

01
T(15)
C.3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

INFLUENCIA DE 5 NIVELES DE AZUFRE (S) EN EL BRUX Y
EN EL RENDIMIENTO EN CAÑA DE AZÚCAR, BAJO LAS
CONDICIONES DE LA ESTACION EXPERIMENTAL AGRICOLA
"ING. MARIO MOLINA LLARDEN", EL RODEO - ESCUINTLA

TESIS

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

Por

MARIO AUGUSTO AMEZQUITA NAVARRO

En el acto de su investidura como

INGENIERO AGRONOMO

en el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, abril de 1976

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

RECTOR DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Dr. Roberto Valdeavellano P.

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano:	Ing. Carlos F. Estrada Castillo
Vocal 1o.:	Ing. Agr. Salvador Castillo
Vocal 2o.:	Ing. Agr. Mario Molina Llarden
Vocal 3o.:	Ing. Agr. Carlos G. Aldana
Vocal 4o.:	Br. Julio Romeo Alvarez
Vocal 5o.:	P. A. Víctor M. de León
Secretario:	Ing. Agr. Oswaldo Porres G.

TRIBUNAL QUE EFECTUO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Agr. Edgar L. Ibarra A.
Examinador:	Ing. Agr. Salvador Castillo O.
Examinador:	Ing. Agr. Salvador Sánchez L.
Examinador:	Ing. Agr. Jorge R. del Valle
Secretario:	Ing. Agr. Oswaldo Porres G.

ACTO QUE DEDICO

AL SUPREMO CREADOR

A MIS PADRES:

Mario A. Amézquita Lima
Ma. del Carmen Navarro de Améz-
quita

A MIS HERMANOS:

Rosa del Carmen
Carlos Enrique
Edward Stwardo

A MI ESPOSA:

Zoila R. Mejía de Amézquita Nava-
rro

A LAS FAMILIAS:

Mejía Samayoa
Scott Vásquez

A MIS FAMILIARES
especialmente a:

Roberto Amado Navarro Contreras

DEDICO ESTA TESIS

- Al Agricultor Guatemalteco
- A la Universidad de San Carlos
- A la Facultad de Agronomía
- Al Instituto Nacional Central para Varones.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Carlos F. Estrada C., por su valiosa orientación, colaboración y revisión de este trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Urrutia, por su colaboración.

Al Sr. Enrique Escobar, por su colaboración en los trabajos de campo.

Al personal de campo de la Estación Experimental Agrícola "Ing. Mario Molina Llardén".

Al Departamento de Producción e Investigaciones Agropecuarias de la Facultad de Agronomía, por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo.

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido por las leyes de la Universidad de San Carlos de Guatemala, atentamente tengo el honor de presentarles el trabajo de tesis titulado:

INFLUENCIA DE 5 NIVELES DE AZUFRE (S) EN EL BRUX Y EN EL RENDIMIENTO EN CAÑA DE AZUCAR, BAJO LAS CONDICIONES DE LA ESTACION EXPERIMENTAL AGRICOLA "ING. MARIO MOLINA LLARDEN", EL RODEO - ESCUINTLA.

Dicho tema me fue asignado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Agronomía como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, quedo de ustedes como su deferente servidor.

Atentamente.

MARIO A. AMEZQUITA NAVARRO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12
Apartado Postal No. 1543

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto

Guatemala, 8 de abril de 1976.

Señores Miembros
Honorable Junta Directiva
Facultad de Agronomía
Presente.

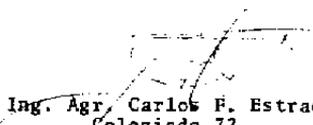
Honorable Junta Directiva:

Tengo el honor de dirigirme a ustedes para hacer de su conocimiento que habiendo sido designado asesor de Tesis del Br. Mario Augusto Amézquita Navarro, alumno de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, he procedido a revisar dicho trabajo bajo el título "Influencia de 5 niveles de Azufre (S) en el Brix y en el Rendimiento en Caña de Azúcar, bajo las condiciones de la Estación Experimental Agrícola "Ing. Mario Molina Llardén", El Rodeo Escuintla", y el cual es requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo.

Considerando que dicho trabajo reúne todos los requisitos a satisfacción, el asesor da por aprobado el trabajo presentado en su redacción final por el Br. Mario Amézquita.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para suscribirme con toda consideración.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Agr. Carlos F. Estrada C.
Colegiado 72.

CONTENIDO

		Pág.
1.	INTRODUCCION	1
2.	REVISION DE LITERATURA	3
3.	MATERIALES Y METODOS	19
4.	DISCUSION DE RESULTADOS	23
5.	CONCLUSIONES	31
6.	RECOMENDACIONES	33
7.	BIBLIOGRAFIA.	35

1. INTRODUCCION

La caña de azúcar se ha perpetuado más que otros cultivos "coloniales" como el añil y el alcanfor, tal vez porque aun no se ha obtenido "azúcar sintética". El azúcar se considera como un artículo básico debido a que es una fuente de energía que no posee substitutos y responde a la satisfacción de necesidades energéticas de primer orden. El azúcar extraída de la caña rica en carbohidratos, es de mucho valor en la dieta humana.

La explotación cañera en Guatemala tiene grandes perspectivas, como secuela de la creciente demanda de azúcar en el mercado mundial. Palencia (17), cita que para 1980 la demanda mundial requerirá un incremento de 21 millones de toneladas métricas sobre la producción actual. Se estima que la demanda del consumo mundial de azúcar para 1975 será de 60-61 millones de toneladas métricas (4) lo que ha creado la imperiosa necesidad de satisfacer esta demanda a través del incremento de la producción azucarera. Se estima en más de 80 millones de toneladas métricas la producción mundial de azúcar para 1975-1976.

