

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ESTUDIO DE CORRELACION DE UN METODO ANALITICO PARA
LA DETERMINACION DE AZUFRE Y DE LA RESPUESTA A LA APLICACION
DE ESE ELEMENTO EN 25 SUELOS DE GUATEMALA

Tesis

Presentada a la Honorable Junta Directiva de la
Facultad de Agronomía de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por

JOSE ROBERTO RANERO CABARRUS

En el acto de su investidura como

INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, mayo de 1974

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Rector

Dr. Roberto Valdeavellano Pinot

FACULTAD DE AGRONOMIA

JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Agr. Edgar L. Ibarra A.
Vocal 1o.	Ing. Agr. Salvador Castillo O.
Vocal 2o.	Ing. Agr. Ronaldo Prado R.
Vocal 3o.	Ing. Agr. Carlos G. Aldana
Vocal 4o.	P. A. José Napoleón Medina
Vocal 5o.	P. A. Miguel Angel Carballo

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Agr. Edgar L. Ibarra A.
Examinador	Ing. Agr. Juan José del Carmen
Examinador	Ing. Agr. Eduardo Goyzueta
Examinador	Ing. Agr. Carlos G. Aldana
Secretario	Ing. Agr. Oswaldo Porras

Guatemala,
mayo de 1974

Ing. Agr. Edgar L. Ibarra A.
Decano, Facultad de Agronomía
Ciudad Universitaria

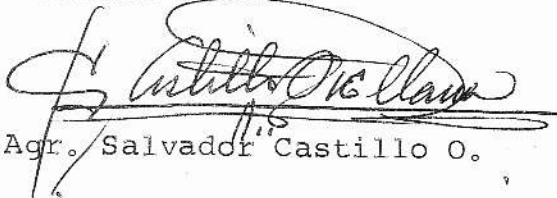
Señor Decano:

Tengo el honor de dirigirme a usted para hacer de su conocimiento, que atendiendo la designación que me hiciera la Facultad de Agronomía he procedido a revisar el trabajo de tesis titulado "Estudio de correlación de un método analítico para la determinación de azufre y de la respuesta a la aplicación de ese elemento en 25 suelos de Guatemala", el cual presenta el Universitario José Roberto Ranero Cabarrús como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Agrónomo.

Al considerar que dicho trabajo reúne todos los requisitos para su aprobación, por este medio me complace comunicarlo al Señor Decano para los efectos consiguientes.

Sin otro particular, reitero al Señor Decano las muestras de toda mi consideración.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Salvador Castillo O.", is written over a horizontal line. The signature is fluid and cursive.

Ing. Agr. Salvador Castillo O.

DEDICO ESTE ACTO

A Dios

A mis padres

José Roberto Ranero Viscaíno (QEPD)
Julieta Cabarrús vda. de Ranero

A mi esposa

Yolanda Soto de Ranero

A mi hijo

José Roberto Ranero Soto

A mis hermanos

Héctor Eduardo
Lilian Carolina
María del Carmen
Carlos Alberto (QEPD)
Federico
Alvaro Enrique

A mis tíos

Héctor Cabarrús Conde
Francisco Cabarrús Conde

A mi primo

Leonel Coronado Cabarrús

A la familia

Soto Pérez, en especial a
Don Carlos Soto y Amparo de Soto

A MIS AMIGOS EN GENERAL

A MIS COMPAÑEROS DE PROMOCION

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA, U.S.C.

RECONOCIMIENTO

El autor desea dejar constancia de su Reconocimiento al DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA, Dirección de Investigación Agrícola, DIGESA, M. A. por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo.

A los Ingenieros Agrónomos Salvador Castillo, Roberto Díaz-Romeu, M. Sc. Julio Aníbal Palencia, al Lic. Jaime Wyld, al Dr. James L. Walker y el Dr. Albert Plant, cuyas sugerencias y recomendaciones hicieron posible la realización del presente estudio.

Al personal de Secretaría y Laboratorio del mencionado Departamento, y a todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron durante el desarrollo del mismo.

A los Estudiantes de la Facultad de Agronomía, Edgar Ríos V. y Luis F. García por su ayuda en el trabajo de invernadero.

El autor

CONTENIDO

	Hoja
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 El azufre en la planta.....	3
2.2 El azufre en el suelo.....	5
3. MATERIALES Y METODOS.....	11
3.1 Selección de suelos.....	11
3.2 Recolección y preparación de las muestras de suelo.....	12
3.3 Breve descripción de los suelos estudiados.....	13
3.4 Características Químicas de los suelos estudiados.....	16
3.4.1 Descripción del método utilizado para la determinación de azufre.....	20
3.5 Estudio de invernadero.....	21
3.5.1 Tratamiento de azufre seleccionados....	21
3.5.2 Diseño Experimental.....	22
3.5.3 Manejo del Experimento.....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
5. CONCLUSIONES.....	33
6. BIBLIOGRAFIA.....	35

Guatemala, mayo de 1974

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

De conformidad con lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter ante vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

"ESTUDIO DE CORRELACION DE UN METODO ANALITICO PARA LA DETERMINACION DE AZUFRE Y DE LA RESPUESTA A LA APLICACION DE ESE ELEMENTO EN 25 SUELOS DE GUATEMALA"

Al presentarlo como requisito parcial para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licencia en Ciencias Agrícolas, confío en que será objeto de vuestra aprobación.

Muy agradecido por el favor de vuestra atención, me complace suscribirme de vosotros deferentemente,

José Roberto Ranero Cabarrús

1. INTRODUCCION

Con la proyección del Ministerio de Agricultura y casas comerciales hacia los agricultores del país, proporcionándoles asistencia técnica, se ha incrementado dentro de ellos el uso de los fertilizantes como uno de los medios para mejorar su producción agrícola. Es evidente, que con el incremento de las cosechas, ha habido también mayor extracción de los nutrientes del suelo por las plantas, incluyéndose dentro de éstos al azufre.

La mayoría de recomendaciones que sobre el uso de fertilizantes recibe el agricultor, provenientes ya sea del Ministerio de Agricultura a través del Departamento de Edafología o de Técnicos de las casas comerciales vendedoras de fertilizantes, casi exclusivamente se han hecho tomando en cuenta los elementos que las plantas requieren en mayor cantidad para su crecimiento, como lo son el nitrógeno, fósforo y potasio; y algunas veces el calcio, utilizándolo sobre todo para la corrección del pH de algunos suelos, olvidándose por completo de los demás elementos, que aunque requeridos en menor cantidad por las plantas, son también de acuerdo a la Ley del Mínimo, indispensables para incrementar la producción vegetal.

En muchas áreas de producción agrícola del mundo, la deficiencia de azufre en los suelos no se detectó sino hasta recientemente, y ello es debido en gran parte a que las casas productoras de fertilizantes por una mayor demanda de los mismos, se vieron en la necesidad, por razones de tipo económico, de proveer a los agricultores de formulaciones más concentradas (4, 14, 18, 22, 30).

Como resultado de esa concentración de los fertilizantes sobre todo para nitrógeno, fósforo y potasio; el contenido de otros elementos como el calcio y el azufre se redujo, y en algunos casos se llegó a eliminar completamente, evitando así, la aplicación del elemento azufre indirectamente al suelo, (18, 29), ocasionando con el uso intensivo del suelo, el agotamiento de la reservas de este elemento.

Actualmente existe información sobre áreas que son deficientes en azufre en Guatemala, detectadas mediante trabajos exploratorios con la Técnica del Elemento Faltante (16) en el Invernadero y el Laboratorio de Análisis Foliar del Departamento de Edafología (11), que concuerdan con las observaciones de Muller sobre deficiencias de azufre en áreas de Centro América y Panamá (18, 20, 21).

[Es lógico entonces suponer, que de no tomarse las medidas necesarias, la deficiencia de este elemento en algunos suelos de Guatemala, será cada día más marcada, y por lo tanto, ya no bastará un análisis del suelo sobre los elementos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y la determinación del pH, para hacer la recomendación de los fertilizantes a usar.] A corto plazo será necesario contar con un método calibrado y debidamente correlacionado para análisis de azufre en el suelo.

