

INFLUENCIA DEL NITROGENO Y AZUFRE EN EL RENDIMIENTO DEL FRIJOL

(Phaseolus vulgaris L.)

Tesis de Grado
de
MAGISTER SCIENTIAE

EDUARDO HINOJOSA VELASCO



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Marzo, 1973

INFLUENCIA DEL NITROGENO Y AZUFRE EN EL RENDIMIENTO
DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

Tesis

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

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA: _____ Consejero

Rufo Bazán, Ph.D.

Comité

Gilberto Páez, Ph.D.

Comité

José Fargas, Ph.D.

Comité

Donald Oelsligle, Ph.D.

Marzo, 1973

Con todo cariño
a mis padres
a mi esposa
y a mis hermanos

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento al Dr. Rufo Bazán, Consejero Principal, por su valiosa orientación y colaboración prestada en el desarrollo del presente trabajo de tesis.

Al Dr. Gilberto Páez, miembro del Comité Consejero por su estímulo y acertadas sugerencias.

A los Dres. José Fargas y Donald Oelsigle, miembros del Comité Consejero, así como también al Dr. Mario Blasco por su desinteresada colaboración.

A la Zona Andina, por haberle otorgado la beca, que hizo posible la realización de los estudios y la permanencia en el IICA-CTEI.

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

BIOGRAFIA

El autor nació en Oruro, Bolivia, el 11 de mayo de 1940.

Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Nacional "Aniceto Arce", de la ciudad de Oruro.

Ingresó a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón, en la ciudad de Cochabamba en el año 1960, habiendo egresado en 1964. Durante el año de 1965 desempeñó el cargo de ayudante de suelos de la Cátedra de Suelos en la misma Universidad.

En 1966 recibió el título de Ingeniero Agrónomo; el mismo año ingresó al Ministerio de Agricultura, donde prestó sus servicios en el Departamento de Suelos.

En 1970 recibió una beca de la OEA y Cultura Hispánica para seguir un entrenamiento en Fertilidad de Suelos, por el tiempo de siete meses, en la "Estación Experimental del Zaidín", Granada, España. A su retorno fue promocionado al cargo de Jefe Regional de Suelos del Departamento de Chuquisaca, dependiente del Ministerio de Agricultura.

En octubre de 1971 ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, en Turrialba, Costa Rica, realizando sus estudios en la especialidad de suelos, graduándose de Magister Scientiae en marzo de 1973.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Aspectos generales	3
2.2 Nitrógeno	4
2.3 Azufre	5
2.4 Relación nitrógeno-azufre	8
3. MATERIALES Y METODOS	17
3.1 Localización del estudio	17
3.2 Características del suelo	17
3.3 Toma y preparación de las muestras de suelo	18
3.4 Planta	18
3.5 Técnica experimental	19
3.5.1 Diseño experimental	19
3.5.2 Aplicación de nutrientes	20
3.5.3 Siembra y riego	23
3.5.4 Control de insectos y enfermedades	23
3.5.5 Toma de datos en el momento de la cosecha	23
3.5.6 Estandarización del rendimiento	24
3.6 Análisis de laboratorio	25
3.6.1 Determinaciones químicas de la planta ...	25
3.7 Análisis estadístico	28
4. RESULTADOS	29
4.1 Características físicas del suelo	29
4.2 Características químicas del suelo	30
4.3 Rendimiento	30
4.4 Contenido de proteína en la semilla	35
4.5 Relación nitrógeno-azufre en la semilla	36
4.6 Relación de la parte aérea y raíces en base a peso seco	37
4.7 Otros componentes del rendimiento de la planta	38