Para aumentar la producción, se hace necesario estudiar los factores que afectan el rendimiento, uno de los cuales está ligado a la fertilidad del suelo. El cultivo de la caña de azúcar sin diversificación de cultivos motiva el empobrecimiento total de los suelos, razón por la cual deben estudiarse otros elementos nutricionales que contribuyan a un rendimiento óptimo con prácticas de cultivo adecuada.

La mayoría de las recomendaciones sobre el uso de fertilizantes van dirigidas a la aplicación del nitrógeno, fósforo y potasio principalmente y algunas veces el calcio, que se utiliza básicamente para la corrección del pH de algunos suelos; es así como se le ha dado poca importancia a los demás elementos que, aunque se necesitan en pocas cantidades, son importantes para aumentar el rendimiento.

Ranero (21) menciona que en muchas áreas de producción agrícola del mundo, no se detectó la deficiencia de azufre sino hasta hace poco tiempo. Esto se debió a que los productores de fertilizantes se han visto en la necesidad de proveer a los agricultores de formulaciones más concentradas en nitrógeno, fósforo y potasio, con la consecuente reducción en la concentración de otros elementos, como el calcio y el azufre.

El presente trabajo, está orientado principalmente hacia la respuesta de sacarosa y rendimiento de la caña de azúcar a la aplicación de azufre. Asimismo, forma parte del Programa de Investigaciones que desarrolla en tal sentido el Departamento de Producción e Investigación Agropecuarias de la Facultad de Agronomía.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. El Azufre en el suelo:

La mayor parte de las rocas ígneas contienen del 0.05 al 0.3% de azufre, principalmente en forma de sulfuro de hierro, níquel y cobre. Las rocas ígneas básicas generalmente tienen un contenido más alto de azufre que las acídicas. (27).

Durante el proceso de meteorización, los sulfuros sufren oxidación a sulfatos y muchas rocas sedimentarias tienen cantidades apreciables de azufre, principalmente como sulfatos. De los sulfatos, los de bario y estroncio son altamente insolubles. El sulfato de calcio (yeso) tiene poca solubilidad; los sulfatos de magnesio, potasio y sodio son solubles (27).

Los principales constituyentes del suelo que participan en la adsorción de sulfatos son los óxidos hidratados de aluminio y hierro (26).

Algunos autores han encontrado que la retención de sulfato es mucho mayor en suelos que poseen un alto contenido de estos constituyentes y en suelos con arcillas del tipo 2:1 (25). En algunos casos se ha demonstrado que la adsorción de sulfato se aumenta con la disminución de pH (25).

El orden de efectividad de algunos aniones para desplazar grupos hidroxilos (OH) en los coloides del suelo es: fosfato > sulfato > cloruro. La reducción en

la adsorción de sulfato a través de la aplicación de fosfato se ha demostrado bajo condiciones de laboratorio. El hecho de que el fosfato es retenido más fuertemente en el suelo que el sulfato y que este último no se moviliza a través del perfil, explica porque el contenido de sulfatos es más alto a ciertas profundidades del suelo (10, 21).

Bajo condiciones anaeróbicas los sulfatos se pueden reducir a sulfuros, generalmente a sulfuros de hierro, que son insolubles y se acumulan. Además de los sulfatos y los sulfuros existen otras formas intermedias de azufre en el suelo, tales como thiosulfatos y polithionatos. Estas formas tienden a sufrir oxidación o reducción y no se acumulan (28).

Muchos investigadores han reportado que la retención de sulfatos en el suelo superficial es muy baja, pero que existe considerable retención en capas más profundas. En un estudio realizado en Sao Paulo, Brasil (10) se encontró que el contenido de sulfatos solubles en el suelo varió de 0.001 a 0.007%. Ranero (21) cita que el contenido total de azufre varía desde menos de 0.1% hasta 1.0%. Generalmente la cantidad total de azufre disminuye desde la superficie hacia las capas más profundas del perfil del suelo.

Otros estudios realizados por varios autores (3, 9, 10, 21, 24, 26) han indicado que el azufre es contenido en la materia orgánica de los suelos en forma de sulfatos solubles e insolubles, siendo la primera forma generalmente la dominante. La mayor parte del azufre del suelo, en las regiones húmedas, está en forma or-

gánica; solo un 10 a 15% del total es soluble en agua en forma de sulfatos. 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.

Ramírez (20) cita que la transformación del azufre orgánico a sulfato es llevada a cabo lentamente por los microorganismos del suelo. Las sustancias húmicas del suelo acusan una relación N:S casi constante de 8 a 12:1. 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 (28).

Ramírez (20), cita las razones que tratan de explicar porque N y S no se liberan de la materia orgánica del suelo en la misma relación como se encuentran en ésta:

- 1.) el N y S que se mineralizan pueden no encontrarse en los mismos compuestos y por lo tanto no podrían liberarse al mismo tiempo;
- 2.) la inclusión de residuos vegetales con relaciones N:S altas, pueden causar una mayor inmovilización de S. en relación a N;
- 3.) La presencia de cantidades considerables de los iones de bario y calcio pueden enmascarar la liberación de sulfatos por la formación de sulfatos insolubles, los cuales no serían extraídos; y

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

El crecimiento de las plantas en el suelo aumenta la mineralización del azufre en la materia orgánica, puede atribuirse esto a la excreción de enzimas por las raíces de las plantas, que catalizan la descomposición de la materia orgánica (20, 25).

El azufre puede aplicarse al suelo en muchas formas. Sin embargo, el azufre elemental y algunos de los compuestos con azufre reducidos tales como los sulfuros, polisulfuros y tiosulfuros, que ocupan poco volumen por unidad de peso de azufre, tienen por lo general mayor preferencia que los sulfatos (24).

