of organic matter in volcanic ash soils under tropical conditions. Soil Science and Plant Nutrition 12:34-38. 1966.
92. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. de Jorge Balas y Carmen Piña. Barcelona. Montaner y Simón, 1970. 760 p.
93. VAN SCHREVEN, D. A. A comparison between the effect of fresh and dried organic materials added to soil of carbon and nitrogen mineralization. Plant and Soil 20:149-165. 1964.

94. VAMOS, R. The release of hydrogen sulphide from mud. *Journal of Soil Science* 15:103-109. 1964.
95. VENDECAVAYE, S. C. y KATZNELSON, H. Microbial activities in soil. V. Microbial activity and organic matter transformation in Palouse and Helmer soils. *Soil Science* 46: 139-167. 1958
96. VIRO, P, J. Factorial on forest humus decomposition and nitrogen availability. *Soil Science* 95:24-30. 1963.
97. VISHNIAC, W y TRUDINGER, P. A. Carbon dioxide fixation and substrate oxidation in the chemosynthetic sulfur and hydrogen bacteria. *Bacterial Rev.* 26:168-175. 1962.
98. WADA, P. J. e INGUE, T. Retention of humic substances derived from rotted leaves in soil containing montmorillonite and allophane. *Soil Science and Plant Nutrition* 13:10-16. 1967.
99. WAKSMAN, S. A. *Soil microbiology*. New York, Wiley, 1952. 356 p.
100. _____ y STARKEY, R. L. *The soil and the microbe*. 2nd. ed. New York, Wiley, 1957. 260 p.
101. WHITE, J. C. Mineralization of nitrogen and sulphur in sulphur deficient soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research* - March 2:255-258. 1959.
102. WHITEHEAD, D. C. Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle. *Soil and Fertilizers* 27:1-8. 1964
103. WILLIAMS, C. H. Some factors affecting the mineralization of organic sulphur in soil. *Plant and Soil* 26:205-223. 1967.
104. _____ y STEINBERG, G. A. The evaluation of plant-available sulphur in soils. II The availability of adsorbed and insoluble sulphates. *Plant and Soil* 21:50-62. 1964.
105. _____ y STEINBERG, G. A. Soil fractions as chemical indices of available sulphur in some Australian soils. *Australian Journal of Agriculture Research* 10:340-352. 1958.
106. WINOGRADSKY, S. *Microbiologie du sol*. Paris, Masson, 1949. 861 p.
107. YOUNG, L. y MAV, G. A. *The metabolism of sulphur compounds*. London, Methuen, 1958. 180 p.

A P E N D I C E

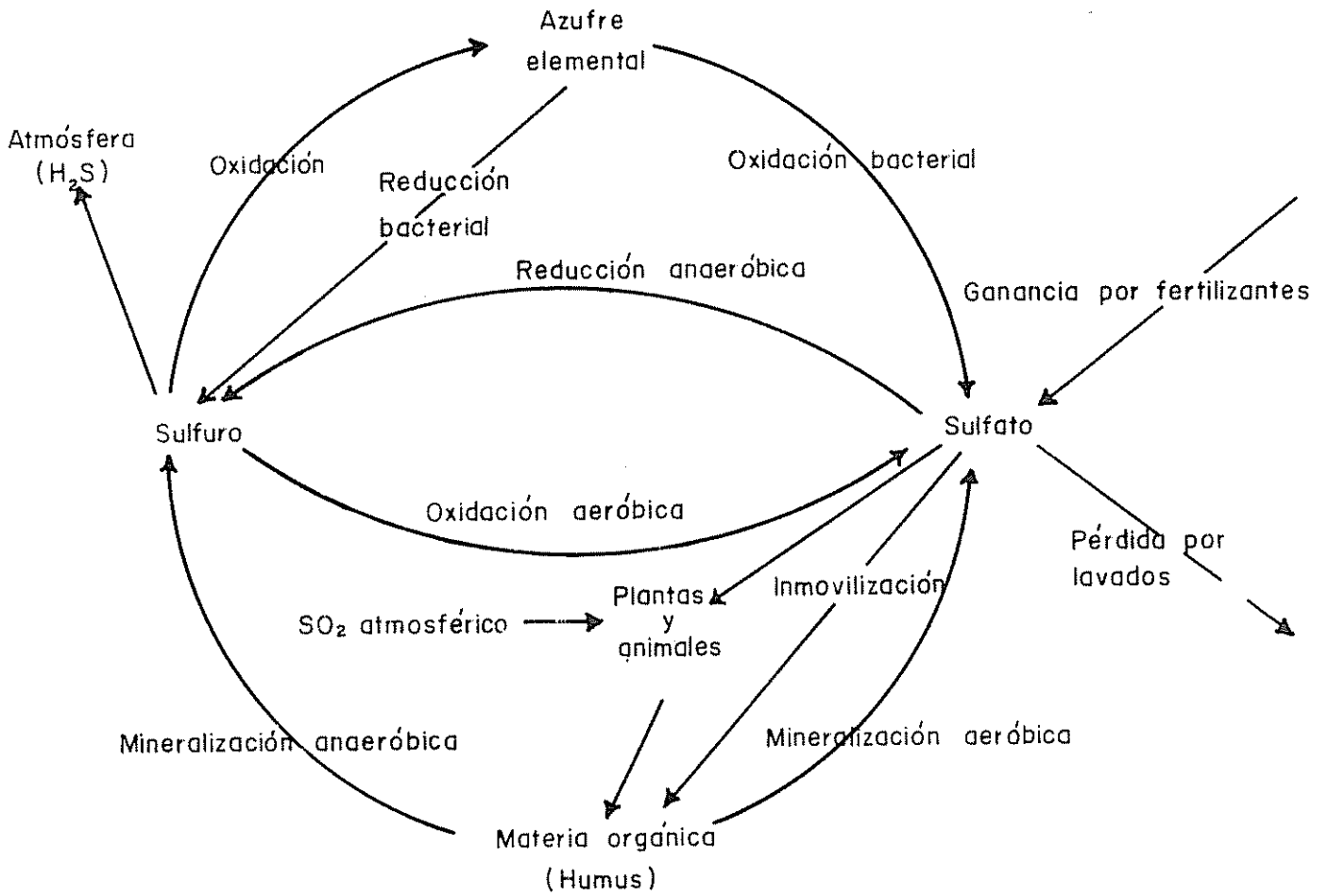


Fig 1 - El ciclo del azufre en la naturaleza. Chaudry (26)