	<u>Página</u>
5. DISCUSION	39
6. CONCLUSIONES	44
7. RESUMEN	46
7a. SUMMARY	48
8. LITERATURA CITADA	49
APENDICE	55

LISTA DE CUADROS

<u>TEXTO</u>	<u>Página</u>
Cuadro N ^o	
1 Nutrimientos básicos	21
2 Niveles de nitrógeno y azufre codificados	22
3 Determinaciones químicas del suelo	26
4 Determinaciones físicas del suelo	27
5 Diagrama de porosidad del suelo utilizado en el experimento	31
6 Análisis de variancia de rendimiento, proteína de la semilla, relación N/S de la semilla, y relación peso seco de parte aérea y raíces, respectiva- mente.....	32
 <u>APENDICE</u>	
1 Rendimiento del frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en kg/ha	56
2 Contenido de proteína en la semilla de frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.)	57
3 Relación nitrógeno-azufre en la semilla de frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.)	58
4 Relación parte aérea/parte radical, en base a la materia seca del frijol (<u>Phaseolus</u> <u>vulgaris</u> L.)	59
5 Número de vainas por maceta	60
6 Número de vainas por planta (promedio)	61
7 Peso de semilla al 13% de humedad en gramos	62
8 Análisis de variancia de rendimiento	63
9 Análisis de variancia del contenido de proteína	63

Cuadro N ^o		<u>Página</u>
10	Análisis de variancia de la relación N/S	64
11	Análisis de variancia de la parte aérea/parte radical	64
12	Determinaciones físicas del suelo	65
13	Determinaciones químicas del suelo	66
14	Determinación del rendimiento del frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en kg/ha de semilla	67
15	Efecto de la fertilización nitrógeno-azufre sobre algunos componentes del rendimiento	69
16	Contenido de proteína y relación nitrógeno- azufre en la semilla de frijol	71
17	Relación nitrógeno-azufre en la hoja del frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.)	73
18	Relación nitrógeno-azufre en la raíz del frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.)	75
19	Relación parte aérea/parte radical, en base a la materia seca del frijol (<u>Phaseolus</u> <u>vulgaris</u> L.)	77
20	Contenido de calcio, magnesio, potasio y sus respectivas relaciones en la hoja del frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.)	79
21	Contenido de calcio, magnesio, potasio y sus respectivas relaciones en la raíz del frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.)	81
22	Contenido de calcio, magnesio, potasio y sus respectivas relaciones en la semilla del frijol (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.)	83
23	Matriz de correlación	85

1. INTRODUCCION

Las necesidades nutritivas del hombre y de los animales en aminoácidos no pueden ser olvidados. El valor biológico de una proteína que se expresa por su índice AAE (aminoácido esencial) se determina comparando su contenido de aminoácidos con algunas proteínas animales de alta calidad (65).

El nitrógeno y el azufre son componentes básicos de las proteínas vegetales, de la clorofila y otros compuestos importantes en el metabolismo de la planta (enzimas, vitaminas, hormonas, etc.). Los requerimientos de azufre para el crecimiento de las plantas son indicados por la relación nitrógeno-azufre. En la mayoría de las especies el azufre se halla mayormente como cistina, metionina y está directamente relacionado con el metabolismo de la proteína (23). Aplicaciones de fertilizantes azufrados aumentan los rendimientos de los cultivos solamente cuando se aplican con fertilizantes nitrogenados (54).

Los estudios realizados (63) indican que algunos cultivos requieren cerca de una parte de azufre por cada 15 partes de nitrógeno por peso, para la síntesis de proteína. La mayor parte del nitrógeno y azufre de las plantas se encuentra como componente de la proteína. Cuando el azufre se encuentra deficiente la relación N-total a S-total excede la relación 15 a 1, la síntesis de proteína disminuye, y ocurre la acumulación del N no-proteico.

