

EFFECTO DE DIFERENTES FUENTES Y NIVELES DE AZUFRE EN LA  
COMPOSICION Y CRECIMIENTO DEL ALGODONERO

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Gerardo Francisco Ramírez Martínez



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales  
Turrialba, Costa Rica  
Mayo, 1971

EFFECTO DE DIFERENTES FUENTES Y NIVELES DE AZUFRE EN LA  
COMPOSICION Y CRECIMIENTO DEL ALGODONERO

Tesis

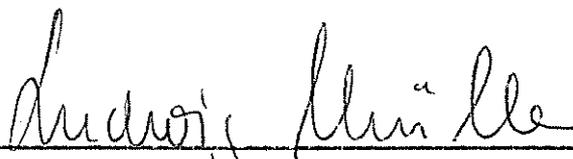
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados  
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



Ludwig E. Müller, Ph.D.

Consejero



José Fargas, Ph.D.

Comité



Jorge Montoya, D.Sc.B.

Comité



Edilberto Camacho, M.A.

Comité

Mayo, 1971

A mis padres

A mis hermanos

AGRADECIMIENTO

El autor agradece sinceramente:

Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA por haberle concedido la beca que hizo posible sus estudios de postgrado.

Al Dr. Ludwig E. Müller, Consejero Principal, por su acertada dirección y constante apoyo.

A los señores miembros del Comité: Doctores José Fargas, Jorge Montoya e Ing. Edilberto Camacho por sus oportunos consejos y revisión de este trabajo.

Al Dr. Gilberto Páez por su ayuda en el procesamiento e interpretación estadística de los resultados obtenidos.

Al personal auxiliar del Laboratorio de Fisiología Vegetal del IICA-CTEI por su colaboración, especialmente en el aspecto de análisis químicos.

A los profesores, colegas y a todas las personas, que en una u otra forma hicieron posible la realización de este trabajo.

## BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Heredia, Costa Rica, el 4 de octubre de 1945.

Realizó sus estudios primarios y secundarios en su ciudad natal.

En 1963 ingresó a la Universidad de Costa Rica, concluyendo sus estudios de Ingeniero Agrónomo en 1968.

Durante 1968 y 1969 prestó sus servicios como Consultor en Agricultura al Instituto Centroamericano de Extensión de la Cultura (ICECU). Actualmente labora con el Ministerio de Agricultura y Ganadería de su país, en las ramas de Fertilidad de Suelos y Nutrición Mineral de las Plantas.

En setiembre de 1969 ingresó al Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica, finalizando sus estudios en mayo de 1971.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION .....	1
2. REVISION DE LITERATURA .....	4
2.1. El azufre en el suelo .....	4
2.1.1. Contenido .....	4
2.1.2. Formas .....	5
2.1.3. Mineralización del azufre .....	7
2.1.4. Oxidación del azufre inorgánico .....	9
2.1.5. Pérdidas de azufre en el suelo .....	10
2.1.6. Aporte de azufre en el suelo .....	11
2.1.7. Adsorción de sulfatos en el suelo .....	13
2.1.8. Incidencia de la deficiencia de azufre en el mundo .....	15
2.2. El azufre en las plantas .....	16
2.2.1. Necesidades de azufre de las plantas ....	16
2.2.2. Funciones del azufre en las plantas .....	17
2.2.3. Síntomas visibles de deficiencia de azu- fre en las plantas .....	18
3. MATERIALES Y METODOS .....	20
3.1. Manejo del experimento .....	20
3.1.1. Invernadero .....	20
3.1.2. Suelo .....	20
3.1.3. Macetas .....	21
3.1.4. Planta .....	21
3.1.5. Tratamientos .....	21
3.1.6. Agua y métodos de riego .....	23
3.1.7. Muestreo .....	23
3.2. Determinación de sulfatos solubles en el suelo (azufre disponible) .....	24
3.3. Análisis químico de las muestras vegetales .....	25
3.3.1. Preparación de las muestras .....	25
3.3.2. Digestión de las muestras .....	25
3.3.3. Determinaciones químicas .....	26

	<u>Página</u>
4. RESULTADOS Y DISCUSION .....	28
4.1. Síntomas visibles de deficiencia de azufre .....	28
4.2. Manifestaciones del crecimiento a las 12 semanas	30
4.3. Composición química de las plantas a las 12 se- manas .....	34
4.3.1. Hojas .....	34
4.3.2. Tallos .....	38
4.4. Variación de la composición química del algodone ro y del azufre disponible durante las prime- ras 10 semanas .....	41
4.4.1. Introducción .....	41
4.4.2. Formas nitrogenadas en las plantas .....	42
4.4.3. Formas azufradas en las plantas .....	44
4.4.4. Relaciones nitrógeno/azufre en las plan- tas .....	46
4.4.5. Contenido de P, K, Ca y Mg en las plan- tas .....	46
4.4.6. Azufre disponible en el suelo .....	49
4.5. Correlaciones nitrógeno-azufre en el sistema suelo-planta durante las primeras 10 semanas.	52
5. CONCLUSIONES .....	55
6. RESUMEN .....	57
6a. SUMMARY .....	59
7. LITERATURA CITADA .....	61
APENDICE .....	72

## LISTA DE CUADROS

Cuadro Nº		Página
1	Tratamientos .....	22
2	Algunas características fenológicas de las plantas de algodón a las 12 semanas de edad .	31
3	Composición química de las hojas a las 12 semanas .....	35
4	Composición química de los tallos a las 12 semanas .....	39
5	Ecuaciones de regresión de las formas nitrogenadas en plantas de algodón .....	43
6	Ecuaciones de regresión de las formas azufradas en plantas de algodón .....	45
7	Ecuaciones de regresión de las relaciones N y S total y orgánico de plantas de algodón ....	47
8	Ecuaciones de regresión de P, K, Ca y Mg en plantas de algodón .....	48
9	Ecuaciones de regresión del azufre disponible en el suelo con y sin plantas .....	50
10	Correlaciones nitrógeno-azufre en el sistema suelo-planta durante las primeras 10 semanas.	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura Nº		<u>Página</u>
1	Efecto de la dosis de azufre en el peso seco de la parte aérea de plantas de algodón ....	33
2	Efecto de la dosis de azufre en el peso seco de las bellotas de plantas de algodón .....	33
3	Efecto de la dosis de azufre en la relación N/S de hojas del algodónero .....	36
4	Efecto de la dosis de azufre en el % de S total de hojas del algodónero .....	36
5	Efecto de la dosis de azufre en la relación N/S del tallo del algodónero .....	40
6	Efecto de la dosis de azufre en el % de S total del tallo del algodónero .....	40

## 1. INTRODUCCION

La esencialidad del azufre en el crecimiento de las plantas se conoce desde los tiempos de Justus von Liebig. Dada la cantidad necesitada por éstas, se le incluye dentro del grupo de los macronutrientes junto con el N, P, K, Ca, y Mg. El azufre forma parte de los aminoácidos cisteína, cistina y metionina. Por eso, todas las proteínas de las plantas contienen azufre. La tiamina y la biotina, vitaminas con funciones coenzimáticas, también contienen azufre. Ciertos glucósidos responsables del olor y sabor característicos de muchas plantas también tienen este elemento como componente. La función metabólica más importante del azufre lo constituye el hecho de que el grupo sulfhidrilo ( $-SH$ ) es el grupo activo de muchas enzimas que intervienen relevantemente en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas.

Las necesidades de azufre varían en las diferentes especies; pero en general, son similares a las del fósforo y aún mayores en ciertas plantas de gran importancia económica, tales como la remolacha azucarera, el repollo, la alfalfa, la cebolla, el algodón, el arroz, el café y la caña de azúcar (59, 76, 80, 89, 122, 129).

El azufre es absorbido casi exclusivamente como sulfato por las raíces de las plantas. Las hojas pueden absorber cantidades considerables de azufre como dióxido ( $SO_2$ ) el cual luego es utilizado en su metabolismo (43, 66, 96, 120, 129). Sin embargo, si su concentración en el aire es alta, causa toxicidad en las plantas (118, 120, 122). Compuestos orgánicos de bajo peso molecular como los aminoácidos cisteína y metionina que contienen azufre, también pueden ser

absorbidos del suelo por las raíces de las plantas (58, 80, 109), pero normalmente no constituyen una fuente de azufre importante para las plantas superiores.

A pesar de la gran importancia del azufre en el metabolismo vegetal y de la alta cantidad que de este nutrimento necesitan los cultivos, no ha sido sino hasta las dos últimas décadas que se comenzó a dar importancia a este elemento en la agricultura, motivada por la aparición de deficiencias en muchas partes del mundo.

Estos casos de deficiencia de azufre, aparecidas en los últimos años, se explican por las siguientes razones (15, 122):

- a) La tendencia moderna hacia el uso de fertilizantes más concentrados en los macronutrientes primarios (N, P y K), que entonces carecen de azufre.
- b) La disminución en la concentración de compuestos azufrados en la atmósfera y en la lluvia como consecuencia de un descenso en el consumo de combustibles que contienen azufre.
- c) La disminución en el uso del azufre como insecticida y fungicida.
- d) La introducción de variedades de cultivos que necesitan mayores cantidades de nutrimentos.

Como consecuencia de lo citado anteriormente, se están realizando ahora muchas investigaciones relacionadas con la química del azufre en el suelo y los factores que afectan el suministro de este elemento esencial a las plantas, así como también el efecto de diferentes fertilizantes azufrados en el rendimiento y composición de las plantas. Por cuanto estas investigaciones son recientes, todavía

existen muchos aspectos no aclarados sobre las relaciones del azufre en el sistema suelo-planta, sobre todo en las áreas tropicales donde la investigación agrícola está aún en estado incipiente. Habida cuenta de esta situación, se decidió efectuar este trabajo de investigación relacionado con algunos aspectos del azufre en el sistema suelo-planta.

Sus objetivos fueron:

- a) Determinar el efecto de distintas fuentes y dosis de azufre sobre la disponibilidad de este nutrimento, medida a intervalos de de finidos, en un suelo bajo en azufre disponible, con y sin plantas.
- b) Correlacionar la cantidad de azufre disponible con el contenido de azufre total y de sulfatos en las plantas.
- c) Estudiar la influencia del contenido de azufre en las plantas en el metabolismo del nitrógeno.
- d) Comparar fuentes y dosis de azufre en su efecto en la producción de materia seca.
- d) Estudiar el efecto del contenido de azufre en las plantas en la acumulación y distribución de otros nutrimentos.

## 2. REVISION DE LITERATURA

Existen varias revisiones de literatura sobre los diferentes aspectos del ciclo del azufre, especialmente en lo que concierne a los factores que afectan su disponibilidad a las plantas. Las principales son: Gilbert (60), Jordan y Ensminger (72), Freney, Barrow y Spencer (56), Walker (126), Williams (130), Stewart (112), Eaton (41), Whitehead (129) y The Sulphur Institute (117).

### 2.1. El azufre en el suelo

#### 2.1.1. Contenido

El contenido de azufre en el suelo es muy variable, dependiendo del material parental, tipo de arcilla predominante, textura del suelo y precipitación pluvial. El azufre total del suelo puede estar comprendido entre cerca de 0 (46, 81, 129) y varios miles de partes por millón (18, 129). Sin embargo, la mayoría de los suelos contienen entre 100 y 500 partes por millón de azufre (109). El contenido en las rocas ígneas oscila entre 500 y 3.000 partes por millón de azufre, principalmente como sulfuros de hierro, de cobre y de níquel, siendo estos minerales más abundantes en las rocas básicas (129). Durante la meteorización los sulfuros se transforman en sulfatos, los cuales se acumulan en las rocas sedimentarias. En los suelos se encuentra principalmente como sulfato de calcio (yeso), de magnesio (epsomita), de zinc (esfalerita), de hierro (pirita), y de hierro y cobre (calcopirita), además de los compuestos orgánicos de azufre que son los más importantes.

## 2.1.2. Formas

### 2.1.2.1. Sulfuros

La mayor parte del azufre inorgánico de los suelos se encuentra en forma de sulfatos. Sin embargo, bajo condiciones anaeróbicas cantidades considerables de sulfatos pueden reducirse y pasar a la forma de sulfuros (130), transformación llevada a cabo principalmente por los bacterios del género Desulfovibrio (1). El arroz que con frecuencia se cultiva bajo condiciones de inundación puede ser dañado por el sulfuro de hidrógeno (33, 61, 109, 122), toxicidad conocida con el nombre de Akiochi (61, 122). Esta enfermedad no se presenta en el arroz inundado cuando los suelos contienen cantidades adecuadas de hierro, debido a que el sulfuro de hidrógeno es precipitado como sulfuro de hierro (61, 122). Por otro lado, los nitratos pueden inhibir la reducción de los sulfatos bajo condiciones reductoras (110).

En la mayoría de los suelos bajo condiciones normales de aeración, las cantidades de compuestos reducidos de azufre son pequeñas y representan menos del 1 por ciento del azufre total (55).

### 2.1.2.2. Sulfatos

Los sulfatos representan la forma de absorción del azufre por las plantas. Las formas más importantes de sulfatos en los suelos incluyen a los solubles en agua, a los adsorbidos y a los insolubles. Los sulfatos solubles de sodio, magnesio y calcio, con excepción de suelos bajo condiciones extremadamente áridas o con drenaje deficien

te, son escasos en los horizontes superficiales, pues son lixiviados con facilidad y se acumulan en el subsuelo (6, 46, 64, 71, 84, 92, 106, 130).

Los sulfatos de bario y estroncio son extremadamente insolubles y el suelo sólo contiene trazas de ellos (130). El sulfato de calcio tiene una solubilidad baja pero lo suficientemente alta para ser de importancia para la nutrición de las plantas. Si las plantas no absorben los sulfatos producidos a partir de la disolución del sulfato de calcio, éstos se pierden fácilmente por lixiviación. En los suelos calcáreos, por lo general, la mayor parte del azufre del suelo se presenta como una impureza co-cristalizado en el carbonato de calcio. Esta forma de azufre es de muy poca o ninguna disponibilidad para las plantas (134).

Un exceso de sulfatos en el suelo puede provocar una deficiencia de molibdeno (82) en las plantas.

#### 2.1.2.3. Azufre orgánico

La mayor parte del azufre del suelo en las regiones húmedas está en forma orgánica (1, 42, 53, 58, 76, 93); sólo un 10 a 15 por ciento del total es soluble en agua en forma de sulfatos (76). En estos suelos, la descomposición de la materia orgánica constituye la principal fuente de azufre disponible para las plantas, a no ser que se usen fertilizantes azufrados (65, 93, 129). En los suelos donde el contenido de materia orgánica es alto, es recomendable determinar el azufre orgánico con el fin de estudiar la disponibilidad potencial de azufre de los mismos (7, 48).

La transformación del azufre orgánico a sulfato es llevada a cabo lentamente por los microorganismos del suelo (1). Las sustancias húmicas del suelo acusan una relación N:S casi constante de 8 a 12 : 1 (125, 129).

### 2.1.3. Mineralización del azufre

La mineralización del azufre de la materia orgánica depende de la relación C:S de la misma, de igual manera que la mineralización del nitrógeno depende de la relación C:N del material en descomposición (1, 8, 9, 10, 11, 113). Barrow (10) indicó que para que la mineralización de la materia orgánica fresca se lleve a cabo durante un tiempo de 12 semanas, ésta debía tener una relación C:S cerca de 250 : 1 o menor.

Estudios de incubación han puesto de manifiesto que por lo general no existe similitud entre la relación N:S del material mineralizado y la relación N:S en la materia orgánica. Normalmente se mineraliza más nitrógeno que azufre (11, 65, 128, 131). Freney y Stevenson (58) expusieron las siguientes razones que tratan de explicar por qué N y S no se liberan de la materia orgánica del suelo en la misma relación como se encuentran en ésta: a) el N y S que se mineralizan pueden no encontrarse en los mismos compuestos y por lo tanto no podrían liberarse al mismo tiempo; b) la inclusión de residuos vegetales con relaciones N:S altas, pueden causar una mayor inmovilización de S en relación a N; c) la presencia de cantidades considerables de los iones Ba y Ca pueden enmascarar la liberación de sulfatos por la formación de sulfatos insolubles, los cuales no

serían extraídos; y d) el secado al aire del suelo antes de la extracción puede afectar la liberación de N y S de manera diferencial.

En suelos bajo cultivo ocurren simultáneamente disminuciones en los contenidos de N y S. Bajo estas condiciones se ha encontrado que poco cambio ocurre en la relación N:S (130), lo que indica que a la postre, el nitrógeno y el azufre son mineralizados en proporciones similares a las que se encuentran en la materia orgánica.

Además de la mineralización microbiana, el azufre orgánico puede oxidarse en los suelos por secado (11, 54, 131, 134) o calentamiento (11, 107, 123, 131, 132).

Varios investigadores han encontrado que el carbonato de calcio aumenta la mineralización del azufre (128, 131, 134); sin embargo, este efecto no fue confirmado por Hesse (65). Freney y Stevenson expusieron las siguientes razones para explicar el efecto sinérgico del carbonato de calcio en la mineralización del azufre: a) los bacterios que intervienen en la mineralización crecen mejor al subir el pH; b) hidrólisis de la materia orgánica del suelo a pH alcalino, con la consiguiente liberación de sulfatos; c) liberación de los sulfatos adsorbidos en los sitios de intercambio del suelo debido al aumento de pH; y d) adición de sulfatos como impurezas del carbonato de calcio.