Antes que las plantas puedan hacer uso del azufre contenido en esas formas reducidas, estas deben oxidarse en el suelo para pasar a la forma de sulfatos. Esta transformación se lleva a cabo principalmente por la acción de los microorganismos del suelo, de los cuales, las bacterias del género Thiobacillus son las más importantes. Estas son quimoautótrofas obligadas, que derivan su energía de la oxidación del azufre reducido a sulfato, transformación que realizan con rapidez (20).

Además de la oxidación biológica, existe la oxidación química. Así los sulfuros, el azufre elemental y los tiosulfatos pueden ser oxidados lentamente en el suelo por medios no biológicos, 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, areación, pH y otros. En el caso del azufre elemental, el tamaño y distribución de las partículas dentro de la masa del suelo es también importante. En general entre más finamente divididas y mejor distribuidas estén las partículas en el suelo, más rápida es la oxidación del azufre (25).

2.2. El azufre en las Plantas:

Las plantas necesitan nutrientes en cantidad suficiente y en equilibrio adecuado para su crecimiento y desarrollo normal. Entre los elementos esenciales, el azufre se considera básico para el desarrollo de las plantas (10, 14, 21). "La gran importancia del azufre en el metabolismo vegetal y de la alta calidad que de este nutriente necesitan los cultivos, no ha sido hasta las dos últimas décadas que comenzó a dar importancia a este elemento en la agricultura, motivada por la aparición de deficiencias en muchas partes del mundo" (20).

El azufre es imprescindible para el crecimiento de las plantas porque participa en la composición de compuestos fisiológicamente importantes, estas funciones principales son las siguientes:

- a) Forma parte de los aminoácidos: cisteína, cistina y metionina. Además constituye parte integral de algunos catalizadores para el crecimiento tales como vitamina B¹ y biotina, también es componente de la coenzima A y de la glutatona, las cuales son indispensables para la formación de clorofilas, carotenos y xantofilas.

- b) Activa ciertas enzimas proteolíticas como las papainasas;
- c) Está presente en los aceites de la familia botánica de la mostaza y de la cebolla;
- d) Aumenta el contenido de aceite en cultivos industriales como el lino y la soya;
- e) Las uniones disulfúricas (-S-S) parecen jugar un papel en la estructura del protoplasma; y
- f) La cantidad de los grupos sulfhidrilos (-SH) en las plantas, parece incrementar la resistencia a bajas temperaturas.

El papel metabólico más importante del azufre es está relacionado con el hecho de que el grupo sulfhidrilo -SH, es el grupo activo de muchas enzimas implicadas en el anabolismo y en el catabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas. La hexoquinasa y numerosas deshidrogenasas que se requieren para las transformaciones respiratorias de los azúcares son enzimas SH. El ácido lipoico, que posee el grupo -S-S- que se reduce reversiblemente a -SH, se cree que es el electrón aceptador en el primer paso fotoquímico de la fotosíntesis (10). La coenzima A que se requiere para la activación de los ácidos grasos, anterior a su oxidación tiene un grupo activo -SH-, que establece fuertes aglutinamientos tiolestéricos con radicales acídicos, permitiendo su transferencia a otros compuestos. El efecto de la deficiencia de azufre en el metabolismo de la planta puede apreciarse a través de los análisis químicos: los ami-

noácidos y otros compuestos solubles de nitrógeno se acumulan en los tejidos deficientes, lo que refleja probablemente un cierto retraso en la síntesis de proteínas (9, 10, 20). La falta de azufre impide la fijación del nitrógeno atmosférico por las bacterias nodulares de la raíz, reflejando una anomalía específica en la parte de la simbiosis (10).

El azufre se absorbe por las raíces de las plantas en forma de ion sulfato y las hojas son capaces de absorber cantidades apreciables de este elemento en forma de SO_2 (10). Sacca y Malavolta (10) demostraron que las plantas de tomate absorben azufre orgánico en forma del aminoácido cisteína. Dentro de la planta no hay redistribución apreciable del azufre y, por consiguiente, en condiciones de deficiencia, generalmente son las hojas más jóvenes las que muestran la clorosis características mientras que las antiguas permanecen verdes, excepto en casos agudos (26).

Al respecto varios autores (8, 9, 20, 24) mencionan que los síntomas de deficiencia de azufre se manifiesta en: a) plantas pequeñas y fusiformes con tallos delgados, cortos de color amarillo; b) crecimiento raquíptico, producción reducida y retrasada; c) en la mayoría de las plantas, el color de las hojas jóvenes varía desde un verde claro amarillento, con nervios aun más claros. Sin embargo, en algunas plantas como el tabaco, algodón y cítricos los síntomas de deficiencia de azufre se pueden confundir con una deficiencia de nitrógeno, ya que las hojas viejas son las que muestran primeramente los síntomas. Es importante tener en mente que el azufre es un elemento no traslocable en la planta, mientras

que el nitrógeno si lo es; en tanto que la deficiencia de azufre se presenta en hojas y brotes nuevos, la deficiencia de nitrógeno se presenta en las hojas viejas de la planta, manifestándose en ambos casos como una clorosis; d) en las leguminosas se reduce la formación de nódulos, y e) los frutos muchas veces no llegan a madurar totalmente y presentan un color verde claro. 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 (20).