Un insuficiente suministro de azufre puede afectar el rendimiento y calidad de un cultivo. Sin embargo, hay poca información acerca del efecto de este elemento sobre el rendimiento y calidad

de los cultivos. En otras palabras la deficiencia de azufre puede afectar seriamente la calidad de un cultivo antes de ocurrir la disminución del rendimiento.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del nitrógeno y azufre en el rendimiento y contenido de proteína del frijol.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Aspectos generales

Se comprende fácilmente que todos los elementos participantes en el proceso de la asimilación y que forman los grupos vitales de la planta, representan la materia nutritiva vegetal imprescindible. Entre estos elementos básicos figuran el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre. Sin embargo, existen una serie de elementos químicos, que no se encuentran en el material vegetal estructural, su presencia es necesaria para regular y catalizar los procesos fisiológicos principales. Por tanto, también éstos tienen que ser considerados como materias nutritivas indispensables. Entre los más importantes se tiene los siguientes:

1. El grupo de elementos de acción iónica (potasio, calcio, magnesio), y
2. El grupo de los microelementos: hierro, manganeso, cobre, cinc, boro, molibdeno, etc.

Se tiene en cuenta que es ley fundamental que ningún elemento vital puede en absoluto reemplazar a otro, se comprende que si falta un elemento en un medio nutritivo no es posible la vida vegetal. Por lo tanto, cualquier elemento tiene la misma importancia que los demás, aunque es verdad que no siempre es necesario aportar a nuestros suelos todos los elementos nutritivos mediante el abono. Por lo tanto, podemos restringir la fertilización de aquellos elementos que se hallan en el suelo en cantidades suficientes y en forma asimilable para

que las plantas puedan dar cosechas máximas según las restantes circunstancias del medio ambiente.

Dado que las materias nutritivas esenciales no pueden reemplazarse del todo mutuamente, resulta que cada una de ellas tiene en la vida de las plantas misiones especiales. Esto no quiere decir que no existan entre ellas efectos recíprocos de la mayor importancia para la vida vegetal (61).

2.2 Nitrógeno

El nitrógeno del suelo es uno de los elementos mayores de mayor importancia que necesita la planta para su crecimiento. Su importancia radica en que las plantas, por lo general, necesitan este elemento en grandes cantidades, y con frecuencia es un elemento que se encuentra deficiente en los suelos; se pierde fácilmente del suelo por lixiviación u otras formas y además, es considerablemente caro suministrarlo (52).

El contenido de nitrógeno de las plantas superiores varía extensamente de una especie a otra y aún dentro de una especie dada. El contenido de nitrógeno puede variar entre 0,5 y 4 por ciento del peso seco de la planta. Las plantas pueden utilizarlo en diversas formas, las más importantes de ellas son los iones nitrato (NO_3^-) y los iones amonio (NH_4^+). También puede ser utilizado en pequeñas cantidades en forma de ión nitrato (NO_2^-), pero éste es tóxico para muchas plantas. La mayoría de las plantas superiores absorben el nitrógeno en forma de NO_3^- , o por lo menos crecen si existen cantidades adecuadas de nitratos. Aunque el nitrógeno pueda ser aplicado

en alguna forma de amonio, este es rápidamente oxidado a la forma de NO_3^- la cual es fácilmente absorbida por las plantas (52).

El nitrógeno en la planta está distribuido en todas sus partes, cuando hay suficiente cantidad de este elemento en el suelo, caso contrario, se localizará principalmente en las porciones jóvenes de la planta. La forma en la cual se encuentra el nitrógeno en el tejido de las plantas refleja todo el metabolismo de las plantas. El nitrógeno puede hallarse en las plantas en dos principales formas, N-proteína y N-no-proteína. Cada forma, sin embargo, consiste de una gran diversidad de compuestos (1).

El nitrógeno es un constituyente de todo el protoplasma. Está presente en los pigmentos de la planta, tales como la clorofila. Muchos compuestos de la planta contienen nitrógeno tales como los aminoácidos, amidas, proteínas y alcaloides. El nitrógeno es requerido para un crecimiento vigoroso de las plantas, especialmente durante las etapas tempranas de desarrollo, y también es necesario para los procesos normales de reproducción (52).

