

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
GUATEMALA, C. A.

^EFECTO DEL NIVEL DE AZUFRE EN EL SUELO SOBRE EL CONTENIDO
DE AZUFRE TOTAL Y AMINOACIDOS AZUFRADOS EN EL GRANO DE CUA-
TRO VARIEDADES DE FRIJOL COMUN (PHASEOLUS VULGARIS L.)^.

TESIS:

Presentada a la Honorable Junta Directiva

de la

Facultad de Agronomía

Por:

JAIME LEONEL SOSA LEMUS

Al conferírsele el título de

INGENIERO AGRONOMO

En el Grado Académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, marzo de 1986.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01

T(887) UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

DR. EDUARDO MEYER MALDONADO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. César A. Castañeda S.
VOCAL 1o.:	Ing. Agr. Oscar R. Leiva Ruano
VOCAL 2o.:	Ing. Agr. Jorge Sandoval Illescas
VOCAL 4o.:	P. A. Angel Leopoldo Jordán
VOCAL 5o.:	P. A. Axel Gómez Chavarri
SECRETARIO:	Ing. Agr. Luis Alberto Castañeda

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Agr. César A. Castañeda
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Hugo Tobías
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Edgar Alvarado
SECRETARIO:	Ing. Agr. Rodolfo Alvizures Palma

Guatemala,
noviembre de 1985.

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR.

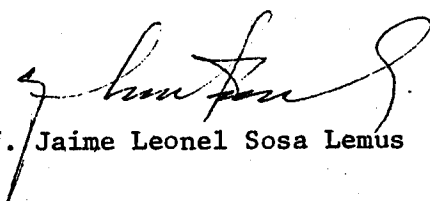
En cumplimiento con lo establecido en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado:

EFECTO DEL NIVEL DE AZUFRE EN EL SUELO SOBRE EL CONTENIDO DE AZUFRE TOTAL Y AMINOACIDOS AZUFRADOS EN EL GRANO DE CUATRO VARIEDADES DE FRIJOL COMUN (PHASEOLUS VULGARIS L.)[^].

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Esperando contar con la aprobación del mismo.

Atentamente,



Prof. Jaime Leonel Sosa Lemus

INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA

COSTA RICA
EL SALVADOR
GUATEMALA

OFICINA SANITARIA PANAMERICANA
OFICINA REGIONAL DE LA
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

HONDURAS
NICARAGUA
PANAMA

APARTADO POSTAL 1188

CARRETERA ROOSEVELT, ZONA 11
GUATEMALA, C. A.

TELEFONOS 43762 AL 43767

CABLE: INCAP

IN-106-85/CAE

15 de noviembre de 1985

Ing. Agr. César Castañeda
Decano
Facultad de Agronomía
Ciudad Universitaria

Señor Decano:

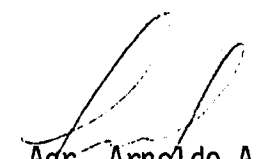
Por medio de la presente, deseo notificarle que he asesorado el trabajo de tesis de grado de Jaime Leonel Sosa Lemus, para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

Dicho trabajo titulado: "Efecto del nivel de azufre en el suelo sobre el contenido de azufre total y aminoácidos azufrados en el grano de cuatro variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)", ha sido encontrado enteramente satisfactorio, y en mi opinión, llena ampliamente los requisitos para su aceptación como tal.

Por lo anteriormente indicado, agradecería que usted se sirva revisar el trabajo a fin de dar su visto bueno para que el señor Sosa Lemus pueda realizar su examen público respectivo.

Agradeciendo su atención lo saluda,

Atentamente,



Ing. Agr. Arnoldo A. García S.
Científico, División Ciencias
Agrícolas y de Alimentos

Guatemala,
25 de noviembre de 1985.-

Ingeniero Agrónomo César Castañeda
Decano
Facultad de Agronomía
U.S.A.C.
Ciudad Universitaria, zona 12
Presente.

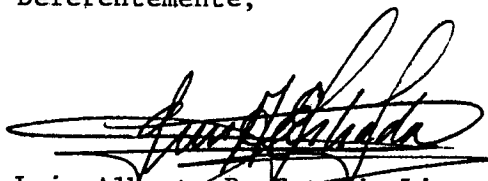
Señor Decano:

De acuerdo al nombramiento emanado de ese decanato, he procedido a asesorar al universitario Jaime Leonel Sosa Lemus en su trabajo de tesis intitulado: "Efecto del nivel de azufre en el suelo, sobre el contenido de azufre y aminoácidos azufrados en el grano de 4 variedades de frijol común (*Phaseolus Vulgaris L.*)", que debe presentar como requisito parcial, previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo.

Concluida la asesoría y revisado el documento final, considero que el trabajo desarrollado por el universitario Sosa Lemus tendrá un gran aporte en el campo nutricional y vendrá a resolver en parte el problema alimenticio que se presenta en áreas rurales del país, por lo que estimo es digno de su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo del Señor Decano.

Deferentemente,


Luis Alberto P. Estrada Ligorría
Ing. Agrónomo
Colegiado 140

LAPEL/slpg.-

DEDICO ESTA TESIS

A:

Los hombres que con su trabajo y esfuerzo contribi
buyen a realizar la magnánime tarea de alimentar
al mundo.....

La Facultad de Agronomía

La División de Ciencias Agrícolas del INCAP

Mis asesores de Tesis

DEDICO ESTE ACTO

A:

Dios

A MIS PADRES:

Jaime Eduardo Sosa O.

Isaura Lemus de Sosa

A MIS HERMANOS:

Nora, Lilian, Letty, Elmer, Freddy,

Otto, Julio y Ronald

A:

Carlos, Nora y Jaime Antonio

A:

Mis amigos y compañeros de promoción

AGRADECIMIENTO

- * Al Ing. Agr. Arnoldo García Soto, Ing. Agr. Luis Estrada Ligorria, Dr. Luis G. Elías, Dr. Roberto Gómez Brenes por su valiosa orientación en la realización de éste trabajo.
- * A todo el personal de la Dirección de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP, quienes me brindaron su colaboración, consejos y amistad.
- * Al personal del Laboratorio de la Disciplina de Suelos de ICTA, por la colaboración y orientación brindada que fueron de gran ayuda en la realización de ésta tesis.
- * Al piloto aviador Mario Minondo Saravia y Dora Alicia Pineda de Minondo, por el sincero aprecio, apoyo incondicional y sabios consejos que hicieron posible la culminación de mi carrera.
- A: Elba López, por ser una personal tan especial y una madre ejemplar.
- A: Francisco Pineda Sosa, cuyo apoyo incondicional fue decisivo en mi formación profesional.
- AL: Ing. Agr. Guillermo Reyes del Cid cuyos consejos me motivaron a luchar por lo que hoy culmino.
- A: Roberto Reyes y Miriam Montenegro de Reyes por el aprecio que me brindaron.
- * A todas las personas que en una u otra forma me brindaron su ayuda y que hicieron posible la culminación de ésta Tesis.

INDICE DE CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	3
II. OBJETIVOS	5
III. HIPOTESIS	6
IV. REVISION BIBLIOGRAFICA	7
1. El azufre en el suelo	7
1.1 Contenido y formas de azufre en el suelo	7
1.2 Fuentes de azufre en el suelo	8
1.2.1 La Materia Orgánica	8
1.2.2 La Materia Inorgánica	8
1.2.3 Atmósfera	8
1.2.4 Agua de Riego	8
1.2.5 Fertilizantes	8
1.3 Absorción de azufre por las plantas	9
1.4 Funciones del azufre en la planta	9
1.5 Deficiencia y Toxocidad de azufre	10
2. Contenido de azufre en el suelo y su relación con el crecimiento y producción de Leguminosas	10
3. Relaciones Nitrógeno-Azufre y Fósforo:Azufre	11
4. Relación entre el contenido de azufre del suelo y el contenido de proteína y aminoácidos azufrados.	12
5. Química de los aminoácidos azufrados.	13
5.1 Estructura Química	13
5.2 Biosíntesis	14
6. Importancia nutricional de los aminoácidos azufrados en el frijol común.	15

PAGINA

V. MATERIALES Y METODOS	18
1. Materiales	18
1.1 Características del sitio experimental	18
1.2 Suelos	18
1.3 Variedad de frijol	18
1.4 Fuentes de nutrientes	18
1.5 Recipientes	19
1.6 Material de laboratorio	19
2. Métodos.	19
2.1 De invernadero	19
2.1.1 Metodología Experimental	19
2.2 Siembra	19
2.3 Riego	19
2.4 Aplicación de soluciones nutritivas	20
2.5 Niveles de azufre	20
2.6 Tratamientos evaluados	20
2.7 Metodología de laboratorio para la deter- minación de azufre total.	20
2.8 Metodología para la determinación de Metio- nina y Cistina.	22
2.9 Metodología de análisis estadístico	22
2.10 Metodología de Análisis Estadístico	22
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	23
1. De las condiciones en el invernadero	23
2. Del contenido de azufre en el suelo	23
3. Del consumo de azufre por el cultivo	23
4. Del efecto de variedad, azufre en el suelo e interpretación sobre el contenido de azufre total en el grano.	28
5. Del efecto de la variedad, azufre en el sue- lo e interacción sobre el contenido de amino ácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano de frijol.	34

PAGINA

6. De la correlación de azufre total y aminoácidos azufrados en el grano de frijol	40
VII. CONCLUSIONES	47
VIII. RECOMENDACIONES	48
IX. BIBLIOGRAFIA	49

INDICE DE CUADROS

PAGINA

Cuadro 1.	Color y contenido de azufre en el grano de las variedades de frijol estudiadas.	16
Cuadro 2.	Cantidad de elementos y compuestos utilizados en la solución madre a ser usada en los tratamientos del suelo.	17
Cuadro 3.	Listado de tratamientos evaluados.	21
Cuadro 4.	Condiciones de temperatura en el invernadero.	23
Cuadro 5.	Azufre disponible en el suelo después del experimento (ppm).	26
Cuadro 6.	Resumen de valores de consumo de azufre por la planta de frijol (ppm).	27
Cuadro 7.	Resumen de resultados de contenido de azufre en el grano (g%) después de la siembra.	30
Cuadro 8.	Resumen de resultados del contenido de azufre total en el grano (mg/gramo de proteína) después de la siembra.	33
Cuadro 9.	Resumen de resultados del contenido de aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano de frijol (g%) después de la siembra.	36
Cuadro 10.	Resumen de resultados del contenido de aminoácidos azufrados (metionina + Cistina) en el grano de frijol (mg/grano de proteína), después de la siembra.	39

INDICE DE FIGURAS

PAGINA

Figura 1.	Relación entre el azufre en el suelo antes del experimento y el azufre en el suelo después del experimento.	24
Figura 2.	Relación entre el contenido de azufre total (gramos/100 gramos de muestra) y el nivel de azufre agregado al suelo (ug/g).	29
Figura 3.	Relación entre el contenido de azufre total (mg/g de proteína) y el nivel de azufre agregado al suelo (ug/g).	32
Figura 4.	Relación entre el contenido de aminoácidos azufrados (g/100g de muestra) y el nivel de azufre agregado al suelo (ug/g).	35
Figura 5.	Relación entre el contenido de aminoácidos azufrados (mg/g de proteína) y el nivel de azufre agregado al suelo.	38

INDICE DE TABLAS

PAGINA

Tabla 1. Resumen de análisis de Varianza.	42
Tabla 2. Continuación del análisis de Varianza	43
Tabla 3. Prueba de Tuckey 5%.	44
Tabla 4. Continuación de prueba de Tuckey 5%.	45
Tabla 5. Resumen de correlaciones entre el <u>azu</u> fre y aminoácidos azufrados en el <u>gra</u> no.	46

RESUMEN

En Guatemala, el frijol común es un alimento muy importante como componente de la dieta diaria de la población, ya que constituye la principal fuente de proteína vegetal y de otros nutrientes, entre los cuales están aminoácidos azufrados esenciales como Metionina y Cistina. Su importancia es aún mayor de lo indicado pues se caracteriza como un alimento de alta aceptabilidad dentro de la población.