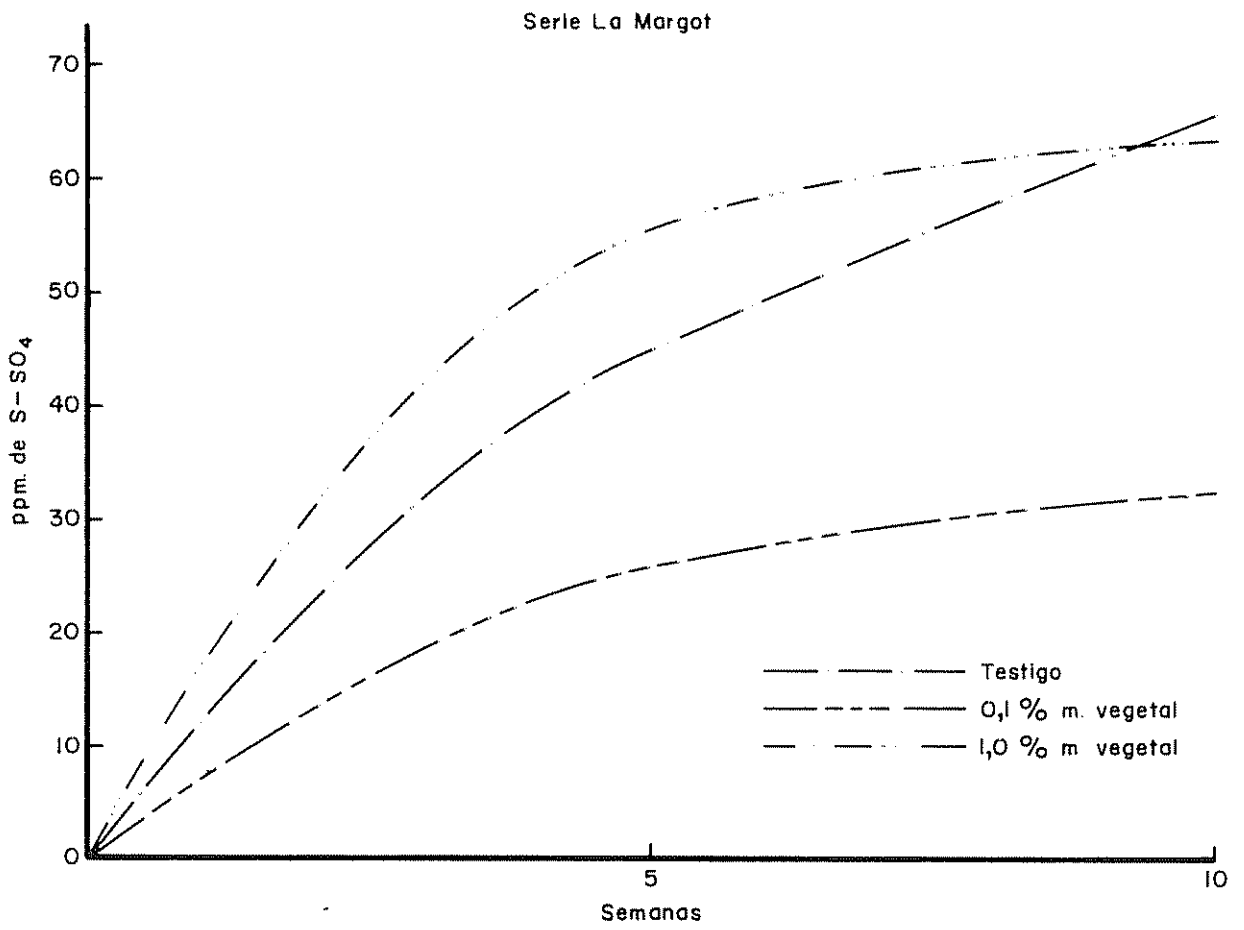


Fig 2- Efecto acumulativo del material vegetal en la producción de S-SO₄

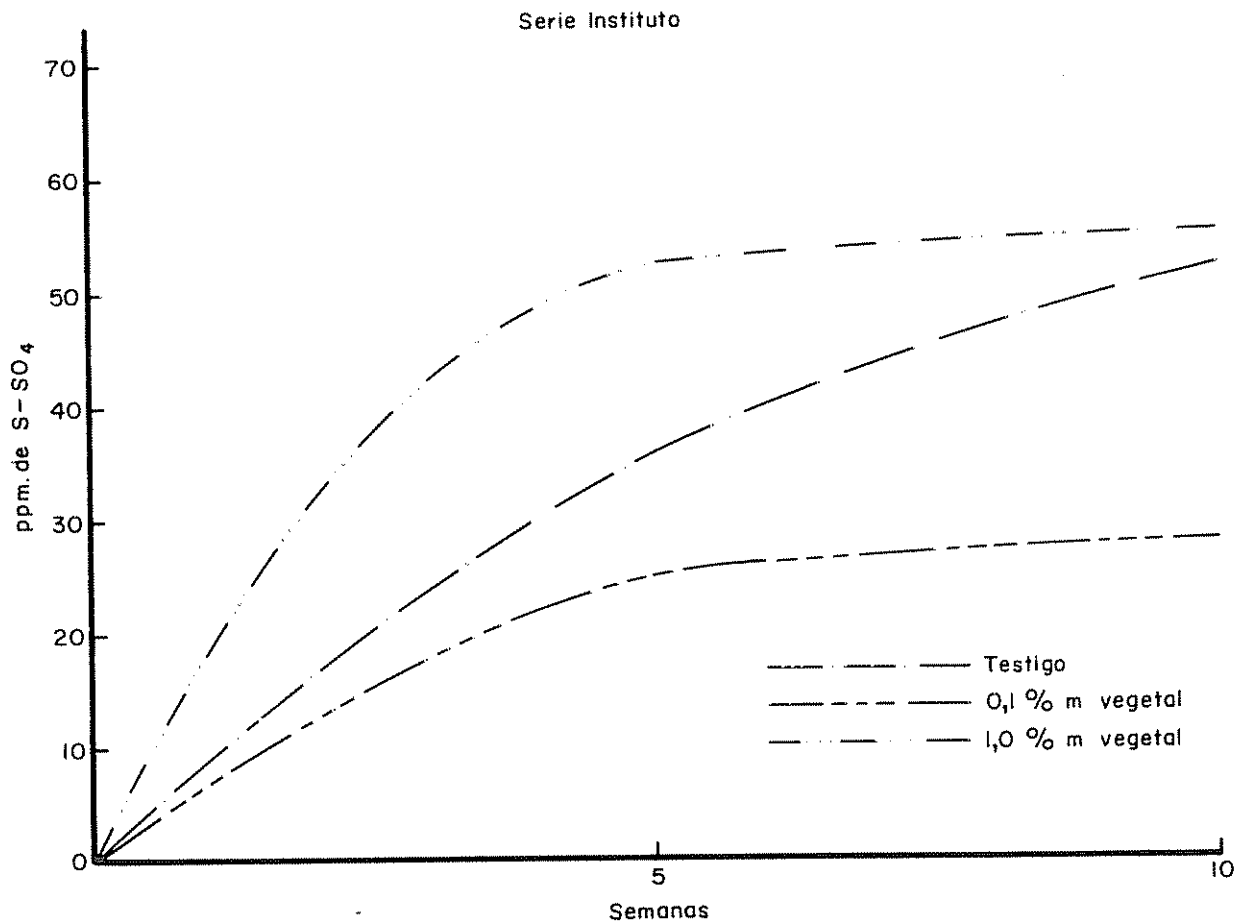


Fig. 3- Efecto acumulativo del material vegetal en la producción de S-SO₄

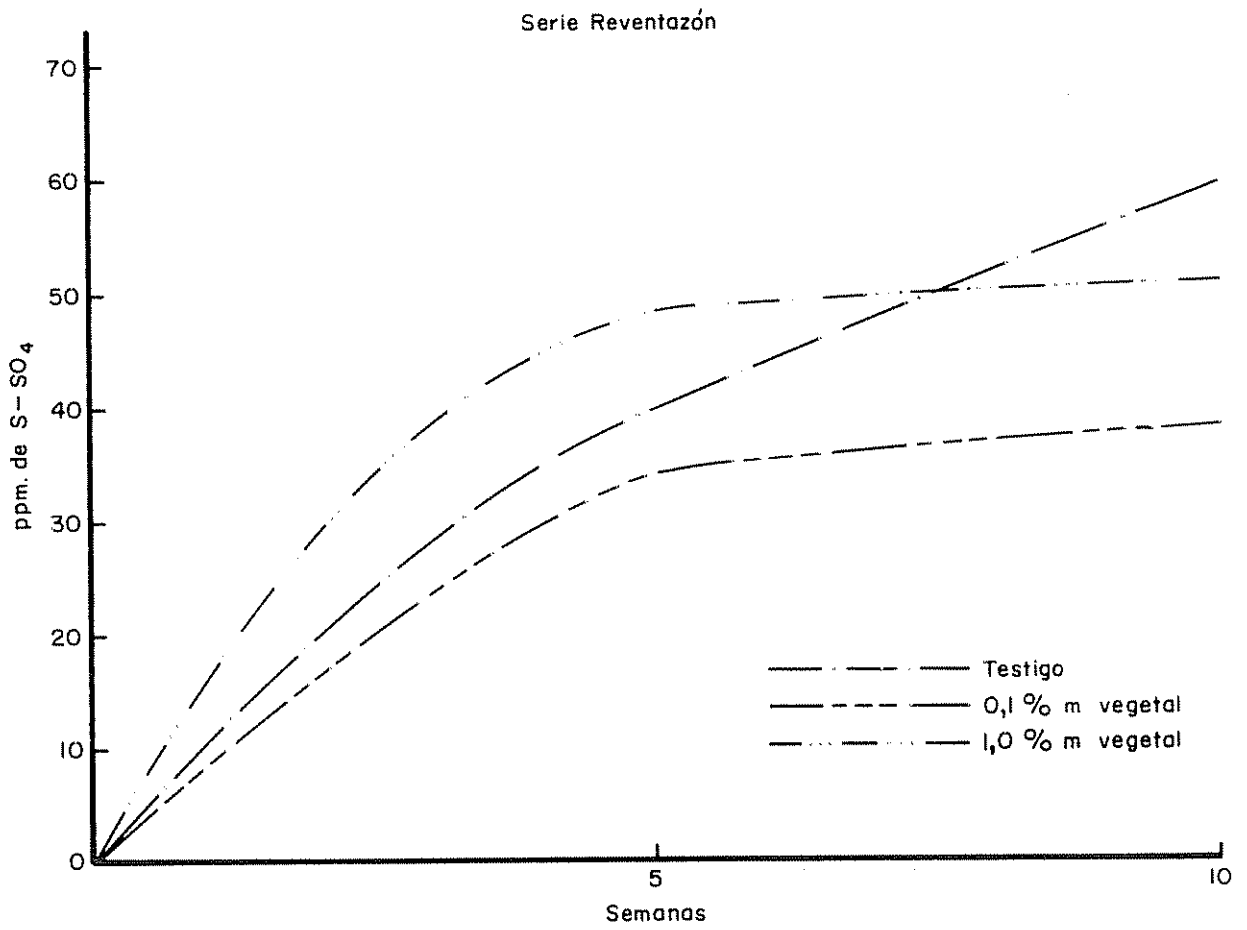


Fig 4- Efecto acumulativo del material vegetal en la producción de $S-SO_4$

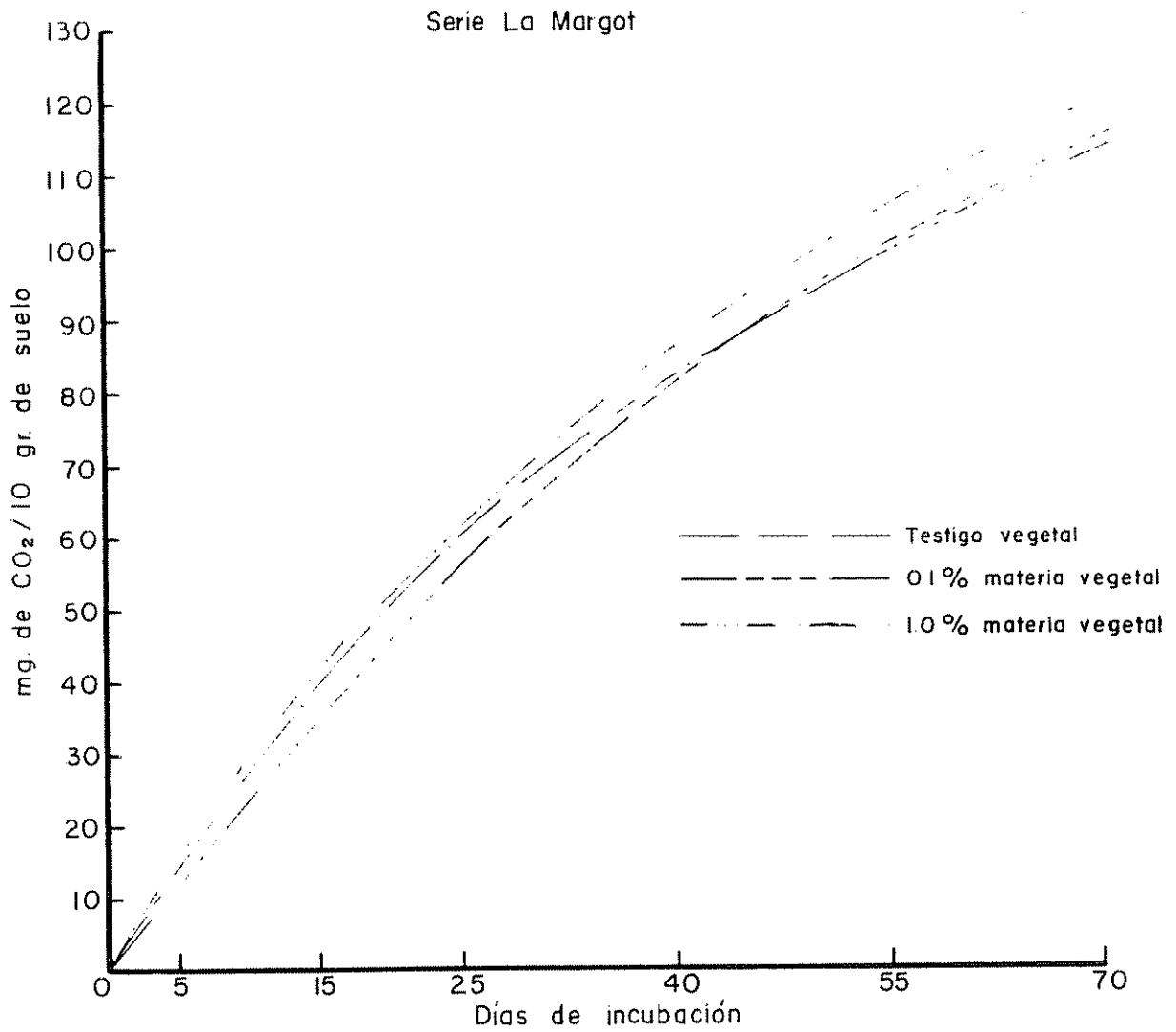


Fig 5 - Efecto del material vegetal en la producción de CO₂

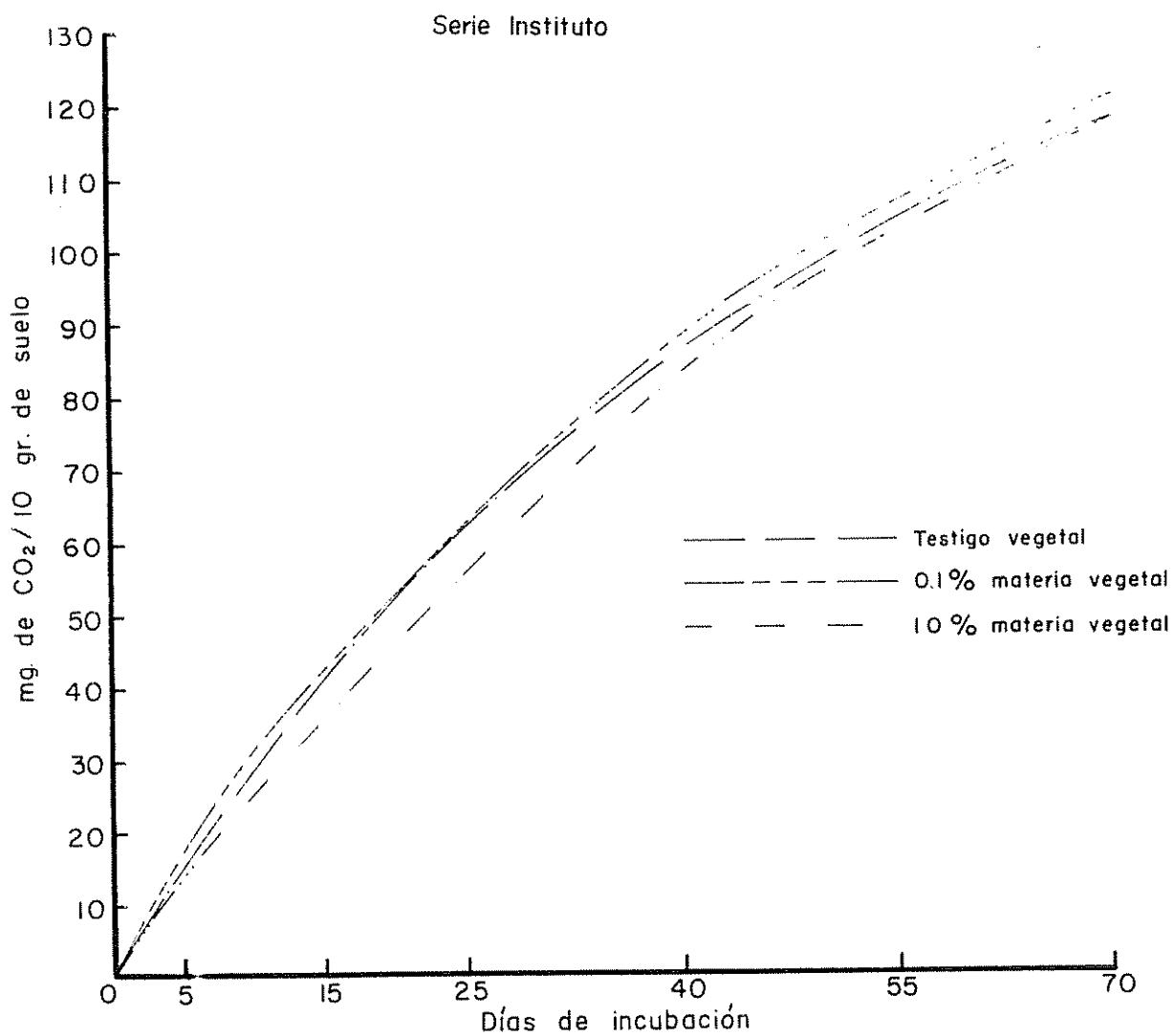


Fig. 6- Efecto del material vegetal en la producción de CO₂

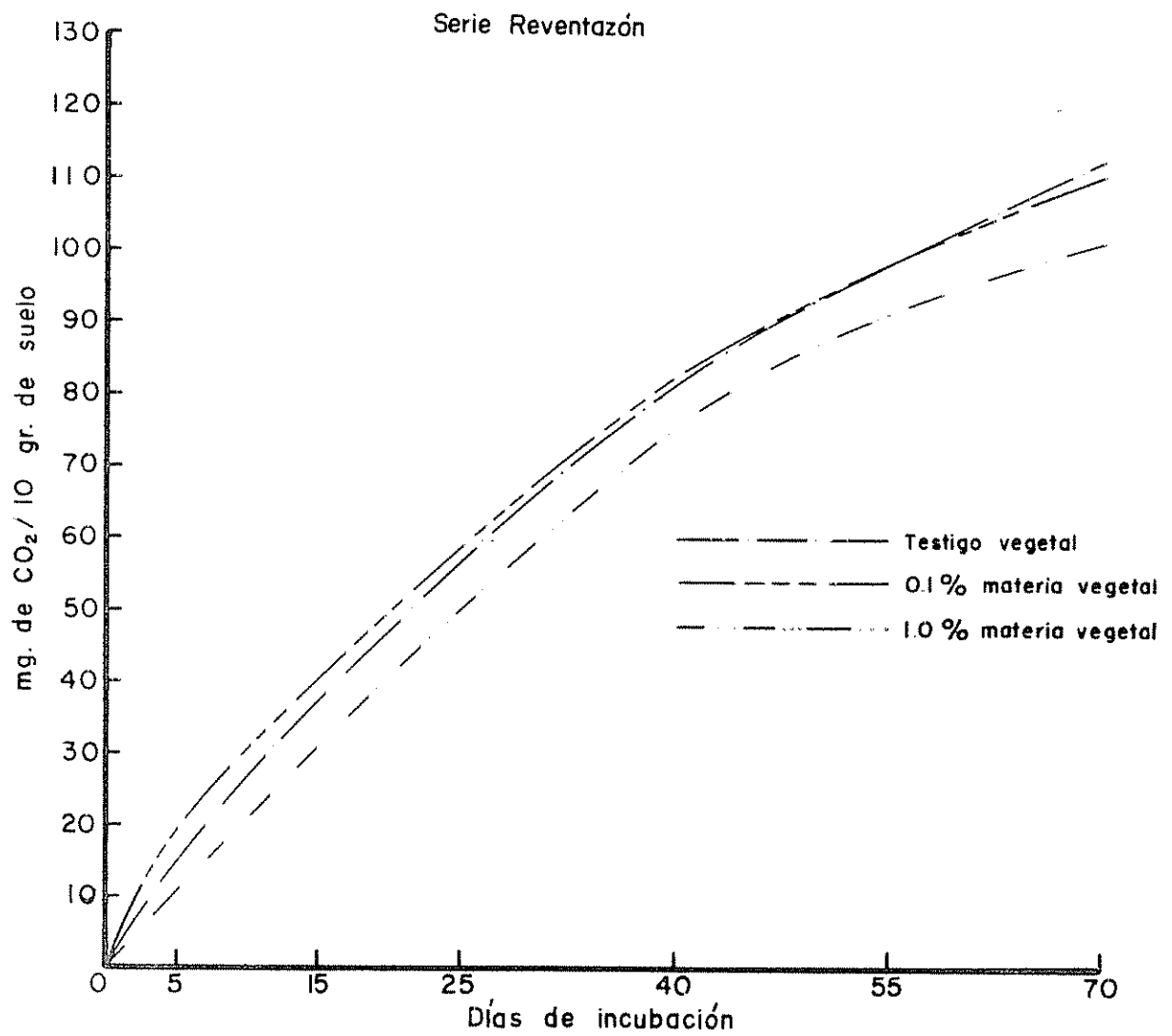


Fig 7 - Efecto del material vegetal en la producción de CO₂

Cuadro 1. Combinaciones de tratamientos

No.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S	Kg/ha
1	50	50	25	25	75	"