2.3 Azufre

Aunque a este elemento se le ha prestado poca atención en las investigaciones, posiblemente por aspectos relacionados con la metodología analítica y por la creencia de su existencia en los suelos a niveles adecuados, es esencial en la nutrición de las plantas y animales. La cantidad total de azufre en los suelos no pasa, por lo general, de 500 ppm del total, aproximadamente el azufre orgánico representa el 90-95 por ciento. Dentro de la porción orgánica, la

mayor parte (4-9 por ciento del S-total) corresponde a las formas de sulfatos adsorbido más soluble, y alrededor de 1-2 por ciento del S-total son formas inorgánicas de estado de oxidación menor que sulfato (azufre elemental, sulfuros, sulfitos, tiosulfatos y polisulfuros) (10).

El azufre es suministrado al suelo, por adiciones variables de precipitación, de agua de irrigación, atmósfera, fertilizantes, insecticidas, y fungicidas; aunque la deficiencia de azufre bajo condiciones de cultivo no es universalmente un problema, este puede ser agudo en algunas áreas (42).

El contenido de azufre de los suelos varía desde menos de 0,1 por ciento hasta 1,0 por ciento. Las plantas contienen porcentajes similares de azufre si crecen bajo condiciones similares o en los mismos tipos de suelos. Este elemento está irregularmente distribuido dentro de la planta a causa de su naturaleza inmóvil. Su deficiencia se nota en la parte superior de la planta que contiene tejidos jóvenes (52).

El azufre es uno de los elementos que las plantas absorben en mayor cantidad. No obstante, no suele considerarse un problema del azufre como fundamental al estudiar la fertilidad de los suelos o al recomendar determinadas formas de abono (30). Existe mayor evidencia de una deficiencia de azufre grandemente extendida, enmascarada en el pasado por el uso de fertilizantes con contenido de azufre, tales como los superfosfatos y muchos sulfatos, así como también por el uso de grandes cantidades de azufre devueltas por la atmósfera de

carbon orgánico, en ciertas áreas como Europa Occidental (68).

Es posible que en el caso de una deficiencia de azufre, esta puede interferir considerablemente en la interpretación estadística de experimentos con N-P-K en el campo, si no se da consideración a la composición química de los fertilizantes aplicados (especialmente aniones) (49).

Las determinaciones realizadas en suelos de Latinoamérica (45, 49) demuestran que el azufre disponible para las plantas es muy bajo, acusando un déficit bastante notable. Esto se debe a que, por una parte, los sesquióxidos de aluminio, hierro y la alófana, predominantes en los suelos tropicales de avanzada meteorización y de suelos volcánicos exhiben un poder de retención de sulfatos mayor que cualquier otro tipo de suelos, además que la solubilidad de los sulfatos hace que en regiones de precipitación elevada, se pierda en grandes cantidades por lixiviación (11, 19, 33). En algunas áreas el azufre puede lixivarse del horizonte superficial del suelo de textura gruesa para ser retenidos por los horizontes inferiores (25). Esto es evidente si el subsuelo contiene alta cantidad de arcilla de tipo caulinítico, hidróxido de hierro y son ácidos. Bajo estas condiciones las plantas pueden exhibir deficiencia de azufre después de la germinación. Si la deficiencia no es tan severa las plantas subsecuentemente se recobran cuando las raíces entran en la parte más profunda del suelo.

La magnitud de la respuesta de varios cultivos a aplicaciones de fertilizantes con contenido de azufre dependen, por supuesto, del

grado de deficiencia de S en el suelo (17, 40). Los cultivos con deficiencia de S pueden ser corregidos por la aplicación de numerosos compuestos de S o S-elemental (6, 7, 27, 36, 41, 65).