En cuanto a la calibración de métodos analíticos para la extracción de azufre en los suelos no hay problema, porque existen en la actualidad varios métodos, entre los cuales están el de extracción con fosfato de calcio y el de extracción con Acetato de amonio y ácido acético (2, 19).

El principal problema, es la correlación de los resultados de análisis que dé el método escogido, con la respuesta de la planta a dichos resultados, para poder establecer el nivel crítico de aplicación de azufre, hasta el cual exista alta probabilidad de obtener una respuesta en el rendimiento de un cultivo (8, 9).

El presente trabajo de tesis "Estudio de Correlación de un Método Analítico para la Determinación de Azufre y de la Respuesta a la Aplicación de ese Elemento en 25 Suelos de Guatemala", trata de solucionar en parte, esa carencia de un método debidamente correlacionado en suelos de Guatemala al cual le podamos llegar a determinar su nivel crítico. Además con este trabajo se busca regionalizar algunas de las áreas que ya presentan deficiencia de este elemento y de evaluar al mismo tiempo, la respuesta de los suelos estudiados a la fertilización con dosis crecientes del mismo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 El Azufre en la Planta

El azufre al igual que otros nutrimentos minerales, se considera un elemento esencial para el buen desarrollo de las plantas (3, 4, 12, 13, 18, 22, 23, 25).

La cantidad de azufre necesaria para el desarrollo de las mismas es relativamente alta, siendo aproximadamente la mitad del fósforo requerido por las cosechas de cereales, e igual a la cantidad del fósforo requerido por las cosechas de las leguminosas (12, 13). Sin embargo, otros autores (3, 4, 22) le atribuyen una importancia mayor al contenido de azufre en la planta; para ellos, el contenido de azufre en la semilla de muchas plantas es solamente alrededor de la mitad del fósforo, pero la paja, el rastrojo y el tallo contienen cerca de dos veces más azufre que fósforo, especialmente plantas de las familias de Leguminosas, Crucíferas y Liliáceas.

Entre las principales funciones que este elemento desempeña dentro de la planta, varios autores (4, 13, 15, 22, 23, 25, 30) coinciden en señalar las siguientes: Síntesis de aminoácidos como metionina, cistina y cisteína, importantes para la formación de proteínas. Requerido para la formación de vitaminas, enzimas y hormonas; indispensable para la síntesis de clorofila, para el normal crecimiento de las raíces y para la formación de algunos aceites en los vegetales, tanto que es el responsable del olor característico de algunas especies de las familias de Crucíferas y Liliáceas. Además este elemento sirve como sistema amortiguador, manteniendo la reacción de la savia en la planta y previniendo la alcalinidad de las plantas y los suelos. Desempeña papel importante en los sistemas de oxidación y reducción de la respiración, y en la actividad de fermentos.

Los síntomas de deficiencia de azufre son semejantes a los que aparecen por la falta de nitrógeno; las

hojas de las plantas afectadas tienden a volverse amarillas, las raíces crecen anormalmente y los tallos se vuelven leñosos; las plantas en general desarrollan poco y ocurre una maduración lenta de la cosecha (3, 13, 15, 22, 23, 30). Sin embargo, hay diferencias importantes debido a la forma distinta de comportarse dichos elementos dentro de la planta; por una parte, el azufre es un elemento inmóvil o sea no traslocable, al contrario de lo que ocurre con el nitrógeno, que es bastante movable dentro del vegetal, por consiguiente, la deficiencia de azufre se presenta en las hojas y brotes nuevos; en cambio la deficiencia de nitrógeno, se presenta en las hojas inferiores o viejas de la planta, manifestándose tanto en el caso del azufre como el del nitrógeno, como una clorosis (3, 22, 23, 25).

Otros autores (3, 14, 22, 23) le atribuyen también a síntomas de deficiencia de azufre, las siguientes anormalidades en el desarrollo de las plantas: Los tallos tienden a aumentar su longitud más que a engrosar; los frutos son de color verde claro, los frutos carnosos resultan poco jugosos, hojas delgadas de color verde claro, crecimiento retardado de la planta, floración reducida. Y por último, la deficiencia de azufre influye en la nodulación de las raíces de las plantas leguminosas, y como consecuencia, resulta una síntesis reducida de proteína.

La deficiencia de azufre se presenta al igual que la de potasio, en las estaciones secas; ello contrasta notablemente con las deficiencias de magnesio y manganeso, que se producen durante las estaciones húmedas, aspecto que es importante hacer notar, por la similitud entre los síntomas de deficiencia de azufre y los síntomas de deficiencia de magnesio y manganeso, lo que podría ocasionar una confusión (3).

El exceso de azufre en el suelo tiene efectos indirectos, baja el pH y los iones tóxicos pueden ser absorbidos. Las plantas que crecen en suelos altos en azufre, tienden a tener una baja relación corona:raíz, o sea más raíces que crecimiento de la parte aérea de la planta (23).

Suelo Culma: Son suelos moderadamente profundos, bien drenados, desarrollados sobre lahar máfico, de textura franco arcillosa, friable, de color pardo oscuro, de estructura granular.

Suelo Chicaj: Son suelos poco profundos, mal drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica cementada de grano fino, de textura arcillosa, de estructura cúbica gruesa, de color gris.

Suelo Yaxá: Son suelos poco profundos, con buen drenaje, desarrollados sobre rocas calcáreas suaves y blanquecinas, de textura arcillosa, de color negro, con una estructura granular.

Suelo Taxisco: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre lodo volcánico de color claro que tienen algunas rocas máficas, de textura franco arcillosa, friable, de color pardo rojizo oscuro, de estructura granular.

Suelo Chachaclum: Son suelos medianamente profundos, con buen drenaje, desarrollados sobre material residual proveniente de rocas calcáreas, de textura arcillo limosa, de color pardo oscuro y con estructura granular.

Suelo Tecpán: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano relativamente fino, de textura franco arcillo arenosa, de color pardo a pardo oscuro, es un suelo suelto y friable.

Suelo Salamá fase quebrada: Son suelos poco profundos, excesivamente drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica pomácea cementada, suelo de textura franco arenosa fina, suelto, de color pardo grisáceo.

Suelo Quiriguá: Son suelos profundos, imperfectamente drenados, desarrollados sobre depósitos aluviales, de textura franco limosa, friable, de color pardo, estructura granular.

ca, suelo de color pardo oscuro.

Suelo Chocolá: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica de grano fino, de textura franco limosa, friable, de color pardo oscuro, y de estructura granular.

Suelo emparentado a Serie Guatemala: Son suelos profundos, desarrollados sobre ceniza volcánica débilmente cementada, de textura franco arcillosa, de color pardo grisáceo oscuro, de estructura granular muy fina medianamente definida. La diferencia con los suelos de la Serie Guatemala está en su drenaje interno impedido, con la consiguiente tendencia a mantener agua estancada en su superficie después de un aguacero fuerte.

Suelo Camanchá franco arcillo arenoso: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica de color claro, de textura franco arcillo arenosa, de color pardo claro.

Suelo Cauqué: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica pomácea firme y gruesa, de textura franca, friable, de color pardo muy oscuro.

Suelo Cauqué franco arcilloso: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica pomácea firme y gruesa, de textura franco arcillosa, de color pardo oscuro, estructura cúbica poco desarrollada.

Suelo Tecpán franco arenoso muy fino: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano relativamente fino, de textura franco arenosa, son suelos sueltos y friables, de color pardo.

Suelo Camanchá: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano fino, de textura franco arcillosa, color pardo oscuro.

caso fue de 50 Kgs por suelo seleccionado.

- b. Para el estudio de invernadero, la muestra obtenida se mezcló cuidadosamente hasta lograr su homogeneización completa, luego fue pasada por un tamiz a 8 mm y extendida sobre una tela de material plástico para secarla al aire. Una vez seca la muestra, se homogeneizó nuevamente desplazándola hacia adelante y atrás al elevar alternadamente los extremos del plástico; y
- c. Para los análisis químicos de laboratorio, se tomó una sub-muestra representativa de cada muestra ya seca y homogeneizada; cada submuestra de 1 Kg fue tamizada a 2 mm, homogeneizada una vez más y luego ingresada al laboratorio.