2	150	50	25	25	25	"
3	50	150	25	25	25	"
4	150	150	25	25	75	"
5	50	50	75	25	25	"
6	150	50	75	25	75	"
7	50	50	75	25	75	"
8	150	150	75	25	25	"
9	50	50	25	75	25	"
10	150	50	25	75	75	"
11	50	150	25	75	75	"
12	150	150	25	75	25	"
13	50	50	75	75	75	"
14	150	50	75	75	25	"
15	50	150	75	75	25	"
16	150	150	75	75	75	"
17	150	150	75	75	25	"
18	50	150	75	75	75	"
19	150	50	75	75	75	"
20	50	50	75	75	25	"
21	150	150	25	75	75	"
22	50	150	25	75	25	"
23	150	50	25	75	25	"
24	50	50	25	75	75	"
25	150	150	75	25	75	"
26	50	150	75	25	25	"
27	150	50	75	25	25	"
28	50	50	75	25	75	"
29	150	150	25	25	25	"
30	50	150	25	25	75	"

Cuadro 1. (Continuación)

No.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S	Kg/ha
31	150	50	25	25	75	"
32	50	50	25	25	25	"
33	0	100	50	50	50	"
34	200	100	50	50	50	"
35	100	0	50	50	50	"
36	100	200	50	50	50	"
37	100	100	0	50	50	"
38	100	100	100	50	50	"
39	100	100	50	0	50	"
40	100	100	50	100	50	"
41	100	100	50	50	0	"
42	100	100	50	50	100	"
43	100	100	50	50	50	"
44	100	100	50	50	50	"
45	100	100	50	50	50	"
46	100	100	50	50	50	"
47	100	100	50	50	50	"
48	100	100	50	50	50	"
49	100	100	50	50	50	"
50	100	100	50	50	50	"
51	100	100	50	50	50	"
52	100	100	50	50	50	"

Cuadro 2. -Producción de CO₂ por tratamiento durante 70 días en mg/10 gr. de suelo

Serie Instituto							
Tratamiento No.	días						
	5	10	20	30	40	54	70
1	14,0	14,5	19,5	13,8	12,3	19,7	15,8
2	10,1	19,3	15,6	13,8	12,5	18,9	16,7
3	11,8	19,3	11,2	14,0	13,2	17,6	13,4
4	11,2	13,2	14,9	12,9	12,3	25,3	19,7
5	10,7	13,2	11,4	16,5	9,6	30,5	15,6
6	23,0	18,0	12,1	12,9	10,7	15,8	20,4
7	10,3	14,0	14,0	16,5	14,2	22,3	18,7