Conociendo la importancia del frijol, se observa sin embargo, una baja disponibilidad del mismo, como consecuencia de problemas de producción y almacenamiento. Un factor muy importante en la producción, lo constituye la disponibilidad de nutrientes en el suelo, dentro de los nutrientes está el azufre, que además de servir como elemento nutritivo es componente estructural de los aminoácidos azufrados Metionina y Cistina. Estos aminoácidos se encuentran en cantidad deficiente en la proteína del frijol habiéndose encontrado que el valor biológico de dicha proteína están en función del contenido de los mismos.

En leguminosas de grano como Medicago sativa, Trifolium repens y Phaseolus aureus, se ha encontrado que el contenido de azufre del grano está influenciado por el nivel de azufre del suelo.

En el presente trabajo se tuvo como objetivo determinar el efecto del nivel de azufre del suelo sobre el contenido de azufre y de aminoácidos azufrados en el grano de frijol para el mejoramiento de la calidad nutricional del mismo.

Para alcanzar el objetivo señalado, se utilizó un suelo deficiente en azufre, sembrando en invernadero en bolsas de polietileno negro cuatro variedades de frijol, dos de grano de color rojo y dos de grano color negro. Se aplicaron tratamientos de 0, 20, 40 80 y 120 ppm de azufre al suelo al momento de la siembra.

Al final del experimento se determinó el contenido de azufre total y la cantidad de aminoácidos azufrados en el grano, así como la cantidad de azufre disponible en el suelo.

Como resultados se encontró que el nivel de azufre en el suelo correlacionó positiva y significativamente (1% de probabilidad) con el contenido de azufre total en el grano y con la cantidad de aminoácidos azufrados del grano, así como también el contenido de azufre del grano correlacionó significativamente (1% de probabilidad) con el contenido de aminoácidos azufrados del grano de frijol.

I. INTRODUCCION

Actualmente la producción de frijol común en nuestro país es fundamental en la solución del problema nutricional, ya que constituye la mayor fuente de proteína en la dieta que forma parte de los hábitos de la problación. La información obtenida acerca del consumo de alimentos revela que en latinoamérica las leguminosas de grano, en especial el frijol común, constituye el alimento más importante después de un cereal, tubérculo o un fruto (4), además encuestas nutricionales llevadas a cabo en los países del área Centroamericana y Panamá (15), indican que existe poca diferencia en cantidad consumida entre grupos socioeconómicos altos y grupos socioeconómicos bajos, lo cual establece que el frijol es un alimento de alta aceptabilidad (4).

Además de la contribución protéica a la dieta, 15-17% en el área urbana y 19-27% en el área rural, el frijol aporta cantidades significativas de otros nutrientes, entre ellos Hierro, Tiamina, Calcio y Niacina. La importancia nutricional es mayor de lo ya indicado, pues debido a su contenido de aminoácidos esenciales constituye el suplemento protéico natural de la proteína de los cereales (18), sin embargo, aún conociendo la importancia alimentaria y nutricional del frijol se observa en Guatemala una baja disponibilidad del mismo, como consecuencia de problemas de producción e inadecuadas condiciones de almacenamiento del grano, (18, 22, 25). Entre los problemas de producción, la disponibilidad de elementos nutritivos en el suelo es importante para el desarrollo normal de las plantas; dentro de los elementos nutritivos se encuentra el azufre, que además de servir como nutriente es también componente estructural de aminoácidos azufrados esenciales (Metionina y Cistina). Estos aminoácidos se encuentran en cantidad deficiente en la proteína del frijol y según Jaffé 1949, 1950, citados por Jarquín (18), el valor biológico de dicha proteína está en función del contenido de los mismos.

En el presente trabajo se analizó el efecto del nivel de azufre en el suelo sobre el contenido de azufre en el grano de frijol, asimismo, la relación entre el contenido de azufre de grano y la cantidad de aminoácidos azufrados. Al existir dicha relación, la cantidad de azufre del grano puede servir como criterio predictivo del contenido de Metionina y Cistina e índice de la calidad biológica de la proteína del frijol, lo cual es importante ya que según estudios realizados por INCAP (15), la cantidad diaria de frijol consumida por los guatemaltecos, en forma general, no alcanza para cubrir las necesidades protéicas de los consumidores; en este sentido, un aumento en la calidad proteínica del frijol suplementaría en buena medida los requerimientos de proteína de la población.

II. OBJETIVOS

1.- Objetivo General:

1.1 Mejoramiento de la calidad nutricional del frijol común.

2.- Objetivos Específicos:

2.1 Estudiar el efecto del nivel de azufre en el suelo sobre el contenido de azufre total en el grano de cuatro variedades de frijol.

2.2 Determinar el efecto del nivel de azufre aplicado al suelo sobre el contenido de aminoácidos azufrados (Metionina y Cistina) en el grano de cuatro variedades de frijol.

2.3 Establecer correlaciones entre el contenido de azufre del grano y el contenido de aminoácidos azufrados del grano de cuatro variedades de frijol común.

III. HIPOTESIS

- 1.- El nivel de azufre en el suelo influye sobre el contenido de azufre total en el grano, independientemente de la variedad del frijol.
- 2.- El nivel de azufre en el suelo influye sobre el contenido de aminoácidos azufrados en el grano de frijol.
- 3.- En el grano de frijol, el contenido de azufre correlaciona significativamente con el contenido de aminoácidos azufrados.

IV. REVISION BIBLIOGRAFICA

1. El Azufre en el Suelo:

1.1 Contenido y formas de azufre en el suelo:

El contenido de azufre en el suelo está en función del origen del mismo. En suelos inorgánicos varía de 0.02 - 0.2% y en suelos orgánicos puede reportarse hasta 1%. En suelos tropicales alcanza valores de 0.38% de azufre (9).

Las formas de azufre en el suelo son iguales a las del Nitrógeno y Fósforo, es decir, que se puede encontrar tanto en forma orgánica como inorgánica (9, 33). Las formas orgánicas del azufre provienen de residuos animales y vegetales, los cuales contienen en su mayor parte, proteínas, aminoácidos (Metio-nina y Cistina, Péptidos (Glutaminas, Tiaminas, Biotina), Tio-cianatos (Mercaptano, Taninos) y otros (6, 9). Según Villanue-va (35), muy escasa cantidad de azufre orgánico tiene relación con el intercambio de aniones en el suelo.

El azufre orgánico, en su mayor parte, se encuentra en forma de sulfatos; sólo en casos de anaerobismo, como en suelos anegados y pantanosos, se presenta en forma de sulfuros y en condiciones aerobias se transforman en sulfatos (9). El azufre en forma de sulfatos se encuentra unido a otros elementos (Calcio, Magnesio, Aluminio, Hierro). Por lo común en suelos minerales neutros o casi neutros el sulfato está asociado con el Calcio y en menor grado con el Magnesio. En suelos ácidos (pH menor de 6), se encuentra asociado con el Hierro, Aluminio y en menor grado con el Manganeseo. Con el Calcio forma sales que no tienen ninguna influencia con la reacción del suelo, con pH bajo forma sulfatos de Hierro y Aluminio, los cuales cuando es-tán presentes en exceso puede ser tóxicos para algunas plantas,

siendo más nocivo el sulfato de Aluminio (33).

1.2 Fuentes de azufre al suelo:

1.2.1 La Materia Orgánica:

Como fuente de aminoácidos azufrados de las proteínas, Peptidos (Glutaminas, Tiaminas, Biotinas), Tiocinatos (Mercaptano, Taninos) y otros (9, 26, 33).

1.2.2 La Materia Inorgánica:

La materia inorgánica del suelo es fuente de azufre cuando ésta proviene de combinaciones minerales como yeso (CaSO_4) y la Pirita (H_2S) (35).

1.2.3 Atmósfera:

De la atmósfera el azufre llega por medio del agua de la lluvia. Según Bear (1955) citado por Villanueva (35), en zonas industriales la contribución de azufre por parte de la atmósfera al suelo es de 5 - 50 Kg/ha por año y en zonas no industriales la contribución es de 4 Kg/ha por año. Teuscher y Adler (33), opinan que la cantidad de azufre por el agua de lluvia varía de región a región, así en zonas rurales no pasa de 2 - 4 Kg/ha por año y en zonas industriales 112 Kg/ha por año o más.

1.2.4 Agua de Riego:

Contiene una pequeña cantidad de azufre en solución ya que grandes cantidades se pierden por lavado con las aguas que se percolan a través del suelo (35) aunque no se reportan datos.

1.2.5 Fertilizantes:

Los fertilizantes se constituyen en fuentes de azure

fre conocidas cuando se fertilizan los cultivos con superfosfatos simples, sulfato de amonio, sulfato de potasio, yeso, urea sulfónica y otros fertilizantes compuestos.

1.3 Absorción de azufre por las plantas:

Las plantas superiores aboserven el azufre en forma de ión sulfato (SO_4^{-2}), (6, 9). Este fenómeno de absorción y movimiento de azufre en el suelo ha sido estudiado por medio de técnicas radioisotópicas. Se ha encontrado que la cantidad de azufre absorbido por la planta está en función de las características del suelo, contenido y tipo de arcilla, materia orgánica, pH, presencia de hidróxicos de hierro y aluminio (9). Experimentos realizados con cinco variedades de frijol indican que la cantidad de azufre absorbido varían con: la variedad, la concentración de azufre y de otros elementos, y de acuerdo al órgano vegetal que se esté analizando, raíz, tallos, hojas o vainas (3).

1.4 Funciones del azufre en la planta:

Según Devlin (6), entre las más importantes funciones tenemos:

- 1.4.1 Forma parte de los aminoácidos azufrados Metionina y Cistina, dichos aminoácidos son esenciales para el humano y su cantidad determina la calidad biológica de la proteína del frijol (Jaffé 1949, 1950, citado por Jarquin (18).
- 1.4.2 Forma parte de vitaminas sulfaradas con Biotina, Tiaminas, así como la Coenzima A y otras enzimas.
- 1.4.3 Forma puente que en la molécula de proteína ayuda a los enlaces peptídicos y a los puentes de hidrógeno a esta-

bilizar la estructura de la proteína.

1.5 Deficiencia y Toxicidad de azufre:

Los síntomas de deficiencia son similares a los del Nitrógeno, se presenta clorosis general seguida en algunas especies por la producción de pigmentos antociánicos. A diferencia de Nitrógeno, la sintomatología se presentan empezando por las hojas jóvenes (6).