3.3 Breve Descripción de los Suelos Estudiados, según Simmons et al (26)

Suelo Ixtán: Son suelos profundos, moderadamente drenados, desarrollados sobre material de grano fino que parecen haber sido depositados en una terraza marina; suelo arcilloso de color pardo oscuro, y de una estructura cúbica bien desarrollada.

Suelo Chirrum: Son suelos medianamente profundos, bien drenados, desarrollados sobre abanicos aluviales, cuyo material es una mezcla de cenizas volcánicas y de aluvión local, de textura franco arcillo limosa, de color pardo a pardo oscuro.

Suelos Tecpán Franco: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano relativamente fino, de textura franca, son suelos sueltos y friables, de color pardo.

Suelo Quezaltenango franco: Son suelos profundos, bien drenados, que se han desarrollado sobre ceniza volcánica débilmente cementada, de textura fran-

Muestra No.	Serie de Suelos	ppm de S
10	Cauqué franco arcilloso	32.96
11	Tecpán franco arenoso muy fino	35.32
12	Camanchá	26.62
13	Culma	18.60
14	Chicaj	22.14
15	Yaxá	47.00
16	Chachaclum	10.13
17	Taxisco	17.53
18	Tecpán	13.34
19	Salamá fase quebrada	11.72
20	Quiriguá	11.26
21	Suelo Teculután	8.84
22	Chacón	22.64
23	Tiquisate	11.20
24	Escuintla	10.64
25	Ostuncalco	33.43

.2 Recolección y preparación de las muestras de suelo

Una vez seleccionados los suelos, se procedió a recolectar en el campo las muestras correspondientes y luego a preparar las mismas para los análisis de laboratorio y el estudio de invernadero requerido.

Tanto para la recolección, como para la preparación de estas muestras, se siguió la técnica propuesta por Fitts y Waugh (9), la cual consiste en lo siguiente:

- Usando una pala, se cortaron secciones verticales de suelo de tres centímetros de espesor y a profundidad de aradura (15-20 cm), sin incluir porción alguna del subsuelo en el caso de los suelos poco profundos.

Esta operación se hizo en varios sitios al azar, hasta completar el volumen deseado que en este

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Selección de Suelos

La selección de los suelos estudiados se hizo en base al nivel de azufre disponible, procurando incluir suelos con niveles adecuados así como con niveles deficientes de este elemento.

Para el efecto se utilizaron los expedientes de los suelos estudiados en el invernadero del Departamento de Edafología, DIA, DIGESA, con la técnica del "Elemento Faltante" (16, 24); en los cuales se encontró la ubicación de suelos, tanto de los que presentaban respuesta a la aplicación del elemento azufre como de los que no la presentaron.

Inicialmente, entre muestras deficientes y no deficientes, fueron escogidos los expedientes de 40 suelos, para posteriormente hacerles la determinación del azufre con el método de Bardsley y Lancaster y poder eliminar algunos suelos entre los que presentaban similar contenido, así como justificar también, la inclusión de más de una muestra por serie de suelo por tener diferente nivel de azufre. Con esta última selección quedaron finalmente las siguientes 25 muestras para el estudio de invernadero:

<u>Muestra</u> <u>No.</u>	<u>Serie de Suelos</u>	<u>ppm de S</u>
1	Ixtán	13.61
2	Chirrum franco arcillo limoso	58.08
3	Tecpán franco	33.54
4	Tecpán franco	15.77
5	Quezaltenango franco	32.61
6	Chocolá	18.35
7	Emparentada a serie Guatemala	8.19
8	Camanchá franco arcillo arenoso	21.09
9	Cauqué	14.75

Muller (19) tomando en cuenta la importancia de las áreas deficientes en azufre en suelos de Centro América, con auxilio de ensayos de invernadero, probó y correlacionó con producción vegetal, por medio del método de correlación descrito por Cate y Nelson (8), varios métodos de extracción de azufre en suelos provenientes de Centro América y Panamá; concluyendo que los dos mejores métodos, por dar mayor coeficiente de correlación (8) fueron el método descrito por Bardsley y Lancaster (2) y el método de extracción con fosfato de calcio 1:5.

En base a las experiencias de Muller (19) trabajando con suelos de Centro América y Panamá, incluyendo entre de ellos 8 suelos de Guatemala; y buscando entre los dos métodos que mejor resultado dieron, el más sencillo para poder en un tiempo no lejano, incorporarlo a los métodos de análisis de rutina del Laboratorio de Suelos del Departamento de Edafología; se decidió iniciar el presente estudio para probar el método descrito por Bardsley y Lancaster (2) en 25 suelos de Guatemala. Con ello se pretende establecer en primer lugar, cuál es el nivel crítico de azufre, utilizando el procedimiento de correlación descrito por Cate y Nelson (8), para posteriormente, en base a los resultados obtenidos, poder justificar las recomendaciones de aplicación de azufre en casos donde sea necesario, a los agricultores del país.

<u>Material</u>	<u>% de azufre</u>
polisulfuro de amonio.....	40
sulfato de amonio.....	24
sulfato de calcio (yeso).....	15- 18
sulfato de magnesio.....	23
sulfato de potasio.....	17-18
sulfato de potasio-magnesio.....	22
azufre elemental.....	85-99
superfosfato normal.....	12
urea-azufre.....	10
Sol-U-Sul.....	88
Tiovite.....	26

Cabe notar, que cuando el cultivo está establecido y presenta la deficiencia, las fuentes de azufre más efectivas son aquellas que lo aporten directamente como ión sulfato, pues está inmediatamente disponible a la planta; no ocurriendo así, con aquellas fuentes que tienen que sufrir un proceso de oxidación en el suelo, por ejemplo el azufre elemental, y que por consiguiente, deben de aplicarse con un tiempo prudencial antes de que la planta los necesite, para que puedan sufrir el proceso de oxidación y quedar así, en forma disponible a la planta (10, 28).

Varios autores (1, 4, 5, 7, 14, 18, 22, 30) concuerdan en que actualmente las áreas deficientes en azufre tienden a incrementar dicha deficiencia por varias razones: Uso de fertilizantes más concentrados en nitrógeno, fósforo y potasio, sin contenido de azufre en su formulación, en sustitución de fertilizantes menos con-

guiente el pH rara vez presenta dificultad. Con la aplicación de CaCO_3 , se incrementa la oxidación, por la neutralización del ácido sulfúrico producido.

Población de Microorganismos: Aunque la gran mayoría de los suelos arables tienen microorganismos encargados del oxidar al azufre, la densidad de población de los mismos, depende en gran parte, de la cantidad de este elemento a oxidar existente en el suelo. En la mayoría de los suelos arables la inoculación no es considerada necesaria.

Características de la Fuente de Azufre a Oxidar en El Suelo: Entre estas características tenemos: Tamaño de la partícula, a medida que la partícula es más fina, más rápidamente ocurre la oxidación.

Otro factor importante es la localización, que de preferencia la fuente debe estar lo mejor distribuida en el suelo; influye también la época de aplicación, son más eficientes las aplicaciones pequeñas y periódicas, aunque a veces no resulta económico.

Burns (7) indica que el azufre elemental, los tiosulfatos, sulfitos, polisulfitos y dióxidos de azufre, son oxidados bastante rápido, y es proceso generalmente biológico; aunque la oxidación del azufre elemental, depende mucho del tamaño de la partícula agregada y su distribución en el suelo.

El azufre en cualesquiera de sus formas puede llegar al suelo por varios medios, entre éstos tenemos principalmente los fertilizantes que contienen azufre, los abonos orgánicos, pesticidas a base de azufre, agua de lluvia y el agua de riego (3, 23, 25, 28, 29, 30).