Por otra parte, se ha logrado comprobar que el crecimiento de las plantas en el suelo aumenta la mineralización del azufre en la materia orgánica (57, 94). Este incremento puede atribuirse a la excreción de enzimas por las raíces de las plantas, que catalizan

la descomposición de la materia orgánica (97, 103). Otra posibilidad es que el aumento de la mineralización se deba a la acción de los microorganismos de la rizosfera (58, 104).

#### 2.1.4. Oxidación del azufre inorgánico

El azufre puede aplicarse al suelo en muchas formas. Sin embargo, el azufre elemental y algunos de los compuestos con azufre reducido tales como los sulfuros, polisulfuros y tiosulfatos, que ocupan poco volumen por unidad de peso de azufre, tienen por lo general mayor preferencia que los sulfatos (23).

Antes de que las plantas puedan hacer uso del azufre contenido en esas formas reducidas de este elemento, éstas deben oxidarse en el suelo para pasar a la forma de sulfatos. Esta transformación se lleva a cabo principalmente por la acción de varios de los microorganismos del suelo, de los cuales, los bacterios pertenecientes al género Thiobacillus son los más importantes (1, 23). Los bacterios de este género son quimoautótrofos obligados, en su mayor parte, que derivan su energía de la oxidación del azufre reducido a sulfato, transformación que realizan con rapidez (110). Otros diversos microorganismos poco estudiados pueden también efectuar la oxidación del azufre inorgánico.

Además de la oxidación biológica, existe la auto-oxidación u oxidación química. Así, los sulfuros, el azufre elemental y los tiosulfatos pueden ser lentamente oxidados en el suelo por medios no biológicos (1, 23), pero la importancia de este proceso es insignificante comparada con la oxidación biológica.

La actividad de los microorganismos es influenciada por muchos factores ambientales como temperatura, humedad, aeración, pH y otros. En el caso del azufre elemental, el tamaño y distribución de las partículas dentro de la masa del suelo son también importantes. En general, entre más finamente divididas y mejor distribuidas estén las partículas en el suelo, más rápida es la oxidación del azufre (23).

#### 2.1.5. Pérdidas de azufre en el suelo

##### 2.1.5.1. Productos agrícolas cosechados

La extracción de azufre del suelo que hacen los cultivos está comprendida entre 7 y 38 kg por ha por año (129). Los cultivos como el repollo que extraen grandes cantidades de azufre de los cuales un alto porcentaje de la materia verde total producida es cosechada, em pobrecen más rápidamente el suelo en ese nutrimento.

##### 2.1.5.2. Lixiviación

Las pérdidas por lixiviación están influenciadas por varios factores incluyendo: textura, tipo de arcilla predominante, presencia de óxidos hidratados de hierro y aluminio, precipitación, drenaje, topografía y temperatura. Las pérdidas pueden ser considerables en los suelos arenosos (56). Experimentos realizados con lisímetros indicar que las pérdidas de azufre por lixiviación varían desde trazas hasta cantidades tan altas como 285 kg por ha por año (64).

##### 2.1.5.3. Erosión

Entre los daños que la erosión causa a los terrenos deben

considerarse las cantidades de nutrimentos que se pierden con el suelo que es arrastrado. Análisis químicos de suelos erosionados de los Estados Unidos indicaron un tenor de azufre que representaba la mitad del suelo original (116).

Las pérdidas de azufre por medio de las aguas de escorrentía varían entre 0,9 y 13 kg por ha por año (56); sin embargo hay informes de pérdidas que sobrepasan 40 kg (60).

#### 2.1.5.4. Fuego

Las quemas de materiales vegetales ocasionan la pérdida de aproximadamente la mitad de su contenido de azufre (130), lo cual constituye otra causa de empobrecimiento de los suelos en este elemento en los lugares donde se acostumbra quemar los rastrojos de las cosechas.

#### 2.1.6. Aportes de azufre en el suelo

##### 2.1.6.1. Atmósfera

El azufre es liberado a la atmósfera de varias fuentes, algunas de las cuales son obra de la naturaleza y otras, resultado de la actividad humana. Las fuentes más importantes de azufre atmosférico son (130): a) el dióxido de azufre producido por la combustión del carbón y otros combustibles; b) el sulfuro de hidrógeno liberado por descomposición anaerobia de restos biológicos en el mar; y c) los sulfatos transportados tierra adentro por la brisa marina.

En las áreas industriales y costeras, el azufre atmosférico puede llegar a satisfacer las necesidades de los cultivos (130).

El sulfuro de hidrógeno, una vez en la atmósfera, es oxidado a dióxido de azufre y finalmente a trióxido de azufre (129).

La mayor parte del azufre atmosférico penetra al suelo disuelto en el agua de las lluvias; además, pequeñas cantidades pueden ser absorbidas directamente de la atmósfera por el suelo (87, 130).

Mckell y Williams (87) efectuaron análisis químico del agua de lluvia caída en una misma área durante un año. El contenido de azufre varió de 0,50 a 4,70 ppm.

El aporte de azufre al suelo por medio de la precipitación, puede variar desde menos de 1 kg por ha por año en tierras continentales lejos de fábricas, hasta valores alrededor de 100 kg, en áreas cercanas a los grandes centros industriales (60, 129). Sin embargo, la continua disminución en los últimos años del carbón y otros combustibles fósiles, ha hecho descender considerablemente esta fuente de azufre (15, 117, 122).

#### 2.1.6.2. Fertilizantes

Algunos de los fertilizantes que contienen azufre son usualmente aplicados por su contenido en N-P-K o como enmienda del suelo (15, 117). Entre estos materiales tenemos el superfosfato simple (12-14% S), el sulfato de amonio (24,2% S) y el sulfato de potasio (17-18% S). Además, la mayoría de las fuentes de micronutrientes contienen azufre (15), oscilando su contenido entre 13 y 18%.

Los fertilizantes más corrientemente usados para suministrar azufre son: a) el azufre elemental (85-99% S), b) el sulfato de calcio dihidratado (yeso), c) los polisulfuros y tiosulfatos, y

d) los sulfatos de potasio y sodio como fuentes de azufre rápidamente disponible. El uso del sulfato de potasio, además es recomendado para suministrar potasio en cultivos como la papa y el tabaco que son susceptibles a toxicidad del cloro, presente en el muriato de potasio (122), aparte de producir efectos indeseables en su calidad.

La elección del fertilizante azufrado debe hacerse teniendo en consideración factores como: costo, disponibilidad y problemas del suelo y del cultivo (15, 117). El azufre suministrado en los fertilizantes está en menor o mayor grado expuesto a la lixiviación, especialmente en suelos arenosos (87, 111, 126, 129, 130). Este hecho tan importante debe tomarse en cuenta en las prácticas de fertilización para asegurar un máximo aprovechamiento por las plantas del azufre aplicado (25, 129).

Además de las fuentes mencionadas anteriormente, el suelo puede recibir azufre mediante las aguas de riego, abonos orgánicos y fungicidas e insecticidas que contienen azufre (117).

#### 2.1.7. Adsorción de sulfatos en el suelo

Lichtenwalner et al. (78) encontraron hace cerca de media centuria, que los óxidos hidratados de hierro y aluminio tenían la capacidad de adsorber sulfatos. Pocos años más tarde Mattson, citado por Ensminger (46), demostró que algunos coloides del suelo adsorbían considerables cantidades de sulfatos, fenómeno que se hacía más intenso al aumentar la acidez del suelo.

Los suelos difieren grandemente en su capacidad de retener los sulfatos (26, 46, 130). Los principales factores que afectan la

adsorción de sulfatos en los suelos son: a) tipo de arcilla predominante; b) presencia de óxidos hidratados de hierro y aluminio; c) pH; d) encalado; y e) fosfatos (26, 46, 130).

Los suelos con un contenido alto de caolinita, óxidos hidratados de hierro y aluminio, representados principalmente por los oxisoles, por lo general retienen considerables cantidades de sulfatos (17, 18, 19, 24, 25, 46, 73, 79, 101).

Según Ensminger (46) y Chao et al. (26, 28), los óxidos hidratados de aluminio adsorben sulfatos en mayor cantidad que cualesquiera de los otros compuestos del suelo. La adsorción parece ser insignificante con pH mayores de 6,5 (133) y aumenta al disminuir el pH (26, 28, 46, 73, 84, 133). Diferentes autores han indicado que los fosfatos (19, 25, 46, 73, 79) y el encalado (25, 44, 46, 86) causan una disminución en la adsorción de sulfatos. Chao et al. (25) encontraron que el encalado tenía un efecto más pronunciado en disminuir la adsorción de sulfatos que la aplicación de fosfatos.

Existe evidencia experimental que la adsorción de sulfatos es afectada por el catión asociado a la sal y por el catión predominante en el complejo de intercambio (27). Así, la adsorción de sulfatos en el suelo es mayor con el sulfato de calcio que con los sulfatos de potasio, de amonio y de sodio. Por otra parte, suelos en los que existen considerables cantidades de iones intercambiables de aluminio o de calcio muestran mayor adsorción de sulfatos, que cuando los iones monovalentes potasio o sodio predominan en el complejo coloidal.

Existen evidencias de que el sulfato adsorbido en el complejo coloidal del suelo es asimilado por las plantas y que en algunos suelos constituye una fuente importante de azufre (12, 46, 73, 106, 107, 134).

Chao et al. (26) propusieron posibles mecanismos que intervienen en la adsorción de los sulfatos por los suelos: a) intercambio aniónico debido a las cargas positivas desarrolladas a pH bajos sobre los óxidos hidratados de hierro y/o aluminio, o sobre las aristas de los cristales de las arcillas, especialmente caolinita; b) retención de los iones sulfato por los complejos Al-OH por medio de coordinación; c) "adsorción salina" que resulta de la atracción entre la superficie en los coloides del suelo y la sal que contiene azufre; y d) desarrollo de cargas positivas de la materia orgánica debido a sus propiedades anfotéricas, fenómeno que ocurre bajo ciertas condiciones específicas.

#### 2.1.8. Incidencia de la deficiencia de azufre en el mundo

Existen numerosos informes de deficiencias de azufre en diferentes partes del mundo, los cuales han venido apareciendo con una frecuencia cada vez mayor en los últimos años (32, 56, 117, 129). En América Latina se conocen áreas deficientes en Brasil (83, 84), El Salvador (52, 91), Costa Rica (18, 62, 91), Honduras, Venezuela, Chile y Argentina (117).

## 2.2. El azufre en las plantas

### 2.2.1. Necesidades de azufre en las plantas

Las necesidades de azufre de las plantas varían considerablemente de acuerdo con las diferentes especies. La remolacha azucarera y plantas pertenecientes a las familias Cruciferae (v. gr., repollo, rábano) y Liliaceae (v. gr., cebolla, ajo), tienen necesidades particularmente altas de azufre, mientras que plantas como la papa y en general las gramíneas, muestran necesidades relativamente bajas de este nutrimento (13, 32, 76, 129).

Dijkshoorn et al. (38) propusieron una manera de determinar las necesidades de azufre en las plantas, la cual consiste en estudiar en los tejidos vegetales la relación nitrógeno orgánico: azufre orgánico. De acuerdo con esos autores la relación N:S en los compuestos orgánicos era de 17:1 y tendía a ser constante en las distintas especies. Un aumento en la relación N orgánico: S orgánico respecto al valor citado, indicaba una deficiencia de azufre, debido al incremento de compuestos orgánicos nitrogenados con un contenido bajo de azufre. Dijkshoorn y Van Wijk (39) hicieron recientemente una detallada revisión de literatura sobre el contenido de formas azufradas y nitrogenadas en diferentes cultivos. Encontraron que la relación N orgánico: S orgánico era de 14:1 en las gramíneas y de 17:1 en las leguminosas. Experimentos de varios investigadores (113, 114, 115) han corroborado la validez de los conceptos de Dijkshoorn y colaboradores. Stewart y Porter (114) concluyeron después de estudiar resultados de sus propias investigaciones y de otros autores, que cuando

la relación N total:S total era de un valor superior a 16, esto ya indicaba una deficiencia de azufre la cual se acentuaba a medida que ese valor era mayor. Por otro lado, valores inferiores a 15 eran indicio de una acumulación de sulfatos. Estos investigadores hicieron la observación de que el último concepto no era aplicable a algunas especies como las del género Brassica, debido a que ellas contienen grandes cantidades de azufre orgánico en compuestos no proteicos.

### 2.2.2. Funciones del azufre en las plantas

Las siguientes son las principales funciones del azufre en las plantas (2, 32, 72, 80, 119): a) forma parte de los aminoácidos cisteína, cistina y metionina, y de las vitaminas biotina y tiamina. Además, es componente de la coenzima A y de la glutatona; b) activa ciertas enzimas proteolíticas como las papainasas, ejemplos de las cuales son la papaína, la bromelina y la ficina; c) está presente en los aceites de la familia de la mostaza y de la cebolla; d) aumenta el contenido de aceite en cultivos como el lino y la soja; e) las uniones disulfúricas (-S-S-) parecen jugar un papel en la estructura del protoplasma; f) la cantidad de los grupos sulfhidrilos (-SH) en las plantas parece incrementar la resistencia a bajas temperaturas; y g) interviene en la síntesis de la clorofila.

El azufre desempeña un papel muy importante en el metabolismo, pues el grupo sulfhidrilo (-SH) es el grupo activo de muchas enzimas que intervienen en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas (119). La hexoquinasa y numerosas deshidrogenasas que se necesitan para las transformaciones respiratorias de los azúcares, son

enzimas-SH. Se cree que el ácido lipoico, que posee el grupo -S-S- que se reduce reversiblemente a -SH, es el aceptador de electrones en el primer paso fotoquímico de la fotosíntesis (80). La coenzima A (CoA) que se requiere para la activación de los ácidos grasos anterior de su oxidación, tiene un grupo activo -SH, que establece uniones tipo tioéster con radicales acilos, permitiendo su transferencia a otros compuestos.

El efecto de la deficiencia de azufre en el metabolismo de la planta puede apreciarse mediante el análisis químico: los aminoácidos y otros compuestos solubles nitrogenados se acumulan en los tejidos deficientes, concomitantemente con una reducción en la síntesis de proteínas (3, 41, 51, 121).

La aplicación de azufre en suelos deficientes en este nutrimento aumenta espectacularmente el crecimiento de las leguminosas (5). Algunos autores explican este efecto por un estímulo del azufre en la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico, realizada por los bacterios presentes en los nódulos de las raíces (121, 126, 127). Por otra parte, otros investigadores afirman que el exiguu crecimiento que muestran las leguminosas bajo las condiciones citadas, se debe a una deficiencia de azufre per se en estas plantas, y no a una precaria fijación simbiótica del nitrógeno (4, 5).

### 2.2.3. Síntomas visibles de deficiencia de azufre en las plantas

Las plantas afectadas por una deficiencia de azufre se caracterizan por los siguientes síntomas generales (117): a) crecimiento raquítico; producción reducida y retrasada; b) las hojas superiores

muestran clorosis que varía desde un verde claro a amarillento; c) en las leguminosas se reduce la formación de nódulos.

Sin embargo, con frecuencia los síntomas de deficiencia de azufre se pueden confundir con los relativamente similares de deficiencia de nitrógeno, sobre todo en ciertos cultivos como el tabaco, los cítricos y el algodón (117). En las plantas antes citadas, puede darse el caso de que algunas de las hojas viejas muestren primeramente los síntomas.

Generalmente las deficiencias incipientes de azufre pasan inadvertidas. Para detectarlas hay que recurrir a la realización de experimentos de campo, de invernadero y a análisis de laboratorio.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Manejo del experimento

##### 3.1.1. Invernadero

El experimento se llevó a cabo en un invernadero con techo de plástico y con paredes de malla fina, localizado en terrenos del IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica.

##### 3.1.2. Suelo

El suelo se recogió en la margen de la carretera Interamericana, 5 Km al Sureste de la Ciudad de Liberia, Provincia de Guanacaste, Costa Rica. El suelo en esa zona es muy superficial (10 a 15 cm de profundidad), formado a partir de una toba blanca tipo riolítico, con un contenido alto de cuarzo, originada por erupciones del Volcán Rincón de la Vieja en el Pleistoceno. Sus características químicas y mineralógicas han sido descritas (36, 40). Dóndoli (40) denominó esos materiales piroclásticos con el nombre de "Toba Blanca" y Dengo (36) con el de "Formación Liberia". Una vez colectado, el suelo fue secado al aire y después de triturarlo se hizo pasar por una criba con malla de 2 mm de diámetro. Una muestra representativa fue sometida a análisis químicos y físicos, cuyos resultados se encuentran en el Cuadro 1 del Apéndice. Antes de proceder a la siembra, el suelo fue tratado con bromuro de metilo con el fin de eliminar posibles microorganismos patógenos.

### 3.1.3. Macetas

Como macetas se utilizaron recipientes metálicos de 3 kg de capacidad, los cuales se recubrieron con pintura asfáltica en su interior para evitar la corrosión. Para facilitar el drenaje, en el fondo de las macetas se colocó una capa de 2 cm de grava bien lavada y compuesta de piedras de un diámetro promedio de 1 cm. A continuación, en todas las macetas se pusieron 3 kg del suelo seco y tamizado. Luego fueron colocadas sobre platos hondos para evitar la pérdida de la solución del suelo. De tiempo en tiempo, la solución contenida en el plato se adicionó al suelo para devolver los nutrientes lixiviados, especialmente sulfatos.

### 3.1.4. Planta

La planta experimental fue el algodónero (Gossypium hirsutum L.), cultivar Deltapine Smoothleaf 15. El algodónero es una planta de rápido crecimiento, de altas necesidades de azufre (72, 74) y la mayor parte de los cultivares son indiferentes a la longitud del fotoperíodo (22). Además, esta planta es un cultivo importante en muchas áreas del mundo deficientes en azufre.