Hall y otros (1972), citados por Devlin (6), estudiaron la estructura del cloroplasto del mesófilo de plantas de maíz deficientes en azufre y encontraron que dicha deficiencia se traducía por una marcada disminución de las laminillas del estroma y por un aumento del número de discos apilados en el grana (11).

La toxicidad puede ser causada por altas concentraciones de sulfatos solubles en el suelo, que ocurren en condiciones de mal drenaje. El H_2S aún en bajas concentraciones es tóxico para el sistema radicular de las plantas.

2. Contenido de azufre en el suelo y su relación con el crecimiento y producción de Leguminosas:

Varios investigadores han encontrado que aplicaciones progresivas de azufre aumentan el rendimiento de materia seca (1, 19). En Phaseolus aureus, Medicago sativa, Trifolium repens, se encontró que aumenta la concentración de azufre en el grano y en tejido foliar (1, 34, 2).

Aulakh (1977), encontró una concentración de 0.098 a 0.245% en el tejido foliar y 0.104 a 0.30% en el grano de Phaseolus aureus.

Jones et al, y Nelson, citados por Aulakh (1), reportan que aplicaciones progresivas de azufre pueden ser capaces de producir un normal crecimiento de la planta y mejora la síntesis de proteína de Phaseolus aureus, aunque Tisdale et al, (34), encontró en Medicago sativa que el contenido en el tejido foliar, varió con respecto a la época de aplicar cantidades constantes de azufre al suelo, lo cual puede ser debido a la variación en el contenido de azufre en la atmósfera.

Reding, citado por Sorensen (29), encontró en alfalfa un incremento en los rendimientos de cosecha e incremento de la materia seca con fertilizaciones azufradas. Barsley (2), opina que una deficiencia de azufre en la planta redonda en una incompleta asimilación del Nitrógeno y consecuentemente en el metabolismo de la proteína.

3. Relaciones Nitrógeno-Azufre y Fósforo-Azufre:

Las relaciones Nitrógeno - Azufre en los tejidos de la planta fueron reportados al principio como índice del contenido de azufre (1), según Dijkshoom y Van Wijk citados por Aulakh (1), una relación 16:1 es adecuada para el crecimiento y síntesis óptima de proteína en la leguminosa Trifolium repens.

La aplicación de azufre, según Anderson y Spencer citados por Aulakh (1), tiene una influencia indirecta en la fijación del Nitrógeno, ya que aumenta el número y tamaño de los nódulos, lo cual puede ser atribuido por una mayor síntesis o fijación de la molécula de la bacteria simbiótica, pero es atribuido al efecto indirecto y no a las aplicaciones de azufre propiamente.

Otros investigadores sugieren que, según observaciones, la relación Nitrógeno - Azufre en las plantas puede ser un buen criterio de deficiencia de azufre (12, 28). Sin embargo, Walker y Bently,

citados por Sorensen (29), indican que esta característica no es tan precisa para que sirva como indicador en alfalfa. Lo mismo opinan para Phaseolus aureus (1).

La fertilización de azufre eleva el contenido de Nitrógeno pero la Relación Nitrógeno - Azufre no es un criterio óptimo para predecir la deficiencia de azufre, pues puede haber otras variables no consideradas (27, 28).

Fasbender 1975 (9) y Sorensen 1968 (29), indican que debe haber un equilibrio entre Nitrógeno y Azufre, ya que con altas concentraciones de alguno de los dos se observan efectos antagónicos.

Sorensen (29), estudiando la relación Fósforo - Azufre en el suelo, encontró una interacción negativa entre ambos elementos respecto a la producción de tejido vegetativo y grano. Se observó también que grandes niveles de azufre o fósforo causan disminución en la utilización de cada uno en Phaseolus aureus.

Según Aulakh (1), el efecto antagónico entre Fósforo - Azufre, puede ser atribuido a la competencia de iones sulfato y fosfato de la misma carga por los sitios de absorción de la raíz o células de las hojas. Los fosfatos pueden ser restringidos por los sulfatos en la solución del suelo (1).

4. Relación entre el contenido de azufre del suelo y el contenido de proteína y aminoácidos azufrados:

Trabajos con Trifolium repens, Phaseolus aureus, Medicago sativa (2, 19, 34), indican que al adicionar azufre al suelo se incrementa el porcentaje de azufre en la planta y la cantidad de Metionina y Cistina. Según Tisdale et al (34), la cantidad de estos aminoácidos azufrados aumenta al incrementarse el nivel de azufre en el

suelo, aunque la capacidad de síntesis está regulada genéticamente de ahí que habrá diferencias en el contenido de dichos aminoácidos, entre variedades de Medicago sativa.

Aulakh (1), encontró en Phaseolus aureus, que las aplicaciones de azufre incrementaron la cantidad de proteína; Tisdale et al (34), opina que el Nitrógeno total no puede ser criterio de calidad de la proteína (en alfalfa), aunque la cantidad de Metionina y Cistina, sí es usada como índice de la calidad de proteína.

Lam Sánchez (20), opina que el contenido de proteína y aminoácidos de la semilla de leguminosas está influenciada por factores ambientales y por la genética de las plantas.

En lo que respecta al contenido de aminoácidos azufrados en el grano de frijol, según USDA 1968 citada por Lam Sánchez A. (20), en general existe un rango de 0.59 - 1.92 gramos de Metionina/16 gramos de Nitrógeno. Morales y Angelucci (24), encontraron una variación de 0.3 - 1.8 gramos de Metionina/16 gramos de Nitrógeno en frijoles. Kelly citado por Lam Sánchez (20), mostró que existe en los frijoles variabilidad en el contenido de Metionina, siendo ésto determinado genéticamente.

Jaffé G. W. y Brucher O. (17), trabajando con 100 líneas de frijoles encontraron un contenido de 0.96- 1.0 gramos de Cistina/16 gramos de Nitrógeno y 1.11 - 1.13 gramos de Metionina/16 gramos de Nitrógeno. Asimismo, una correlación negativa entre Nitrógeno total y aminoácidos azufrados.

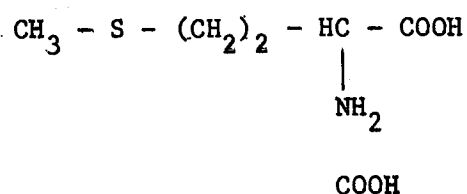
5. Química de los aminoácidos azufrados:

5.1 Estructura Química:

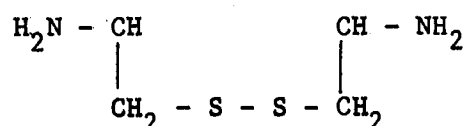
Las estructuras químicas (fórmulas condensadas) de los aminoácidos azufrados Metionina y Cistina, se detallan a con-

tinuación:

METIONINA

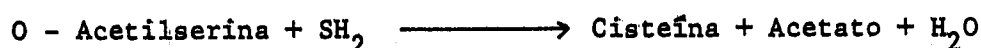


CISTINA

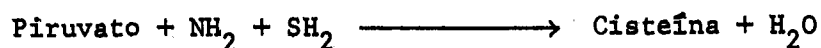


5.2 Biosíntesis:

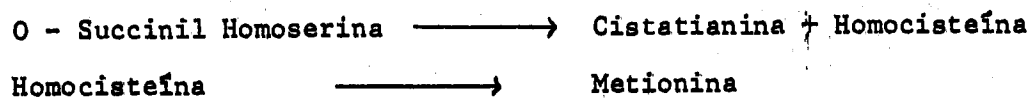
El azufre orgánico de la Cistina y de la Metionina tiene su origen biológico en formas inorgánicas varias; tales como SO_4^{-2} , $\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$, SH_2 e incluso azufre elemental. Varios microorganismos y plantas pueden efectuar la reducción enzimática del sulfato y del Tiosulfato SH_2 que puede convertirse después en el grupo tiol de la Cistina por reducciones siguientes:



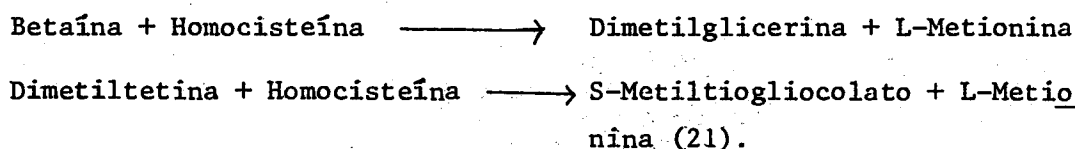
Catalizados por la serina acetil transferasa y la cisteína sintetasa respectivamente. Además otra reacción para la utilización del SH_2 , es la siguiente:



La Metionina se origina a partir de la Homoserina de la manera siguiente:



Otras formas de reacción:



6. Importancia nutricional de los aminoácidos azufrados en el frijol común:

En estudios realizados con dietas a base de frijoles se ha encontrado un aumento del valor biológico de la proteína del frijol, al suplementar la dieta con aminoácidos azufrados. Para mencionar algunos ejemplos E. Hernández (13), en un estudio con humanos, encontró que el valor biológico de la proteína del frijol suplementada con Metionina aumentó en forma comparable al valor biológico del queso, al usar ésta como proteína patrón.

Bressani y Elías 1976 (5), evaluando la calidad proteínica de varias leguminosas de grano, encontraron que en dietas a base de Phaseolus vulgaris, la suplementación con Metionina indujo mejoras significativas en la calidad proteínica con relación a las dietas libres de suplemento.

Trabajando con una dieta a base de maíz y frijol común suplementada con una mezcla protéica, De Souza, Elías y Bressani 1970, (31), encontraron un aumento del índice de eficiencia protéica al adicionar Metionina como aminoácido limitante, con respecto a las que no se adicionó Metionina.

Erdmenger 1972 et al (8), trabajando con una dieta típica de una comunidad guatemalteca, encontró en ratas un aumento significativo de peso al suplementar la dieta con Metionina, con respecto a la no suplementada.

V. MATERIALES Y METODOS

1. Materiales:

1.1 Características del sitio experimental:

1.1.1 Invernadero:

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de la Disciplina de Suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, I.C.T.A., ubicado en la ciudad de Guatemala.

1.2 Suelo:

Se usó un suelo proveniente del Centro Experimental de San Jerónimo Baja Verapaz, el cual mediante un estudio de invernadero utilizando la técnica del elemento faltante (14), se determinó la deficiencia de azufre, encontrándose un nivel de 11,25 ppm en azufre disponible. Dicho análisis se efectuó en el Laboratorio de la Disciplina de Suelos de I.C.T.A.

1.3 Variedad de frijol:

Se utilizaron dos variedades de frijol color negro y dos variedades de color rojo. Dichas variedades se seleccionaron de acuerdo a su contenido alto y bajo de azufre en el grano. En el Cuadro 1, se detalla el color del grano y el contenido de azufre del grano de las variedades estudiadas.

1.4 Fuentes de nutrientes:

Se aplicaron al suelo soluciones con las concentraciones de elementos nutritivos, tal como se observa en el Cuadro 2.

Las variedades de frijol estudiadas, presentan un tipo de crecimiento determinado (25).

Cuadro 1. Color y contenido de azufre en el grano de las variedades de frijol estudiadas.

VARIEDAD	COLOR DE GRANO	% DE AZUFRE DEL GRANO
ICTA Quetzal	Negro	0.252
ICTA Jutiapan	Negro	0.146
Rojo Seda	Rojo	0.152
Honduras 46	Rojo	0.135

Cuadro 2. Cantidades de elementos y compuestos utilizados en la solución madre a ser usada en los tratamientos del suelo.