8	13,8	14,7	10,7	17,5	11,2	24,2	18,0
9	12,9	16,0	17,1	12,3	16,5	16,7	22,8
10	7,0	9,4	13,4	19,7	16,5	16,7	22,8
11	9,0	13,2	13,4	18,2	10,5	20,0	18,0
12	13,2	18,4	12,9	13,6	12,3	18,4	19,1
13	16,9	15,4	12,3	12,1	7,4	25,0	19,1
14	14,9	15,3	12,3	12,1	7,4	25,8	16,5
15	15,8	13,2	11,4	17,8	12,7	23,0	19,3
16	25,5	17,8	15,1	13,2	12,7	16,0	18,7
17	14,9	14,7	10,1	13,8	20,6	12,1	18,9
18	18,9	13,6	15,6	13,6	14,9	23,9	18,4
19	9,8	20,2	21,5	13,6	14,9	23,9	18,4
20	9,6	14,5	10,3	20,9	14,5	14,9	17,8
21	14,9	16,2	12,3	18,0	18,0	19,5	20,0
22	20,9	8,5	17,1	16,7	15,1	20,4	18,4
23	19,7	14,0	18,4	27,5	12,1	15,8	17,8
24	19,3	9,0	12,7	14,5	11,4	18,7	19,3
25	18,4	11,6	9,2	18,2	10,1	17,3	15,1
26	8,8	12,3	12,5	11,4	15,6	22,4	20,6
27	20,9	18,9	14,0	11,2	15,1	35,3	16,5
28	22,4	16,2	12,3	12,7	12,5	42,9	13,8