El azufre cumple varias funciones importantes en la nutrición de las plantas. Es el constituyente de algunos aminoácidos, como la metionina (21%) y la cistina (27%), dos aminoácidos comúnmente encontrados en las plantas. La metionina es esencial en la nutrición animal. La cistina aunque no esencial, puede complementarse con la metionina cuando más tarde es presentada en aumento suboptimal. Es requerido para la síntesis de la clorofila, para el normal crecimiento de las raíces, para la nodulación de las leguminosas y para la síntesis de la proteína. Dos reguladores de crecimiento, tiamina y biotina contienen azufre. Las características de ciertos olores y sabores de los vegetales son derivados de los compuestos de azufre, como los glucosidos aceite de mostaza (42, 52).

2.4 Relación nitrógeno-azufre

Loosli (1952) notó que los alimentos teniendo relaciones nitrógeno-azufre (N/S) mayor que 15:1 podría ser asumido por la deficiencia de azufre, considerando que teniendo relaciones más estrechas que 15:1 pueden tener un exceso de azufre (56).

Pumphrey (53) encontró que la fertilización con azufre aumentó el contenido de azufre, nitrógeno y el rendimiento de la alfalfa. Los porcentajes de azufre fueron más altos en plantas jóvenes en crecimiento y declinaron a medida que llegaron a la floración total.

El uso de un nivel más crítico de S en la alfalfa verde necesita estar asociada con un estado deficiente de crecimiento. La relación N/S en la planta verde fue constante en todos los estados de crecimiento y resultó más estrecha en las no deficientes que en las deficientes de S en las plantas verdes. Por consiguiente, existe la posibilidad de usar la relación N/S como un instrumento de diagnóstico para predecir la necesidad de la fertilización con azufre.

Caldwell (16) indica que formas de azufre en varios niveles fueron aplicados a la alfalfa (Medicago sativa L.) y maíz (Zea mays L.) en un suelo deficiente en azufre. En general, niveles de otros elementos en alfalfa no fueron considerablemente afectados por la aplicación de azufre. Se incrementaron los niveles de S en maíz, también se incrementó el contenido de N en las plantas maduras.

Woodhouse (70) encontró que la adición de S en pasto Bermuda incrementó significativamente el rendimiento en siete de los ocho años estudiados. La aplicación de N disminuyó la concentración de S en el forraje, particularmente en los rangos más altos. Había una relación positiva entre la relación N/S y el rango más alto de N aplicado, que se consideró un valor normal de la relación N/S de 12-17. Muchos de los valores N/S fueron también buenos, que se consideró cerca del óptimo para la nutrición de los rumiantes, proponiendo que la alta relación N/S es un posible factor en algunos casos de pobre función animal sobre estos forrajes.

Masaya (48) llevó a cabo un estudio de la absorción de los elementos: N, P, K, Ca, Mg, y S en el crecimiento de la planta de frijol

en el invernadero del IICA-CTEI. Los resultados indican que las plantas tomaron los elementos minerales más intensamente antes y durante el inicio de la floración. Aunque la absorción de nutrimentos decreció después del máximo observado, las plantas tomaron del medio de cultivo cantidades apreciables de nutrimentos durante el tiempo en que los frutos crecían. Los elementos tomados en mayores cantidades fueron N, K y Ca. El P y S fueron tomados por las plantas en cantidades similares.

Wooding (69) determinó que la deficiencia de azufre disminuyó el crecimiento, concentración de N-no-soluble y N-proteico soluble, incrementaron concentraciones de N-proteico y aminoácidos libres, y tuvieron un pequeño efecto sobre el N-nitrato en plantas jóvenes de soya. La capacidad de las plantas jóvenes de soya para fijar nitrógeno fue menor que su habilidad para utilizar el N-nitrato.