ELEMENTO	FUENTE	ELEMENTO POR LITRO DE SOLUCION MADRE (GRAMOS)
N	NH_4NO_3	5.0
P	H_3PO_4 Conc. 85%	10.0
K	KCl	7.8
Mn	$\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3.0
Cu	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.2
Zn	ZnCl_2	1.0
S	H_2SO_4 Conc. 96.5%	3.0
B	H_3BO_5	0.2
Mo	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.2
Fe	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2.0

1.5 Recipientes:

Las semillas de frijoles se sembraron en bolsas de polietileno negro 6 x 10",

1.6 Material de laboratorio:

Se utilizaron las facilidades de laboratorio de la Disciplina de Suelos de I.C.T.A. para los análisis de suelos y de la División de Ciencias Agrícolas y Alimentos del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) para los análisis de material vegetal.

2. Métodos:

2.1 De invernadero:

2.1.1. Metodología Experimental:

Se utilizó la metodología de Hunter (14), utilizada por ICTA, la cual se resume a continuación:

- * Análisis preliminar de las muestras de suelo original.
- * Estudios de sorción.
- * Evaluación de diferentes niveles de azufre en el suelo.

2.2 Siembra:

Se sembraron cuatro semillas por bolsa, para posterior raleo, dejando dos plantas por bolsa.

2.3 Riego:

Para mantener el suelo a capacidad de campo, se calculó el volumen de agua a aplicar, tomando como base la capacidad de repetición de humedad del suelo, la cual está en función del tipo de textura del mismo (16). Se usó agua destilada.

2.4 Aplicación de soluciones nutritivas:

Todas las soluciones nutritivas se aplicaron al suelo antes de la siembra, solamente en el caso del Nitrógeno se realizó una aplicación de 40 ppm al momento de la siembra y 40 ppm al inicio de la floración.

2.5 Niveles de azufre:

Los niveles de azufre estudiados consistieron en la aplicación al suelo de las concentraciones de 0, 20, 40, 80 y 120 ppm correspondiente a la aplicación de 0, 40, 80, 160 y 240 Kg/ha de azufre antes de la siembra. El criterio utilizado para definir los niveles fue, estudiar el efecto de los niveles menores (0 y 20 ppm) y niveles mayores (80 y 120 ppm) al nivel de 36 - 40 ppm considerado como adecuado para azufre (14).

2.6 Tratamientos evaluados:

Los tratamientos evaluados corresponde a un factorial 4 x 5 y su listado se reporta en el Cuadro 3.

2.7 Metodología de laboratorio:

Para la determinación del contenido de azufre total en el grano (Material Vegetativo) se usó el método de Tabatabai M.A. y Bremmer J. M. (32) modificado en la División de Ciencias Agrícolas y Alimentos del INCAP siendo el siguiente:

- a) Pesar 0.25 gramos de muestra, colocarla en un balón de 100 ml y agregar 3 ml de Acido Nítrico grados reactivo. Digerir durante 30 minutos a 150°C. Dejar enfriar.
- b) Agregar 2 ml. de Acido Perclórico grado reactivo 70% de digerir durante una hora a 240° - 250°C. Enfriar.
- c) Adicionar 3 ml. de Acido Clorhídico 6N y llevar a volumen de 100 ml., dejar reposar toda la noche.

Cuadro 3. Listado de tratamientos evaluados.

No. DE TRATAMIENTOS	VARIEDAD	AZUFRE AGREGADO AL SUELO (ppm)
1	ICTA Quetzal	0
2	ICTA Quetzal	20
3	ICTA Quetzal	40
4	ICTA Quetzal	80
5	ICTA Quetzal	120
6	ICTA Jutiapán	0
7	ICTA Jutiapán	20
8	ICTA Jutiapán	40
9	ICTA Jutiapán	80
10	ICTA Jutiapán	120
11	Rojo Seda	0
12	Rojo Seda	20
13	Rojo Seda	40
14	Rojo Seda	80
15	Rojo Seda	120
16	Honduras 46	0
17	Honduras 46	20
18	Honduras 46	40
19	Honduras 46	80
20	Honduras 46	120

- d) Tomar alícuotas de 10 ml. y agregar 2 ml. de gelatina de Cloruro de Bario. Esperar 40 minutos y leer turbidez en un colorímetro de 420 nm.

2.8 Preparación de la gelatina de Cloruro de Bario:

Disolver 0.6 gramos de Difco Bacto Gelatina en 200 ml de agua destilada a 60 - 70°C, llevar a temperatura ambiente y guardar durante 16 - 18 horas a 4°C; luego llevar a temperatura ambiente y adicionar 2.0 gramos de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, esperar dos horas y luego usar. (Guardar en refrigeración).

La cantidad de azufre en las alícuotas tomadas se determina mediante una curva patrón usando Sulfato de Potasio como standar.

2.9 Metodología para la determinación de Metionina y Cistina:

Para la determinación de Metionina se usó el método descrito por C.O. Moorhouse y C. Maddiz (23) y para la determinación de Cistina se utilizó la metodología de Gómez y Bressani (10).

2.10 Metodología de Análisis Estadístico:

Para el análisis de los datos se usó un diseño de irrestricto azar con tres repeticiones, de acuerdo al siguiente modelo estadístico:

$$Y = u + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ij}$$

En donde:

- Y = Variable respuesta
- u = Efecto de la media general
- A_i = Efecto de i-ésimo nivel del factor A
- B_j = Efecto de j-ésimo nivel del factor B
- AB_{ij} = Efecto de la interacción
- E_{ij} = Error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

1. De las condiciones en el invernadero:

Las condiciones de temperatura en el invernadero durante el período experimental, se esquematizan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Condiciones de temperatura en el invernadero.

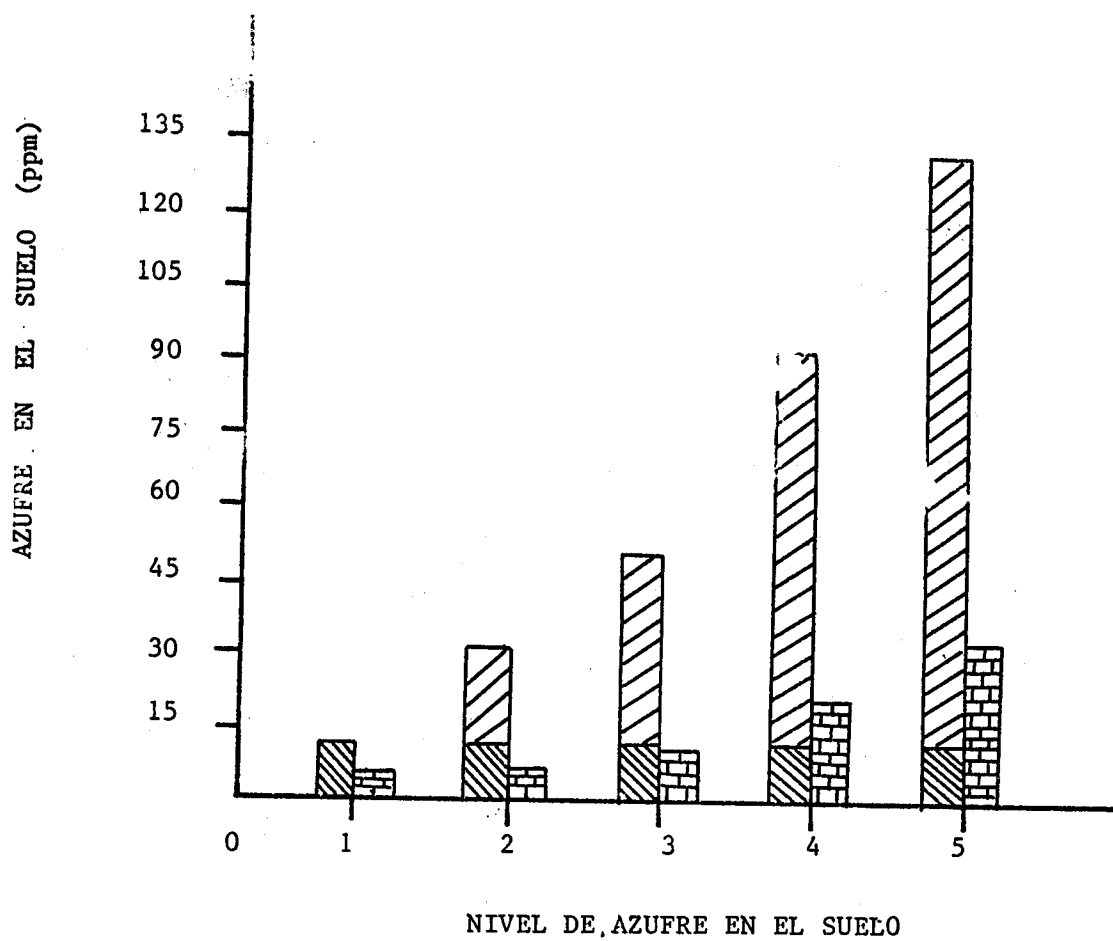
SIEMBRA	PERIODO DE FLORACION	COSECHA
Temperatura Máxima 36°C	Temperatura Máxima 38°C.	Temperatura Máxima 38°C
Temperatura Mínima 18°C	Temperatura Mínima 17.8°C	Temperatura Mínima 18°C

En el Cuadro 4, se observa el rango de temperatura observado en el invernadero, el cual fluctuó de 18 a 38°C. Dicho rango es su perior al rango óptimo de 22 a 28°C. que necesita el frijol común para un desarrollo adecuado.

2. Del contenido de azufre en el suelo:

En la Figura 1, puede observarse el cambio experimental en la concentración de azufre disponible en el suelo al inicio del experimento en relación con su contenido final del mismo.

La concentración inicial de azufre disponible antes del experimento fue de 11.25 ppm, equivalente a 22.50 Kg/ha de azufre; dicha cantidad corresponde al nivel "1" de azufre en el suelo. Después del experimento se encontró 5.75 ppm (11.50 Kg/ha) de azufre disponible. El segundo nivel consistió en la aplicación de 20 ppm (49 Kg/ha) de azufre al suelo, encontrándose 6.75 ppm (13.50 Kg/ha) de azufre después del experimento. En el tercer nivel se aplicaron 40 ppm (80 Kg/ha de azufre al suelo, encontrándose 10.50 ppm (21.0 Kg/ha) de azufre al final del experimento. En el cuarto y quinto



-  Azufre en el suelo antes del experimento (ppm).
-  Azufre agregado al suelo (ppm)
-  Azufre en el suelo después del experimento (ppm).

Figura 1. Relación entre el Azufre en el suelo antes del experimento y el Azufre en el suelo después del experimento.

nivel consistió en la aplicación de 80 ppm (160 Kg/ha) y 120 ppm (240 Kg/ha de azufre al suelo, reportándose 19.90 ppm (39.8 Kg/ha) y 32.48 ppm (64.96 Kg/ha) de azufre después del experimento respectivamente (Cuadro 5). Analizando los datos del contenido de azufre disponible en el suelo después del experimento, se encontró que al aumentar la aplicación de azufre en el suelo, aumentó la absorción de éste por la planta de frijol. En el análisis de varianza del contenido de azufre disponible en el suelo después del experimento (Tabla 1A), se encontró que no existieron diferencias estadísticas, debido a variedades, por lo cual puede decirse que la absorción de azufre por el cultivo, estuvo en función de la disponibilidad del mismo en el suelo e independientemente de la variedad. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Blanco y Pinchinat 1972 (3) en cinco variedades de frijol común en lo referente a los factores que intervienen en la absorción de azufre por la planta de frijol.