### 3.1.5. Tratamientos

Como fuentes de azufre se usaron el azufre elemental, el sulfato de calcio dihidratado (yeso) y el sulfato de sodio.

Se aplicaron cinco niveles de azufre para cada fuente, a saber: 0, 20, 40, 80 y 160 kg/ha, dando un total de 15 tratamientos. Se omitieron dos testigos, dejando un testigo común y así, cada repeti-

ción constó de 13 tratamientos efectivos, los cuales aparecen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos.

Disoluciones Madres			Equivalente				Nota ción
Compuesto	g/l	ml/ maceta	Nutri- mento	% en el compuesto	mg/ maceta	kg/ha	
S	5	6	S	100,00	30	20	A <sub>0</sub>
"	5	12	"	100,00	60	40	A <sub>1</sub>
"	5	24	"	100,00	120	80	A <sub>2</sub>
"	5	48	"	100,00	240	160	A <sub>3</sub>
*CaSO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O	26,9	6	"	18,62	30	20	B <sub>0</sub>
"	26,9	12	"	18,62	60	40	B <sub>1</sub>
"	26,9	24	"	18,62	120	80	B <sub>2</sub>
"	26,9	48	"	18,62	240	160	B <sub>3</sub>
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	22,1	6	"	22,53	30	20	C <sub>0</sub>
"	22,1	12	"	22,53	60	40	C <sub>1</sub>
"	22,1	24	"	22,53	120	80	C <sub>2</sub>
"	22,1	48	"	22,53	240	160	C <sub>3</sub>
Testigo común						0	T

\* Suspensiones

Nota: Para fines de cálculo el azufre elemental ("flor de azufre") se supuso 100 por ciento puro.

El número de repeticiones fue de 15 de las cuales cinco se dejaron sin sembrar. Las macetas se colocaron en las mesas siguiendo un diseño de bloques al azar.

Se sembraron seis semillas en cada maceta y luego a las dos semanas se hizo un raleo para dejar únicamente tres plántulas.

Además, para efectos de comparación se sembraron semillas en macetas conteniendo suelo original o sea, sin recibir fertilización básica ni ningún otro tratamiento.

Previamente a la aplicación de los tratamientos el suelo recibió una fertilización básica de N, P, K, Ca, Mg y micronutrientes, según se indica en el Cuadro 2 del Apéndice, con el fin de evitar cualquier deficiencia de elementos esenciales.

#### 3.1.6. Agua y método de riego

En este ensayo se utilizó agua de lluvia recolectada del mismo techo plástico del invernadero, la cual antes de su aplicación se sometió a un proceso de deionización por medio de resinas. El agua se aplicó mitad sobre el suelo y mitad en el plato de retención para mantener condiciones hídricas homogéneas en la maceta. El suelo se mantuvo aproximadamente a capacidad de campo.

#### 3.1.7. Muestreo

Los muestreos se hicieron cada dos semanas a partir del momento de la siembra. El suelo contenido en cada una de las macetas correspondientes a los tratamientos respectivos, con y sin plantas, se mezcló bien y se hicieron varios "cuarteos" sucesivos hasta obtener un

tamaño de muestra adecuado. Las muestras de suelo se secaron al aire y se pasaron por una criba de 2 mm de diámetro. Asimismo las plantas se cosecharon para el análisis químico. Las plantas cosechadas en el primer muestreo se desecharon pues la cantidad de materia seca en este momento era insuficiente para realizar el análisis químico. En total se hicieron cinco muestreos.

La cosecha de las cinco repeticiones restantes con plantas, se efectuó dos semanas después del último muestreo (doce semanas después de la siembra). En esta oportunidad, las plantas se segmentaron en tres partes: tallos, hojas y bellotas, de las cuales a las dos primeras se les determinó la composición química para estudiar la distribución y acumulamiento de los diferentes nutrimentos.

### 3.2. Determinación de sulfatos solubles en el suelo (azufre disponible)

En esta determinación se siguió el método turbidimétrico de Chesnin y Yien (31), con la única variante de usar una pequeña cantidad de carbón activado para decolorar el extracto del suelo, técnica usada por algunos autores anteriormente (7, 163). A las soluciones patrones se les adicionó igual cantidad de carbón y se agitaron durante el mismo tiempo que las muestras, para evitar errores por cualquier posible adsorción o liberación de sulfatos por esa sustancia.

### 3.3. Análisis químico de las muestras vegetales

#### 3.3.1. Preparación de las muestras

Las muestras vegetales, una vez colectadas, se lavaron con una solución de HCl 0,1 N y luego con agua destilada para eliminar contaminaciones. Seguidamente se sometieron al secamiento en una estufa con corriente de aire a 70°C hasta alcanzar peso constante (72 horas). Las muestras se molieron en un molino Wiley intermedio provisto de una criba de 40 mallas por pulgada cuadrada y se mezclaron bien antes de proceder al análisis químico.

#### 3.3.2. Digestión de las muestras

Los tejidos vegetales se sometieron a una digestión húmeda con una mezcla nítrico-perclórica 5:1. La digestión se practicó en 0,50 g de muestra seca en un matraz de 125 ml, previa adición de 10 ml de la mezcla digestiva. La digestión tuvo lugar, primero en frío por un período de 24 horas y posteriormente se continuó en caliente hasta obtener una reducción del líquido a 2-3 ml. Para evitar pérdidas por salpique se colocó en la parte superior del matraz una trampa provista de un pequeño agujerón lateral para la salida de los gases. Después de enfriar se agregó agua caliente para disolver las sales y deshidratar el sílice, se filtró y se llevó a volumen en matraces aforados de 50 ml. En esta digestión se hicieron las determinaciones de azufre total, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

### 3.3.3. Determinaciones químicas

#### 3.3.3.1. Azufre total

Se determinó de acuerdo con el método propuesto por Lachica (77).

#### 3.3.3.2. Sulfatos

Se siguió el método de Johnson y Nishita (67).

#### 3.3.3.3. Nitrógeno total

Se siguió el método micro-Kjeldahl propuesto por Müller (90).

#### 3.3.3.4. Nitrógeno orgánico soluble en agua

Se tomó 1 gramo del material seco y molido y se añadieron 30 ml de agua destilada. Se agitó por espacio de 10 minutos y se filtró por papel de filtro Whatman N<sup>o</sup> 1. Del extracto se tomó una alícuota de 5 ml y se determinó el nitrógeno por el método micro-Kjeldahl.

#### 3.3.3.5. Nitrógeno total soluble en agua

Del extracto anterior se tomó una alícuota de 5 ml, se le adicionó 1 ml de mezcla digestiva de Kjeldahl (la misma usada para el N total), se procedió a la digestión y seguidamente se determinó el nitrógeno por el método ya mencionado.

#### 3.3.3.6. Nitratos

Esta fracción nitrogenada se obtuvo restando el nitrógeno orgánico soluble en agua del nitrógeno total soluble en agua.

### 3.3.3.7. Fósforo

El fósforo se determinó colorimétricamente con molibdato de amonio y ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfónico, como agente reductor, según el método descrito por Parks et al. (86).

### 3.3.3.8. Potasio, calcio y magnesio

Para las determinaciones de estos elementos se hicieron diluciones adecuadas en cada caso, y se efectuaron las lecturas correspondientes en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer modelo 303.

## 3.4. Análisis estadístico

El procesamiento estadístico de los datos se llevó a cabo en la Unidad de Estadística y Computación Electrónica del IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica, con la ayuda de una computadora IBM 1130.

Se obtuvieron ecuaciones de regresión, correlaciones, análisis de variancia y contrastes.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1. Síntomas visibles de deficiencia de azufre

A las cuatro semanas después de la siembra, las plantas testigo mostraron una ligera clorosis en las hojas superiores. A la semana siguiente se observó una condición similar en las plantas correspondientes a los niveles 20 y 40 Kg/ha de S de las fuentes S elemental y  $\text{CaSO}_4$ . Posteriormente la clorosis de tipo generalizado se acentuó y se extendió hacia las partes inferiores de las plantas afectadas, semejando a los síntomas de deficiencia de nitrógeno. Esta similitud entre los síntomas de deficiencia de nitrógeno y azufre en el algodónero fue también encontrado por Ergle y Eaton (51). Los testigos mostraron una clorosis más pronunciada de color verde limón, típico de la deficiencia de azufre. Llegó un momento (ocho semanas después de la siembra) en que el desarrollo de los síntomas visuales de la deficiencia cesó y luego la intensidad de los mismos disminuyó, fenómeno que continuó en los días siguientes hasta tal punto, que los síntomas de deficiencia de azufre desaparecieron, con excepción de las plantas testigo que mostraron siempre clorosis y crecimiento relativamente reducido. En los demás tratamientos no se observaron deficiencias conspicuas. Este hecho se puede explicar debido a que el azufre suministrado en cantidades bajas (20 y 40 Kg/ha) en forma de S elemental y  $\text{CaSO}_4$  no fue suficiente para satisfacer las necesidades de azufre del algodónero, el cual tiene un crecimiento muy rápido durante las primeras semanas de desarrollo. Valga mencionar

que el S elemental, para que pueda ser aprovechado por las plantas, primeramente debe ser oxidado a sulfato por los bacterios del suelo. Por otra parte, el yeso tiene una solubilidad sumamente baja. Es de importancia destacar que cuando se aplicó  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , en ningún nivel se presentó deficiencia de azufre. La corrección paulatina de la deficiencia de este nutrimento, antes mencionada, posiblemente se debió a que el ritmo de crecimiento de las plantas disminuyó y entonces los sulfatos producidos a partir de la oxidación del S elemental y de la disolución del yeso fueron suficientes para satisfacer las necesidades de azufre de las plantas y además, para corregir la deficiencia. También debe considerarse el aporte de los sulfatos derivados de la mineralización de la materia orgánica del suelo (5,09% M.O. en el suelo experimental), transformación que aunque lenta, es a la postre de gran significación en la utilización de azufre por las plantas (65, 75, 93, 129). Además, es importante recordar que los sulfatos son en alto grado trasladables en el algodonero. Ergle (50) cultivó inicialmente durante 30 días plantas de algodón con un adecuado suministro de azufre. Luego eliminó este elemento del medio nutricional y las plantas permanecieron en estas condiciones durante 35 días. Al final del experimento no se encontraron pérdidas en el contenido de azufre proteico y azufre orgánico soluble de las hojas viejas; sin embargo, un 70 por ciento de los sulfatos se trasladaron hacia los nuevos tejidos en desarrollo. Este azufre, suministrado a partir de los tejidos viejos, no fue suficiente para prevenir la **clorosis** en la parte superior de las plantas. Las hojas

viejas mantuvieron el color verde. Según Eaton (41), los sulfatos presentes en el sistema vascular, igual que la mayor parte de éstos en las hojas, exhiben alta movilidad y se consideran como la forma de reserva de azufre.

#### 4.2. Manifestaciones del crecimiento a las 12 semanas

En el Cuadro 2 se consignan distintas variables del crecimiento que exhibieron las plantas crecidas en substratos con diferentes fuentes y niveles de azufre.

Se encontró una respuesta lineal altamente significativa del peso seco de la parte aérea al incremento en el nivel de azufre, la cual se muestra en la Figura 1. A su vez, existió una diferencia altamente significativa entre el S elemental y los sulfatos, y de estos últimos el sulfato de sodio mostró una superioridad también altamente significativa respecto al sulfato de calcio.

Conviene destacar que la producción de materia seca de la parte aérea fue 20 veces mayor en las plantas testigo, las cuales recibieron sólo fertilización básica (Cuadro 2 del Apéndice), que las que crecieron en el suelo original. Esto pone de manifiesto que el suelo experimental no sólo era deficiente en azufre disponible, sino que presentaba otras deficiencias o desequilibrios nutricionales. En el Cuadro 1 del Apéndice se observa un contenido bajo de fósforo extraíble y relaciones bastante altas de  $Ca + Mg/K$  y  $Ca/Mg + K$ .

Chaves (30) encontró que la producción de materia seca de la parte aérea de plantas de tomate declinó al adicionarse una cantidad mayor de 160 Kg/ha de azufre.

Cuadro 2. Algunas características fenológicas de las plantas de algodón a las 12 semanas de edad\*.

Tratamientos	Peso seco parte aérea g	Número de bellotas	Peso seco bellotas g	Número de ramas	Altura plantas
T	38,3	6,9	4,1	12,6	65,0
A <sub>0</sub>	42,7	11,1	5,4	12,9	64,4
A <sub>1</sub>	50,2	14,7	6,8	19,5	69,8
A <sub>2</sub>	48,0	14,4	7,0	22,5	58,6
A <sub>3</sub>	51,8	12,0	7,7	15,9	58,4
B <sub>0</sub>	38,5	12,9	4,8	15,0	64,2
B <sub>1</sub>	50,9	12,3	6,3	16,2	71,6
B <sub>2</sub>	53,1	13,2	8,2	21,3	65,4
B <sub>3</sub>	61,2	13,1	9,1	23,7	66,4
C <sub>0</sub>	54,6	15,6	9,4	24,3	73,6
C <sub>1</sub>	57,2	16,2	9,3	24,0	67,2
C <sub>2</sub>	60,0	14,7	10,3	24,3	72,4
C <sub>3</sub>	64,0	15,3	10,9	25,2	63,8

\* Los datos se refieren a la producción promedio por repetición (tres plantas).

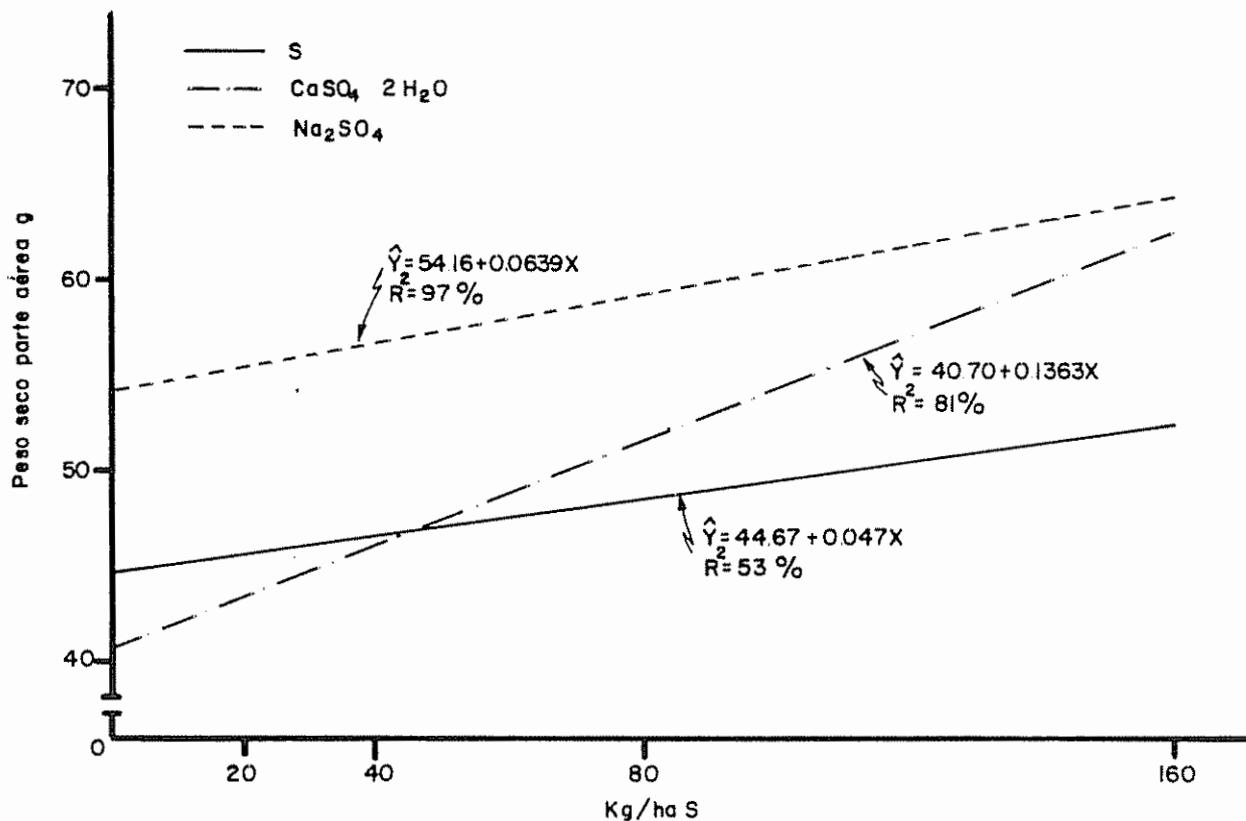


Fig.1 Efecto de la dosis de azufre en el peso seco de la parte aérea de plantas de algodón