Los síntomas de deficiencia de azufre en la caña de azúcar fueron estudiados por Sacca y Malavolta (10), quienes indican que los síntomas son similares a los que se presentan en el caso de deficiencia de nitrógeno y también estudiaron la distribución del azufre en la caña, que se detalla a continuación:

CUADRO No. 1
CONCENTRACION DE "S" EN DIFERENTES PARTES DE LA
CAÑA DE AZUCAR

Partes de la Caña de Azúcar	S, % de Materia Seca
RAIZ	0.217
HOJA	0.493
TALLO	0.509
TOTALIDAD DE LA PLANTA	1.219

La deficiencia del azufre afecta considerablemente la composición química de la planta, como se demuestra en el siguiente cuadro;

CUADRO No. 2
DISTRIBUCION DEL AZUFRE (S) EN SOLUCIONES NUTRIENTES COMPLETAS E INCOMPLETAS, según Malavolta (10)

Partes de la planta de Caña	S, % de materia seca	
	-S	+S
HOJA	0.13	0.17
RAIZ	0.10	0.67
VAINA	0.14	0.16
HOJA SECA	0.14	0.26

El azufre en los vegetales varía con la especie y con la parte de la planta en consideración. Malavolta (10) estudió la distribución del azufre en 35 plantas cultivadas en Brasil observando que las cantidades encontradas en una especie dada, según el orden decreciente así: hojas < tallo < raíces. Hace notar que en algunas cosechas de gran importancia económica como la caña de azúcar, algodón, café y arroz, las cantidades de azufre, exceden a las de fósforo.

El azufre es uno de los muchos elementos necesarios para el desarrollo de las plantas. Tiene la misma importancia que el nitrógeno y el fósforo en la formación de proteínas. Entra en la composición de ciertas

vitaminas y enzimas esenciales para la vida. En resumen, el azufre es un elemento sin el cual la vida vegetal y animal, tal como se conoce, cesaría pronto (24).

2.3. Fertilización con azufre:

De acuerdo a estudios realizados por The Sulphur Institute (24) se ha determinado que cuando el azufre disponible a las plantas es insuficiente, tanto el rendimiento como la calidad de las cosechas disminuye. - Suelos que en principio contienen suficiente azufre, al intensificarse su cultivo frecuentemente llegan a ser deficientes, a menos que se empleen fertilizantes que contengan ese elemento.

Ramírez (20), cita que las causas de deficiencia de azufre, se explican por lo siguiente:

- a) La tendencia del uso de fertilizantes concentrados en macronutrientes primarios N, P y K que 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 combustible 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 nutrimentos.

El que a este elemento se le haya brindado poca atención dentro de la fertilización vegetal se debe, por un lado, a la enorme reserva natural del azufre en la mayoría de los suelos, y por otro, a su presencia como componente en los demás fertilizantes, por ejemplo, sulfato de amonio, superfosfato, sulfato de potasa, y otros, que se aplicaban, ya sea separadamente o en mezclas de diferentes proporciones, para abonar con fertilizantes completos (NPK) (8,9). Estudios realizados (24) indican que el superfosfato normal (18-22% P_2O_5), contiene aproximadamente un 12% de azufre. El sulfato de amonio (20-21 % N) contiene el 24% de azufre. Por lo tanto cuando se aplica al suelo cualquiera de estos compuestos como fuentes de nitrógeno y/o fósforo también se le proporciona al suelo cantidades de azufre que son suficientes para satisfacer las necesidades de este elemento por las plantas.

Estos fertilizantes, están siendo reemplazados por materiales con mayor contenido de nitrógeno y fósforo, y con poco o ninguno de azufre por ejemplo (24):

- a) Los superfosfatos concentrados (30-50% P_2O_5) contienen menos del 2% de azufre.
- b) Los fosfatos de amonio (11 a 21% N, 46-61% P_2O_5), contiene menos del 3% de azufre.
- c) Nitrato de amonio (33% de N); urea (42-46% N) amoníaco anhidro (82% N) y agua amoniacal (20% N) NO CONTIENEN AZUFRE.

La tendencia a emplear fertilizantes de concen

tración más alta en elementos mayores, ha traído como consecuencia una mayor economía, tanto en el manejo como en el transporte del fertilizante. Sin embargo, esto ocurre a través de una disminución en la concentración de azufre y otros elementos que son componentes adicionales de los fertilizantes más tradicionales.

La descomposición de la materia orgánica y especialmente la quema del carbón, madera y aceites, libera al medio ambiente oxígeno combinado con azufre. La lluvia devuelve este elemento al suelo. En EE. UU. se demostró que de 7 a 60 Kg. por año y por hectárea se añade al suelo, de esta manera (20,24). Desafortunadamente en las regiones agrícolas donde el consumo del azufre es alto, las cantidades de este elemento en la atmósfera son bajas, lo que hace que las cantidades incorporadas por las lluvias sean a su vez de poca importancia. Todos estos factores deben tenerse en cuenta, cuando se considera la respuesta de las plantas a la aplicación del azufre.

Las pérdidas del azufre en el suelo se ha estudiado (20), y se ha llegado a determinar en forma general que la extracción de azufre del suelo que hacen los cultivos está comprendida entre 7 y 38 kg. por hectárea por año (26). En Inglaterra en la estación experimental de Rothamsted se determinó que la pérdida de azufre por lixiviación varían desde trazas hasta cantidades tan altas como 285 kg. por ha por año (20). También debe considerarse las cantidades de nutrimentos que se pierden con el suelo que es lavado, debido a la erosión. Pérdidas de azufre por medio de las aguas de escorrentía varían entre 0.9 y 13 kg. por ha por año. La quema de

material vegetal ocasiona la pérdida de aproximadamente el 50% de su contenido en azufre (27).

The Sulphur Institute (24), menciona varios trabajos de como responden los cultivos a la fertilización con azufre:

Experiencias realizadas en Nebraska (24), demostraron que cada vez son más frecuentes las respuestas del maíz a la fertilización con azufre. El suministro de azufre, a razón de 11 kg/ha en forma de sulfato de amonio, dio como resultado un aumento de producción de 22 qq/mz este estudio se llevó a cabo en un terreno arenoso de bajo contenido en materia orgánica.