3. Del consumo de azufre por el cultivo:

Comparando los niveles de azufre después del experimento con los valores iniciales del mismo, se encontró que los valores de consumo de azufre por la planta de frijol (Cuadro 6), fue del orden de 11.0, 49.0, 81.5, 142.74 y 197.54 Kg/ha de azufre con una disponibilidad de 22.50, 62.50, 102.50, 182.50 y 262.50 Kg/ha de azufre disponible en el suelo respectivamente. Estos valores de consumo de azufre disponible en el suelo son una clara evidencia de que a mayor disponibilidad de este elemento, hubo mayor absorción del mismo por la planta de frijol.

Según el análisis de varianza realizado (Tabla 1B), muestra que la absorción de azufre por la planta de frijol fue debido en mayor grado a la disponibilidad de azufre en el suelo y no a las variedades de frijol, pues no se encontró diferencia estadísticas, debido a variedades.

Cuadro 5. Azufre disponible en el suelo después del experimento (ppm).

(ppm) AZUFRE APLICADO AL SUELO	TOTAL DE AZUFRE DISPONI- BLE EN EL SUELO (ppm)	VARIEDADES				X
		QUETZAL	JUTIAPAN	ROJO SEDA	HONDURAS 46	
0	11.25	6.0	6.0	5.0	6.0	5.75
20	31.25	6.0	6.0	7.0	8.0	6.75
40	51.25	11.0	11.0	11.0	9.0	10.50
80	91.25	19.9	23.0	16.0	19.8	19.90
120	131.25	34.9	21.0	31.0	32.0	32.48
X		15.56	15.60	14.18	14.96	

Cuadro 6. Resumen de valores de consumo de azufre por la planta de frijol (ppm)

(ppm) AZUFRE APLICADL AL SUELO	TOTAL DE AZUFRE DISPONI- BLE EN EL SUELO (ppm)	VARIEDADES				X
		QUETZAL	JUTIAPAN	ROJO SEDA	HONDURAS	
0	11.25	2.25	2.25	6.25	6.0	5.50
20	31.25	25.25	25.25	24.95	23.25	24.50
40	51.25	40.25	40.25	40.25	42.25	40.75
80	91.25	71.38	68.25	74.38	71.48	71.37
120	131.25	96.32	99.25	100.25	99.25	98.77
X		47.69	47.65	49.08	48.30	

4. Del efecto de la variedad, azufre en el suelo e interacción sobre el contenido de azufre total en el grano:

En general el contenido de azufre total en el grano aumentó con forme el aumento del azufre disponible en el suelo (ver Figura 2). Esto concuerda con lo reportado por Aulakh 1977 (1) y Barsley 1957 (2), los cuales encontraron que aplicaciones progresivas de azufre en el suelo aumentó la cantidad de azufre en el grano y tejido foliar de leguminosas. De esta forma con un nivel de 11.25 ppm (22.50 Kg/ha de azufre disponible en el suelo (Cero de Azufre agregado), se obtuvieron 0.0512 g% de azufre total en el grano. En el segundo nivel de azufre aplicado en el suelo 20 ppm (40 Kg/ha), se encontró la cantidad de 0.1360 g/ de azufre total en el grano. En el tercer nivel de azufre en el suelo 40 ppm (80 Kg/ha) de azufre aplicado en contró 0.1556 g% de azufre total en el grano. Con el cuarto nivel de azufre en el suelo 80 ppm (160 Kg/ha) de azufre aplicado se obtuvo la cantidad de 0.1738 g% de azufre total en el grano. Finalmente con el quinto nivel de azufre 120 ppm (240 Kg/ha) de azufre aplicado se obtuvo la cantidad de 0.1848 g/ de azufre total en el grano (ver cuadro 7).

Según se aprecia en el resumen de análisis de varianza de la Tabla 1C, se encontraron diferencias estadísticas al 1% de probabilidad entre las variedades de frijol, entre los niveles de azufre en el suelo e interacción, en lo referente al contenido de azufre total en el grano expresado en g%. Asimismo, el análisis de varianza muestra que en la respuesta del contenido de azufre total en el grano, los niveles de azufre disponible en el suelo, influyeron en grado mayor que las variedades, o sea que el efecto ambiental (definido como suelo) fue mayor que el efecto genético (de la variedad). Esto concuerda con lo encontrado por Sosa y colaboradores (30) trabajando con variedades de frijol negro y con Elías y colaboradores (7) en cuanto al efecto ambiental y genético sobre el contenido de azufre total en el grano de frijol común.

La variedad de frijol color rojo que presentó el valor más alto de azufre en el grano, fue Rojo Seda (Cuadro 7), que con la

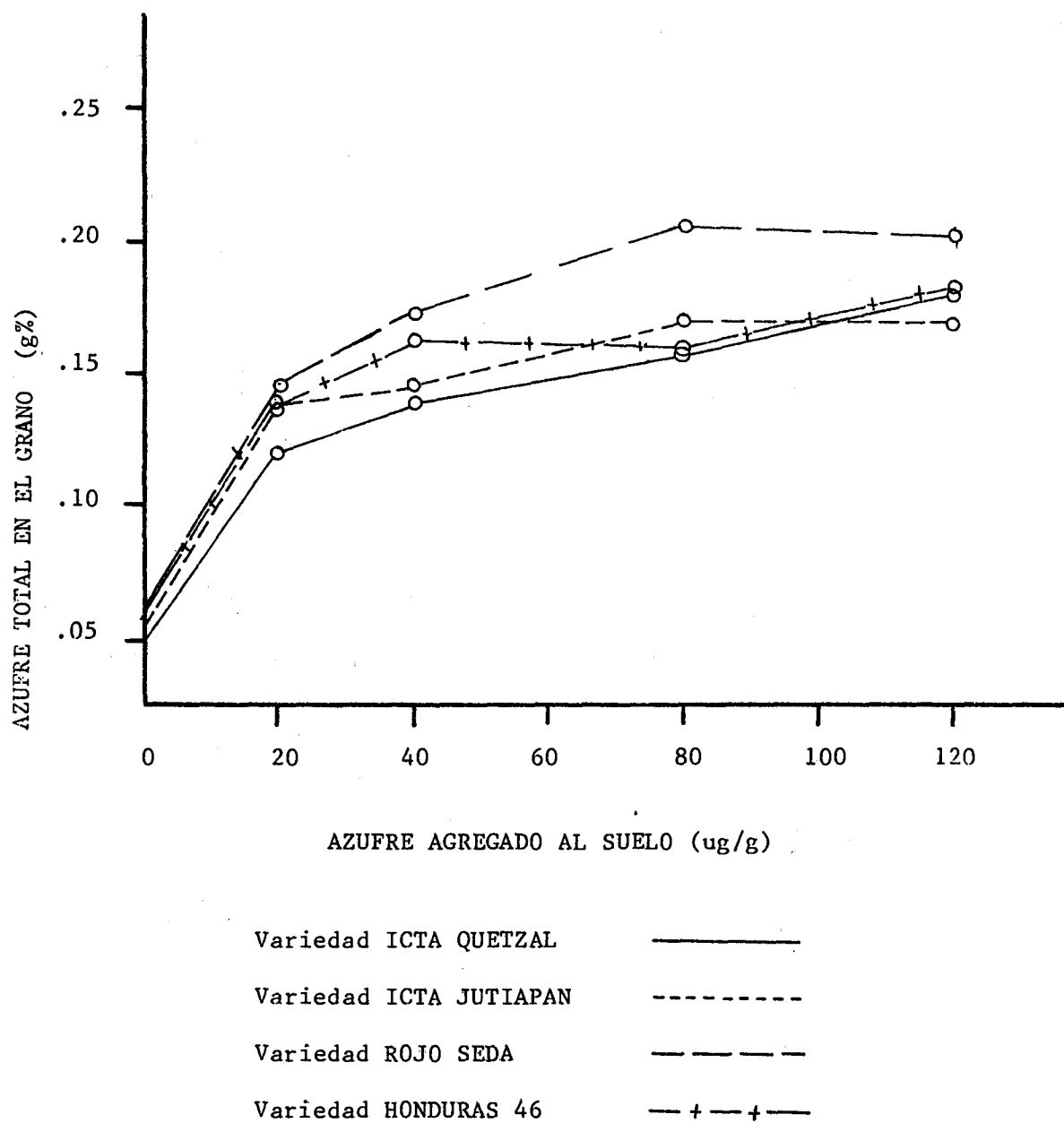


Figura 2. Relación entre el contenido de Azufre total (gramos/100 gramos de muestra) y el nivel de Azufre agregado al suelo (ug/g)

Cuadro 7. Resumen de resultados de contenido de azufre total en el grano (g%) después de la siembra.

AZUFRE APLICADO AL SUELO (Kg/ha)	TOTAL DE AZUFRE DISPONI- BLE EN EL SUELO (Kg/ha)	VARIEDADES				X
		QUETZAL	JUTIAPAN	ROJO SEDA	HONDURAS 46	
0	22.50	0.0484	0.0489	0.0485	0.0591	0.0512
40	62.50	0.1208	0.1375	0.1462	0.1393	0.1360
80	102.50	0.1399	0.1463	0.1736	0.1627	0.1556
160	182.50	0.1598	0.1703	0.2068	0.1582	0.1738
240	262.50	0.1809	0.1718	0.2039	0.1824	0.1848
X		0.1300	0.1350	0.1558	0.1403	

aplicación de 80 ppm (160,0 Kg/ha) de azufre al suelo, dió un valor de 0.2068 g% de azufre en el grano, cantidad que supera el contenido inicial de la variedad.

En lo que respecta a frijoles negros, el valor más alto de azufre en el grano, se obtuvo con la variedad "ICTA Quetzal" y un nivel de 120 ppm (240 Kg/ha) de azufre disponible en el suelo, con un contenido de azufre en el grano de 0.1809 (Cuadro 7).

En cuanto a los niveles de azufre en el suelo, según la prueba múltiple de Tukey 5% (Tabla 3A), la mejor respuesta en el contenido de azufre del grano, se obtuvo con el quinto nivel que corresponde a la adición de 120 pp (240 Kg/ha) de azufre al suelo, con un promedio de 0.1848 g% de azufre total en el grano.

El contenido de azufre en el grano de las cuatro variedades de frijol correlacionó positiva y significativamente, 1% de probabilidad con el nivel de azufre disponible en el suelo (Tabla 5).

El contenido de azufre del grano expresado como mg/gramo de proteína al igual que expresado en g% aumentó con el aumento del nivel de azufre en el suelo (Figura 3). De esta manera con la aplicación de 0, 20, 40, 80 y 120 ppm de azufre al suelo, se obtuvieron valores de 2.45, 7.58, 8.41, 9.29 y 10.0 mg/gramo de proteína de azufre total en el grano respectivamente (Cuadro 8).