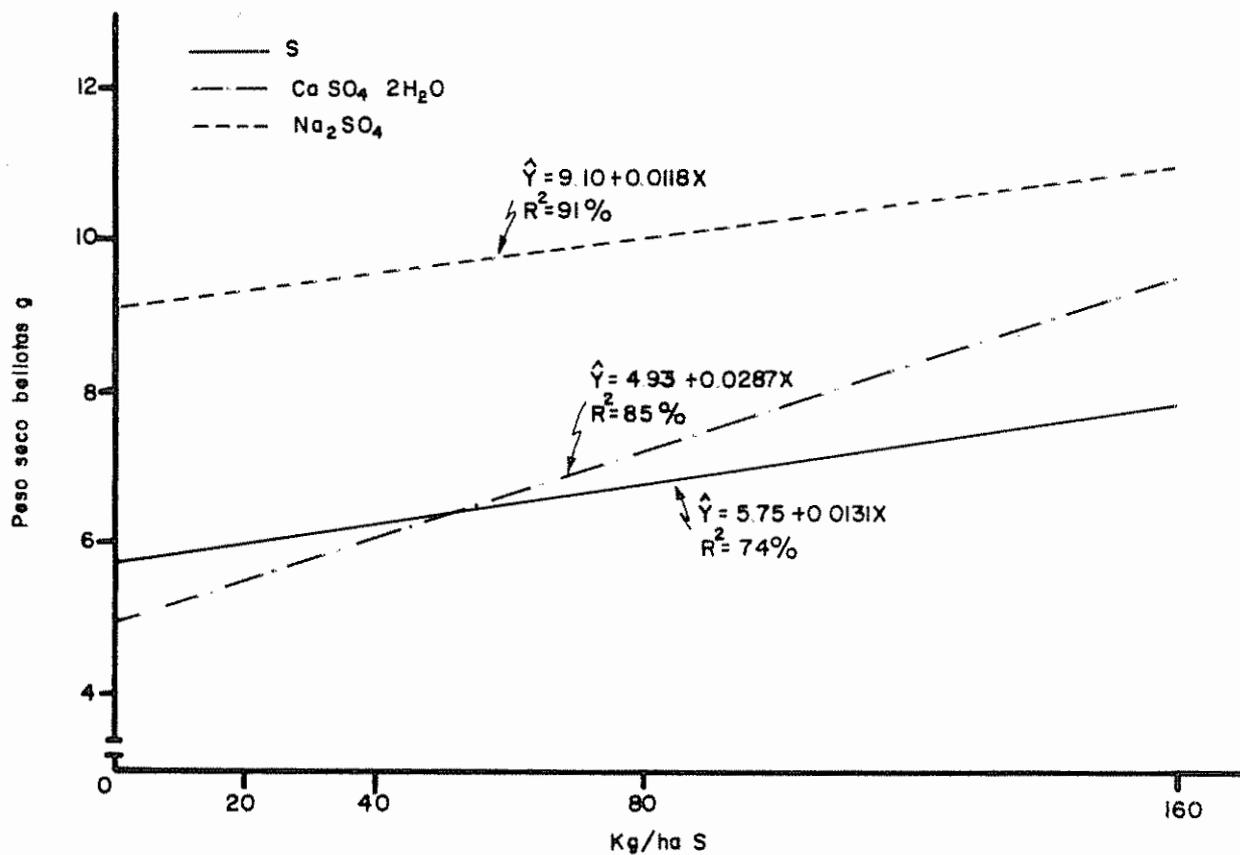


Fig.2 Efecto de la dosis de azufre en el peso seco de las bellotas de plantas de algodón

El número de bellotas no incrementó con la dosis de azufre. Las plantas crecidas con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  fueron las que mostraron el mayor número de bellotas.

El peso seco de las bellotas fue mayor a medida que se incrementó el nivel de azufre, tal como lo muestra la Figura 2. Valga mencionar aquí que existen numerosos informes provenientes de distintas partes del mundo, de respuesta del algodonero a la aplicación de azufre (4, 34, 45, 47, 63, 71, 73, 75, 85, 135). Esto constituye un estímulo para realizar investigaciones sobre el efecto de la fertilización azufrada en el rendimiento del algodonero.

El número de ramas también fue mayor con los niveles más altos de azufre. El sulfato de sodio fue la fuente que produjo un efecto más pronunciado en esa variable fenológica.

La altura de las plantas no mostró correlación con la cantidad de azufre aplicada. Por lo tanto este elemento no parece afectar esta característica tanto como las demás.

Para efectos de comparación entre el azufre elemental y las fuentes de sulfatos, debe considerarse además del hecho de estar el azufre en forma reducida en la primera fuente, y oxidado en las otras dos su efecto en el pH. Los sulfatos de calcio y de sodio prácticamente no afectan la acidez del suelo, mientras que el azufre elemental la aumenta (122). La disminución del pH puede afectar diferencialmente la disponibilidad de los elementos así como la flora microbiana, lo cual repercute en el crecimiento de las plantas. Al final del experimento se determinó el pH de los suelos correspondientes a los tratamientos y no se encontraron diferencias, lo cual indica

que esa baja en el pH es temporal.

#### 4.3. Composición química de las plantas a las 12 semanas

##### 4.3.1. Hojas

La composición química de las hojas se transcribe en el Cuadro 3.

Con excepción del azufre, no existieron diferencias grandes en el contenido de los elementos estudiados. En las Figuras 3 y 4 se muestran los efectos del azufre en la relación N/S y el contenido de S total en las hojas, respectivamente.

Se encontró un alto contenido de calcio, el cual fue similar en algunos casos superior al del nitrógeno. Esta propiedad del algodón de acumular grandes cantidades de calcio fue indicada por Cooper y Mitchell (35) quienes estudiaron la composición química de plantas de algodón cultivadas en diferentes tipos de suelos.

Las hojas de las plantas a las que se suministró sulfato de sodio, exhibieron un tenor de potasio relativamente bajo en comparación con las otras dos fuentes de azufre.

Se observó un mayor contenido de azufre total con el aumento de la dosis de azufre en el sustrato, lo cual concuerda con lo encontrado por Braud (20). Las hojas de plantas crecidas con S elemental mostraron los tenores más bajos de ese elemento.

Hubo una respuesta lineal altamente significativa de la relación N/S al aumento en la dosis de azufre. Además, se encontró una diferencia altamente significativa en la relación N/S entre el S elemental y los sulfatos de calcio y de sodio. Los mayores valores N/S

Cuadro 3. Composición química de las hojas a las 12 semanas\*.

Tratamientos	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	N/S
T	2,11	0,41	1,33	2,76	0,45	0,056	38,9
A <sub>0</sub>	1,88	0,37	1,31	2,26	0,28	0,052	36,7
A <sub>1</sub>	1,90	0,35	1,15	1,99	0,26	0,078	24,6
A <sub>2</sub>	1,79	0,37	1,19	1,99	0,27	0,115	15,8
A <sub>3</sub>	1,54	0,33	1,19	1,93	0,23	0,130	12,0
B <sub>0</sub>	1,70	0,42	1,23	2,22	0,23	0,078	22,3
B <sub>1</sub>	2,13	0,41	0,95	2,10	0,24	0,096	22,8
B <sub>2</sub>	1,89	0,45	0,91	1,60	0,26	0,129	18,0
B <sub>3</sub>	1,67	0,31	0,76	1,62	0,28	0,296	6,0
C <sub>0</sub>	1,63	0,33	0,65	2,00	0,30	0,070	23,8
C <sub>1</sub>	1,74	0,37	0,79	2,10	0,27	0,111	15,9
C <sub>2</sub>	1,84	0,36	0,73	2,22	0,30	0,185	10,4
C <sub>3</sub>	1,61	0,36	0,77	2,00	0,26	0,283	5,5

\* Datos promedio de análisis químicos duplicados de cinco repeticiones (tres plan-  
tas por repetición).

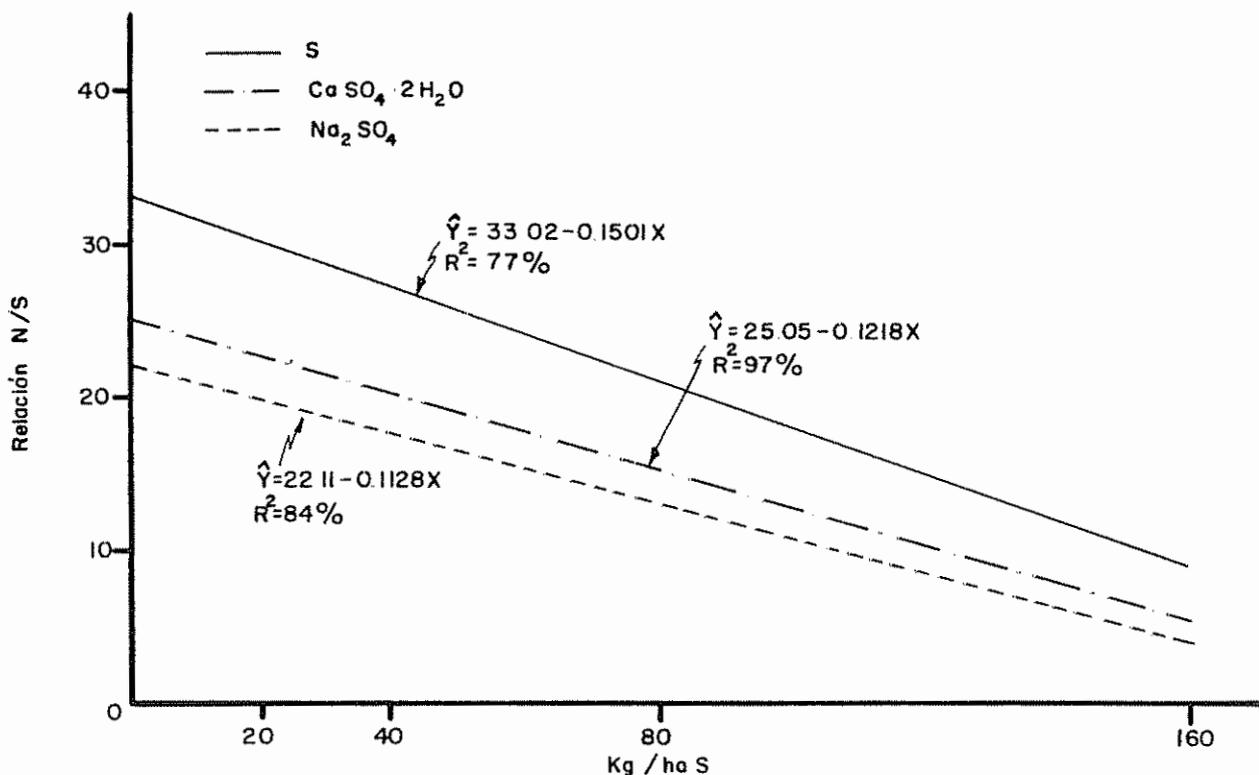
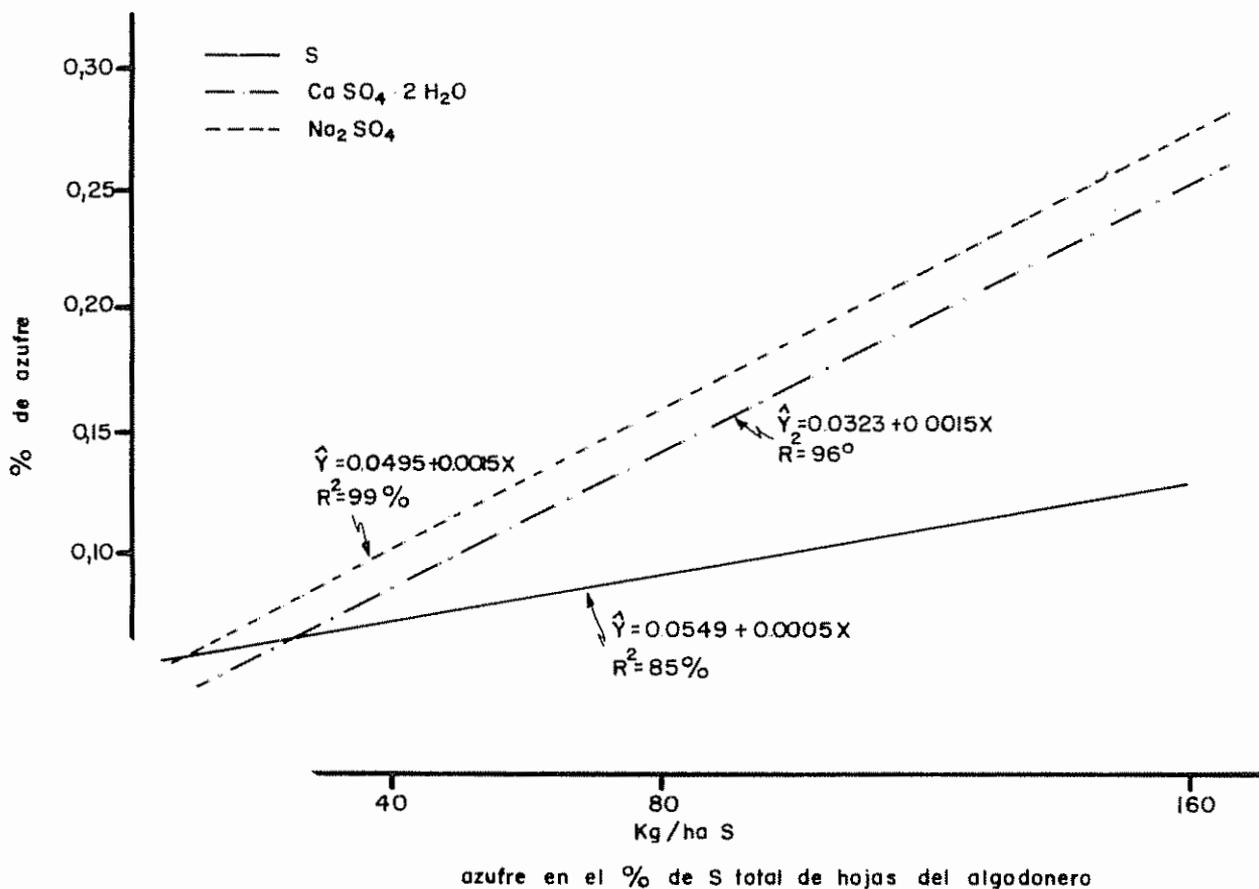


Fig. 3 Efecto de la dosis de azufre en la relación N/S de hojas del algodónero



fueron exhibidos por las plantas que crecieron con S elemental.

Dijkshoorn et al. (38) concluyeron mediante un análisis de los datos publicados por Ergle y Eaton (51), que una relación N/S de 17 en las hojas de algodón (de 65 días de edad) indicaba una nutrición adecuada de azufre. Siguiendo el criterio de que un valor N/S superior a 17 es indicio de una deficiencia de azufre (38, 39, 114), podemos deducir que las plantas con valores mayores a 17 eran deficientes en azufre, aunque la deficiencia no fuera conspicua. La deficiencia de azufre se acentúa a medida que el valor N/S es mayor. De acuerdo con lo anterior los niveles inferiores a 80 Kg/ha de S como S elemental, 80 Kg/ha de S como  $\text{CaSO}_4$  y 40 Kg/ha de S como  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  fueron entonces insuficientes para satisfacer las necesidades mínima del algodón en este caso.

Observando el contenido de azufre total de las hojas correspondientes a las relaciones N/S cercanas a 17, vemos que ese valor está alrededor de 0,12%, valor que es inferior al nivel crítico, pues a dosis mayores de azufre se encontró respuesta en la producción de materia seca de la parte aérea y de las bellotas. El contenido de azufre total (en %) en las hojas para el nivel de 160 Kg/ha de S fue el siguiente: 0,130 para el S elemental, 0,296 para el  $\text{CaSO}_4$  y 0,283 para el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , valores que son mayores que 0,12. Jordan (70) sugirió un valor crítico de 0,20% para pecíolos y hojas de plantas de algodón. Stanford y Jordan (108) indicaron un valor crítico de azufre de 0,13% para algodóneros maduros (plantas completas). Braud (20) a su vez, encontró respuesta a la fertilización azufrada en plantas de

algodón, cuyo contenido de azufre en las hojas acusaba un valor inferior a 0,25%.

#### 4.3.2. Tallos

La composición química de los tallos se indica en el Cuadro 4.

Con excepción del azufre, no se presentaron variaciones de importancia en el contenido de los elementos estudiados. En las Figuras 5 y 6 se muestran los efectos del azufre en la relación N/S y el contenido de S total en el tallo, respectivamente.

El tallo mostró un contenido menor de minerales que las hojas. El tenor de calcio en los tallos fue aproximadamente la cuarta parte que en las hojas y el de nitrógeno y azufre la mitad. Jones (68) igualmente encontró que el contenido de azufre tiende a ser más alto en las láminas de las hojas que en los tallos y pecíolos.

La relación N/S en los tallos siguió la misma tendencia que en las hojas: a medida que el suministro de azufre fue mayor, la relación mencionada tuvo valores más bajos. Los valores del por ciento de S total correspondientes a una relación N/S cercana a 17, no concordaron con los encontrados en las hojas. En conclusión: las hojas son las más indicadas para estudiar la relación N/S para propósitos de diagnóstico de la nutrición azufrada, por ser este órgano más sensible a cambios en el suministro de azufre en el substrato tal como fue indicado por Dijkshoorn y Van Wijk (39).

Al igual que en las hojas, las relaciones N/S de los tallos mostraron una respuesta lineal altamente significativa al incremento en la dosis de azufre. Asimismo, se encontró una diferencia altamen

Cuadro 4. Composición química de los tallos a las 12 semanas\*.

Tratamientos	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	N/S
T	1,17	0,24	0,69	0,45	0,21	0,037	32,5
A <sub>0</sub>	0,99	0,25	0,72	0,44	0,18	0,047	21,3
A <sub>1</sub>	0,92	0,24	0,70	0,43	0,18	0,057	16,3
A <sub>2</sub>	0,70	0,27	0,68	0,42	0,17	0,071	10,0
A <sub>3</sub>	0,52	0,23	0,72	0,42	0,15	0,067	7,7
B <sub>0</sub>	0,96	0,29	0,68	0,48	0,18	0,049	19,2
B <sub>1</sub>	1,24	0,25	0,62	0,43	0,17	0,051	24,0
B <sub>2</sub>	0,62	0,31	0,74	0,44	0,19	0,078	8,2
B <sub>3</sub>	0,54	0,27	0,58	0,42	0,18	0,091	6,0
C <sub>0</sub>	0,71	0,23	0,57	0,44	0,18	0,091	7,9
C <sub>1</sub>	0,59	0,23	0,58	0,43	0,18	0,059	9,8
C <sub>2</sub>	0,60	0,22	0,57	0,46	0,19	0,077	7,9
C <sub>3</sub>	0,60	0,24	0,56	0,48	0,19	0,109	5,5

\* Datos promedio de análisis duplicados de cinco repeticiones (tres plantas por repetición).