En un terreno limoso Palouse en el estado de Washington, que tiene poco azufre, una aplicación al trigo, de solo nitrógeno, redujo el rendimiento. Cuando se añadió azufre, el rendimiento aumentó tanto cuando la cantidad de nitrógeno aplicada fue de 45 kg/ha como cuando lo fue de 90 kg/ha (24).

En Venezuela (24), se observó una deficiencia de azufre cuando la fertilización tradicional a base de sulfato de amonio y superfosfato simple fue sustituida por la de urea y fosfato diamónico. Se observó que el cultivo de sorgo para grano no respondió a la fertilización con fosfatos en ausencia de azufre.

En 14 campos de trigo cultivados durante 18 años en Bretón, Canadá (24), en suelos podzólicos grises de las regiones forestales deficientes en azufre, que dó demostrada la forma en que una deficiencia de este

el elemento puede limitar la respuesta de un cultivo a otros elementos nutritivos. Se obtuvieron respuestas significativas a la adición de azufre y fósforo, aplicados a cultivos solos y en rotación con leguminosas. Cuando el azufre y el fósforo se aplicaron conjuntamente se consiguió un mayor rendimiento.

En Alabama, EE.UU. (24), en experiencias realizadas en 12 localidades durante períodos de uno a cuatro años, se añadió azufre en forma de sulfato soluble a un fertilizante de alta concentración que no contenía dicho elemento, el aumento de algodón bruto por ha. llegó a ser de 287 Kg. siendo el promedio de todas las localidades donde se aplicó el fertilizante solo de 180 Kg.

La revista AGA (1), menciona que la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, realizó a través del departamento de Investigaciones Agrícolas un trabajo sobre la respuesta de caña de azúcar a la aplicación de potasio y magnesio, en combinación con el fertilizante 20-20-0 y azufre elemental en dosis de 40 Kg/ha, en las fincas el Salto, Pantaleón y la Ceiba, Escuintla-Guatemala; habiéndose encontrado una respuesta significativa en los pesos de caña/ha. en aquellas parcelas donde se aplicó azufre. Los tratamientos con potasio, magnesio y 20-20-0 no tuvieron un efecto significativo. Pero el efecto del azufre se manifestó favorablemente sobre el rendimiento de azúcar. Como consecuencia de todo lo anterior, se realiza en la actualidad 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 también el efecto de diferentes fertilizantes azufrados en el rendi-

miento y composición de las plantas. Estas investigaciones son recientes, no existen aún aspectos aclarados sobre la relación del azufre en el sistema suelo - planta (26).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización:

El ensayo sobre la influencia de 5 niveles de azufre, fue llevado a cabo en la Estación Experimental Agrícola "Ing. Mario Molina Llardén", El Rodeo Escuintla.

La estación está localizada en la jurisdicción del municipio de Escuintla, departamento de Escuintla, a 750 metros sobre el nivel del mar, entre los 90° 49' longitud oeste y los 14° 23' latitud norte del meridiano de Greenwich (11, 17, 19). La zona ecológica, según Holdridge, corresponde al sub-trópico muy húmedo (7).

El clima es cálido-húmedo, con temperatura media de 24 grados centígrados y una precipitación pluvial de 3500 milímetros anuales, la cual se encuentra distribuida durante todo el año, pero con mayor intensidad en el período comprendido de mayo a octubre. De noviembre a abril la estación está sujeta a fuertes vientos que soplan en dirección NS y NO a velocidades que llegan a 60 km/hora (11, 12, 19).

De acuerdo a Simmons et al (23), y Perdomo (19) los suelos corresponden a la serie Alotenango, los cuales son profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica reciente, suelta y de color oscuro, ocupan pendientes inclinadas y se encuentran a elevaciones de 750 y 1800 metros sobre el nivel del mar. Son de tipo franco con inclusión arenosa, en pendiente comple-

ja-ondulada, fase ligeramente erosionada, y permeable. Tienen una capacidad de retención de humedad moderada debido principalmente a su alto contenido de materia orgánica, ya que el alto porcentaje de partículas primarias gruesas presentes, no contribuyen mayor cosa a retener la humedad del suelo. Esta retención de humedad varía de 2.14 a 3.12 pulgadas de agua por pie de profundidad. La composición mineralógica de estos, sugiere que existe una gran superficie de actividad electrocinética y una gran actividad de aluminio, que son responsables de un alto requerimiento de cal por el suelo y de un alto poder para fijación de fósforo.

3.2. Material Experimental:

Se utilizó una siembra (pelillo) de caña de azúcar, variedad Barbados-37172, sembrada en surcos separados entre sí a 1.80 metros bajo el sistema de hilera simple, a una profundidad de 40 centímetros. El área cubierta fue de 3392.64 metros cuadrados. La parcela bruta fue de 90 metros cuadrados, con una longitud de surcos de 10 metros. La parcela neta de 57.60 metros cuadrados, con una longitud de surcos de 8 metros.

Los tratamientos seleccionados fueron cinco niveles de azufre. Se usó como fuente de ese elemento azufre elemental a razón de: 0-20-40-80 y 160 kg. de S por hectárea; según Ramírez (20) para fines de cálculo el azufre elemental se supone 100% puro.

Se aplicó al experimento una fertilización básica de NPK, con el abono químico de fórmula comercial 12-

24-12, a razón de 2 libras 6 onzas por surco de 10 metros de longitud. Tanto el fertilizante como el azufre se aplicaron en el momento de la siembra, enterrado en hileras al lado del surco, en el mes de Junio de 1973.

La cosecha se efectuó en el mes de Junio de 1974 separadamente para cada parcela, dejando bordes entre parcelas y cabecera de surco.