McNaught y Chrisstoffels (46) realizaron varios ensayos en Nueva Zelanda con trébol, pastos y alfalfa, analizando los contenidos de S-total y N-total. El nivel crítico de S en el trébol blanco es aproximadamente 0,26 por ciento, un estudio similar es indicado para una mezcla de pastos (ryegrass perenne, cocksfoot, y timothy) en un ensayo, pero un valor más alto aproximadamente 0,30 por ciento, para una mezcla de poa, cocksfoot, ryegrass, en otro ensayo el nivel óptimo de S en los pastos parece ser influenciado por su estado de nitrógeno. El nivel crítico de la alfalfa en la etapa de floración es aproximadamente 0,20 por ciento de S. Los niveles de nitrógeno parecen ser aproximadamente proporcional a los niveles de azufre. En

severas deficiencias las plantas de trébol blanco con concentraciones bajas de S-total cerca de 0,13 por ciento, del nivel de N pueden descender a tan bajas como a 2 por ciento, comparado con un valor normal de 4,5 por ciento a 5,0 por ciento. La respuesta de S en las leguminosas parece ser verdad a la estrecha y simultánea corrección de ambas deficiencias.

Cairns y Carson (15) determinaron que el S aplicado en forma elemental o como sulfato de calcio en suelos grises de bosque, incrementó el rendimiento en la alfalfa. Los tratamientos con S aumentaron el contenido de N en suelos deficientes en S. La relativa abundancia de N en la planta sobre las áreas estudiadas de suelos deficientes sugieren que el principal efecto del S no fue en la nodulación o suministro de N, pero algo sobre la asimilación del N y otras funciones fisiológicas de los compuestos conteniendo S dentro de la planta.

Cowling y Jones (18) estudiaron la disponibilidad de S para ryegrass perenne en dos suelos de Inglaterra, uno de una área de cultivo intensivo y el otro adyacente de bosque no cultivado. Adiciones de S han tenido más grande efecto con el nivel más alto de N, para el promedio de los dos medios ambientes, el incremento del rendimiento de la materia seca de cinco cortes de 6,5 a 19,0 g por maceta sobre el suelo previamente cultivado y de 15,8 a 16,0 g por maceta sobre el suelo no cultivado. En plantas deficientes en S la relación de N-total a S-total fue generalmente encima de 20, mientras el contenido de S de la materia seca fue 0,2 por ciento.

Chopra y Kanwar (21), en un experimento en macetas, con maní (Arachis hypogea), sobre suelos franco arenosos de pH 7,8, aplicaciones de S con N, NP o NPK dio rendimientos significativamente más altos que S sólo o estos nutrimentos sin S. Las cantidades de S conteniendo aminoácidos, así: como metionina, ácido cítrico en la composición de plantas de maní aumentaron fertilizando con S, la aplicación de N sólo disminuyó su contenido de aceite y aumentó el contenido de proteína, pero el S sólo disminuyó el contenido de proteína en trébol (Trifolium alexandrinum). La toma de N, P y K por las leguminosas se incrementó después de la aplicación de S.

Jones y Robinson (39), en un cultivo en macetas, de la leguminosa tropical, Stylosanthes humilis, trataron con diferentes niveles de S y cosecharon en diferentes estados vegetativos. Encontraron una relación entre N-total y edad de la planta. En plantas jóvenes el N-total aumentó inicialmente con el incremento de S-total, pero como las plantas envejecieron, ambos N-total y S-total declinaron en la relación entre ellos, llegando a ser casi lineal. Aplicaciones de S aumentaron la relación de N/S en las fracciones de alcohol insoluble en contraste con trabajos publicados para otras especies.

Pasricha y Randhawa (51), en 30 muestras de suelo y planta trébol (Trifolium alexandrinum) encontraron una relación N/S mayor o igual a 20, la cual es también alta para la nutrición de las plantas y alimento de rumiantes. El yeso fue la mejor fuente S que el superfosfato o que el S-elemental.