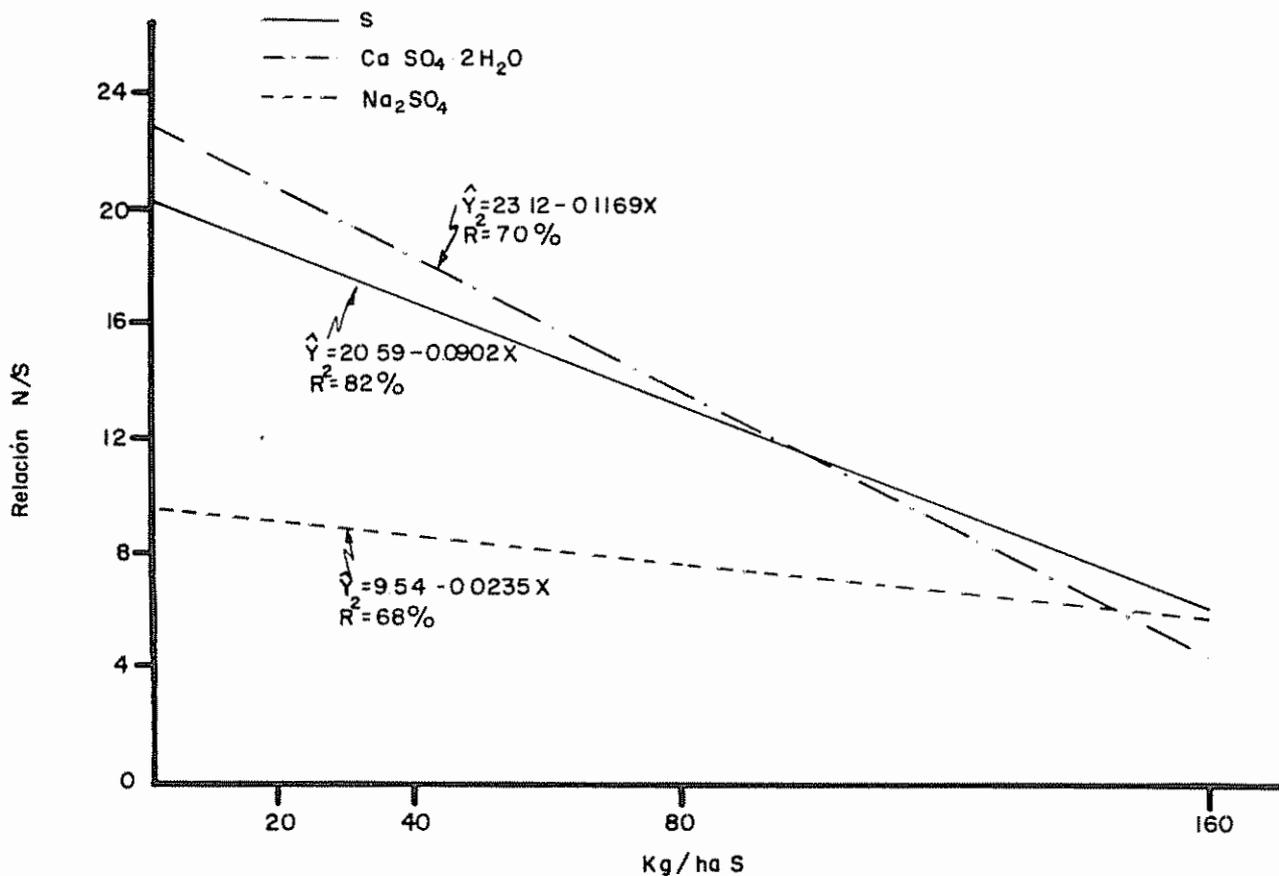


Fig. 5 Efecto de la dosis de azufre en la relación N/S del tallo del algodónero

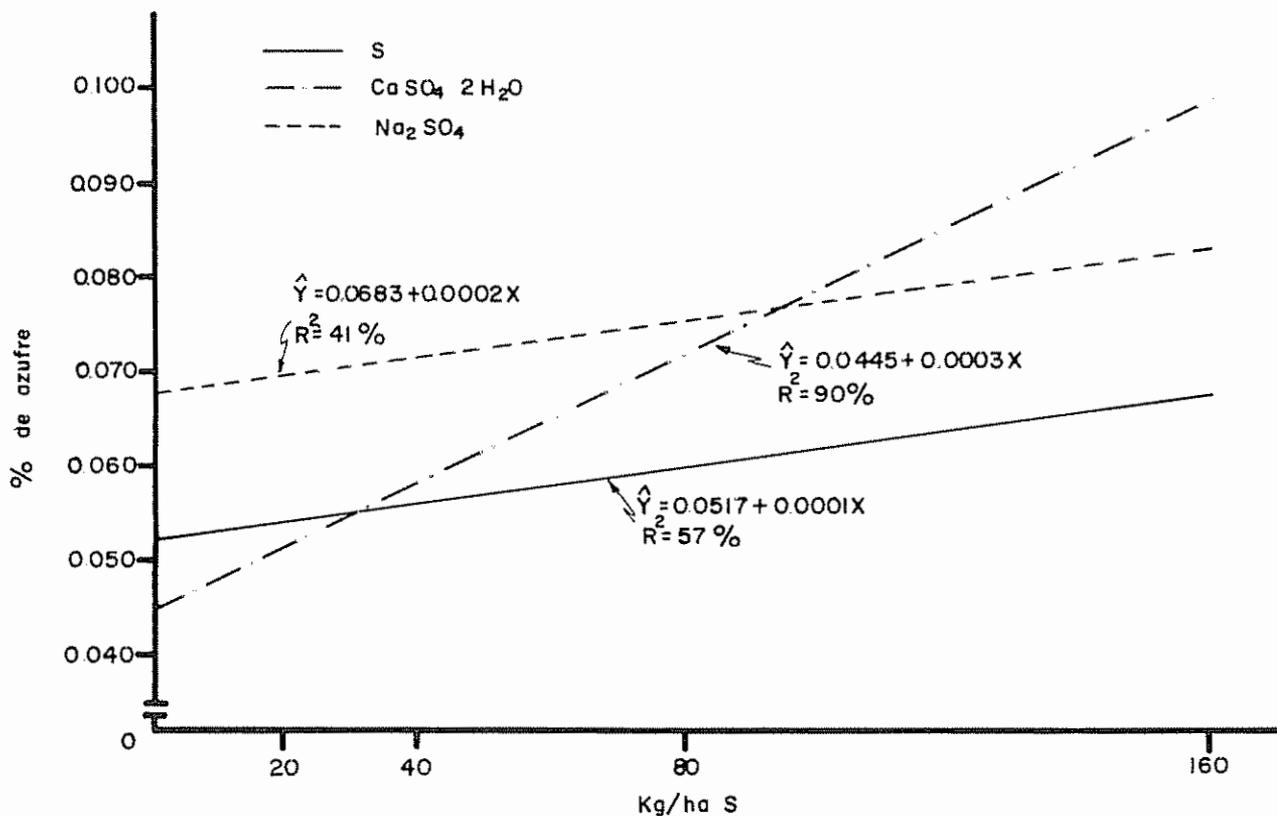


Fig 6 Efecto de la dosis de azufre en el % de S total del tallo algodónero

te significativa entre S elemental y los sulfatos. Las plantas que recibieron S elemental exhibieron relaciones N/S más altas.

Los tallos de las plantas crecidas sobre un substrato con sulfato de sodio como fuente de azufre mostraron un tenor de potasio relativamente bajo. Esto mismo se encontró en las hojas. Tal disminución en el tenor de potasio en hojas y tallos, se puede explicar como debida a un antagonismo entre sodio y potasio. Además, se sabe que el sodio puede reemplazar parcialmente al potasio en el metabolismo vegetal.

#### 4.4. Variación de la composición química del algodónero y del azufre disponible en el suelo durante las primeras 10 semanas

##### 4.4.1. Introducción

Los datos obtenidos en los muestreos realizados cada dos semanas se sometieron al procesamiento estadístico, haciendo uso de la computadora del IICA-CTEI. El procesamiento estadístico comprendió ecuaciones de regresión y correlaciones que se consignan en los cuadros respectivos. Los datos correspondientes aparecen en el Apéndice (Cuadros 3 al 9).

Para la obtención de las ecuaciones de regresión se siguió el siguiente modelo matemático

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$$

donde:

$\hat{Y}$  = variable aleatoria

$X_1$  = Kg/ha de S adicionado al suelo

$X_2$  = tiempo en semanas

$b_0$  = punto de corte de y cuando  $x = 0$

$b_1$  = tasa de incremento de y por cada unidad de incremento  
de  $X_1$

$b_2$  = tasa de incremento de y por cada unidad de incremento  
de  $X_2$

#### 4.4.2. Formas nitrogenadas en las plantas

En el Cuadro 5 se transcriben las ecuaciones de regresión de las formas nitrogenadas de las plantas.

Los valores mayores en los tenores de nitratos, nitrógeno orgánico soluble en agua (NOSA), y nitrógeno total soluble en agua (NTSA) se observaron por lo general en los niveles más bajos de azufre.

El N total y N orgánico no mostró variaciones de importancia con la dosis de azufre. Respecto con la edad, todas las formas mostraron una declinación bastante pronunciada.

La poca variación en el S orgánico que muestran las plantas deficientes en azufre es característico de la deficiencia de este nutriente (41).

El acumulamiento de fracciones nitrogenadas solubles ha sido encontrado por numerosos investigadores (3, 30, 41, 51, 95, 121) en diferentes especies deficientes en azufre. El azufre forma parte de

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión de las formas nitrogenadas en plantas de algodón.

Fracción nitrogenada	Fuente de azufre	Ecuación de regresión	Confiabilidad (R <sup>2</sup> x 100)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ppm	S	$\hat{Y} = 12231,01 - 42,02X_1 - 2586,33X_2 + 0,31X_1^2 + 436,90X_2^2 - 15,40X_1X_2$	59 %
	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 13540,04 - 73,81X_1 - 3420,98X_2 + 0,45X_1^2 + 533,85X_2^2 - 10,86X_1X_2$	59 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 6827,87 - 69,53X_1 + 603,18X_2 + 0,45X_1^2 - 96,40X_2^2 - 10,60X_1X_2$	45 %
N orgánico soluble en agua (NOSA) ppm	S	$\hat{Y} = 5203,67 - 29,77X_1 - 2471,86X_2 + 0,12X_1^2 + 369,70X_2^2 + 1,59X_1X_2$	70 %
	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 5319,61 - 37,92X_1 - 2472,71X_2 + 0,13X_1^2 + 355,99X_2^2 + 3,54X_1X_2$	77 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 5024,58 - 24,86X_1 - 2694,88X_2 + 0,15X_1^2 + 439,40X_2^2 - 0,86X_1X_2$	67%
N total soluble en agua (NTSA) ppm	S	$\hat{Y} = 17434,65 - 71,78X_1 - 5058,19X_2 + 0,43X_1^2 + 806,59X_2^2 - 13,80X_1X_2$	67 %
	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 19342,50 - 112,04X_1 - 6351,38X_2 + 0,55X_1^2 + 975,40X_2^2 - 6,25X_1X_2$	70%
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 11852,45 - 94,40X_1 - 2091,71X_2 + 0,60X_1^2 + 343,00X_2^2 - 11,47X_1X_2$	55 %
N orgánico %	S	$\hat{Y} = 5,18 - 0,007X_1 - 1,86X_2 + 0,20X_2^2 + 0,0005X_1X_2$	97 %
	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 5,41 - 0,008X_1 - 2,106X_2 + 0,25X_2^2 + 0,0001X_1X_2$	96 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 4,74 - 0,0031X_1 - 1,50X_2 + 0,13X_2^2$	95 %
N total %	S	$\hat{Y} = 6,40 - 0,0113X_1 - 2,12X_2 + 0,25X_2^2 - 0,001X_1X_2$	86 %
	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 6,77 - 0,0151X_1 - 2,45X_2 + 0,30X_2^2 - 0,0009X_1X_2$	92 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 5,32 - 0,0122X_1 - 1,33X_2 + 0,10X_2^2 - 0,0009X_1X_2$	91 %

los aminoácidos cistina, cisteína y metionina necesarios para la síntesis de las proteínas. Si hay deficiencia de azufre, la producción de sustancias proteicas se reduce notablemente en concomitancia con un acumulamiento de las fracciones nitrogenadas solubles (nitratos, aminoácidos, amidas).

#### 4.4.3. Formas azufradas en las plantas

En el Cuadro 6 aparecen las ecuaciones de regresión correspondientes a las formas azufradas de las plantas.

El contenido de sulfatos aumentó conforme el nivel de azufre aplicado fue mayor. El contenido de sulfatos declinó con la edad en diferente grado según la fuente de azufre. Se observó una caída relativamente pronunciada en el tenor de sulfatos a las seis semanas (muestreo nº 3), precisamente en el momento en que las plantas correspondientes a los niveles 20 y 40 Kg/ha de S de las fuentes S elemental y  $\text{CaSO}_4$ , exhibieron los primeros síntomas de deficiencia del nutrimento en estudio.

El azufre orgánico en las plantas mostró un ligero incremento al aumentar la dosis de azufre. Por otra parte, el contenido de esta fracción azufrada declinó con la edad, siendo este efecto menos pronunciado cuando la fuente fue  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

El contenido de azufre total en las plantas aumentó a medida que los niveles de azufre fueron mayores. En relación con la edad, el tenor de azufre total disminuyó considerablemente con la maduración de las plantas. En la literatura existen varios informes que

Cuadro 6. Ecuaciones de regresión de las formas azufradas en plantas de algodón.

Fracción azufrada	Fuente de azufre	Ecuación de regresión	Confiabilidad (R <sup>2</sup> x 100)
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ppm	S	$Y = 1187,22 + 7,63X_1 - 945,72X_2 - 0,017X_1^2 + 171,30X_2^2 - 0,76X_1X_2$	76 %
	CaSO <sub>4</sub>	$Y = 119,70 + 14,00X_1 + 56,28X_2 + 0,054X_1^2 + 13,40X_2^2 - 4,31X_1X_2$	87 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$Y = 1254,42 + 27,99X_1 - 1160,10X_2 - 0,037X_1^2 + 224,80X_2^2 - 4,54X_1X_2$	81 %
S orgánico %	S	$Y = 0,34 + 0,0006 X_1 - 0,154X_2 + 0,021X_2^2 - 0,0001 X_1X_2$	95 %
	CaSO <sub>4</sub>	$Y = 0,32 + 0,0014 X_1 - 0,132X_2 + 0,0152X_2^2$	88 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$Y = 0,21 + 0,0013 X_1 - 0,029X_2 - 0,0031X_2^2$	88 %
S total %	S	$Y = 0,32 + 0,0013 X_1 - 0,13 X_2 + 0,017 X_1^2$	86 %
	CaSO <sub>4</sub>	$Y = 0,20 + 0,0028 X_1 - 0,04 X_2 + 0,0008X_2^2 - 0,0005 X_1X_2$	92 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$Y = 0,20 + 0,0041 - 0,024 X_2 - 0,0028 X_2^2 - 0,0005 X_1X_2$	91 %

concuerdan con lo encontrado en el presente experimento. Ergle y Eaton (51) hallaron una reducción en el tenor de las formas azufradas en plantas de algodón maduras. Pumphrey y Moore (100) encontraron una declinación en el tenor de azufre con la edad, en plantas de alfalfa. Martin y Walker (82) comunicaron que, como regla general, el contenido de azufre en las plantas decrece en el estado de madurez.

#### 4.4.4. Relaciones nitrógeno/azufre en las plantas

En el Cuadro 7 se transcriben las ecuaciones de regresión: N total : S total y N orgánico : S orgánico. Ambas relaciones mostraron respuesta negativa al incremento en la dosis de azufre y una respuesta inicial positiva al aumento en la edad, que luego se tornó negativa. Esta declinación de la relación N/S al madurar las plantas fue indicada por Dijkshoorn y van Wijk (39). A las 10 semanas (muestreo nº 5), las plantas testigo exhibieron una relación N/S de 37,5, en contraste con los correspondientes valores mostrados por las plantas que recibieron azufre en los niveles de 80 y 160 Kg/ha y que oscilaron entre 3,8 y 7,9.

#### 4.4.5. Contenido de P, K, Ca y Mg en las plantas

El Cuadro 8 muestra las ecuaciones de regresión del contenido de P, K, Ca y Mg de las plantas.

En general, el contenido de P, excepto cuando se aplicó S elemental, disminuyó con el aumento en la dosis de azufre. También ocurrió una disminución con la edad. Cuando se usó  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  se observó un

Cuadro 7. Ecuaciones de regresión de las relaciones N y S total y orgánico de plantas de algodón.