3.3. Metodología Estadística:

Los cinco tratamientos; se distribuyeron en un diseño Cuadrado Latino, con cinco repeticiones. Dichos tratamientos son los siguientes:

- A. 0 Kilogramos por hectárea (TESTIGO)
- B. 20 Kilogramos de azufre por hectárea
- C. 40 Kilogramos de azufre por hectárea
- D. 80 Kilogramos de azufre por hectárea
- E. 160 Kilogramos de azufre por hectárea

Cada parcela ocupó un área de 90 metros cuadrados (10 x 9 mt.), con 6 surcos de 10 metros de longitud. El área por parcela para toma de datos fue de 57,60 metros cuadrados (8x 7,2m.), 4 surcos de 8 metros de longitud.

Los datos tomados consistieron en peso de caña, rendimiento de azúcar y grados Brix, los cuales se sometieron al análisis de varianza (ANDEVA) para su respectivo estudio.

4. DISCUSION DE RESULTADOS

El rendimiento de caña en toneladas métricas por hectárea, es la principal característica utilizada en este estudio para evaluar la respuesta obtenida a la aplicación de azufre. Estos resultados se consignan en el cuadro No. 4. Los rendimientos obtenidos variaron alrededor de la media de 97.85 T.M./ha. Al ser sometidos estos datos al análisis estadístico (Cuadro N.5) se encontró que no se manifestó ningún efecto significativo de la aplicación de azufre sobre los rendimientos de caña. Estos rendimientos fueron altos comparados con el rendimiento promedio de la región, por lo que no es probable que haya existido un factor limitante a la producción de este cultivo en este estudio. Es decir, es de inferirse que la falta de respuesta a la aplicación de azufre fué debido al hecho de que el suelo contenía una suficiente disponibilidad de este elemento y no a la existencia de otro factor que estuviera limitando la respuesta al elemento estudiado en este trabajo.

Considerando que Ranero (21), determinó un nivel crítico de azufre en el suelo de 14 ppm, era de esperarse una respuesta a la aplicación de este elemento en este caso, puesto que los niveles de azufre determinados en el suelo utilizado en este experimento fueron de 3.75 a 7.25ppm, valores muy por debajo al nivel crítico determinado por Ranero. El hecho de que los datos obtenidos no estan de acuerdo a los resultados esperados son un indicio de que hay factores en el suelo que complican la aplicabilidad de un nivel crítico determinado para este elemento.

CUADRO No. 3 ANÁLISIS DE SUELO

Muestras	pH	Microgramos/ml		%		Meq 100 ml de suelo		ppm de S
		P	K	N	M.O	Ca	Mg	
A-1	6.0	0.75	95	0.484	6.34	8.00	1.30	4.00
A-2	6.2	1.00	100	0.469	6.96	8.00	1.30	5.00
A-3	6.3	0.75	80	0.477	9.00	8.00	1.30	3.75
A-4	6.3	0.75	190	0.507	8.79	8.80	1.50	7.25

Localidad:

Estación Experimental Agrícola "Ing. Mario Molina Llardén",
El Rodeo - Escuintla.

Muestras tomadas a una profundidad de 0-40 centímetros.
Con Barreno tipo: California

CUADRO No. 4 Datos Promedio de:

- Peso en Toneladas métricas de caña de azúcar por hectárea
- Rendimiento de azúcar en kilogramos por tonelada de caña molida.
- Grados Brix de las muestras de jugo de caña de azúcar, por parcela, para los tratamientos específicos.

Tratamiento	Kg S/ha	Caña T.M./ha.	Azúcar kg/ha	Grados Brix
A	0	97.77	89.53	18.85
B	20	97.53	86.94	18.52
C	40	99.99	86.63	18.41
D	80	95.41	89.17	18.77
E	160	98.51	86.26	18.14

$$\text{Coeficiente de Variación} = \frac{\text{C. M. error}}{\bar{X}} \times 100$$

C. de V. para peso de caña de azúcar en T.M./ha = 8.64

C. de V. para Rendimiento de azúcar en Kg/ha = 4.20

C. de V. para Grados Brix de las muestras de jugo de caña de azúcar por parcela = 3.57

CUADRO No. 5 ANALISIS DE VARIANZA

- Peso de caña de azúcar
- Rendimiento de azúcar
- Grados Brix

F.V.	G.L.	CAÑA		AZUCAR		GRADOS BRIX	
		C.M.	F	C.M.	F.	C.M.	F.
Hileras	4	70.08	n.s.	17.48	n.s.	0.33	n.s.
Columnas	4	569.98	*	55.05	*	1.15	n.s.
Tratamientos	4	13.91	n.s.	11.71	n.s.	0.41	n.s.
Error	12	71.57	-	13.63	-	0.44	-

* = Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad

n.s. = No significativo

Estos factores pueden estar relacionados con el hecho de que el nivel crítico de 14 ppm, fué determinado en estudio de Invernadero; despues de que el suelo fué manipulado mecánicamente, cambiando considerablemente sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

Las diferencias en capacidad de absorción de nutrimentos que existen entre especies y variedades dentro de una misma especie es también un factor que no debe subestimarse.

Sin embargo, es opinión del autor que probablemente el factor más importante que pudo haber incidido en la falta de respuesta a la aplicación de azufre detectada en este estudio, está relacionado con el papel determinante que la materia orgánica juega en la disponibilidad de este elemento. En una forma similar al nitrógeno, la disponibilidad del azufre en muchos suelos depende del contenido y de la forma química que se encuentra este elemento en la materia orgánica. Es un hecho de que no existe un método de análisis de suelo ni un nivel crítico confiable para nitrógeno, precisamente porque es imposible determinar la disponibilidad de este elemento en la materia orgánica a través de un análisis del contenido de nitrógeno que existe en el suelo ya sea total o extractable con cualquier solución química.