Cuadro 2. (Continuación)

29	20,9	14,0	11,2	19,5	11,0	25,0	19,7
30	26,2	14,5	9,6	15,1	13,8	20,0	19,5
31	17,3	9,4	13,4	20,4	13,2	23,9	23,0
32	35,2	11,2	10,1	23,3	13,8	22,2	18,9
33	17,3	16,5	14,5	16,0	10,7	15,3	18,2
34	13,6	14,9	17,3	13,6	12,5	8,8	26,4
35	15,3	9,4	12,7	13,2	21,5	26,4	19,0
36	16,0	18,9	12,7	16,7	11,8	19,1	20,6
37	18,0	11,6	11,6	17,8	17,8	9,8	21,5
38	12,5	7,0	10,5	13,4	13,4	21,5	16,5
39	16,5	7,9	9,6	17,3	10,1	25,0	18,2
40	22,2	13,2	11,2	12,9	16,2	14,9	19,3
41	16,7	14,2	10,3	20,0	11,8	22,4	20,2
42	20,9	12,3	9,6	18,7	14,5	24,2	18,9
43	17,3	11,8	11,2	16,9	14,9	17,1	19,5
44	17,8	11,5	11,7	15,8	12,5	22,6	22,0
45	11,2	10,1	9,6	12,1	15,6	21,1	20,2
46	23,9	11,2	10,0	15,6	15,7	19,3	21,1
47	17,6	13,4	11,0	12,9	12,5	20,0	22,0
48	17,6	13,6	9,5	14,5	13,5	22,2	17,6
49	14,3	16,7	11,9	18,1	11,9	18,0	21,9
50	12,3	20,4	14,7	13,9	19,8	15,0	17,9
51	20,4	16,8	9,1	15,3	12,9	18,1	16,8
52	22,4	12,9	12,7	14,0	11,0	17,6	18,6

Cuadro 3. Características químicas y físicas de las series estudiadas

	Serie Reventazón	Serie Instituto	Serie La Margot
pH (H ₂ O)	5,62	5,05	5,35
M.O. %	13,07	8,71	6,47
C. orgánico %	7,59	5,06	3,76
N. total %	7,59	5,06	3,76
SO ₄ total (ppm)	3.440,00	2.400,00	2.800,00
S. orgánico (ppm)-	1.440,00	1.432,00	1.056,00
SO ₄ extraído con HCaPO ₄ (ppm)	22,00	48,00	67,00
C/S total	22,32	15,66	18,07
C/S orgánico	52,10	35,33	35,60
\bar{x} CO ₂ mg/10 gr suelo	81,90	111,80	97,30
C/N	9,23	7,90	7,23
CO ₂ /C	10,79	22,10	25,88
Limo + arcilla %	48,20	59,14	77,00
Textura	Franco	Franco	Fco-Ar.

Cuadro 4. Adición de residuos vegetales y $S-SO_4$ a los suelos estudiados

Epoca de colección	Peso en gramos de las hojas en base seca		
	S.Reventazón	S.Instituto	S. La.Margot
20 Abril - 4 Mayo	134,2	98,3	105,4
4 Mayo - 20 Mayo	125,1	114,5	95,5
20 Mayo - 4 Junio	120,7	138,1	116,8
4 Junio - 18 Junio	96,0	118,7	150,8
18 Junio - 3 Julio	352,0	80,7	86,1
3 Julio - 30 Julio	318,4	207,6	216,4
30 Julio - 18 Agosto	134,2	266,9	143,9
18 Agosto - 8 Sept.	162,7	145,0	57,0
8 Sept. - 24 Sept.	406,7	455,0	117,0
24 Sept. - 8 Octubre	141,7	322,7	87,3
Total	1.991,7	1.947,5	1.126,2 gr
\bar{x} =	663,90	649,16	393,06
Total caído/año/ha. (Kg)	8.852,00	8.661,46	5.227,46
$S-SO_4$ en los residuos (%)	0,78	1,08	0,78
$S-SO_4$ adicionado/año/ha. (Kg)	69,04	93,54	40,77

Cuadro 5.- Producción de S-SO₄ en ppm en suelos incubados durante 5 y 10 semanas . con adición de material vegetal.

Serie Instituto		
	5 semanas	10 semanas
Testigo	37,9	15,4
0,1%	25,0	3,3,
0,3%	38,5	2,5
0,7%	57,5	24,2
1,0%	53,3	1,8
Serie La Margot		
Testigo	46,8	20,4
0,1%	27,0	5,7
0,3%	41,5	1,2
0,7%	35,9	5,6
1,0%	56,1	7,5
Serie Reventazón		
Testigo	40,0	20,2
0,1%	35,2	3,7
0,3%	48,1	31,0
0,7%	42,8	13,1
1,0%	49,0	2,6

Cuadro 6. Análisis de S-SO₄ en ppm por tratamiento, de suelo incubado durante 1, 5 y 10 semanas, utilizando dos métodos de extracción para las dos primeras fechas.