El análisis de varianza realizado muestra que no existen diferencias estadísticas significativas entre variedades, encontrándose diferencias estadísticas 1% de probabilidad, entre los niveles de azufre en el suelo e interacción (Tabla 2A).

En forma general con la prueba múltiple de Tukey 5%, los mejores resultados de azufre en el grano (mg/gramo de proteína) se obtuvieron con la aplicación de 80.0 ppm (160 Kg/ha) y 120 ppm (240 Kg/ha) de azufre al suelo con un contenido de 9.29 y 10.0 mg/gramo de proteína respectivamente, entre los cuales hay diferencia estadística (Tabla 3B).

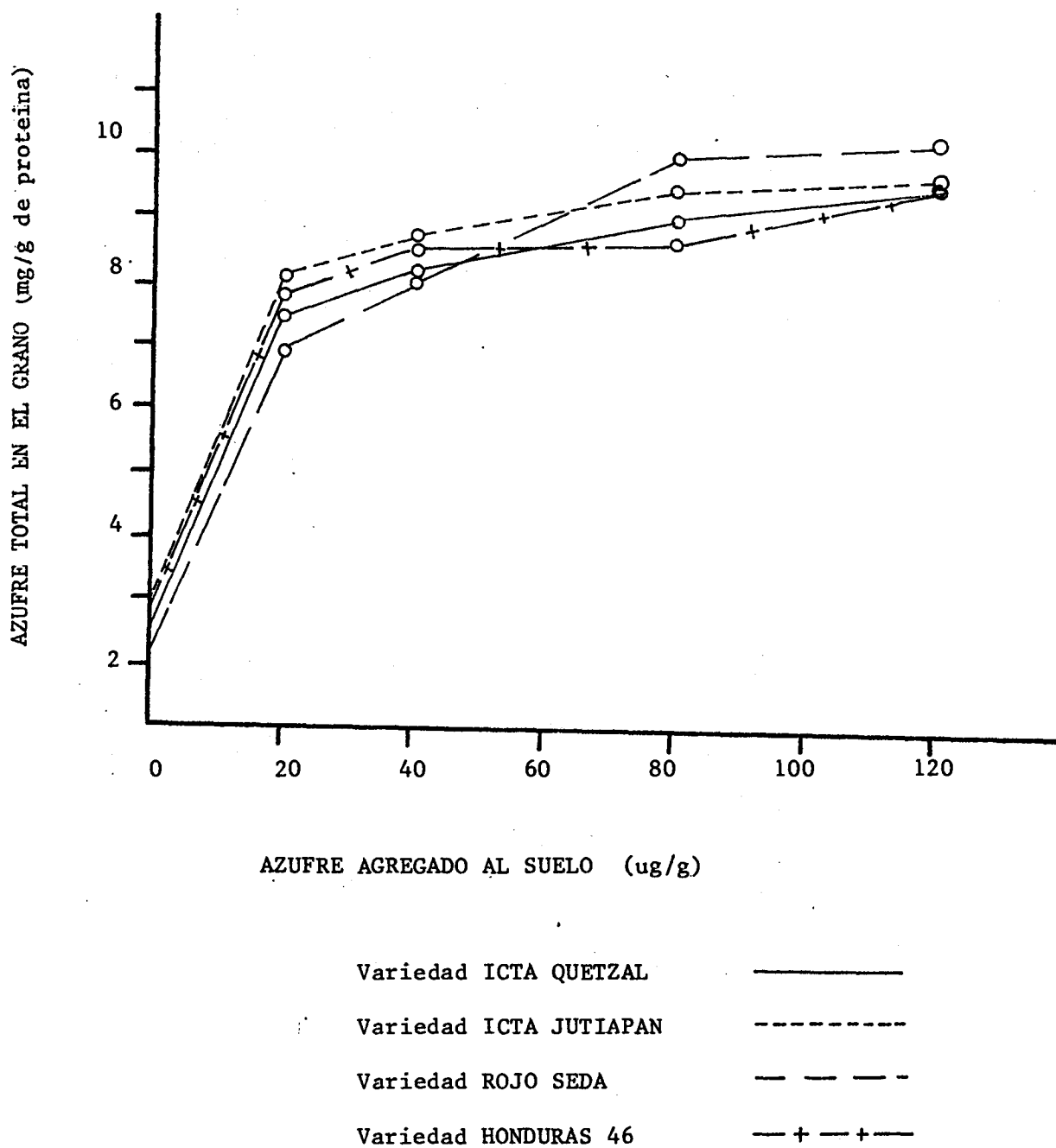


Figura 3. Relación entre el contenido de Azufre total (mg/g de proteína) y el nivel de Azufre agregado al suelo (ug/g).

Se encontró una correlación positiva y significativa al 1% de probabilidad entre el contenido de azufre total en el grano expresado en mg/gramo de proteína y el nivel de azufre en el suelo (Tabla 5).

5. Del efecto de la variedad, azufre en el suelo e interacción sobre el contenido de aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano de frijol:

La cantidad de aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano, al igual que el contenido de azufre total en el grano, aumentó conforme el incremento del nivel de azufre en el suelo (ver Figura 4). De tal manera que se obtuvieron valores de 0.3094, 0.4339, 0.4614, 0.4753 y 0.5030 g% de aminoácidos azufrados con la aplicación de 0, 20, 40, 80 y 120 ppm de azufre al suelo respectivamente (ver Cuadro 9).

Como puede apreciarse en el resumen de análisis de varianza de los datos del contenido de aminoácidos azufrados expresados en gramos/100 gramos de muestra (Tabla 2B), se obtuvieron diferencias estadísticas al 1% de probabilidad, entre las variedades de frijol evaluadas, entre los niveles de azufre aplicado al suelos e interacción. De igual manera el análisis de varianza muestra que la mayor variación o efecto sobre la respuesta de la cantidad de aminoácidos azufrados fue debido a los niveles de azufre del suelo y en menor grado a las variedades. De esta forma se tiene que al igual que el contenido de azufre del grano, el contenido de aminoácidos azufrados en el grano, fue influido en mayor grado por el efecto ambiental (definido como suelo) seguido del efecto genético (de la variedad), lo cual concuerda con lo reportado por Elías y colaboradores (7). Sin embargo, hay que hacer notar que se encontraron diferencias estadísticas 1% de probabilidad entre las variedades, lo cual indica que el aumento en la cantidad de aminoácidos azufrados es diferente

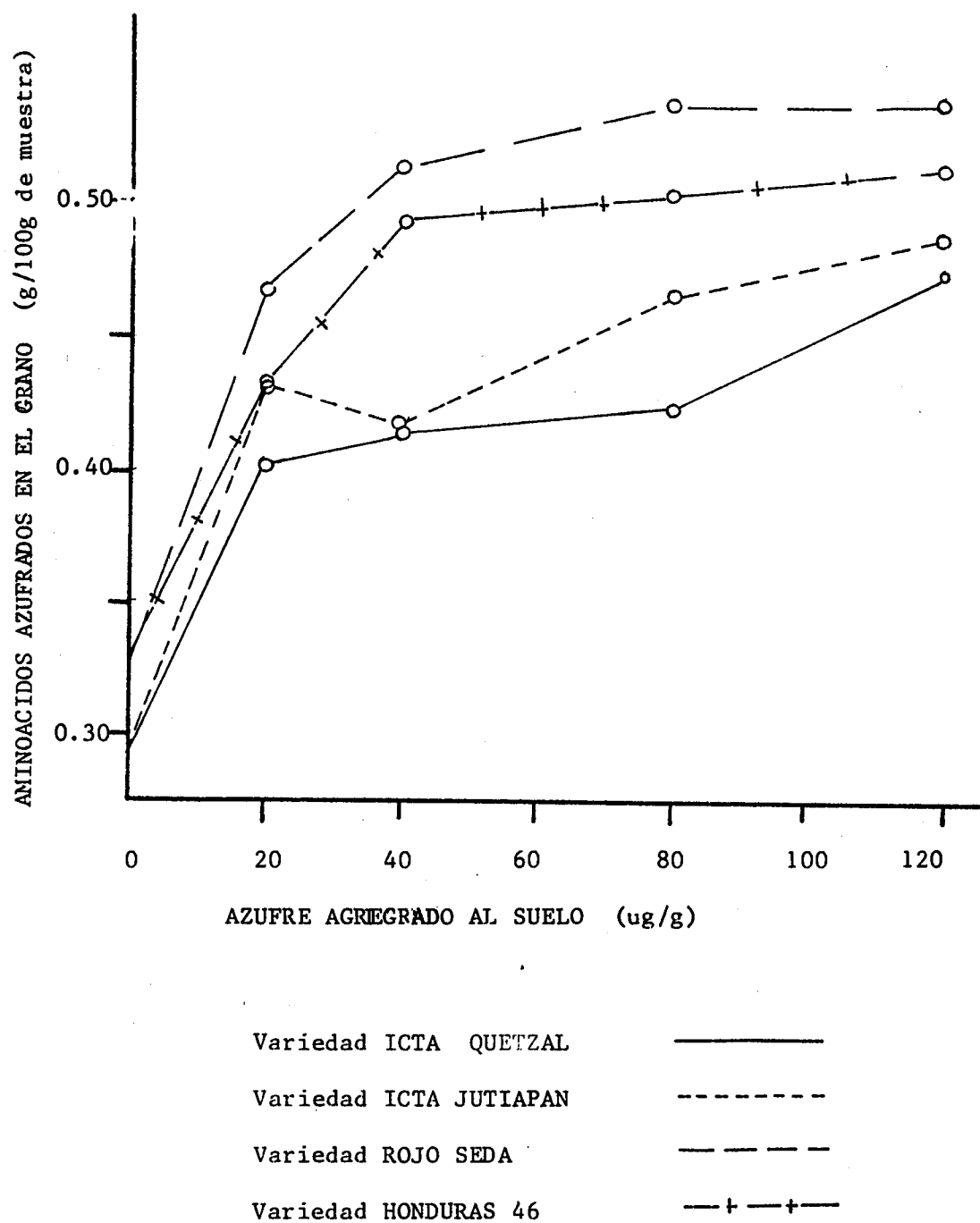


Figura 4. Relación entre el contenido de aminoácidos azufrados (g/100 g de muestra) y el nivel de azufre agregado al suelo (ug/g).

Cuadro 9. Resumen de resultados del contenido de aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano de frijol (g%) después de la siembra.

AZUFRE APLICADO AL SUELO (ppm)	TOTAL DE AZUFRE DISPONI- BLE EN EL SUELO (ppm)	VARIEDADES				
		QUETZAL	JUTIAPAN	ROJO SEDA	HONDURAS 46	X
0	11.25	0.2937	0.2913	0.3228	0.3297	0.3094
20	31.25	0.4026	0.4327	0.4677	0.4326	0.4339
40	51.25	0.4171	0.4163	0.5150	0.4971	0.4614
80	91.25	0.4241	0.4667	0.5376	0.4726	0.4753
120	131.25	0.4740	0.4875	0.5375	0.5131	0.5030
X		0.4023	0.4189	0.4761	0.4490	

en cada una de las variedades evaluadas, lo que concuerda con lo reportado por Tisdale et al (34), quien afirma que la cantidad de aminoácidos azufrados aumenta al incrementarse el nivel de azufre en el suelo, aunque la capacidad de síntesis está regulada genéticamente, por lo que habrán diferencias entre variedades.