Al igual que el nitrógeno, es de esperarse que el análisis de suelos para el elemento azufre presente los mismos problemas en aquellos casos en que este elemento existe en el suelo en una forma predominantemente orgánica. Al respecto, Ramírez (20) indica que cuando el contenido de materia orgánica en los suelos es alta, es recomendable de

terminar el azufre orgánico con el fin de estudiar la disponibilidad potencial de estos elementos en los mismos. En esta forma se toma en cuenta el aporte de los sulfatos derivados de la mineralización de la materia orgánica del suelo, transformación que aunque lenta, es a la postre de gran significancia en la utilización de azufre por las plantas. Sin embargo, se puede esperar que aun tomando en cuenta el azufre orgánico persista el problema de la inestabilidad de un nivel crítico de azufre, puesto que la tasa de mineralización de la materia orgánica depende de factores tan determinantes como la temperatura, la humedad, la aereación y la composición de la flora microbiana del suelo. Con el elemento nitrógeno por ejemplo, estudios del nitrógeno orgánico y estudios de incubación de la materia orgánica, que se han ensayado como probables índices de la disponibilidad de este elemento, han tenido muy poco éxito cuando estos resultados se han generalizado hacia el campo, puesto que el suelo in situ posee un ambiente diferente al que se puede encontrar en estudios de incubación en el laboratorio.

En el caso del azufre, las fuentes de este elemento en el suelo son tanto orgánicas como inorgánicas y puede darse el caso que en suelos que contengan azufre eminentemente inorgánico pueda llegarse a determinar un nivel crítico relativamente confiable, sin embargo, este nivel crítico no tendrá ninguna aplicabilidad cuando se trate de suelos en donde predomina el azufre orgánico.

El suelo utilizado en este estudio presentó contenidos de materia orgánica hasta de 9% (Cuadro No.3)

en los 40 centímetros superficiales y es de esperarse que el contenido hubiera sido más alto si se hubiera considerado solamente la capa arable que es de aproximadamente 20 centímetros. En la presente investigación, no se determinó el contenido de azufre orgánico. Sin embargo, es de esperarse que la fracción orgánica de este elemento haya estado jugando un papel importante en su disponibilidad, puesto que como ya se indicó el contenido de materia orgánica era relativamente alto. En estas condiciones, es explicable la falta de respuesta a la aplicación de azufre, aún cuando el suelo contenía menos de 7 ppm de este elemento, puesto que aunque su concentración era baja en la solución del suelo pudiera estar recibiendo aportes continuos de este nutrimento a través de la descomposición de la materia orgánica.

Otra posibilidad, es que el nivel crítico bajo condiciones de campo sea inferior a lo que se haya reportado en la literatura hasta la fecha, puesto que como ya se indicó anteriormente esos resultados se obtuvieron en estudios de Invernadero.

Al igual que el rendimiento de caña, los rendimientos de azúcar y grados Brix no fueron afectados significativamente por los tratamientos de azufre. Los rendimientos de azúcar promediaron 87.7 kg/ha y los grados Brix 18.54. Estos datos se consignan en el cuadro No.4, y sus respectivos análisis de varianza en el cuadro No. 5.

Se puede notar en el cuadro No.4, que los coeficientes de variación fueron 8.64, 4.20 y 3.57 para el rendimiento de caña, rendimiento de azúcar y grados Brix, respectivamente, lo que indica que las variables ambientales ajenas a los tratamientos utilizados fueron contraladas en

una forma eficiente, con el resultado de que el error experimental fué muy bajo.

5. CONCLUSIONES

1. En este estudio se utilizó un suelo con contenido de azufre extractable que variaron de 3,75 a 7,25 ppm, muy por debajo del nivel crítico reportado en la literatura (21). Sin embargo, la aplicación de azufre en cantidades que variaron de 0 a 160 kg de S/ha no tuvo ningún efecto significativo sobre los rendimientos de caña, rendimientos de azúcar y grados Brix.
2. Los rendimientos de caña promediaron 97,8 T.M./ha, valor que se considera adecuado y superior al promedio de la región, por lo que se afirma que no existió ningún factor que limitara la producción y por ende la respuesta a la aplicación de azufre.
3. En base a las consideraciones anteriores se afirma que la falta de respuesta a la aplicación de azufre se debió a que el suelo contenía este elemento en forma disponible y en cantidades suficientes.
4. La falta de correlación que se encontró en este estudio entre el nivel crítico de azufre en el suelo y la respuesta a su aplicación en el campo, se puede explicar por el papel que la materia orgánica haya jugado en la disponibilidad de este elemento y por la falta de correlación que frecuentemente se encuentra entre niveles críticos determinados en invernadero y los resultados de campo.

5. El contenido de materia orgánica en el suelo utilizado en este estudio fué hasta de 9.0% en los 40 centímetros superficiales y es de esperarse que el contenido en la capa arable de solamente 20 centímetros haya sido aún más alto. En esta investigación no se estudió el azufre orgánico, pero es de esperarse que considerando el alto contenido de materia orgánica, la forma orgánica de este elemento haya jugado un papel muy importante en su disponibilidad. En estas condiciones, es explicable la falta de respuesta a la aplicación de este elemento, puesto que aunque la cantidad de azufre extractable era solamente de 3.8 a 7.2 ppm, el suelo recibía aportes continuos de azufre durante la temporada del cultivo originados a través de la mineralización de la materia orgánica y que a través del tiempo eran suficientes para llenar los requerimientos de la planta.

6. RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones anteriores, es recomendable que para cuantificar la respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de azufre se realicen mas estudios que traten de determinar lo siguiente:

1. El nivel crítico de azufre en el suelo en condiciones de campo.
2. Estudios sobre el efecto de la composición mineralógica, el azufre orgánico, los microorganismos del suelo y otros factores que afecten la disponibilidad del azufre.