Serie Reventazón					
Tratamiento	1a. semana		5a. semana		10a. semana
No.	H ₂ O	CaHPO ₄	H ₂ O	CaHPO ₄	H ₂ O
1	122,4	199,4	19,5	24,0	4,0
2	59,9	27,0	9,7	21,0	12,8
3	108,2	111,2	7,4	31,5	10,0
4	154,0	174,8	17,0	29,9	8,1
5	79,1	160,3	12,0	32,5	8,0
6	266,4	212,3	10,0	25,5	15,8
7	161,5	183,3	14,5	36,5	10,2
8	93,2	24,1	19,5	24,0	4,4
9	71,6	142,8	14,5	27,5	7,2
10	199,8	171,5	15,4	29,0	14,4
11	208,2	192,3	10,5	28,7	8,0
12	116,5	1,2	9,7	29,4	9,6
13	187,3	169,8	17,0	20,0	9,2
14	75,7	39,9	14,0	17,0	12,0
15	194,8	14,5	5,5	21,7	11,6
16	110,7	190,7	9,0	20,5	12,4
17	191,5	54,1	7,4	29,0	18,2
18	199,4	238,1	25,0	26,0	19,2
19	104,5	161,5	14,5	29,4	10,8
20	237,3	1,2	10,0	29,0	7,8
21	108,2	159,0	9,7	28,5	18,2
22	37,8	0,8	7,4	21,7	8,0
23	199,87	6,6	6,0	14,5	8,0
24	208,2	189,2	14,5	20,0	13,6
25	65,7	203,0	9,7	27,6	8,4
26	82,4	174,8	9,7	20,0	15,8

Cuadro. 6.- (Continuación)

27	108,2	1,2	0,0	34,6	15,6
28	82,4	1,2	9,7	20,0	12,0
29	233,1	182,3	2,5	25,8	11,6
30	206,5	161,5	5,0	29,2	23,9
31	117,4	1,2	7,4	35,6	10,8
32	224,8	110,7	5,0	25,5	4,4
33	199,4	136,1	0,0	23,5	13,7
34	216,5	187,4	3,5	29,0	7,9
35	179,5	109,6	9,6	31,0	12,9
36	220,6	77,9	9,7	27,6	26,4
37	55,9	150,9	3,5	31,0	11,8
38	123,5	129,6	4,9	29,8	10,8
39	214,8	115,0	9,5	29,7	10,5
40	421,9	121,5	5,0	29,9	19,6
41	166,2	145,7	9,4	28,5	13,5
42	120,7	123,8	6,0	29,3	18,4
43	57,9	98,6	5,7	25,5	21,4
44	100,0	110,5	6,8	24,8	13,7
45	189,6	54,8	5,6	35,1	10,7
46	116,9	159,6	9,0	21,7	18,2
47	102,3	39,8	9,5	22,9	8,0
48	75,9	36,8	7,4	20,0	7,6
49	205,7	100,2	6,0	21,9	7,0
50	60,6	170,0	9,4	29,3	18,6
51	76,4	24,8	7,5	28,9	7,2
52	199,5	3,5	4,4	27,6	10,0

Cuadro 7. Producción de CO₂ en mg/10 gr de suelo, incubados durante 70 días, con adición de material vegetal

Serie Instituto						
	5 días	10 días	25 días	40 días	55 días	70 días
Testigo	15,4	26,5	20,6	23,9	15,6	15,9
0,1%	18,3	24,0	20,2	25,7	17,8	14,6
0,3%	19,9	18,4	17,8	27,9	16,6	13,0
0,7%	21,7	25,3	21,8	22,8	17,1	15,0
1,0%	14,9	18,7	22,6	27,7	19,8	17,4

Serie La Margot						
	5 días	10 días	25 días	40 días	55 días	70 días
Testigo	15,4	25,8	24,8	17,1	15,8	14,7
0,1%	15,5	22,0	21,2	24,8	19,2	14,7
0,3%	13,4	22,2	25,9	22,9	17,6	13,7
0,7%	15,7	22,6	23,6	22,9	16,7	13,3
1,0%	19,0	20,4	21,4	26,2	18,7	15,1

Serie Reventazón						
	5 días	10 días	25 días	40 días	55 días	70 días
Testigo	15,6	21,2	19,9	24,5	17,0	13,7
0,1%	19,5	20,1	18,7	23,6	15,0	12,5
0,3%	15,4	18,5	16,0	24,5	14,7	12,5
0,7%	20,9	20,2	21,0	25,5	18,5	13,0
1,0%	11,8	19,3	18,4	25,6	16,2	9,2

Cuadro 8.- Análisis de variancia de la producción de S-SO₄ en los suelos estudiados

Serie Reventazón				
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Tratamientos	42	231.629,907		
Resp. lineal	5	2.487,577	497,515	
Resp. cuadr.	5	13,366	3,677	
Resp. mixta	10	53,017	5,301	
Desv. modelo	22	229.070,927	9.795,876	
Fechas	2	1.592.197,503	796.098,752	45,832 ⁺⁺
Trat x Fechas	84	456.782,376	5.437,885	
Error Combinado	27	468.981,220	17.369,674	
Total	155	2.749.591,314		

++ Significativo (P= 0,01)

Serie La Margot				
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Tratamientos	42	154.664,438		
Resp. lineal	5	3.033,691	606,738	
Resp. cuadra.	5	15,745	3,149	
Resp. mixta	10	128,940	12,894	
Desv. modelo	22	151,486,062	6.885,730	
Fechas	2	3.550.340,062	1.775.195,003	66,895 ⁺⁺
Tra x Fechas	84	305.961,751	3.642,401	
Error Combinado	27	716.492,818	26.536,771	
Total	155	4.727.509,014		

++ Significativo (P = 0,01)

Cuadro 8. (Continuación)

	Serie Instituto				
	F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Tratamientos	42		144.259,032		
Resp. lineal	5		1.209,301	241,860	
Resp. cuadra.	5		6,815	1,363	
Resp. mixta	10		14,471	1,447	
Desv. modelo	22		143.028,445	6.502,260	
Fechas	2		758.990,127	379.495,063	56,251 ⁺⁺
Trata x Fechas	84		269.857,875	3.212,593	
Error Combinado	27		182.151,218	6.746,341	
Total	155		1.355.258,253		

Significativo (P = 0,01)

Cuadro 9. Analisis de variancia de la produccion de CO₂ en los suelos estudiados

Serie Instituto				
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Tratamientos	42	465,255	,	
Resp. lineal	5	232,382	46,476	2,471 ⁺
Resp. cuadra.	5	0,783	0,156	
Resp. mixta	10	6,506	0,650	
Desv. modelo	22	225,524	10,254	
Fechas	6	2.526,301	421,051	22,387 ⁺⁺
Trat x Fechas	252	3.817,306	15,149	
Error	63	1.184,835	18,807	
Total	363	7.994,172		

+ Significativo (P = 0,05) ++ Significativo (P = 0,01)

Serie Reventazón				
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Tratamientos	42	223,263		
Resp. lineal	5	123,918	24,783	2,700 ⁺
Resp. cuadra	5	0,081	0,001	
Resp. mixta	10	0,366	0,036	
Desv. modelo	22	98,898	4,495	
Fechas	5	503,017	100,603	10,964 ⁺⁺
Trat x Fechas	252	1.171,706	5,579	
Error	54	496,510	9,176	
Total	311	2.393,586		

+ Significativo (P = 0,05) ++ Significativo (P = 0,01)

Cuadro 9. (Continuación)

Serie La Margot

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Tratamientos	42	436,343		
Resp. lineal	5	187,659	37,533	2,044
Resp. cuadra.	5	0,208	0,041	
Resp. mixta	10	0,999	0,099	
Desv. modelo	22	247,476	11,248	
Fechas	5	1.885,079	377,015	20,541 ⁺⁺
Fechas x Trata.	210	1.849,511	8,807	
Error	54	991,143	18,354	
Total	311	5.162,075		

++ Significativo (P = 0,01)

Cuadro 10.- Mineralización o inmovilización del S-SO₄ en ppm en los suelos estudiados, después de 1, 5 y 10 semanas de incubación.