El mayor contenido de aminoácidos azufrados se encontró en la variedad Rojo Seda con 80 ppm (160 Kg/ha) de azufre aplicado al suelo, reportándose una cantidad de 0.5376 g% de aminoácidos azufrados en el grano, en lo referente a los frijoles color rojo (Cuadro 9). En el caso de los frijoles de color negro, el valor más alto se obtuvo con la variedad "ICTA Jutiapan" y un nivel de 120 ppm (240 Kg/ha) de azufre aplicado al suelo, con un valor de 0.4875 g% de aminoácidos azufrados en el grano (Cuadro 9).

Se encontró una correlación positiva y significativa 1% de probabilidad entre la cantidad de aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) expresados en gramos/100 gramos de muestra, en el grano de frijol y los niveles de azufre en el suelo (Tabla 5).

Desde el punto de vista nutricional, los aminoácidos azufrados, expresados en mg/gramo de proteína, tuvieron valores de 14.80, 24.20, 25.33 y 27.20 mg/gramo de proteína con un nivel de 0, 20, 40, 80 y 120 ppm de azufre aplicado al suelo respectivamente (Cuadro 10). Como puede apreciarse en la figura 5, la cantidad de aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en mg/gramo de proteína aumentó con el incremento del azufre disponible en el suelo, lo cual concuerda con Kamat et al, 1981 (19) y Tisdale et al (34), en que el aumento del nivel de azufre en el suelo incrementa la cantidad de aminoácidos azufrado en el grano de frijol.

Según el resumen de análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticas al 1% de probabilidad entre las variedades de frijol evaluadas, entre los niveles de azufre aplicado al suelo e

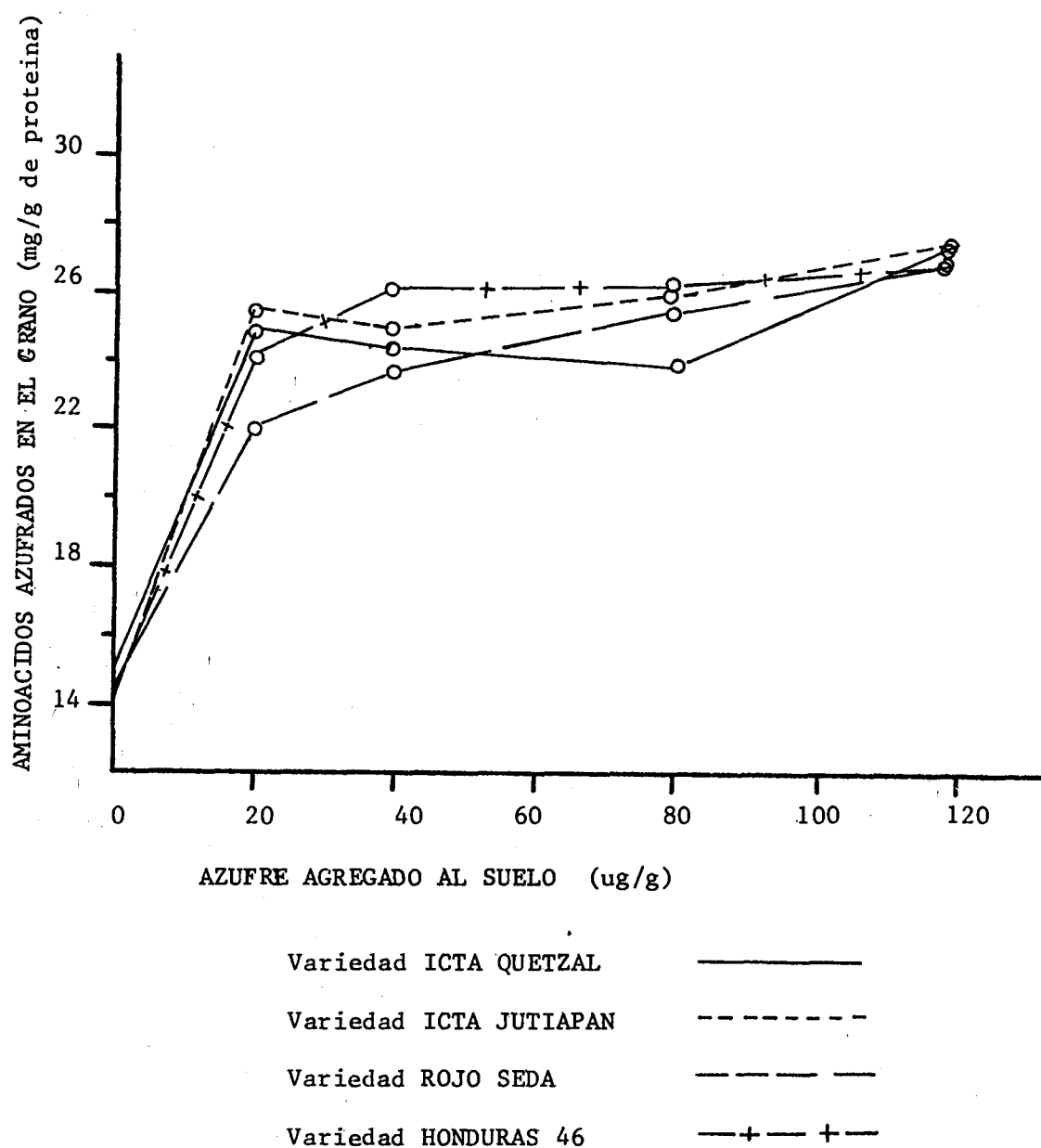


Figura 5. Relación entre el contenido de aminoácidos azufrados (mg/g de proteína) y el nivel de azufre agregado al suelo.

Cuadro 10. Resumen de resultados del contenido de aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano de frijol (mg/gramo de proteína), después de la siembra.

AZUFRE APLICADO AL SUELO (ppm)	TOTAL DE AZUFRE DISPONI- BLE EN EL SUELO (ppm)	VARIEDADES				X
		QUETZAL	JUTIAPAN	ROJO SEDA	HONDURAS 46	
0	11.25	14.9	14.4	14.4	14.4	14.80
20	31.25	24.9	25.6	22.1	24.2	24.20
40	51.25	24.4	25.0	23.8	26.2	24.85
80	91.25	23.9	26.0	25.5	25.9	25.33
120	131.25	27.5	27.5	26.9	26.9	27.20
X		23.12	23.70	22.54	23.74	

interacción (Tabla 2C). Asimismo, muestra que el mayor efecto en la respuesta del contenido de aminoácidos azufrados en mg/grmo de proteína, se debió a los niveles de azufre en el suelo (definido en este caso como efecto del ambiente) y en segundo lugar y en menor grado al efecto de las variedades (efecto genético).. Esto concuerda con lo reportado por Elías y colaboradores (7), en lo referente a la influencia del ambiente sobre el contenido de aminoácidos azufrados en el grano de frijol.

En forma general, según la prueba múltiple de Tukey al 5% de probabilidad, los resultados más altos en cuanto a contenido de aminoácidos azufrados en el grano se obtuvieron con un nivel de 120 ppm (240 Kg/ha) de azufre aplicado al suelo, obteniéndose un promedio de 27.20 mg/gramo de proteína (Tabla 4).

El contenido de aminoácidos azufrados (Metionina y Cistina) expresados como mg/gramo de proteína correlacionó positiva y significativamente 1% de probabilidad, con el nivel de azufre en el suelo (Tabla 5).

6. De la correlación de azufre total y aminoácidos azufrados en el grano de frijol:

El azufre total en el grano expresado en gramos/100 gramos de muestra (g%), correlacionó positiva y significativamente al 1% de probabilidad, con el contenido de Metionina, Cistina, Metionina + Cistina en el grano de frijol (Tabla 5). Asimismo, desde el punto de vista nutricional se encontró una correlación positiva y significativa 1% de probabilidad entre el azufre en el grano y el contenido de aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano al expresarlos como mg/gramo de proteína (Tabla 5), lo cual concuerda con lo encontrado por Elías y colaboradores (7) trabajando con variedades de frijol del área centroamericana, en donde reporta que el contenido total de azufre presentó una correlación positiva y signifi

cativa con el contenido de aminoácidos azufrados.

Como puede observarse en los resultados y discusión prescendentes, hay una clara evidencia de la influencia del nivel de azufre en el suelo, definido como efecto del ambiente, sobre el contenido de azufre total y de aminoácidos azufrados (Metionina y Cistina) en el grano de frijol. Este efecto estadísticamente es mayor que el efecto genético o de la variedad, resultados que concuerdan con trabajos anteriores (7, 30).

Hay que hacer notar sin embargo, que aunque no hay diferencia entre el azufre consumido entre las variedades de frijol evaluadas, se encontraron diferencias estadísticas entre los niveles de azufre en el suelo, lo cual motivó las diferencias en el contenido de azufre total y aminoácidos azufrados en el grano, ya discutidas con anterioridad. Esto indica que existe diferencias en la eficiencia de traslocación de azufre del suelo hacia el grano y diferencia en la eficiencia de síntesis de Metionina y Cistina en las variedades de frijol evaluadas.

Se encontró asimismo, una alta correlación entre el contenido de azufre total y aminoácidos azufrados en el grano, lo cual es un indicador que el azufre total puede servir como criterio predictivo del contenido de aminoácidos en el grano de frijol y además como índice de la calidad proteínica de esta leguminosa, la cual, es tan importante en el componente protéico de la dieta diaria del guatemalteco. Su importancia es mayor de lo ya indicado por su aplicación práctica en el fitomejoramiento, para la selección de variedades de alto valor proteínico.

Tabla 1. Resumen de análisis de Varianza.

VARIABLE	FUENTE DE VARIACION	CUADRADO MEDIO	SIGNIFICANCIA
TABLA 1A			
Azufre disponible en el suelo, después de la siembra. (ppm)	Tratamientos	323.23	**
	Variedades	6.69	NS
	Niveles de S	1509.85	**
	Interacción	6.83	NS
	Error	6.27	
TABLA 1B			
Consumo de azufre por la planta de frijol.	Tratamientos	3500.87	**
	Variedades	6.69	NS
	Niveles de S	16603.65	**
	Interacción	6.83	NS
	Error	6.27	
TABLA 1C			
Azufre total en el grano (g%).	Tratamientos	0.0076	**
	Variedades	0.0019	**
	Niveles de S	0.0339	**
	Interacción	0.0003	**
	Error	0.0000475	

** = Significancia 1%.

NS = No Significancia Estadística.

Tabla 2. Continuación del análisis de Varianza.

VARIABLE	FUENTE DE VARIACION	CUADRADO MEDIO	SIGNIFICANCIA
TABLA 2A			
Azufre total en el grano (mg/gramo de proteína)	Tratamientos	23.0664	**
	Variedades	0.1868	NS
	Niveles de S	107.3531	**
	Interacción	0.7865	**
	Error	0.1267	
TABLA 2B			
Aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano (g%).	Tratamientos	0.0173	**
	Variedades	0.0153	**
	Niveles de S	0.0676	**
	Interacción	0.0010	**
	Error	0.0002	
TABLA 2C			
Aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano (mg/gr. de proteína)	Tratamientos	64.0756	**
	Variedades	4.8668	**
	Niveles de S	289.0181	**
	Interacción	2.2536	**
	Error	0.4930	

**= Significancia 1%

NS= No Significancia Estadística.