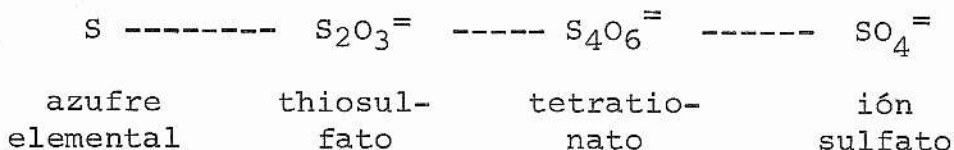
Entre los principales fertilizantes que contienen azufre, varios autores (3,4,5,13, 17, 22, 23, 25, 28) citan los siguientes:

En lugares con mucha precipitación, la parte del azufre inorgánico que se encuentra como ión sulfato, se lixivia a horizontes más bajos, quedando no disponible a las plantas, o se pierde hacia las aguas subterráneas (4, 28).

De las otras formas de azufre en el suelo, como lo son el azufre elemental, sulfitos, bisulfitos, tiosulfatos; tienen que sufrir un proceso de oxidación, casi siempre por medio de microorganismos, para pasar a la forma de ión sulfato, y quedar así, disponible a la planta (7, 22).

Los principales géneros de microorganismos responsables de la oxidación del azufre en el suelo son: Thiobacillus thioparus y Thiobacillus thiooxidans (22).

La oxidación ideal reportada en (22) a partir del azufre elemental hasta llegar a ión sulfato, por acción de microorganismos del género Thiobacillus, es la siguiente:



Entre los principales factores que afectan la actividad de oxidación del azufre por microorganismos en el suelo, se citan los siguientes (7, 22):

Temperatura: La oxidación del azufre se lleva a cabo desde los 4 grados centígrados hasta los 55 grados centígrados, aunque en los extremos ya es muy lenta. La temperatura más favorable está entre los 27 y los 40 grados centígrados.

Humedad y Aereación del Suelo: El contenido de humedad y aereación más favorable se alcanza cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo.

pH y Contenido de $CaCO_3$: Los microorganismos se desarrollan bien desde un pH de 2.0 a 9.0, por consi-

2.2 El Azufre en el Suelo

El contenido de azufre en los suelos varía desde menos de 0.1% hasta 1.0%. Las plantas contienen porcentajes similares de azufre, si crecen bajo condiciones ambientales similares o en los mismos tipos de suelos (23).

Las piritas, las pizarras, el yeso, la anhidrita y una forma deshidratada del yeso, son las formas minerales de azufre más profusamente distribuidas en las rocas y en los suelos (3). En los procesos de formación de los suelos, las piritas y otros sulfuros metálicos, tienden a dar azufre; bien en forma de sulfuro de hidrógeno, o bien de dióxido de azufre, dependiendo de la cantidad de oxígeno presente; gran parte de este azufre es transformado finalmente en ácido sulfúrico, y los sulfatos resultantes se acumulan en el suelo, o son lixiviados por las aguas de drenaje, según las condiciones de lluvia prevalecientes en la zona y la textura del suelo (3, 13).

Fox, et. al. (10) informa que además de la composición mineralógica del suelo, el contenido de azufre en el mismo, está generalmente asociado al contenido de materia orgánica; suelos deficientes en azufre, por lo regular son suelos pobres en materia orgánica.

El azufre en el suelo se encuentra en dos formas: Una como azufre inorgánico, del cual sólo cuando se encuentra como ión sulfato ($\text{SO}_4^{=}$) puede ser aprovechado por la planta; y la otra forma es como azufre orgánico, que se encuentra limitado a la disponibilidad de la planta, por la rapidez del proceso de mineralización de la materia orgánica (7, 10, 13).

De las dos formas anteriores, el azufre orgánico ocupa casi el 75% del total del azufre en el suelo, el resto se encuentra como sulfitos, sulfatos solubles e insolubles, del cual sólo el 5-10% está en forma de sulfatos aprovechables por la planta. Muchos sulfatos de suelos de regiones húmedas, están asociados a óxidos de hierro y aluminio (22, 29).

centrados en dichos elementos pero que contenían azufre. Ejemplos típicos de este fenómeno son los cambios operados con la urea y el triple superfosfato, usados como fuentes de nitrógeno y fósforo respectivamente, en sustitución del sulfato de amonio y del superfosfato simple, los cuales aunque contienen menos porcentaje de nitrógeno y fósforo en su formulación, contienen suficiente azufre, que se agrega indirectamente al suelo con el uso de dichos fertilizantes. Por otra parte tenemos, que con la aplicación de mejor tecnología a los cultivos, se han obtenido mayores cosechas, y por consiguiente, ha habido mayor extracción del azufre del suelo. También el contenido de azufre atmosférico se ha ido reduciendo, y con ello también la incorporación del mismo al suelo por medio de las lluvias, debido al cambio de combustible operado en muchas industrias y aún a nivel de viviendas, sustituyendo el carbón mineral como fuente de energía, por algunos derivados del petróleo, que desprenden menos SO_2 en la combustión. Por últimos tenemos la sustitución de los plaguicidas antiguos, como el caldo bordelés con un alto contenido de azufre, por productos químicos orgánicos, que la mayoría de ellos no contienen azufre, reduciéndose así, las fuentes de este elemento para el suelo.

Debido a las razones expuestas anteriormente, se han incrementado cada día más las áreas deficientes en azufre, llegando a ser un elemento importante a considerar en la fertilización de muchas regiones agrícolas del mundo, para la obtención de mejores cosechas (4, 27).

En el caso de Guatemala varios autores (11, 18, 19, 20, 21, 24) lo consideran como un elemento que empieza a ser limitante en muchas regiones agrícolas de importancia económica para el país.

En 1963 Bardsley y Lancaster (2) correlacionaron con la producción vegetal en 21 suelos de Estados Unidos, el método descrito por ellos, para extracción del azufre soluble del suelo con solución de Acetato de Amonio 0.5N y Acido Acético 0.25N; estableciendo que suelos con menos de 14 ppm de azufre responden a la aplicación de este elemento; mientras que, suelos con más de 14 ppm no responden a la fertilización con azufre.

Suelo Teculután: Son suelos medianamente profundos, excesivamente drenados, desarrollados sobre abanicos aluviales cuyo material es una mezcla de cenizas volcánicas y aluvi6n local, de textura franco arenosa fina, de color pardo rojizo, friable.

Suelo Chac6n: Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre dep6sitos marinos antiguos, de textura franco limosa, friable, de color pardo a pardo grisáceo oscuro, de estructura granular.

Suelo Tiquisate: Son suelos profundos, bien drenados, que se han desarrollado sobre dep6sitos marinos aluviales de color oscuro, suelo de textura franca, de color pardo oscuro a pardo muy oscuro, de estructura granular fina y poco desarrollada.

Suelo Escuintla: Son suelos profundos, bien drenados; que se han desarrollado sobre lodo volcánico, de textura franca, de color pardo a pardo muy oscuro, de estructura granular suave.

Suelo Ostuncalco: Son suelos excesivamente drenados, poco profundos, desarrollados sobre ceniza volcánica pomácea, blanca y suelta, de textura franca o arena suelta.

3.4 Características Químicas de los Suelos Estudiados

En el Cuadro 1 se anotan algunas características químicas, que de acuerdo a la literatura consultada (9, 16, 24), son necesarias conocer acerca de los suelos bajo estudio, para tener suficientes elementos de juicio que permitan un mejor manejo de los ensayos en el invernadero y una más adecuada interpretación de los resultados obtenidos.

Las determinaciones analíticas para la caracterización química aludida, se llevaron a cabo de acuerdo a la siguiente metodología:

El pH fue determinado en una relación agua/suelo 2:1, obteniéndose la lectura en un potenciómetro (Fisher modelo 210), con electrodos de vidrio.

El Nitrógeno (NO_3) se determinó en el extracto obtenido con la solución de Mehlich, por colorimetría con ácido fenol disulfónico.

El fósforo disponible fue extraído con la solución de Mehlich y la lectura se obtuvo en un colorímetro (Cenco), con filtro de 415 milimicrones.

El calcio y el magnesio disponibles, fueron determinados en el extracto de cloruro de potasio 1N., por medio de un fotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer modelo 103.

El potasio fue determinado en la solución extractora de Mehlich, en un fotómetro de llama.