Relación	Fuente de azufre	Ecuación de regresión	Confiabilidad (R <sup>2</sup> x 100)
N total:	S	$\hat{Y} = 12,37 - 0,21X_1 + 9,78X_2 + 0,0011X_1^2 - 14,20X_2^2 - 0,03X_1X_2$	76 %
S total	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 20,25 - 0,34X_1 + 6,33X_2 + 0,0015X_1^2 - 1,08X_2^2 - 0,02X_1X_2$	63 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 17,35 - 0,33X_1 + 4,27X_2 + 0,0017X_1^2 - 0,46X_2^2 - 0,03X_1X_2$	73 %
N org.:	S	$\hat{Y} = 14,09 - 0,11X_1 + 4,65X_2 + 0,0004X_1^2 - 0,96X_2^2 - 0,01X_1X_2$	73 %
S org.	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 15,24 - 0,20X_1 + 5,21X_2 + 0,0008X_1^2 - 1,17X_2^2$	71 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 19,00 - 0,16X_1 + 0,08X_2 + 0,0007X_1^2 - 0,16X_2^2 - 0,01X_1X_2$	69 %

Cuadro 8. Ecuaciones de regresión de P, K, Ca y MG en plantas de algodón.

Elemento	Fuente de azufre	Ecuación de regresión	Confiabilidad (R <sup>2</sup> x 100)
P %	S	$\hat{Y} = 0,92 + 0,0007X_1 - 0,213X_2 + 0,021X_2^2$	83 %
	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 0,93 - 0,0007X_1 - 0,203X_2 + 0,023X_2^2 - 0,0002X_1X_2$	74 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 0,60 - 0,0039X_1 + 0,076X_2 - 0,028X_2^2$	55 %
K %	S	$\hat{Y} = 3,39 - 0,0021X_1 - 1,002X_2 + 0,112X_2^2$	94 %
	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 2,97 - 0,0048X_1 - 0,701X_2 + 0,066X_2^2 - 0,0006X_1X_2$	89 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 2,64 - 0,0072X_1 - 0,401X_2 + 0,005X_2^2 - 0,0001X_1X_2$	86 %
Ca %	S	$\hat{Y} = 2,16 + 0,0011X_1 - 0,230X_2 + 0,024X_2^2 - 0,0024X_1X_2$	83 %
	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 2,53 + 0,0014X_1 - 0,480X_2 + 0,063X_2^2 - 0,0024X_1X_2$	72 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 2,62 + 0,0039X_1 - 0,483X_2 + 0,056X_2^2 - 0,0024X_1X_2$	80 %
MG %	S	$\hat{Y} = 0,23 - 0,0006X_1 + 0,173X_2 - 0,039X_2^2 - 0,0003X_1X_2$	72 %
	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 0,22 + 0,0001X_1 + 0,184X_2 - 0,041X_2^2 - 0,0004X_1X_2$	73 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 0,13 + 0,0001X_1 + 0,180X_2 - 0,062X_2^2 - 0,0003X_1X_2$	79 %

incremento inicial de P, pero posteriormente éste bajó considerablemente.

Respecto al potasio, su contenido disminuyó tanto al aumentar la dosis en azufre como la edad.

El contenido de calcio mostró una respuesta positiva a los niveles crecientes de azufre y una respuesta negativa al aumento en la edad.

El tenor de magnesio, mostró una tendencia a incrementar, al ser los niveles de azufre mayores. Al madurar las plantas el contenido de magnesio aumentó en un principio y luego disminuyó considerablemente.

#### 4.4.6. Azufre disponible en el suelo

En el Cuadro 9 se presentan las ecuaciones de regresión del azufre disponible en el suelo, con plantas y sin ellas.

El contenido de azufre disponible en el suelo con plantas mostró valores que aumentaron conforme la dosis de azufre aplicado fue mayor. Se observaron dos caídas bien marcadas, la primera a las seis semanas (muestreo nº 3) y la segunda a las 10 semanas (muestreo nº 5). La primera caída coincidió con la aparición de los primeros <sup>!</sup>síntomas de deficiencia de azufre en las plantas con 20 y 40 Kg/ha de azufre aplicado en forma de S elemental y  $\text{CaSO}_4$ . Luego el contennido de azufre disponible en el suelo aumento lo que explica la corrección de la deficiencia de ese nutrimento. En el muestreo nº 5 de nuevo se observó una caída en el contenido de sulfatos del suelo, que coincidió en este caso con el período más intenso del crecimiento

Cuadro 9. Ecuaciones de regresión del azufre disponible en el suelo con y sin plantas.

Azufre disponible ppm	Fuente de azufre	Ecuación de regresión	Confianza (R <sup>2</sup> x 100)
	S	$\hat{Y} = -8,06 + 0,08X_1 + 10,25X_2 - 0,0004X_1^2 - 1,61X_2^2 + 0,02X_1X_2$	19 %
Suelo con plantas	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = -23,86 + 0,50X_1 + 15,08X_2 + 0,0051X_1^2 - 1,24X_2^2 - 0,24X_1X_2$	64 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 0,09 - 0,13X_1 + 6,72X_2 + 0,0018X_1^2 - 1,39X_2^2 + 0,04X_1X_2$	50 %
	S	$\hat{Y} = 13,12 + 0,04X_1 - 7,12X_2 - 0,0001X_1^2 + 1,16X_2^2 - 0,0005X_1X_2$	81 %
Suelo sin plantas	CaSO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 37,63 - 0,11X_1 - 31,29X_2 - 0,0011X_1^2 + 4,85X_2^2 + 0,24X_1X_2$	84 %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\hat{Y} = 25,46 + 0,15X_1 - 20,26X_2 + 0,0013X_1^2 + 3,62X_2^2 - 0,02X_1X_2$	86 %

de las bellotas, concomitantemente con una mayor absorción de azufre del substrato.

El contenido de azufre disponible en el suelo sin plantas aumentó al incrementarse la dosis de azufre. Respecto al tiempo, se observó una tendencia inicial a una disminución, pero luego el azufre disponible aumentó considerablemente. Esta caída inicial en el contenido de sulfatos se puede atribuir a una inmovilización de azufre por los microorganismos del suelo.

Si se toma en consideración el azufre absorbido del suelo por las plantas y se comparan los tenores de azufre disponible en el suelo con y sin plantas, se puede inferir que la presencia de las plantas tuvo un efecto favorable en la disponibilidad del azufre en el suelo.

La cantidad de azufre disponible en el suelo, en la cual las plantas responden a la fertilización azufrada, varía de acuerdo con el método de análisis químico, el tipo de suelo y el cultivo. Jordan y Bardsley (71), trabajando en suelos del sureste de Estados Unidos con cultivos como el algodón, trébol y tabaco, encontraron que un contenido de 3 ppm o menor de azufre disponible indicaba un suelo deficiente en azufre; Saalbach, Judel y Kessen (105), a su vez, no podían observar respuesta a la aplicación de azufre en plantas cultivadas en suelos con contenidos mayores de 10-12 ppm de azufre disponible. Ergle y Eaton (51) comprobaron que el algodonero cultivado en arena con un contenido de 3,3 ppm de azufre disponible, mostraba síntomas de deficiencia de ese nutrimento. Es de importancia indicar

aquí que en el presente experimento el contenido de sulfatos (azufre disponible) en el suelo donde crecieron las plantas testigo osciló entre 2,0 y 7,2 ppm. Valga recordar que las planta testigo fueron las únicas que mostraron síntomas de azufre en forma evidente y continuada.

#### 4.5. Correlaciones nitrógeno-azufre en el sistema suelo-planta durante las primeras 10 semanas

Para un estudio completo del nitrógeno y el azufre en el sistema suelo-planta se calcularon las correlaciones existentes entre diferentes fracciones nitrogenadas y azufradas, las cuales se indican en el Cuadro 10.

Con las tres fuentes de azufre, las correlaciones entre los sulfatos presentes en el suelo (azufre disponible) y los sulfatos, el S orgánico y el S total de las plantas, fueron muy altas. Esta última forma de azufre fue la que mostró mayores correlaciones en todos los casos. Sin embargo, varios investigadores (7, 14, 69, 107, 124, 132) han encontrado una correlación muy baja entre el azufre disponible en el suelo y el azufre total en las plantas. Por otra parte Braud (20) y Chaves (30) encontraron que el contenido de azufre total en las plantas era un buen indicador de la disponibilidad de este elemento en el suelo.

Respecto a la composición de las plantas, también en los tres casos se obtuvieron correlaciones muy altas entre el contenido de sulfatos y el contenido de S orgánico y S total y entre estas dos

Cuadro 10. Correlaciones nitrógeno-azufre en el sistema suelo-planta durante las primeras

10 semanas.

	Fuente de azufre*	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> plantas	S org. plantas	S total plantas	N org.:S org. plantas	N total:S Total plantas
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> en el suelo	A	0,85	0,95	0,96	-0,94	-0,88
	B	0,98	0,77	0,93	-0,69	-0,66
	C	0,88	0,95	0,91	-0,83	-0,79
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> plantas	A		0,77	0,93	-0,96	-1,00
	B		0,87	0,98	-0,82	-0,80
	C		0,98	1,00	-0,91	-0,95
S org. plantas	A			1,00	-0,92	-0,83
	B			0,95	-0,98	-0,95
	C			0,99	-0,93	-0,94
S total plantas	A				-1,00	-0,96
	B				-0,90	-0,88
	C				-0,93	-0,95
N org.:S org. plantas	A					0,98
	B					0,99
	C					0,98

\* A = S elemental; B = CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O; C = Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

últimas formas de azufre; lo mismo se observó entre N total : S total y N orgánico : S orgánico.

Por otra parte, se encontraron correlaciones negativas altas en tre el tenor de sulfatos del suelo y las formas azufradas ( $S-SO_4^{=}$ , S orgánico y S total) de las plantas, respecto a las relaciones N orgánico : S orgánico y N total : S total de las mismas.

## 5. CONCLUSIONES

1. El peso del vástago y de las bellotas tuvo una respuesta lineal altamente significativa al incremento en la dosis de azufre. En relación al peso del vástago los sulfatos fueron superiores.
2. Únicamente las plantas testigo mostraron síntomas evidentes y continuados de deficiencia de azufre. Las plantas crecidas bajo los niveles de 20 y 40 Kg/ha de S de las fuentes S elemental y  $\text{CaSO}_4$  mostraron síntomas de deficiencia de azufre por un corto período, y luego éstos desaparecieron.
3. El contenido de S total y fracciones azufradas mostró un incremento a medida que las dosis de azufre fueron más altas.
4. Las plantas testigo y las correspondientes a los niveles más bajos de azufre presentaron acumulamiento de las fracciones nitrogenadas solubles y relaciones N/S altas, lo cual puso de manifiesto un bloqueo en la síntesis proteica.
5. Se obtuvieron correlaciones muy altas entre el contenido de sulfatos en el suelo y los tenores de S total, S orgánico y sulfatos en las plantas. El azufre total mostró superioridad respecto al S orgánico y sulfatos en la planta, en indicar la disponibilidad de azufre del suelo.
6. El contenido de S total y el valor de la relación N/S en hojas del algodonero son buenos índices para el diagnóstico de la nutrición azufrada.

## 5. CONCLUSIONES

1. El peso del vástago y de las bellotas tuvo una respuesta lineal altamente significativa al incremento en la dosis de azufre. En relación al peso del vástago los sulfatos fueron superiores.
2. Únicamente las plantas testigo mostraron síntomas evidentes y continuados de deficiencia de azufre. Las plantas crecidas bajo los niveles de 20 y 40 Kg/ha de S de las fuentes S elemental y  $\text{CaSO}_4$  mostraron síntomas de deficiencia de azufre por un corto período, y luego éstos desaparecieron.
3. El contenido de S total y fracciones azufradas mostró un incremento a medida que las dosis de azufre fueron más altas.
4. Las plantas testigo y las correspondientes a los niveles más bajos de azufre presentaron acumulamiento de las fracciones nitrogenadas solubles y relaciones N/S altas, lo cual puso de manifiesto un bloqueo en la síntesis proteica.
5. Se obtuvieron correlaciones muy altas entre el contenido de sulfatos en el suelo y los tenores de S total, S orgánico y sulfatos en las plantas. El azufre total mostró superioridad respecto al S orgánico y sulfatos en la planta, en indicar la disponibilidad de azufre del suelo.
6. El contenido de S total y el valor de la relación N/S en hojas del algodónero son buenos índices para el diagnóstico de la nutrición azufrada.

## 6. RESUMEN

Se estudió el efecto de diferentes fuentes y dosis de azufre en la composición y crecimiento del algodónero (Gossypium hirsutum L.). Este trabajo se realizó en ambiente de invernadero, utilizando un suelo bajo en azufre disponible, obtenido en los alrededores de la ciudad de Liberia, Provincia de Guanacaste, Costa Rica. Se aplicaron tres fuentes de azufre, a saber, S elemental (azufre en flor),  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (yeso) y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , en dosis equivalentes a 0, 20, 40, 80 y 160 kg/ha de S. Una tercera parte de las macetas se dejaron sin sembrar.

Cada dos semanas se cosecharon los vástagos de cierto número de plantas correspondientes a todos los tratamientos, los cuales se sometieron al análisis químico; a su vez, se determinó el azufre disponible en el suelo con y sin plantas. En la última cosecha los vástagos se segmentaron en hojas, tallos y bellotas, de los cuales a los dos primeros se les determinó la composición química.

El peso seco del vástago y de las bellotas tuvo una respuesta lineal altamente significativa con el aumento en la dosis de azufre. En relación al peso seco del vástago los sulfatos fueron superiores y entre éstos específicamente el sulfato de sodio. El contenido de S total y fracciones azufradas mostró un incremento a medida que las dosis de S fueron más altas.

Las plantas que no recibieron azufre (testigos) exhibieron una clorosis generalizada verde limón que avanzó de arriba hacia abajo.

Las plantas que recibieron 20 y 40 kg/ha de S en forma de azufre en flor y  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (yeso) mostraron deficiencia de azufre durante un corto período después del cual ésta se volvió inconspicua.

Las plantas testigo y las crecidas con dosis bajas de azufre exhibieron acumulamiento de las fracciones nitrogenadas solubles. Además, en estas plantas se observaron las más altas relaciones N/S.

En general, a mayor suministro de S, el contenido de N, P, K en las plantas disminuyó en diferente grado y lo contrario ocurrió con el Ca y Mg.

Se obtuvieron altas correlaciones entre el contenido de sulfatos en el suelo (azufre disponible) y el tenor de S total, S orgánico y sulfatos en las plantas.

En las hojas se observó un mayor contenido de minerales, especialmente calcio, que en el tallo.

En general, se encontró una tendencia a la declinación en el contenido de minerales con la edad, incluyendo a las fracciones nitrogenadas y azufradas.

6a. SUMMARY

The effects of different sources and levels of sulfur on composition and growth of cotton plants (Gossypium hirsutum L.) were studied. The research was carried out in a greenhouse, using sulfur-deficient soil taken from the environments of Liberia, Province of Guanacaste, Costa Rica. Three sources were tried out: elemental S (powder),  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (gypsum) and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  at levels equivalent to 0, 20, 40, 80, 160 kg/ha S. One third of the pots was left unplanted.

Every two weeks the aerial parts of a certain number of plants from all treatments were collected, and chemically analyzed. At the same time available sulfur in the soil was determined, with and without plants. In the last sample taken, the plants were separated into leaves, stems and bolls, using the leaves and stems for chemical analysis.

Dry weight of aerial parts and bolls showed a highly significant linear response with increase in sulfur dosage. In regard to dry weight of the aerial parts, sulfates proved superior, especially sodium sulfate. Total S content and sulfur fractions showed a constant increase with sulfur levels.

The check plants showed a uniform light green chlorosis which started in the youngest parts. Plants which received 20 and 40 kg/ha of S in form of elemental S and  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (gypsum) exhibited deficiency symptoms during a short period, later on disappearing.

No S and low level S plants showed an increase of the soluble nitrogen fraction. These plants also had the highest N/S ratios.

Generally with higher levels of S, the N, P, K content of the plants decreased at different rates; the opposite was true for Ca and Mg.

Highly significant correlations were found between sulfates in the soil (available S) and total S, organic S and sulfates in the plants.

At the end of the experiment a higher mineral content was found in the leaves, especially regarding calcium, as compared to the stem.

A general tendency was encountered regarding a decrease of minerals with the age of the plants, including nitrogen and sulfur fractions.

7. LITERATURA CITADA

1. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, Wiley, 1961. 472 p.
2. ALLAWAY, W. H. y THOMPSON, J. F. Sulfur in the nutrition of plants and animals. Soil Science 101(4):240-247. 1966.
3. ANDERSON, A. J. y SPENCER, D. Sulphur in nitrogen metabolism of legumes and non-legumes. Australian Journal of Scientific Research. Series B. Biological Science 3(4):431-449. 1950.
4. ANDERSON, O. E. y WEBSTER, R. H. The availability of sulfur in Norfolk loamy sand and Leadvale silt loam as measured by cotton growth. Agronomy Journal 51:675-677. 1959.
5. ASHFORD, R. y BOLTON, J. L. Effects of sulphur and nitrogen fertilization and inoculation with Rhizobium meliloti on the growth of sweet clover (Melilotus alba Desr.). Canadian Journal of Plant Science 41(1):81-90. 1961.
6. BARDSLEY, C. E. y KILMER, V. J. Sulphur supply of soils and crop yields in the Southeastern United States. Soil Science Society of America Proceedings 27(2):197-199. 1963.
7. \_\_\_\_\_ y LANCASTER, J. D. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. Soil Science Society of America Proceedings 24(4):265-268. 1960.
8. BARROW, N. J. The effects of varying the nitrogen, sulphur and phosphorus content of organic matter on its decomposition. Australian Journal of Agricultural Research 11(3):317-330. 1960.
9. \_\_\_\_\_. Stimulated decomposition of soil organic matter during the decomposition of added organic materials. Australian Journal of Agricultural Research 11(3):331-338. 1960.
10. \_\_\_\_\_. A comparison of the mineralization of nitrogen and of sulphur from decomposing organic materials. Australian Journal of Agricultural Research 11(6):960-969. 1960.
11. \_\_\_\_\_. Studies on mineralization of sulphur from soil organic matter. Australian Journal of Agricultural Research 12(2):306-319. 1961.