Serie Reventazón						
Tratamiento No.	Valores totales semanales			Mineralización o Inmovilización del azufre (!)		
	1	5	10	1	5	10
1	321,8	43,5	2,8	255,6	3,5	-17,4
2	87,0	30,7	13,6	20,8	-9,3	- 6,6
3	119,5	38,9	17,4	53,3	-1,1	-2,8
4	328,9	46,9	21,4	262,7	6,0	-10,2
5	239,4	44,5	9,6	173,2	4,5	-10,6
6	478,8	35,5	36,8	412,6	-4,8	16,6
7	343,9	51,0	19,2	277,7	11,0	-1,0
8	117,4	43,5	7,2	51,2	3,5	-13,0
9	212,4	43,0	6,9	67,8	2,0	-7,0
10	361,4	42,0	27,2	291,0	4,4	-7,8
11	400,0	44,9	12,5	49,5	-0,8	-12,2
12	117,8	39,2	8,0	28,4	-3,0	-35,8
13	357,2	39,2	56,0	319,3	-9,0	-10,0
14	115,7	31,0	8,4	108,6	-12,8	-11,8
15	357,2	27,2	8,4	363,5	-10,5	-11,6
16	214,7	29,5	16,8	294,8	-3,5	-3,4
17	116,7	36,4	15,2	39,5	11,0	-5,0
18	93,6	51,0	23,2	329,2	3,9	3,0
19	385,5	43,9	9,2	42,8	-1,0	-11,0
20	164,8	39,0	34,8	-21,6	3,5	14,6
21	429,7	38,2	8,0	322,7	-2,8	-12,6
22	361,0	29,4	4,4	345,7	-10,8	-15,8
23	105,7	38,2	30,4	177,3	-19,5	-10,2
24	396,4	29,4	7,8	108,4	-1,4	-11,5
25	109,0	20,0	6,0	38,6	-1,8	-16,5
26	44,5	23,7	17,4	327,9	3,5	- 7,6

Cuadro 10.- (Continuación)

27	288,5	37,6	21,4	267,7	-8,5,	-17,9
28	345,7	13,7	12,4	120,5	4,9	- 3,2
29	293,7	51,0	28,0	49,5	-10,6	- 1,0
30	341,7	20,0	29,0	21,8	- 9,8	-11,9
31	119,2	13,7	9,5	111,3	1,7	28,0
32	87,6	51,0	7,5	215,6	- 8,0	- 7,7
33	264,7	87,6	8,0	120,9	19,0	-12,8
34	321,4	95,0	21,0	4,4	10,5	- 5,0
35	289,5	46,8	13,7	100,9	-22,5	- 3,0
36	370,5	39,5	5,5	132,7	-12,9	- 7,2
37	303,5	43,7	6,7	77,4	2,0	11,3
38	305,8	42,0	9,8	31,8	- 3,0	- 4,4
39	294,6	31,9	55,7	255,9	-10,6	- 6,2
40	293,7	27,2	21,9	189,6	- 4,2	-12,7
41	305,7	43,0	32,9	98,6	- 8,9	- 1,0
42	114,5	29,4	9,2	86,3	10,1	-15,1
43	208,9	20,0	10,5	100,1	12,4	-10,5
44	211,1	19,5	5,7	178,9	21,2	- 6,9
45	178,0	29,8	12,4	345,8	- 8,0	- 5,0
46	207,5	35,5	37,8	277,5	-10,1	-14,0
47	212,0	39,5	21,6	89,7	- 5,0	- 5,2
48	311,0	23,1	32,5	250,8	18,3	-11,7
49	239,9	19,5	8,8	205,8	-15,2	- 9,0
50	310,9	35,2	9,1	77,3	- 3,0	-15,5
51	277,3	32,2	27,9	121,1	1,0	- 4,0
52	319,6	25,7	35,2	212,7	3,5	- 3,8

! (-) = Inmovilización. (+) = Mineralización

Cuadro 11.- Análisis de variancia de la producción de CO₂ con la adición de material vegetal en los suelos estudiados.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Tratamientos	4	18,1124	4,5281	
Suelos	2	79,3083	39,6541	4,0802 ⁺
Trat x Fechas	8	84,2807	10,5350	
Fechas	5	2.092,1191	418,4237	43,0535 ⁺⁺
Trat x Fechas	20	311,2280	15,5613	
Suelos x Fechas	10	284,3500	28,4350	2,9258 ⁺⁺
Tra.x Suelos x Fech	40	351,7057	8,7926	
Repeticiones	1	14,1007	14,1007	9,7186 ⁺⁺
Error	89	864,9630	9,7186	
Total	179	4.099,2461		

+ Significativo (P =0,05) ++ Significativo (P =0,01)

Cuadro 12. Análisis de variancia de la producción de S-SO₄ con la adición de material vegetal en los suelos estudiados

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Tratamientos (T)	4	486,8565	121,7141	11,6947 ⁺⁺
Suelos(S)	2	127,7742	63,8871	5,8103 ⁺⁺
TS	8	146,9188	18,3648	
Métods. extracc.(M)	1	165,6773	165,6773	15,0677 ⁺⁺
TM	4	62,9029	15,7257	
SM	2	67,1971	33,5985	
TSM	8	214,1240	26,7655	2,4342 ⁺
Fechas(F)	1	7.608,1816	7.609,1816	69,1937 ⁺⁺
TF	4	557,1257	139,2814	12,6671 ⁺⁺
SF	2	66,7693	33,3846	3,0362 ⁺⁺
TSF	8	108,4773	13,5596	
MF	1	86,6982	86,6982	7,8849 ⁺⁺
TMF	4	123,9571	30,9892	
SMF	2	64,9393	32,4696	
TSMF	8	193,9489	24,2436	
Repeticiones(R)	1	75,9974	75,9974	6,9117 ⁺
Error	59	648,7147	10,9951	
Total	119	102806,2539		

+ Significativo (P = 0,05) Significativo (P = 0,01)