El aluminio intercambiable se determinó en los suelos cuyo pH era menor de 5.5, en un extracto de cloruro de potasio 1N, por titulación con hidróxido de sodio 0.025N.

La capacidad de fijación de fósforo fue determinada siguiendo la técnica descrita por Fitts y Ranero (9, 24), y la lectura se hizo en un colorímetro marca Cenco con filtro de 415 milimicrones.

La materia orgánica se determinó con el método de Walkley y Black (combustión húmeda, C.O. % por 1.724 da el % de materia orgánica).

CUADRO 1. Características Químicas de los Suelos Estudiados

Muestra No.	Serie de Suelos	pH	Partes por Millón				Meg/100 g Suelo			% M.O.
			N	P	K	S	Ca	Mg	Al	
1	Ixtán	6.4	16	3.4	95	13.61	12.47	2.89	0	6.96
2	Chirrum franco arcillo limoso	7.0	16	22.3	95	58.08	9.72	3.26	0	8.71
3	Tecpán franco	6.2	16	5.6	350	33.54	7.48	1.11	0	8.64
4	Tecpán franco	6.0	16	5.0	300	15.77	6.73	1.26	0	8.97
5	Quezaltenango franco	6.0	16	12.3	270	32.61	7.23	1.04	0	7.67
6	Chocolá	5.9	16	4.0	190	18.35	6.85	1.81	0	6.96
7	Emparentada a serie Guatemala	6.1	16	18.4	140	8.19	6.48	1.59	0	0.52
8	Camanchá franco arcillo arenoso	5.7	16	8.3	240	21.09	6.23	1.04	0	1.56
9	Cauqué	6.7	16	5.6	275	14.75	11.00	1.52	0	5.59
10	Cauqué franco arcilloso	6.1	16	4.0	440	32.96	10.00	1.00	0	6.24
11	Tecpán franco arenoso muy fino	6.1	16	6.2	105	35.32	6.73	0.78	0	3.77

Cont. Cuadro 1

Muestra No.	Serie de Suelos	pH	Partes por Millón				Meq/100 g Suelo				%
			N	P	K	S	Ca	Mg	Al	M.O.	
12	Camanchá	6.7	16	6.7	230	26.62	6.85	1.26	0	3.77	
13	Culma	6.4	16	17.5	185	18.60	10.62	3.07	0	3.51	
14	Chicaj	6.6	16	9.8	270	22.14	19.44	7.40	0	4.42	
15	Yaxá	7.7	16	30.0	140	47.00	32.40	3.14	0	12.86	
16	Chachaclum	7.9	16	3.4	35	10.13	15.20	0.48	0	1.82	
17	Taxisco	6.2	16	2.8	175	17.53	8.72	3.63	0	5.20	
18	Tecpán	6.6	16	100.0	500	13.34	6.00	3.04	0	4.68	
19	Salamá fase quebrada	7.2	16	92.0	260	11.72	11.62	4.44	0	2.99	
20	Quiriguá	6.0	16	6.2	60	11.26	3.37	1.48	0	5.28	
21	Teculután	7.2	16	56.7	210	8.84	9.60	3.70	0	3.09	
22	Chacón	5.4	16	3.4	65	22.64	2.74	2.11	2.20	4.60	
23	Tiquisate	6.5	16	74.0	40	11.20	4.37	0.67	0	2.58	
24	Escuintla	6.6	16	6.7	125	10.64	7.63	2.59	0	7.35	
25	Ostuncalco	5.2	16	45.3	80	33.43	0.50	0.26	0	2.96	

3.4.1 Descripción del Método Utilizado para la Determinación de Azufre

El método utilizado para la determinación de azufre y el cual fue correlacionado con los datos de producción vegetal de los 25 suelos estudiados, es el método turbidimétrico descrito por Bardsley y Lancaster (2) con una modificación que consistió en una centrifugación a 3,000 rpm durante 5 minutos de las muestras agitadas con la solución extractora, para la obtención de un extracto mas claro y facilitar así el filtrado del mismo.

La solución extractora que utiliza este método es una solución de Acetato de Amonio 0.5N y Acido Acético 0.25N, con una relación solución extractora/suelo de 2.5:1.

El procedimiento en general consiste en pesar 10 gramos de suelo e introducirlos en un tubo de centrifuga de 50 ml y agregarle 25 ml de solución extractora, luego se procede a agitar durante 30 minutos, después se le agrega 0.5 g de carbón activado lavado con HCl 1:1 y se continúa agitando durante 3 a 5 minutos más; seguidamente se procede a centrifugar durante 5 minutos, para luego filtrar en papel Wattman No. 2. Del filtrado se toma una alícuota de 10 ml y se le agrega 1 ml de solución de HCl 6N con 20 ppm de azufre, se le agrega además 0.5 g de cristales de Cloruro de Bario pasados por un tamiz 30-60 (usando el que queda en el tamiz 60), para finalmente leer la muestra en un colorímetro a 420 milimicrones de longitud de onda, entre un tiempo comprendido de los 2 a los 8 minutos después de haber agregado los cristales de Cloruro de Bario.

Los patrones para hacer la curva y la calibración del colorímetro, se preparan a partir de una solución madre de K_2SO_4 de 100 ppm de azufre y solución extractora, y deben ser de 0, 5, 10, 15, 20, 30 y 40 ppm de azufre; los cuales para ser leídos en el colorímetro a través del prociento de tramitancia tienen que sufrir

el mismo proceso que la alícuota tomada del filtrado de la muestra; seguidamente se plotea la curva en papel semilogarítmico ajustando los datos obtenidos a una línea recta. En este caso las lecturas fueron hechas en un colorímetro (Coleman Modelo 295).

3.5 Estudio de Invernadero

Para poder correlacionar el contenido de azufre en los suelos bajo estudio con la producción vegetal y evaluar la respuesta de cada suelo a la aplicación de dosis crecientes de este elemento, se llevó a cabo un experimento bajo condiciones de invernadero para cada suelo.

En los experimentos se utilizó Girasol (Helianthus annuus) como planta indicadora, el cual se hizo crecer en macetas cuya capacidad fue de 1 litro de suelo.

3.5.1 Tratamientos de Azufre Seleccionados

Todos los suelos bajo estudio recibieron los mismos tratamientos de azufre. De acuerdo a la literatura consultada, Martini (16) concluye que una aplicación equivalente a 200 kgs de azufre por Ha es suficiente para que este elemento ya no sea limitante en estudios de macetas en invernadero.

Basados en el dato anterior, los tratamientos de azufre seleccionados fueron de 0, 50, 100, 200 y 300 kgs de azufre por hectárea, asegurándonos de esta manera, tener por los menos un tratamiento que fuera capaz de suplir cualquier deficiencia por severa que fuera, y al mismo tiempo poder estudiar el comportamiento del suelo al recibir dosis crecientes de este elemento.

Para la aplicación de los tratamientos se usó una solución de 5,000 ppm de azufre, que se preparó disolviendo 22.146 gramos de Na_2SO_4 por litro de solución.

En la Tabla 1 se encuentran las cantidades de la solución de azufre aplicadas a las macetas de 1 litro de suelo, según los tratamientos.

TABLA 1

Tratamiento	Kgs S/Ha	ml/maceta
A	0	0
B	50	5
C	100	10
D	200	20
E	300	30

3.5.2 Diseño Experimental

Los cinco tratamientos de azufre fueron evaluados en un diseño de Bloques completos al Azar con tres repeticiones para cada suelo estudiado.

La unidad experimental la constituyó una maceta de un volumen de un litro de suelo, en donde se hicieron crecer dos plantas de girasol durante 4 semanas, al final de las cuales fueron cosechadas para medir su crecimiento en términos de peso en gramos de materia seca producida.

3.5.3 Manejo del Experimento

Una vez preparadas las muestras de cada suelo, se procedió a llenar 15 macetas plásticas con capacidad de un litro por suelo.

La aplicación de los tratamientos de azufre se hizo a cada maceta según los datos de la Tabla 1. Además a todos los suelos estudiados se les aplicó el resto de los elementos esenciales, en cantidades óptimas para que no fueran factores limitantes durante el crecimiento de la planta usada como indicadora, para el efecto se aplicaron las cantidades recomendadas por Fitts y Martini (9, 16) que pueden observarse en la Tabla 2.