Tabla 3. Prueba de Tuckey 5%.

VARIABLE	NIVEL DE AZUFRE EN EL SUELO	PROMEDIO	COMPARADOR
TABLA 3A			
Azufre total en el grano (g%)	5°	0.1848 a	0.0080
	4°	0.1738 b	
	3°	0.1556 c	
	2°	0.1360 d	
	1°	0.0512 e	
TABLA 3B			
Azufre total en el grano (mg/gr. de proteína)	5°	10.00 a	0.4312
	4°	9.29 b	
	3°	8.41 c	
	2°	7.58 d	
	1°	2.45 e	
TABLA 3C			
Aminoácidos azufrados en el grano (g%)	5°	0.5030 a	0.0165
	4°	0.4728 b	
	3°	0.4614 b	
	2°	0.4339 c	
	1°	0.3094 d	

Tabla 4. Continuación de prueba de Tuckey 5%.

VARIABLE	NIVEL DE AZUFRE EN EL SUELO	PROMEDIO	COMPARADOR
Aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano (mg/gr. de proteína).	5°	27.20 a	0.4312
	4°	25.33 b	
	3°	24.85 b c	
	2°	24.20 c	
	1°	14.80 d	

Tabla 5. Resumen de correlaciones entre el azufre en el suelo y el azufre y aminoácidos azufrados en el grano.

	NIVEL DE AZUFRE EN EL SUELO (ppm)	AZUFRE TOTAL EN EL GRANO (g%)	AZUFRE TOTAL EN EL GRANO (mg./gr. de proteína)
Azufre total en el grano (g%)	0.8017 **		
Azufre total en el grano (mg/gramo de proteína)	0.2630 *	0.6133 **	
Aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano (g%)	0.7415 **	0.5098 **	
Aminoácidos azufrados (Metionina + Cistina) en el grano (mg/gr. de proteína)	0.7503 **		0.9799 **
Metionina en el grano (g%)	0.2630 *	0.6133 **	
Cistina en el grano (g%)	0.7902 **	0.9530 **	

** = Significancia 1%

* = Significancia 5%

VII. CONCLUSIONES

En base a la discusión de resultados obtenidos y bajo las condiciones que se efectuó el estudio, pueden considerarse las siguientes conclusiones:

- 1°. El nivel de azufre en el suelo tuvo una influencia altamente significativa (1% de probabilidad) sobre el contenido de azufre total en el grano de frijol, puesto que al aumentar el nivel de azufre en el suelo aumentó el contenido de azufre total en el grano, en cantidades dependientes del potencial genético varietal de absorber y tralocar azufre. Esta interacción permite rechazar parcialmente la hipótesis planteada en lo referente a variedades.
- 2°. El nivel de azufre en el suelo tuvo un efecto significativo, 1% de probabilidad, sobre el contenido de aminoácidos azufrados (Metionina y Cistina) en el grano de las cuatro variedades de frijol estudiadas. Esto no permite rechazar la hipótesis planteada al respecto.
- 3°. En el grano de frijol, el contenido de azufre del grano correlacionó positiva y significativamente, 1% de probabilidad, con el contenido de aminoácidos azufrados (Metionina y Cistina) de las cuatro variedades de frijol evaluadas por lo que no se rechaza la hipótesis planteada.

VIII. RECOMENDACIONES

- 1°. Tomando en cuenta que actualmente los programas de fertilización involucran únicamente a los elementos nutritivos mayores (N, P, K) y dado el uso intensivo de los suelos, es recomendable incluir al azufre dentro de los programas de fertilización del frijol común, para un mejoramiento de la calidad nutricional del mismo.
- 2°. Usar la determinación del contenido de azufre total, como una metodología rápida, que sirva de indicador de la cantidad de aminoácidos azufrados (Metionina y Cistina) en el grano de frijol, que puede ser usada en el fitomejoramiento para la selección de variedades de frijol de alto valor proteínico.
- 3°. Hacer estudios básicos de fertilización con azufre a nivel de campo, para corroborar los resultados encontrados en el presente estudio y reforzar la posibilidad de usar el contenido de azufre del grano como criterio predictivo de la cantidad de aminoácidos azufrados (Metionina y Cistina) e índice de la calidad proteínica del grano de frijol común.

IX. BIBLIOGRAFIA

1. AULAKH, M. S. and PARSICHA, N.S. Interaction effect of sulfur and phosphorus on growth and nutrients content of moong beans (*Phaseolus aureus*). *Plan and Soil* 47:341-349. 1977.
2. BARSLEY JUNIOR, C. E. and HOWARD N., J. Sulfer availability in seven south eastern soils measured by growth and composition of white clover. *Agronomy Journal* 49(6):310-312. 1957.
3. BLANCO L., M. y PINCHINAT, A. Absorción de nutrimentos por cinco variedades de frijol. In *Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios*. 18a. Managua. Marzo 1972. Managua, Nicaragua, IICA, 1972. pp. 230-231.
4. BRESSANI, R. El significado nutricional y alimentario del endurecimiento del frijol. In *Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios*, 27a. Santo Domingo, Marzo 1981. Santo Domingo, República Dominicana, Secretaría de Estado de Agricultura, 1981, v. 1-A. pp. 1-9.
5. _____. y ELIAS, L. Evaluación de la calidad proteínica de varias leguminosas de grano usando diversos métodos biológicos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* (Guatemala) 26(3):325-339. 1976.
6. DEVLIN, R.M. Fisiología vegetal. 4a. ed. Barcelona, Omega, 1978. pp. 309-311.
7. ELIAS, L. et al. Correlación entre el contenido de aminoácidos azufrados y de azufre total en relación con la calidad proteínica de leguminosas de grano. *Informa Anual* (Guatemala, INCAP) 1984: 42-45.
8. EDMENGER, J.J. et al. Estudio en ratas de efectos de la suplementación de una dieta típica de una comunidad rural de Guatemala. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* (Guatemala) 22(2):179-190. 1982.
9. FASBENDER HANS, W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA, 1975. pp. 308-316.
10. GOMEZ BRENES, R.A. y BRESSANI, R. Un método para la determinación de aminoácidos aplicable a problemas de suplementación, fitomejoramiento y bioquímica nutricional. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* (Guatemala) 22(4):445-463. 1973.
11. HALL, J.D. et al. The structure of chloroplast in mineral deficient maize leaves. *Plant Physiology* 50(3):404-409. 1972.

12. HARWARD, M.E. et al. The sulfur status and sulfur supplying power of Oregon soils. *Agronomy Journal* 54(3):101-106. 1962.
13. HERNANDEZ, F.E. Significado de la presencia de taninos y polifeniles asociados en la digestibilidad de las proteínas del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en humanos. Tesis Mag. Sc. Guatemala, USAC/ -- FCCQF/INCAP/CESNA, 1980. pp. 42-44.
14. HUNTER H., A. Técnicas de laboratorio e invernadero para estudios de nutrimentos con miras a determinar enmiendas de suelos requeridos para un óptimo crecimiento de las plantas. Monografía. Costa - Rica, Universidad de Costa Rica, 1977. 21 p.
15. INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTROAMERICA Y PANAMA. Nutritional evaluation of population of Central America and Panama. Regional Summary. Guatemala, INCAP/ICNND, 1971. 165 p.
16. ISRAELSEN, W.O. y WAUGH, H. Irrigation, principles and practices. 3 ed. Utah, Wiley, 1962. p. 168.
17. JAFFE, G.W. y BRUCER, A. El contenido de nitrógeno total y aminoácidos azufrados en diferentes líneas de frijoles (*Phaseolus vulgaris*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Guatemala) 24(1):107-113. 1974.
18. JARQUIN, R. Importancia del frijol como suplemento natural de la dieta a base de cereales. In Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 18a. Managua, Marzo 1972. Managua, Nicaragua, IICA, 1972. pp. 230-231
19. KAMAT, V. N. et al. Effect of sulfur and molybdenum application on yield and protein and S-aminoacids contents of green gram (*Phaseolus aureus*). *Journal Indian Soc. Soil Sci.* 29(2):225-227. 1981.
20. LAM SANCHEZ, A. Variabilidad genética y/o ambiental en el contenido de proteína y aminoácidos en leguminosas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Guatemala) 27(3):118-122. 1977.
21. LEHNINGER, A.L. Bioquímica. 2 ed. Barcelona, España, Omega, 1978. p. 220.
22. MASAYA, S.P. El cultivo del frijol en el sur-oriente de Guatemala. Guatemala, ICTA, 1979. pp. 1-10-.
23. MOORHOUSE, C. O., LAW, A.R. and MADDIX, C. Automated methods for determination of total aminoacids Cystine and Methionine in microbial biomass. In Advances in Automated Analysis; industrial symposia. U.S.A., Board, 1976. v. 2, pp. 182-189.
24. MORALES, R.M. and ANGELUCCI, E. Chemical composition and aminoacids of Brazilian beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal Food Sci.* 36(3):493-494. 1971.

25. OROZCO, S.H. Frijol de suelo en monocultivo para Chimaltenango, Guatemala. Guatemala, ICTA, 1979. pp. 4-7.
26. PELCZAR, M.J. y REIND, R. D. Microbiología. México, Mc-Graw Hill, 1979. pp. 574-575.
27. PUMPHREY, F. V. and MORE, D.P. Sulfur and nitrogen content of alfalfa herbage during growth. Agronomy Journal 57(3): 237-239. 1965.
28. _____. Diagnosing sulfur deficiency of alfalfa (Medicago sativa) from planta analysis. Agronomy Journal 57(3):364-366. 1965.
29. SORENSEN, R. C. et al. Sulfur content and yield of alfalfa (Medicago sativa) in relation to plant nitrogen and sulfur fertilization. Agronomy Journal 60(1):20-21. 1968.
30. SOSA, J.L. et al. Efecto genético-ambiental sobre el contenido de azufre total del frijol común (Phaseolus vulgaris). Informe Anual (Guatemala. INCAP) 1983:34.
31. SOUZA, N. DE. et al. Estudios en ratas del efecto de una dieta básica del medio rural de Guatemala suplementada con leche de vaca y una mezcla de proteínas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Guatemala) 20(3):293-308. 1970.
32. TABATABAI, M.A. and BREMMER, J.M. Asimple turbidimetric method of determining total sulphur in planta material. Agronomy Journal 62(6):805-806. 1970.
34. TISDALE, S.L. et al. Methionine and Cystines content of alfalfa by differents concentrations of sulfate ión. Agronomy Journal 42(5):221-225. 1950.
35. VILLA NUEVA O., B. Fertilidad de suelos. México, Universidad Autónoma de Chapingo, 1977. pp. 123-127.-

*No. 30
Olaya Páramo*

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

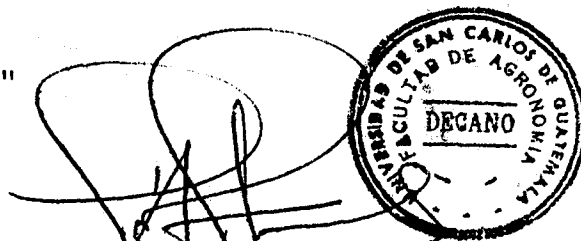
Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia	
Asunto	
.....	

"IMPRIMASE"



ING. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.
D E C A N O