Duba y Misra (24), en experimentos con macetas, estudiaron

el guisante (Pisum sativum), frijol mungo (Phaseolus mungo), garbanzo (Cicer orientinum) y maní (Arachis hypogea). En todos los cultivos la deficiencia de S disminuyó el crecimiento de la planta, rendimiento, calidad y contenido de proteína de la semilla. La deficiencia de S en garbanzo y maní produjeron más vainas pero rendimiento total menor que el control verdadero para granos pequeños o la ausencia de semillas.

Jones y Quagliato (38), en experimentos de macetas en suelos deficientes en S, crecieron alfalfa (Medicago sativa) y cuatro leguminosas tropicales (Stylosanthes grandis, Centrosema pubescens, Glycine javanica y Phaseolus atropurpureus). La producción de materia seca aumentó en proporción al S aplicado (10-60 kg/ha) en todas las especies estudiadas. Concentraciones de S-total y S-sulfato fueron generalmente más altos y menos variados en las leguminosas tropicales que concentraciones de S-SO₄. Contenidos de N aumentaron, incrementando la proporción de S aplicado.

Justa, Dalas y Tausín (43) encontraron que en un suelo arcilloso calcáreo, donde el reducido crecimiento de la alfalfa fue particularmente atribuido a la deficiencia de S, aplicaciones de S + Mo incrementaron los rendimientos considerablemente, más que cuando estos nutrimentos fueron aplicados separadamente. Los tratamientos combinados también dieron la más alta concentración de N en la materia seca.

Koter y Greesiuk (44) indican que los efectos de 0,05-0,6 g de S por maceta, para mostaza, trébol rojo, ryegrass y frijol enano,

el S aunque ligeramente, siempre incrementó el crecimiento vegetativo y la producción de grano. El S mejoró el N-total, N-proteína y contenido de P del trébol rojo y heno de ryegrass.

Arora y Luthra (5) realizaron experimentos en macetas con Phaseolus aureus L. El contenido de S en las hojas aumentó con el incremento de niveles de S obteniendo un máximo a los 50 días y declinó con la maduración. Una correlación positiva significativa fue observada entre el contenido de S en varias etapas de crecimiento y el S conteniendo aminoácidos en los granos (metionina y cistina). El S conteniendo aminoácidos en los granos aumentó con niveles de S solamente por encima de 90 ppm.

Sorensen, Penas y Alexander (62) indican que porcentajes de N, S y el rendimiento fueron determinados por el crecimiento de la alfalfa en un suelo deficiente en S. La más alta concentración crítica de S se encontró sobre suelos arenosos, el valor comúnmente aceptado de 0,22 por ciento fue atribuido a efectos de la sequedad. Contenidos de N y S fueron estrechamente relacionados con el crecimiento de la alfalfa. Concentraciones de N aumentaron al aplicar S incrementando el rendimiento.

Sudhakara Reddy y Mehta (64) realizaron experimentos en macetas para el crecimiento de la alfalfa, aplicaron 50-200 mg de S por 2 kg de suelo, en un suelo franco arenoso conteniendo 5 ppm de S-soluble (NH_4OAc), 20 ppm de S-orgánico, 22 ppm de S-disponible y 42 ppm de S-total. Los más altos rendimientos fueron encontrados con 100 ppm de S, mientras todos los valores de S aumentaron el S-total

en la cosecha. La relación N/S mayor de 11 en la planta indicó la necesidad de suministrar S.

Dijkshoorn y van Wijk (23) encontraron que la relación N/S orgánico en las plantas es 0,025 a 0,032, lo mismo como en las proteínas, los cuales tienen 80 por ciento de S-orgánico y N-orgánico presente. En plantas deficientes en S la relación aumenta debido al aumento del N-no proteínico bajo en S. Los requerimientos de S para el crecimiento son indicados por la relación normal N/S. En la mayoría de las especies el S se halla mayormente como cistina, metionina y está directamente relacionado con el metabolismo de la proteína. La presencia de otras formas de S-orgánico en Brassica spp. cuenta con su más alta relación N/S.