8. BIBLIOGRAFIA

1. GUATEMALA, ASOCIACION GENERAL DE AGRICULTORES. Sintesis de resultados de ensayos sobre la respuesta en caña de azucar al uso de fertilizantes en el departamento de Escuintla. En: Revista AGA (Guatemala). No. 131: (5): 18-19. 1969.
2. AYALDE, V. G. et al. Caña de azúcar. Palmira, Colombia, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (ICA) Palmira. Talleres de Gar. 1973. 261 p.
3. BARTHOLOMEN, V.W. et al. Un resumen de las investigaciones edafológicas en América Latina Tropical. En: Soil Science No. 219:195-197. 1973.
4. BENITEZ C., J. Evaluación de la respuesta de la caña de Azúcar (Saccharum Officinarum L.) a la fertilización con nitrógeno. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1966, 71 P. (Tesis Ing. Agr.).
5. BROWN, R.L. El Hombre, la tierra y los alimentos. Trad: Manuel de J. Fernandez. Mexico D.F., Centro Regional de Ayuda Técnica, AID. 1967. 249 P.
6. ESTRADA C. F. Evaluación de la respuesta en Caña de Azúcar (Saccharum Officinarum L.) a

la fertilización con dos fuentes nitrogenadas, en dos épocas y dos formas de aplicación. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1968. 25 p. (Tesis Ing. Agr)

7. HOLDRIDGE & LAMB. Mapa Ecológico de Guatemala. En: Los bosques de Guatemala. San José Costa Rica, IICA/OEA, Proy #39. 1959.
8. JACOB, A. y UEXKULL, V. H. Fertilización. Trad: L. López Martínez de Alba. Alemania, Hannover Verlagsgesellschaft Für Ackerbau mbH. 1964. 48 p.
9. _____. Fertilización, Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. 3a. Ed. Trad: L. López Martínez de Alba. Alemania, Hannover Verlagsgesellschaft Für Ackerbau mbH. 1966. 626 p.
10. MALAVOLTA, E. et al. La nutrición mineral de algunas cosechas tropicales. Piracicaba, Sao Paulo Brasil. Instituto Internacional de la Potasa, 1964. 163 p.
11. MARTINEZ, G. L. Ensayo de fertilización en Caña de azúcar, en suelos de la serie A-lotenango. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 1966 43. p. (Tesis Ing. Agr.)

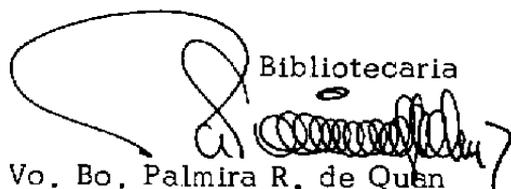
- 12 . MATHEU DE LEON , C. Ensayo de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en caña de azúcar (Saccharum Officinarum L.) Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1966. 43 p. (Tesis Ing. Agr.)
13. MOLINA LLARDEN , M. Agronomía y Agricultura. Guatemala, Editorial Universitaria, 1957, 412 p.
14. NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. Manuel de Fertilizantes. AID México, 1970. 291.p.
15. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION FAO. El uso eficaz de los fertilizantes. 5ª ed. Roma, Italia, FAO 1959. 379 p.
16. ORTIZ, M.O. Experiencias sobre fertilización en Guatemala. Guatemala, Ministerio de Agricultura. Dirección General de Investigación y Control Agropecuario, 1965. Bol.Tec. No. 15. 38 p.
17. PALENCIA, J.A. Determinación del tamaño óptimo de parcelas experimentales en Caña de Azúcar (Saccharum Officinarum L.) bajo las condiciones de la Estación Experimental Agrícola Sabana Grande, Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía - 1965. 34 p. (Tesis Ing. Agro.)
18. PANIAGUA, E. Análisis económicos para determinar la dosis óptima de fertilización com-

pleta en caña de azúcar, bajo dos sistemas y distancias de siembra. Guatemala, Ier. Congreso Centroamericano de Técnicas Azucareras. Guatemala, Asociación Nacional de Cañeros, 1973. 11.p.

19. PERDOMO, R. Estudio de la génesis, morfología, propiedades físicas y mineralógicas y cartografía de suelos de la finca Sabana Grande, Escuintla, Guatemala, USAC é Instituto Geografico Nacional, 1968. 73 p.
20. RAMIREZ M., G. Efecto de diferentes fuentes y niveles de azufre en la composición y crecimiento del algodónero. Turrialba, - Costa Rica, IICA/OEA, 1971. 81. p. (Tesis Mag. Sc.)
21. RANERO C., J. 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. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1974 38p. (Tesis Ing. Agr.)
22. SELKE, W. Los abonos. 4a. ed. Trad. por: Ortwin Günther-Leon España, Editorial Academia, 1968. 441 p.
23. SIMMONS, C.S. et al. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la republi-

ca de Guatemala, Guatemala, "Ministerio de Educación Pública "Ed. José de Pineda Ibarra" y Ministerio de Agricultura; IAN-SCIDA,, 1959. 1000 p.

24. WASHINGTON, THE SULPHUR INSTITUTE, Azufre elemento esencial en la alimentación de las plantas. Washington, D.C., 1968 29 p.
25. _____, Oxidation of sulphur in soils. Washington, D.C. Technical Bulletin 13. 1968. 41 p.
26. WHITEHEAD, D.C. Soil and plant-nutrition aspects of the sulphur cycle. En: Soils and Fertilizers 27 (1:1-8), 1964.
27. WILLIAMS, C.H. Nitrogen, sulphur and phosphorus. En: Soil Chemistry and fertility. 24 (1: 90-111), 1967.
28. _____, Some factors affecting the mineralization of organic sulphur in soils. En: Plant and Soil 26 (2:200-225) 1967.

 Bibliotecaria
Vo. Bo. Palmira R. de Quen

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12
Avenida Peten No. 1948

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto

IMPRIMASE:

ING. CARLOS ESTRADA CASTILLO
DECANO