Una vez tratados los suelos con el azufre y los demás elementos, se revolvió el contenido de las tres macetas de cada tratamiento para homogeneizarlas, seguidamente se llenaron de nuevo las tres macetas que constituyeron las repeticiones de cada tratamiento.

Después de homogeneizados los suelos se dejaron reaccionar durante una semana, para luego sembrar 6 semillas de girasol (Helianthus annuus) que previamente habían sido desprovistas de la cubierta exterior y puestas a germinar durante 24 horas en toallas húmedas de papel. El riego de las macetas se efectuó diariamente con agua destilada, para evitar cualquier adición de algún otro elemento. A los 10 días fueron raleadas las macetas dejando 2 plantas por cada unidad experimental, tratando de dejar la población lo más homogénea posible.

Posteriormente a los 15 días de sembradas las plantas, se aplicó la segunda dosis de nitrógeno de acuerdo a las indicaciones de la Tabla 2.

Cuatro semanas después de la siembra, se observó una marcada diferencia entre el efecto de los tratamientos en algunos de los suelos estudiados, entonces se procedió a cosechar los experimentos cortando las plantas de cada maceta a nivel de la superficie del suelo.

Las plantas cosechadas fueron secadas al horno, durante 24 horas, a una temperatura de 60 grados centígrados y luego pesadas, para obtener así el peso de materia seca producida por maceta.

Finalmente para la obtención del nivel crítico para el método de extracción de azufre empleado, fue necesario efectuar el análisis de correlación gráfico y analítico descrito por Cate y Nelson (8).

TABLA 2. Datos de las Soluciones Nutritivas con los Demás Elementos Aplicados a los Experimentos

Elemento	Fuente	A	B	C
N	Urea	21.738	10*	200
P	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	111.378	variable	variable
K	KCl	19.069	10*	200
Ca	CaCO_3	62.432	10	500
Mg	MgCO_3	52.013	10	300
Cu	CuCl_2	1.058	10	10
Zn	$\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3.357	10	20
Mn	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	7.205	10	40
Fe	$\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	13.384	10	50
Mo	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.261	10	10
B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	4.405	10	10

Descripción de las columnas:

- A : Son los gramos de la fuente por litro de solución.
 B : Son los ml de cada solución a agregar por litro de suelo.
 C : Es la concentración obtenida después de la aplicación en el suelo tratado, en kilogramos por hectárea del elemento adicionado.
 * Se repite su aplicación a los 10 días de sembrado el experimento.

Para el caso de la solución de fósforo, se sigue la técnica descrita por Fitts y Ranero (9, 24) que consiste en llevar el nivel de fósforo en el suelo a 40

ppm, cantidad en la cual ya no se considera limitante dicho elemento para estudios de invernadero.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en el proceso seguido para medir el efecto de los tratamientos en función de la materia seca producida, se consignan en el Cuadro 2.

Al ser sometidos estos resultados al análisis de Variancia correspondiente (Cuadro 2) se encontró que las siguientes muestras:

<u>Muestra</u> <u>No.</u>	<u>Serie</u>
1	Ixtán
7	Emparentada a serie Guatemala
16	Chachaclum
18	Tecpán
19	Salamá fase Quebrada
20	Quiriguá
21	Teculután
23	Tiquisate
24	Escuintla;

mostraron una respuesta significativa a la aplicación de azufre, dato que concuerda con los suelos que quedaron en el cuadrante positivo inferior de la distribución de Cate y Nelson (8) para establecer el nivel crítico, cuadrante que agrupa un conjunto de suelos con contenido de azufre abajo del nivel crítico establecido, por lo cual hay alta probabilidad de que respondan a la aplicación de azufre, como ocurrió en este caso.

Al efectuar la prueba de la Mínima Diferencia Significativa (MDS) en los suelos antes indicados, se encontró que el tratamiento B (50 Kgs S/Ha) era igualmente efectivo que los tratamientos más altos (C, D y E), por consiguiente se asumió que el tratamiento B era suficiente para suplir cualquier deficiencia de este elemento por severa que fuera.

El análisis estadístico reveló también que la muestra 17 (Serie Taxisco) y la muestra 22 (Serie Chacón), a pesar de que su contenido de azufre estaba arriba del nivel crítico de 14 ppm seleccionado, respondieron significativamente a las aplicaciones del elemento bajo estudio. Para la muestra 17 (Serie Taxisco), ello puede explicarse por tener su contenido de azufre muy cercano al nivel crítico; en cambio con la muestra 22 (Serie Chacón), cuyo contenido de azufre bastante superior al nivel crítico, únicamente puede explicarse la respuesta a la aplicación, mediante una acción indirecta de neutralización parcial del aluminio intercambiable que presentara dicho suelo, al formar sulfatos de aluminio, y el cual no fue detectado y neutralizado antes de la siembra del experimento.

Para la selección del nivel crítico se procedió en la forma descrita por Cate y Nelson (8) y Fitts y Waugh (9), que consiste en calcular a cada suelo el porcentaje de rendimiento del tratamiento sin azufre contra el tratamiento con azufre de mejor producción, mediante la fórmula

$$\%p = \frac{\text{Producción promedio del tratamiento sin azufre}}{\text{Producción promedio del tratamiento con azufre}} \times 100$$

En este caso el tratamiento usado como referencia con azufre fue el de 200 Kgs S/Ha (Tratamiento D) por ser el que más rendimiento dio en la mayoría de los experimentos como puede observarse en el Cuadro 2; seguidamente con los datos de % de producción y el de las ppm de azufre para cada suelo respectivamente, se procedió a elaborar la Gráfica 1, en la cual siguiendo el procedimiento de Cate y Nelson (8), se llegó a determinar el nivel crítico para este método de extracción de azufre en 14 ppm, dato que concuerda con el establecido para este mismo método por Bardsley y Lancaster (2) en experimentos con suelos de Estados Unidos.

Al determinar a los datos del Cuadro 2 el coeficiente de correlación de Cate y Nelson (8) dio un valor r : 0.88, similar al obtenido por Muller y Balerdi (19) al correlacionar este mismo método con suelos de Centro América y Panamá.

Cabe anotar, que un coeficiente de correlación alto, indica que el nivel crítico escogido para el método de análisis bajo estudio fue el adecuado, pues permitió dividir los suelos investigados en dos grupos: Un grupo con resultado de análisis inferior al nivel crítico establecido, con alta probabilidad de respuesta a la aplicación del elemento, en este caso del azufre, y otro grupo con resultado de análisis superior al nivel crítico, con nula o baja probabilidad de respuesta a dicha aplicación.

Fox et al (10) informa que el contenido de azufre en el suelo, generalmente está ligado al contenido de materia orgánica en el mismo; por lo regular suelos deficientes en azufre provienen de suelos pobres en materia orgánica.

Tratando de comprobar la correlación anterior para el caso de suelos de Guatemala, se hizo un análisis de correlación por rangos de Spearman's (27), que se muestra en la Tabla 3.