12. BARROW, N. J. Studies on extraction and on availability to plants of adsorbed plus soluble sulphate. *Soil Science* 104(4):242-249. 1967.
13. BEATON, J. D. Sulfur requirements of cereals, tree fruits, vegetables, and other crops. *Soil Science* 101(4):267-282. 1966.
14. BIDDULPH, O., CORY, R. y BIDDULPH, S. The absorption and translocation of sulfur in Red Kidney bean. *Plant Physiology* 31:28-33. 1956.
15. BIXBY, D. W., TISDALE, S. L. y RUCKER, D. L. Adding plant nutrient to fertilizer. Washington, D. C., Sulphur Institute, 1964. 41 p.
16. BLACK, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1372-1376.
17. BORNEMISZA, E. Estudios analíticos del azufre en algunos suelos de Costa Rica. Tesis Lic. Quim. San José, Universidad de Costa Rica, 1955. 57 p.
18. \_\_\_\_\_. Sulfur categories in the soils of the Meseta Central of Costa Rica. Laboratorio de Investigaciones Agronómicas. Costa Rica. Ministry of Agriculture and Industries and STICA. Mimeograph Report 59-1. 1959. 7 p.
19. \_\_\_\_\_ y LLANOS, R. Sulfate movement, adsorption, and desorption in three Costa Rican soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 31(3):356-360. 1967.
20. BRAUD, M. Le soufre dans la fertilization minerale du cotonnier. *Agrochimica* 9(3):211-219. 1965.
21. BREMNER, J. M. Total nitrogen. In Black, C. A., et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1117-1175.
22. BROWN, H. B. y WARE, J. O. Algodón. Trad. del inglés por J. Contro Malo. México, D. F., UTEHA, 1961. 623 p.
23. BURNS, G. R. Oxidation of sulphur in soils. Washington, D. C., Sulphur Institute. Technical Bulletin 13. 1968. 41 p.
24. CHAO, T. T. The movement and adsorption of sulfate ions in soil systems. *Dissertation Abstracts* 21:406-407. 1960.

25. CHAO, T. T., HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Movement of  $S^{35}$  tagged sulfate through, soil columns. Soil Science Society of America Proceedings 26(1):27-32. 1962.
26. \_\_\_\_\_, HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Soil constituents and properties in the adsorption of sulfate ions. Soil Science 94(5):276-283. 1962.
27. \_\_\_\_\_, HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Cationic effects on sulfate adsorption by soils. Soil Science Society of America Proceedings 27(1):35-38. 1963.
28. \_\_\_\_\_, HARWARD, M. E. y FANG, S. C. Iron or aluminum coatings in relation to sulfate adsorption by soils. Soil Science Society of American Proceedings 28(5):632-635. 1964.
29. CHAPMAN, H. D. y PRATT, P. F. Methods of analysis for soils, plants and waters. Berkeley, University of California, 1961. 309 p.
30. CHAVES, J. R. Efecto de varios niveles de azufre sobre el crecimiento y composición química de plantas de tomate. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1970. 55 p.
31. CHESNIN, L. y YIEN, C. H. Turbidimetric determination of available sulfates. Soil Science Society of America Proceedings 15:149-155. 1951.
32. COLEMAN, R. The importance of sulphur as a plant nutrient in world crop production. Soil Science 101(4):230-239. 1966.
33. CONNELL, W. E. y PATRICK, W. H., Jr. Reduction of sulfate to sulfide in waterlogged soil. Soil Science Society of America Proceedings 33(5):711-715. 1969.
34. COOPER, H. P. Nutritional deficiency symptoms in cotton. Soil Science Society of America Proceedings 4:322-324. 1939.
35. \_\_\_\_\_ y MITCHELL, J. H. Chemical composition of the cotton plant grown on different soil types. Soil Science Society of America Proceedings 11:374-377. 1946.
36. DENGÓ, G. Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. San José, Instituto Geográfico de Costa Rica, 1962. 112 p.
37. DIAZ ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, IICA, 1967. 3 p. (Mimeo).

38. DIJKSHOORN, W., LAMPE, J. E. M. y BURG, P. F. J. Van. A method of diagnosing the sulphur nutrition status of herbage. *Plant and Soil* 13(3):227-241. 1960.
39. \_\_\_\_\_ y VAN WIJK, A. L. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter. A review of published data. *Plant and Soil* 26(1):129-157. 1967.
40. DONDOLI, C. Liberia y sus alrededores. *Suelo Tico (Costa Rica)* 4(18-19):65-69. 1950.
41. EATON, F. M. Sulfur. In Chapman, H. D., ed. *Diagnostic criteria for plants and soils*. Berkeley, University of California, 1966. pp. 444-475.
42. EATON, S. V. Sulfur content of soils and its relation to plant nutrition *Botanical Gazette* 74:32-58. 1922.
43. EGNER, H. Die Bedeutung der Schwefelverbindungen in der Luft für die Bodenfruchtbarkeit. *Agrochimica* 9(2):133-143. 1965.
44. ELLET, W. B. y HILL, H. H. Effect of lime materials on the outgo of sulphur from Hagerstown silt loam soil. *Journal of Agricultural Research* 38:697-711. 1929.
45. ENSMINGER, L. E. Response of crops to various phosphate fertilizers. Alabama Agricultural Experiment Station. *Bulletin* 270. 1950. 39 p.
46. \_\_\_\_\_. Some factors affecting the absorption of sulfate by Alabama soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 18(3):259-264. 1954.
47. \_\_\_\_\_. Sulfur in relation to soil fertility. Alabama Agricultural Experiment Station. *Bulletin* 312. 1958. 19 p.
48. \_\_\_\_\_ y FRENEY, J. R. Diagnostic techniques for determining sulfur deficiencies in crops and soils. *Soil Science* 101(4):283-290. 1966.
49. ERGLE, D. R. Effect of low nitrogen and sulfur supply on their accumulation in the cotton plant. *Botanical Gazette* 114(4):417-426. 1953.
50. \_\_\_\_\_. Utilization of storage sulfur by cotton and the effect on growth and chloroplast pigments. *Botanical Gazette* 115(3):225-234. 1954.

51. ERGLE, D. R. y EATON, F. M. Sulfur nutrition of cotton. *Plant Physiology* 26(4):639-654. 1951.
52. ESPINOSA, F. Informe preliminar sobre la deficiencia de azufre en El Salvador. Santa Tecla, Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. Boletín Informativo. Suplemento nº 24. 1966. 25 p.
53. EVANS, C. A. y ROST, C. O. The organic sulfur and humus sulfur in Minnesota soils. *Soil Science* 59:125-137. 1945.
54. FRENEY, J. R. Determination of water-soluble sulfate in soils. *Soil Science* 86(5):241-244. 1958.
55. \_\_\_\_\_. Some observations on the nature of organic sulphur compounds in soil. *Australian Journal of Agricultural Research* 12(3):424-432. 1961.
56. \_\_\_\_\_, BARROW, N. J. y SPENCER, K. A review of certain aspects of sulphur as a soil constituent and plant nutrient. *Plant and Soil* 17(3):295-308. 1962.
57. \_\_\_\_\_, y SPENCER, K. Soil sulfate changes in the presence and absence of growing plants. *Australian Journal of Agricultural Research* 11(3):339-345. 1960.
58. \_\_\_\_\_, y STEVENSON, F. J. Organic sulfur transformation in soils. *Soil Science* 101(4):307-316. 1966.
59. FRIED, M. y BROESHART, H. The soil-plant system in relation to inorganic nutrition. New York, Academic Press, 1967. 358 p.
60. GILBERT, T. A. The place of sulphur in plant nutrition. *Botanical Review* 17(9):671-691. 1951.
61. GREEN, V. E. The culture of rice on organic soils - A world survey. *Agronomy Journal* 49(9):468-472. 1957.
62. HARDY, F., y BAZAN, R. Sulphur deficiency in Turrialba soils. Turrialba, IICA. 1965. 4 p. (Mimeo).
63. HARRIS, H. C., BLEDSOE, R. W. y CALHOUN, P. W. Responses of cotton to sulfur fertilization. *Journal of the American Society of Agronomy* 37(5):323-329. 1945.
64. HARWARD, M. E. y REISENAUER, H. M. Reactions and movement of inorganic soil sulfur. *Soil Science* 101(4):326-335. 1966.

65. HESSE, P. R. Sulphur and nitrogen changes in forest soils of East Africa. *Plant and Soil* 9(1):86-96. 1957.
66. JENSEN, J. Some investigations of plant uptake of sulfur. *Soil Science* 95(1):63-68. 1963.
67. JOHNSON, C. M. y NISHITA, H. Microestimating of sulfur in plant materials, soils and irrigation waters. *Analytical Chemistry* 24(4):736-742. 1952.
68. JONES, M. B. Effect of sulfur applied and date of harvest on yield, sulfate sulfur concentration and total sulfur uptake of five annual grassland species. *Agronomy Journal* 55(3): 251-254. 1963.
69. \_\_\_\_\_ y MARTIN, W. E. Sulfate sulfur concentration as an indicator of sulfur status in various California dryland pasture species. *Soil Science Society of America Proceedings* 28(4):539-541. 1964.
70. JORDAN, H. V. Sulfur as a plant nutrient in the Southern United States. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin 1297. 1964. 45 p.
71. \_\_\_\_\_ y BARDSLEY, C. E., Jr. Response of crops to sulfur on Southeastern soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 22(3):254-256. 1958.
72. \_\_\_\_\_ y ENSMINGER, L. E. The role of sulfur in soil fertility. *Advances in Agronomy* 10:407-434. 1958.
73. KAMPRATH, E. J., NELSON, W. L. y FITTS, J. W. The effect of pH, sulfate and phosphate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 20(4):463-466. 1956.
74. \_\_\_\_\_, NELSON, W. L. y FITTS, J. W. Sulfur removed from soils by field crops. *Agronomy Journal* 49(6):289-293. 1957.
75. KILMER, V. J. y NEARPASS, D. C. The determination of available sulfur in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 24(5):337-340. 1960.
76. KURMIES, B. Über den Schwefelhaushalt des Bodens. *Phosphorsäure* 17:258-278. 1957.
77. LACHICA, M. Determination of sulphur in plant material. *Analyst* 89:61-66. 1964.

78. LICHTENWALNER, D. E., et al. Adsorption and replacement of plant food in colloidal oxides of iron and aluminum. Soil Science 15:157. 1923.
79. LLANOS, L. R. Estudio del movimiento, adsorción y desorción de sulfatos en suelos tropicales. Tesis Mag. Agr. Turrialba, IICA, 1966. 62 p. (Mimeo).
80. MALAVOLTA, E., et al. La nutrición de algunas cosechas tropicales. Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 1964. 163 p.
81. HANN, H. H. Variation of sulphur in soils under a continuous grain crop. Journal of Soil Science 6(2):241-247. 1955.
82. MARTIN, W. E. y WALKER, T. W. Sulfur requirements and fertilization of pasture and forage crops. Soil Science 101(4): 248-257. 1966.
83. McCLUNG, A. C. y FREITAS, L. M. M. de. Sulfur deficiency in soils from Brazilian campos. Ecology 40(2):315-317. 1959.
84. \_\_\_\_\_, et al. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulphur. Soil Science Society of America Proceedings 23(3):221-224. 1959.
85. \_\_\_\_\_, et al. Cotton fertilization on Campo Cerrado soils. State of São Paulo, Brazil. New York, IBEC Research Institute. Bulletin 27. 1961. 34 p.
86. McINTIRE, W. H., et al. The divergent behavior of  $KPO_3$  and  $K_2SO_4$  in soils, with and without limestone and dolomite. Soil Science 59:155-162. 1945.
87. McKELL, C. M. y WILLIAMS, W. A. A lysimeter study of sulfur fertilization of an annual range soil. Journal of Range Management 13(3):113-117. 1960.
88. MENDES, H. C. Nutrição do algodoeiro. I. Sintomas de deficiências minerais em plantas vegetando em soluções nutritivas. Bragantia 18(30):469-481. 1959.
89. \_\_\_\_\_. Nutrição do algodoeiros. II. Absorção mineral por plantas cultivadas em soluções nutritivas. Bragantia 19(28):435-458. 1960.
90. MÜLLER, L. E. Un aparato micro-Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. Turrialba 11(1): 17-25. 1961.

91. MÜLLER, L. E. Deficiencia de azufre en algunos suelos de Centroamérica. *Turrialba* 15(3):208-215. 1965.
92. NELLER, J. R. Extractable sulphate sulphur in soils of Florida in relation to the amount of clay in the profile. *Soil Science Society of America Proceedings* 23(5):346-348. 1959.
93. NELSON, L. E. Status and transformation of sulfur in Mississippi soils. *Soil Science* 97(5):300-306. 1964.
94. NICOLSON, A. J. Soil sulfur balance studies in the presence and absence of growing plants. *Soil Science* 109(6):345-350. 1970.
95. NIGHTINGALE, G. T., SCHERMERHORN, L. G. y ROBBINS, W. R. Effects of sulphur deficiency on metabolism in tomato. *Plant Physiology* 7(4):565-595. 1932.
96. OLSEN, R. A. Absorption of sulphur dioxide from the atmosphere by cotton plants. *Soil Science* 84:107-112. 1957.
97. PARKER, F. W. Soil phosphorus studies. III. Plant growth and the absorption of phosphorus from culture solutions of different phosphate concentrations. *Soil Science* 24:129-146. 1927.
98. PARKS, R. Q., et al. Quantitative chemical microdeterminations of twelve elements in plant tissue. *Industrial Engineering Chemistry Analytical Edition* 15:527-533. 1943.
99. PEECH, M. Hydrogen-ion activity. In Black, C. A. et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 914-926.
100. PUMPHREY, F. V. y MOORE, D. P. Sulphur and nitrogen content of alfalfa herbage during growth. *Agronomy Journal* 57(3):237-239. 1965.
101. RAMOS, A. M. Influencia de lixiviación de aniones en pérdidas por arrastre de cationes. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias, y STICA. Informe Técnico nº 6. 1958. 31 p.
102. RICHARDS, L. A. Physical condition of water in soil. In Black, C. A. et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 128-152.

103. ROGERS, H. T., PEARSON, R. W. y PIERRE, W. H. Absorption of organic phosphorus by corn and tomato plants and the mineralizing action of exo-enzyme systems of growing roots. *Soil Science Society of America Proceedings* 5:285-291. 1940.
104. ROVIRA, A. D. Plant-root exudates in relation to the rhizosphere microflora. *Soils and Fertilizers* 25(3):167-172. 1962.
105. SAALBACH, E., JUDEL, K. G. y KESSEN, G. Über den Einfluß des Sulfatgehaltes im Boden auf die Wirkung einer Schwefel-düngung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 99(2,3):177-182. 1962.
106. SANDFORD, J. O. y LANCASTER, J. D. Biological and chemical evaluation of the readily available sulfur status of Mississippi soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 26(1):63-65. 1962.
107. SPENCER, K. y FRENEY, J. R. A comparison of several procedures for estimating the sulphur status of soils. *Australian Journal of Agricultural Research* 11:948-959. 1960.
108. STANFORD, G. y JORDAN, H. V. Sulfur requirements of sugar, fiber and oil crops. *Soil Science* 101(4):258-266. 1966.
109. STARKEY, R. L. Relations of microorganisms to transformations of sulfur in soils. *Soil Science* 70(1):55-65. 1950.
110. \_\_\_\_\_. Oxidation and reduction of sulfur compounds in soils. *Soil Science* 101(4):297-306. 1966.
111. STAUFFER, R. S. y RUST, R. H. Leaching losses, rainfall, and percolation from eight Illinois soils. *Agronomy Journal* 47:207-211. 1954.
112. STEWART, B. A. Nitrogen-sulphur relationships in plant tissue, plant residues and soil organic matter. In Jacks, G. V., ed. *Soil chemistry and fertility*. Aberdeen, Scotland, International Society of Soil Science, 1967. pp. 131-138.
113. \_\_\_\_\_, PORTER, L. K. y VIETS, F. G., Jr. Effect of sulfur content of straws on rates of decomposition and plant growth. *Soil Science Society of America Proceedings* 30(3):335-358. 1966.
114. \_\_\_\_\_ y PORTER, L. K. Nitrogen-sulfur relationships in wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea Mays*), and beans (*Phaseolus vulgaris*). *Agronomy Journal* 61(2):267-271. 1969.