Dicho análisis reveló que había correlación estadísticamente significativa al nivel de 5% de probabilidad entre el contenido de materia orgánica de un suelo y su contenido de azufre (Tabla 3), dato que concuerda con lo indicado por Fox et al (10)

TABLA 3. Distribución de Rangos de Spearman's para la Obtención de su Coeficiente

Suelo	ppm de S	Rango	% M.O.	Rango	dif	(dif) ²
1	13.61	17	6.96	7	10	100
2	58.08	1	8.71	3	- 2	4
3	33.54	4	8.64	4	0	0
4	15.77	15	8.97	2	13	169
5	32.61	7	7.97	5	2	4
6	18.35	13	6.96	8	5	25
7	8.19	25	0.52	25	0	0
8	21.09	11	1.56	24	-13	169
9	14.75	16	5.59	10	6	36
10	32.96	6	6.24	9	- 3	9
11	35.32	3	3.77	16	-13	169
12	26.62	8	3.77	17	- 9	81
13	18.60	12	3.51	18	- 6	36
14	22.14	10	4.42	15	- 5	25
15	47.00	2	12.86	1	1	1
16	10.13	23	1.82	23	0	0
17	17.53	14	5.20	12	2	4
18	13.34	18	4.68	13	5	25
19	11.72	19	2.99	20	- 1	1
20	11.26	20	5.28	11	9	81
21	8.84	24	3.09	19	5	25
22	22.64	9	4.60	14	- 5	25
23	11.20	21	2.58	22	- 1	1
24	10.64	22	7.35	6	16	256
25	33.43	5	2.96	21	-16	256

Sumatora..... 1,502

CUADRO 2. Datos de Producción Media por Tratamientos, ppm de Azufre y % de Producción de los Suelos, y datos del Análisis de Variancia

Mues- tra No.	Serie	Promedio de Producción/Trata- miento en g de Materia Seca					ppm S	% P	Análisis de Variancia	
		A	B	C	D	E			CM de Trat.	CM del Error
1	Ixtán	7.4	9.0	9.8	10.3	10.3	13.61	71.8	4.572**	0.227
2	Chirrum franco ar- cillo limoso	7.3	7.3	7.4	7.4	7.4	58.06	98.6	0.010NS	0.077
3	Tecpán franco	8.2	8.3	8.8	8.9	8.5	33.54	92.1	0.275NS	0.219
4	Tecpán franco	4.3	4.3	4.5	4.9	4.8	15.77	87.7	0.220NS	0.280
5	Quezaltenango franco	6.2	6.4	6.4	6.5	6.4	32.61	95.4	0.037NS	0.042
6	Chocolá	9.9	10.4	10.3	10.4	10.2	18.35	95.2	0.095NS	0.225
7	Emparentada a serie Guatemala	6.4	7.1	8.0	8.1	8.1	8.19	79.0	1.630**	0.200
8	Camanchá franco ar- cillo arenoso	6.4	6.6	6.6	6.8	6.9	21.09	94.1	0.097NS	0.147
9	Cauqué	7.7	7.7	7.9	8.4	8.6	14.75	91.7	0.555NS	0.168
10	Cauqué franco ar- cilloso	5.2	5.4	5.4	5.5	5.5	37.96	94.5	0.045NS	0.146
11	Tecpán franco are- noso muy fino	4.2	4.2	4.5	4.5	4.5	35.52	93.3	0.085NS	0.314
12	Camanchá	8.2	8.3	8.2	8.5	8.4	26.62	96.5	0.045NS	0.111
13	Culma	9.2	9.5	9.9	9.9	9.6	18.60	92.9	0.245NS	0.247
14	Chicaj	8.8	8.9	9.1	9.1	9.0	22.14	96.7	0.052NS	0.035

Cont. Cuadro 2

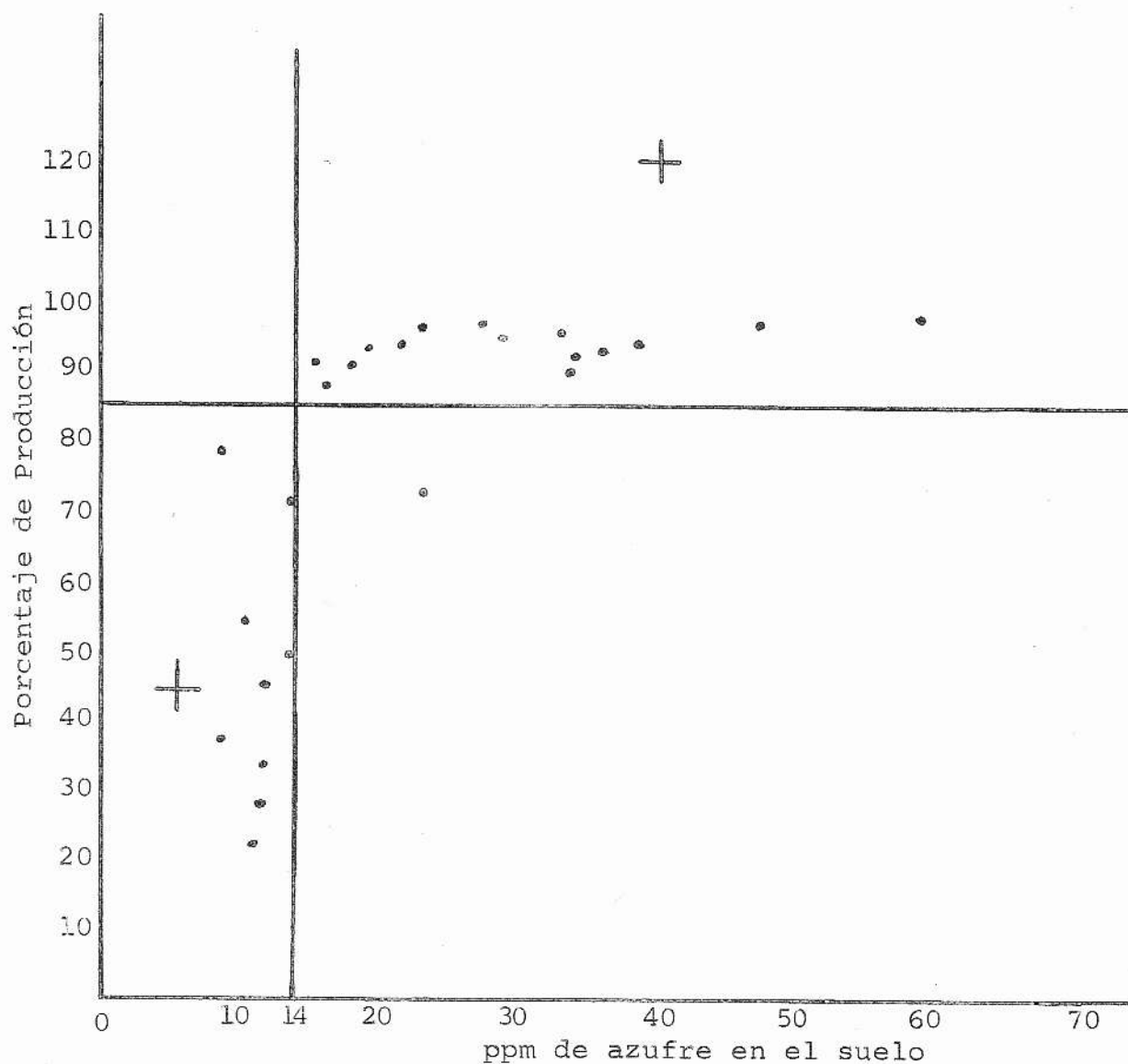
Muestra No.	Serie	Promedio de Producción/Tratamiento en g de Materia Seca						ppm S	% P	Análisis de Variancia	
		A	B	C	D	E				CM de Trat.	CM del Error
15	Yaxá	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4	47.00	97.2	0.035NS	0.062	
16	Chachaclum	5.8	7.9	8.4	10.6	10.2	10.13	54.7	10.957**	0.973	
17	Taxisco	11.0	11.1	12.0	12.1	12.4	17.53	90.9	1.077**	0.047	
18	Tecpán	3.6	5.9	6.5	7.2	6.6	13.34	50.0	5.765**	0.258	
19	Salamá fase Quebrada	5.5	11.4	11.3	12.2	12.0	11.72	45.1	23.320**	0.110	
20	Quiriguá	4.1	9.3	10.3	12.2	12.1	11.26	33.6	32.960**	0.030	
21	Teculután	3.9	9.6	10.5	10.5	10.9	8.84	37.1	25.810**	0.687	
22	Chacón	5.1	7.0	6.7	7.0	6.7	22.64	72.8	1.970**	0.156	
23	Tiquisate	2.8	8.2	9.0	10.0	9.5	11.20	28.0	25.497**	0.172	
24	Escuintla	2.3	9.1	9.6	10.5	10.4	10.64	21.9	35.420**	0.063	
25	Ostuncalco	7.3	7.5	8.0	8.1	7.6	33.43	90.1	0.320NS	0.172	

NOTA: Los grados de libertad para tratamientos fueron 4, y para el error fueron 8 en todos los experimentos de los suelos estudiados.

** Significativos al nivel de 0.05 y 0.01 de probabilidad.

NS No significativo

GRAFICA 1. Correlación con los datos de los 25 suelos estudiados, para la obtención del nivel crítico.



5. CONCLUSIONES

En base a la discusión de los resultados experimentales presentada en el capítulo anterior, puede considerarse las siguientes conclusiones:

- 5.1 De acuerdo a lo encontrado por Bardsley y Lancaster (2) y los resultados obtenidos en el presente trabajo, se confirma el nivel crítico en 14 ppm de azufre para el método estudiado de extracción con solución de acetato de amonio 0.5N y ácido acético 0.25N, como puede observarse en la correlación de Cate y Nelson (8) presentada en la Gráfica 1.
- 5.2 De los tratamientos probados, se encontró que el tratamiento B equivalente a una aplicación de 50 Kgs de azufre por Ha, fue suficiente para suplir cualquier deficiencia de este elemento por severa que fuera.
- 5.3 En cuanto al nivel de azufre natural de los suelos de Guatemala, puede observarse en el Cuadro 1 que presenta gran variación, aún en suelos clasificados dentro de la misma serie; por consiguiente, será necesario contar con un mayor número de muestras analizadas para poder tratar de regionalizar dicha deficiencia.

Sin embargo, diez de las 25 muestras estudiadas presentaron fuerte deficiencia, siendo ellas:

<u>Muestra</u>	
<u>No.</u>	<u>Serie</u>
1	Ixtán
7	Emparentada a serie Guatemala
16	Chachaclum
17	Taxisco
18	Tecpán
19	Salamá fase Quebrada
20	Quiriguá
21	Teculután
23	Tiquisate
24	Escuintla

- 5.4 Se encontró correlación estadísticamente significativa al nivel de 5% de probabilidad entre el contenido de materia orgánica de un suelo y su contenido de azufre, dato que concuerda con la correlación mencionada por Fox et al (10).
- 5.5 Se recomienda adoptar el método de análisis de Bardsley y Lancaster (2) para continuar las determinaciones del nivel de azufre en un mayor número de muestras provenientes de toda la república, con el fin de regionalizar mejor las áreas deficientes y poder recomendar la fertilización con este elemento en áreas donde sea necesario.

9. FITTS, J.W. and WAUGH, D.L. Estudios de Interpretación de Análisis de Suelo: Laboratorio y Macetas. Boletín Técnico No. 3, Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, N.C. 36 p. 1966.
10. FOX, R. L. et al. Factors Influencing the Availability of Sulfur Fertilizers to Alfalfa and Corn. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:406-408. 1964.
11. GUATEMALA. Informe Anual de Labores del Departamento de Edafología 1971. Guatemala, Ministerio de Agricultura, DIA, DIGESA, 90 p. 1972.
12. JACKSON, M.L. Análisis Químico de Suelos. 2a. Ed. Traducido por José Beltrán Martínez. Barcelona, Ediciones Omega S.A. 1970. pp 435-436.
13. JACOB, A. y UEXKULL, H.V. Fertilización; Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. 2a. Ed. Trad. por L. López Martínez de Alba. Amsterdam, Internationale Handelmaatschappij voor Meststoffen, N.V. 1961. pp. 57-58.
14. JORDAN, H.V. and BARDSLEY, C.E. Responses of crops to sulfur on Southeastern soils. Soil Sci. Soc. Am Proc. 22:254-256. 1958.
15. ----- and ENSMINGER, L.E. The role of sulfur in soil fertility. In A. G. Norman Ed. Advances in Agronomy. New York, Academic Press, Inc. 1958.
16. MARTINI, J.A. Guía para la investigación en el abonamiento del frijol para el PCCMCA. Turrialba, Costa Rica. Centro de Enseñanza e Investigación. Publicación miscelánea No. 53. 1969. 28 p.
17. MOLINA LIARDEN, MARIO. Agronomía y Agricultura. Guatemala, USAC; Editorial Universitaria. 412 p. 1957.

6. BIBLIOGRAFIA

1. BARDSLEY, C.E. and KILMER, V.J. Sulfur supply of soils and crops yields in the southeastern United States. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 197-199. 1963.
2. ----- and LANCASTER, J. D. Determination of reserve sulfur and soluble sulfate in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24:265-268. 1960.
3. BEAR, FIRMAN E. Suelos y Fertilizantes. 4a. Ed. Traducción al español por Jorge Bozal. Barcelona, Ediciones Omega S. A. 1958. pp. 340-351.
4. BIXBY, DAVID W. and RUCKER, DELBERT L. Adding Plant Sulphur To Fluid Fertilizers. The Sulphur Institute, Washington, D.C. Technical Bulletin Number 11. 1965. 16 p.
5. ----- and TISDALE, SAMUEL L. Adding Plant Nutrient Sulphur To Fertilizers. The Sulphur Institute, Washington, D.C. Thechnical Bulletin Number 10. 1964. 41 p.
6. BUCKMAN, H. O. and BRADY, N.C. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Traducción al español por R. Salod Barceló, Barcelona. UTHEA. 556 p. 1966.
7. BURNS, GEORGE R. Oxidation of sulfur in soils. The Sulphur Institute, Washington, D.C. Thechnical Bulletin Number 13. 1967. 41 p.
8. CATE, R.B. y NELSON, L.A. Un procedimiento Estadístico simple para separar los datos de correlación de análisis de suelos en dos clases. Trad. (tomado de Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35(4): 658-659. 1971).

18. MULLER, LUDVIG E. Deficiencia de azufre en algunos suelos de Centro América. Turrialba, Costa Rica. IICA. Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas. 15(3):208-217. 1965.
19. ----- y BALERDI, F. Comparación de varios métodos para determinación rápida de azufre en suelos de Centro América. Informe Técnico de Labores. San José, Costa Rica. IICA. 1968. p. 204.
20. ----- y BALERDI, F. Deficiencia de azufre en algunos suelos de Centro América. Informe Técnico de Labores. San José, Costa Rica. IICA. 1967. p. 49.
21. ----- y BALERDI, F. Deficiencia de azufre en algunos suelos de Centro América y Panamá. Informe Técnico de Labores. San José, Costa Rica. 1966. pp. 41-42.
22. NATIONAL SULPHUR COMPANY. SOL-U-SUL, a new sulphur fertilizer. New York, National Sulphur Company, Subsidiary of ELCOR Chemical Corporation, Midland, Texas. Bulletin 101B. 1967. 10 p.
23. PERDOMO, RODOLFO & HAMPTON, HERBERT E. Ciencia y Tecnología del Suelo. Guatemala, USAC; Centro de Producción de Materiales. 1970. pp. 181-182.
24. RANERO C., ROBERTO. Observaciones y mejoramiento en los métodos de montar ensayos de correlación entre la respuesta vegetal y la aplicación de nutrientes en el invernadero. Guatemala, Ministerio de Agricultura, DIGESA, Depto. Edafología 1972. 16 p. (inédito).
25. ROMA, ITALIA. Organización de las Naciones Unidas. Los Fertilizantes y su empleo; guía de bolsillo para los extensionistas. 2a. Ed. Roma, FAO. Programa de Fertilizantes de la CMCH. 1967. p. 60.

26. SIMMONS, C.S., TARANO, J.M., PINTO, J.H. Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional y Ministerio de Educación Pública, "Editorial José de Pineda Ibarra", 1000 p. 1959.
27. STEEL, ROBERT G. & TORRIE, JAMES H. Principles and Procedures of Statistics. New York. McGraw-Hill. 1960. p. 409.
28. THE SULPHUR INSTITUTE. Azufre, elemento esencial en la alimentación de las plantas. Washington, D. C. The Sulphur Institute. Copyright. 1969. 29 p.
29. THORNE, D.W. and GARRISON, O.B. Sulfur - essential for protein. South Carolina Agricultural Experiment Station, Clemson University. Agronomy & Soils Research Series No. 56. 31 p. 1966.

Vo.Bo.

Palmira R. de Quan
Bibliotecaria

IMPRIMASE:

Ing. Agr. Edgar Leonel Ibarra A.
Decano

rrg