115. STEWART, B. A. y WHITFIELD, C. J. Effects of crop residue, soil temperature, and sulfur on the growth of winter wheat. Soil Science Society of America Proceedings 29:752-755. 1965.
116. SUAREZ, F. Conservación de suelos. 2a. ed. Barcelona, Salvat, 1965. 319 p.
117. SULPHUR INSTITUTE. Sulphur-the essential plant food element. Washington, D. C. 1968. 29 p.
118. THOMAS, M. D. Gas damage to plants. Annual Review of Plant Physiology 2:293-322. 1951.
119. \_\_\_\_\_. Assimilation of sulfur and physiology of essential S-compounds. In W. Ruhland, ed. Handbuch der Pflanzenphysiologie Berlin, Springer, 1958. v. 9, pp. 37-63.
120. \_\_\_\_\_ y HILL, G. R. Absorption of sulfur dioxide by alfalfa and its relation to leaf injury. Plant Physiology 10(2):291-307. 1935.
121. \_\_\_\_\_, HENDRICKS, R. H. y HILL, G. R. Sulfur metabolism in alfalfa. Soil Science 70(1):19-26. 1950.
122. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. Soil fertility and fertilizers. ed. ed. New York, Macmillan, 1966. 694 p.
123. VLAMIS, J. y GOWANS, K. D. Availability of nitrogen, sulphur and phosphorus after brush burning. Journal of Range Management 14(1):38-40. 1961.
124. WALKER, D. R. y BENTLEY, C. F. Sulphur fractions of legumes as indicators of sulphur deficiency. Canadian Journal of Soil Science 41:164-168. 1961.
125. WALKER, T. W. Sulphur responses in Australasia. World Crops 7(11):441-444. 1955.
126. \_\_\_\_\_. The use of sulphur as a fertilizer. Agrochimica 9(1):1-14. 1964.
127. \_\_\_\_\_ y ADAMS, A. F. R. Competition for sulphur in a grass-clover association. Plant and Soil 9(4):353-366. 1958.
128. WHITE, J. G. Mineralization of nitrogen and sulphur in sulphur-deficient soils. New Zealand Journal of Agricultural Research 2:255-258. 1959.

129. WHITEHEAD, D. C. Soil and plant-nutrition aspects of the sulphur cycle. *Soils and Fertilizers* 27(1):1-8. 1964.
130. WILLIAMS, C. H. Nitrogen, sulphur and phosphorus. In Jacks, G. V., ed. *Soil chemistry and fertility*. Aberdeen, Scotland, International Society of Soil Science, 1967. pp. 93-111.
131. \_\_\_\_\_. Some factors affecting the mineralization of organic sulphur in soils. *Plant and Soil* 26(2):205-223. 1967.
132. \_\_\_\_\_ y STEINBERGS, A. Soil sulphur fractions as chemical indices of available sulphur in some Australian soils. *Australian Journal of Agricultural Research* 10:430-352. 1959.
133. \_\_\_\_\_ y STEINBERGS, A. The evaluation of plant available sulphur in soils. I. The chemical nature of sulphate in some Australian soils. *Plant and Soil* 17(3):279-294. 1962.
134. \_\_\_\_\_ y STEINBERGS, A. The evaluation of plant available sulphur in soils. II. The availability of adsorbed and insoluble sulphates. *Plant and Soil* 21(1):50-62. 1964.
135. YOUNGE, O. R. Sulphur deficiency and its effect on cotton production on coastal plain soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 6:215-218. 1941.

A P P E N D I C E

Cuadro 1. Características químicas y físicas del suelo experimental.

<u>Características</u>	<u>Método</u>
pH -----	Peech (99)
H <sub>2</sub> O                   6,2	
CaCl <sub>2</sub> 0,01 M   5,9	
M.O.                   5,09 % -----	Walkey y Black (16)
C                      2,96 %	
N                      0,29 % -----	Bremner (21)
C/N                    10,20	
Azufre disponible   2 ppm -----	Chesnin y Yien (31)
Azufre del suelo   370 ppm -----	Bardsley y Lancaster (7)
Azufre total        708 ppm -----	Chapman y Pratt (29)
Digestión del suelo con una mezcla nítrico-perclórica 1:1 y luego determinación colorimétrica de los sulfatos presentes en el extracto por el método de Johnson y Nishita (67).	
Fósforo extraíble   7 ppm -----	Bray y Kurtz (Bray 1)
C.I.C.                13,6 meq/100 g -----	Díaz-Romeu y Balerdi (37)
Calcio intercambiable   8,30 meq/100 g	" " "
Magnesio            "       2,20 meq/100 g	" " "
Potasio             "       0,43 meq/100 g	" " "
Retención de agua -----	Richards (102)
1/3 bar        20,9 %	
15 bares      14,8 %	
Distribución de partículas -----	Forsythe, W., Agronomía
Arena           46 %	(Perú) 33(1):16-27. 1966.
Arcilla         30 %	
Limo            24 %	
Clase textural       Franco arcillo-arenosa	

Cuadro 2. Fertilización básica.

Compuesto	Disoluciones Madres		Equivalente			
	g/l	ml/ maceta	Nutri mento	% en el compuesto	mg/ maceta	kg/ha
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	143,0	9	N	35,00	450	300
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	222,0	15	P	22,46	750	500
KCl	95,5	6	K	52,48	300	200
* $\text{CaCO}_3$	125,0	15	Ca	40,00	750	500
* $\text{MgCO}_3$	88,0	18	Mg	29,00	450	300
$\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	30,0	12	Fe	16,19	60	40
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11,0	6	B	11,34	7,5	5
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	18,1	6	Mn	27,83	30	20
$\text{ZnCl}_2$	10,4	6	Zn	47,97	30	20
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,4	6	Cu	37,27	7,5	5
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,1	6	Mo	39,66	7,5	5

\* Suspensiones

Cuadro 3. Contenido de nitratos y nitrógeno orgánico soluble en agua (NOSA) en la parte aérea de plantas de algodón durante las primeras 10 semanas.

Tratamientos	Semanas									
	4		6		8		10			
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ppm	NOSA ppm								
T	6.525	4.498	7.920	1.203	8.321	591	13.575	1.795		
A <sub>0</sub>	9.714	2.027	8.574	1.034	5.005	316	4.393	570		
A <sub>1</sub>	9.968	1.182	11.953	1.921	4.308	485	3.020	232		
A <sub>2</sub>	7.518	1.372	4.456	591	2.365	295	2.133	338		
A <sub>3</sub>	8.870	1.921	3.231	380	2.703	105	1.858	380		
B <sub>0</sub>	11.171	1.752	10.242	1.499	2.175	126	4.434	465		
B <sub>1</sub>	9.756	1.879	7.708	992	3.126	168	2.154	296		
B <sub>2</sub>	7.117	865	4.224	464	2.682	232	1.457	232		
B <sub>3</sub>	7.201	929	5.259	232	3.125	232	2.069	148		
C <sub>0</sub>	6.547	886	4.795	696	3.780	232	1.710	148		
C <sub>1</sub>	3.612	1.604	4.583	464	3.527	358	2.238	127		
C <sub>2</sub>	7.201	1.499	5.343	696	3.294	232	1.500	422		
C <sub>3</sub>	3.801	2.808	5.237	570	3.674	253	1.837	296		

Cuadro 4. Contenido de nitrógeno total soluble en agua (NTSA) y nitrógeno orgánico en la parte aérea de plantas de algodón durante las primeras 10 semanas.

Tratamientos	Semanas									
	4		6		8		10			
	NTSA ppm	N org. %								
T	11.023	3,76	9.123	1,95	8.912	1,59	15.370	0,89		
A <sub>0</sub>	11.741	3,50	9.608	2,05	5.321	1,23	4.963	0,77		
A <sub>1</sub>	11.150	2,94	13.874	2,41	4.793	1,46	3.252	0,81		
A <sub>2</sub>	8.890	3,10	5.047	1,74	2.660	1,03	2.471	0,77		
A <sub>3</sub>	10.791	3,06	3.611	1,68	2.808	1,01	2.238	0,58		
B <sub>0</sub>	12.923	3,25	11.741	2,06	2.301	1,21	4.899	0,77		
B <sub>1</sub>	11.635	3,18	8.700	2,06	3.294	1,17	2.450	0,70		
B <sub>2</sub>	7.982	3,21	4.688	1,79	2.914	1,16	1.689	0,56		
B <sub>3</sub>	8.130	3,60	3.780	1,31	3.357	1,41	2.217	0,77		
C <sub>0</sub>	7.433	3,58	5.491	1,94	4.012	1,50	1.858	0,62		
C <sub>1</sub>	5.216	2,78	5.047	1,90	3.885	1,44	2.365	0,73		
C <sub>2</sub>	8.700	3,37	6.039	2,36	3.526	1,55	1.922	0,69		
C <sub>3</sub>	6.609	3,41	5.807	2,34	3.927	1,47	2.133	0,80		

Cuadro 5. Contenido de sulfatos, azufre orgánico y azufre total en la parte aérea de plantas de algodón durante las primeras 10 semanas.

Tratamientos	Semanas											
	4		6		8		10					
	SO <sub>4</sub> ppm	S org. %	S total %	SO <sub>4</sub> ppm	S org. %	S total %	SO <sub>4</sub> ppm	S org. %	S total %	SO <sub>4</sub> ppm	S org. %	S total %
T	336	0,224	0,258	76	0,116	0,124	120	0,058	0,070	64	0,054	0,060
A <sub>0</sub>	360	0,222	0,258	100	0,130	0,140	150	0,091	0,106	140	0,056	0,070
A <sub>1</sub>	600	0,234	0,294	64	0,140	0,146	156	0,108	0,124	168	0,071	0,088
A <sub>2</sub>	1.240	0,222	0,346	132	0,137	0,150	340	0,106	0,140	340	0,090	0,124
A <sub>3</sub>	1.176	0,336	0,454	240	0,166	0,190	240	0,126	0,150	620	0,088	0,150
B <sub>0</sub>	100	0,230	0,240	32	0,085	0,088	460	0,094	0,140	100	0,060	0,070
B <sub>1</sub>	304	0,228	0,258	84	0,132	0,140	400	0,100	0,140	512	0,073	0,124
B <sub>2</sub>	440	0,340	0,384	1.400	0,225	0,365	620	0,128	0,190	548	0,095	0,150
B <sub>3</sub>	3.424	0,272	0,614	1.808	0,299	0,480	1.712	0,159	0,330	1.152	0,125	0,240
C <sub>0</sub>	440	0,214	0,258	120	0,160	0,172	428	0,129	0,172	220	0,048	0,070
C <sub>1</sub>	592	0,199	0,258	320	0,168	0,200	548	0,135	0,190	360	0,114	0,150
C <sub>2</sub>	3.008	0,237	0,538	860	0,252	0,338	760	0,164	0,240	592	0,131	0,190
C <sub>3</sub>	3.376	0,302	0,640	1.120	0,347	0,459	1.292	0,201	0,330	1.152	0,143	0,258

Cuadro 6. Relaciones N total:S total y N orgánico:S orgánico en la parte aérea de plantas de algodón durante las primeras 10 semanas.

Tratamientos	Semanas									
	4		6		8		10			
	N total: S total	N org.: S org.								
T	17,1	16,8	22,1	16,8	34,6	27,4	37,5	16,5		
A <sub>0</sub>	17,3	15,8	20,8	15,8	16,3	13,5	17,3	13,8		
A <sub>1</sub>	13,4	12,6	24,7	17,2	15,2	13,5	12,6	11,4		
A <sub>2</sub>	11,1	14,0	14,6	12,4	9,1	9,7	7,9	8,6		
A <sub>3</sub>	8,7	9,1	10,5	10,1	8,5	8,0	5,1	6,6		
B <sub>0</sub>	18,2	14,1	41,0	24,3	10,2	12,1	17,3	12,8		
B <sub>1</sub>	16,1	14,0	20,2	15,6	10,6	11,7	7,4	9,6		
B <sub>2</sub>	10,2	9,4	6,1	8,0	7,5	9,1	4,7	5,9		
B <sub>3</sub>	7,0	9,6	3,8	4,4	5,2	8,9	4,1	6,2		
C <sub>0</sub>	16,4	16,7	14,1	12,1	10,9	11,6	11,3	12,9		
C <sub>1</sub>	12,2	14,0	11,8	11,3	9,4	10,7	6,3	6,4		
C <sub>2</sub>	6,9	14,2	8,6	9,4	7,8	9,5	4,4	5,3		
C <sub>3</sub>	5,9	11,3	6,2	6,7	5,6	7,3	3,8	5,6		

Cuadro 7. Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en la parte aérea de plantas de algodón durante las primeras 10 semanas.

Trata mientos	Semanas														
	4			6			8			10					
	N %	P %	K %	N %	P %	K %	N %	P %	K %	N %	P %	K %	N %	P %	K %
T	4,41	0,80	2,50	2,74	0,55	1,73	2,42	0,57	1,70	2,25	0,45	1,15	2,25	0,45	1,15
A <sub>0</sub>	4,47	0,67	2,41	2,91	0,52	1,77	1,73	0,45	1,28	1,21	0,37	1,06	1,21	0,37	1,06
A <sub>1</sub>	3,94	0,68	2,45	3,61	0,64	1,65	1,89	0,54	1,65	1,11	0,35	1,05	1,11	0,35	1,05
A <sub>2</sub>	3,85	0,63	2,50	2,19	0,65	1,68	1,27	0,49	1,30	0,98	0,46	1,18	0,98	0,46	1,18
A <sub>3</sub>	3,95	0,75	2,30	2,00	0,49	1,53	1,28	0,45	1,26	0,77	0,42	1,20	0,77	0,42	1,20
B <sub>0</sub>	4,37	0,75	2,13	3,08	0,61	1,63	0,43	0,44	1,28	1,21	0,52	1,05	1,21	0,52	1,05
B <sub>1</sub>	4,16	0,65	2,27	2,83	0,55	1,59	1,48	0,50	1,09	0,92	0,34	0,88	0,92	0,34	0,88
B <sub>2</sub>	3,92	0,63	1,81	2,21	0,57	1,59	1,43	0,62	1,53	0,71	0,32	0,88	0,71	0,32	0,88
B <sub>3</sub>	4,32	0,83	2,50	1,84	0,42	1,38	1,72	0,39	1,15	0,98	0,39	0,82	0,98	0,39	0,82
C <sub>0</sub>	4,23	0,70	2,30	2,42	0,44	1,37	1,88	0,58	1,35	0,79	0,35	0,76	0,79	0,35	0,76
C <sub>1</sub>	3,14	0,40	1,81	2,36	0,52	1,47	1,79	0,44	1,18	0,95	0,31	0,90	0,95	0,31	0,90
C <sub>2</sub>	3,73	0,30	1,75	2,89	0,58	1,77	1,88	0,53	1,43	0,84	0,35	0,90	0,84	0,35	0,90
C <sub>3</sub>	3,79	0,72	2,27	2,86	0,59	1,71	1,84	0,51	1,40	0,98	0,37	0,87	0,98	0,37	0,87

Cuadro 8. Contenido de calcio y magnesio en la parte aérea de plantas de algodón durante las primeras 10 semanas.

Tratamientos	Semanas									
	4		6		8		10			
	Ca %	Mg %	Ca %	Mg %	Ca %	Mg %	Ca %	Mg %	Ca %	Mg %
T	1,94	0,33	1,76	0,36	2,03	0,48	1,71	0,31		
A <sub>0</sub>	1,87	0,37	1,63	0,36	1,63	0,38	1,22	0,19		
A <sub>1</sub>	1,87	0,31	1,57	0,41	1,44	0,30	1,17	0,20		
A <sub>2</sub>	2,24	0,35	1,78	0,41	1,34	0,25	1,22	0,19		
A <sub>3</sub>	1,98	0,36	1,78	0,42	1,25	0,24	1,03	0,21		
B <sub>0</sub>	1,98	0,35	2,13	0,54	1,50	0,31	1,38	0,24		
B <sub>1</sub>	1,93	0,34	1,76	0,42	1,00	0,31	1,13	0,22		
B <sub>2</sub>	2,48	0,42	1,57	0,39	1,57	0,35	1,22	0,19		
B <sub>3</sub>	2,44	0,47	1,87	0,47	1,53	0,30	1,18	0,23		
C <sub>0</sub>	2,44	0,42	1,88	0,47	1,64	0,36	1,22	0,21		
C <sub>1</sub>	2,13	0,33	1,68	0,40	1,70	0,41	1,22	0,21		
C <sub>2</sub>	2,70	0,44	1,65	0,40	1,70	0,41	1,18	0,18		
C <sub>3</sub>	2,52	0,41	1,98	0,59	1,68	0,42	1,22	0,22		

Cuadro 9. Contenido de sulfatos (ppm) en el suelo con y sin plantas durante las primeras 10 semanas.

Trata mientos	Semana										
	2		4		6		8		10		
	Suelo con plantas	Suelo sin plantas									
T	5,0	7,2	3,6	2,0	2,0	2,8	4,4	7,2	4,4	3,2	6,0
A <sub>0</sub>	5,0	9,2	6,8	2,8	2,0	3,6	4,4	22,8	4,4	3,2	6,8
A <sub>1</sub>	7,2	9,2	7,2	3,2	3,2	4,4	5,0	35,6	5,0	3,2	6,8
A <sub>2</sub>	7,2	10,8	8,8	3,6	3,2	4,4	6,8	35,6	6,8	3,2	8,8
A <sub>3</sub>	7,2	11,2	9,6	5,0	3,2	6,8	7,2	48,0	7,2	5,6	8,8
B <sub>0</sub>	6,8	9,6	4,4	2,0	4,4	3,6	4,4	38,8	4,4	4,4	5,6
B <sub>1</sub>	7,2	11,2	5,6	2,0	2,0	4,4	8,0	10,8	8,0	6,8	8,8
B <sub>2</sub>	31,2	14,8	6,8	6,8	9,2	23,6	80,0	56,4	80,0	8,8	124,0
B <sub>3</sub>	214,4	25,6	35,2	6,8	200,0	39,6	101,6	77,6	101,6	9,6	140,0
C <sub>0</sub>	7,2	9,6	10,8	2,8	2,0	6,8	7,2	7,2	6,8	4,4	12,0
C <sub>1</sub>	11,2	11,2	12,0	3,2	4,4	8,8	11,2	11,2	11,6	6,8	14,8
C <sub>2</sub>	15,2	29,2	15,0	6,8	5,0	11,6	28,8	38,8	28,8	6,8	30,4
C <sub>3</sub>	45,2	85,6	32,4	33,6	28,8	34,0	55,2	136,0	55,2	25,6	62,4