Reisenauer y Dickson (54) indican que fue altamente significativo el aumento de rendimiento obtenido de la fertilización nitrogenada y azufrada de la cebada. Aplicaciones de fertilizantes azufrados aumentaron los rendimientos solamente cuando se aplicaron fertilizantes nitrogenados.

Harward, Chao y Fang (33) encontraron una estrecha relación entre contenidos de N y S de la alfalfa. Esto sugirió que parte de los efectos de aplicación de S pueden ser indirectos y relacionando el nitrógeno de la leguminosa.

Hanower y Brozowska (32) realizaron un estudio referente a las dosis relativas de nitrógeno, azufre y la arginina de las plantas de araquides, cultivadas en arena dentro del invernadero. La carencia de azufre influye en la disminución del nitrógeno proteínico.

En dicho caso, la cantidad de proteínas en todos los organos y en to dos los estados vegetativos resulta marcadamente inferior a la de las plantas + S. Al final del experimento, en el momento de la formación de las legumbres, la cantidad de proteína resulta unas diez veces menor. La carencia de azufre determina una disminución de S en las proteínas de todos los organos y un aumento del tenor de arginina en las proteínas presentes de la parte aérea de la planta.

Haag (31) realizó un estudio sobre los nutrimentos absorbidos por el frijol (Phaseolus vulgaris L.) cultivados en macetas, con suelc latosol rojo. Encontró que la máxima absorción de N, K y Ca ocurrió cerca de los 50 días después de la germinación, coincidiendo con el máximo crecimiento de la planta. La máxima absorción de S y Mg fue a los 60 y 70 días, respectivamente. El P fue absorbido en igual cantidad desde el comienzo hasta el final del período vegetativo de la planta. Las cantidades absorbidas por el cultivo en kg/ha fueron los siguientes: N 201, P 18, K 201, Ca 116, Mg 36, y S 36. Las cantidades de nutrimentos encontrados en la semilla fueron: N 14,3; P 1,6; K 10,2; Ca 1,8; Mg 1,0; y S 2,2.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del estudio

El presente estudio se llevó a cabo en un invernadero del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del IICA-CTEI, en Turrialba, Costa Rica. Sus puntos cardinales son: 9°53'00" de latitud norte y 38°39'00" longitud oeste (2). Según Holdridge (35) pertenece al bosque subtropical húmedo, con una altura de 630 metros sobre el nivel del mar, una precipitación promedio anual de 2,682 mm y con temperatura medias mensuales de 22,3°C, temperaturas máximas mensuales de 27,2°C y temperaturas mínimas mensuales de 16,9°C (37).

La temperatura media diaria registrada dentro del invernadero fue de 26,10°C, la temperatura máxima diaria fue de 32,4°C y la temperatura mínima diaria fue de 19,77°C. La humedad relativa registrada dentro del invernadero fue la siguiente: humedad relativa media diaria 75,67 por ciento, humedad relativa máxima diaria promedio de 99,8 por ciento y humedad relativa mínima diaria promedio de 51,3 por ciento.

3.2 Características del suelo

El suelo en estudio pertenece a la serie Instituto arcilloso, según la clasificación de Aguirre (2). Los suelos pertenecientes a esta serie son de origen aluvial fluvio lacustre más reciente que las series La Margot y Juray. La topografía de la fase normal de esta serie de suelos, es de plana a casi plana, con pendientes que van de 0 a 3 por ciento; posee un microrelieve constituido por

pequeñas elevaciones u hondonadas que en la mayoría de las veces dan lugar a pequeños arroyos. El drenaje va de pobre a imperfecto, en todo caso la tabla de agua siempre está presente a una profundidad que varía de 0,40 a 1,30 metros. En la superficie se puede observar muy poca cantidad de piedras lo cual no dificulta el laboreo de estas tierras.

3.3 Toma y preparación de las muestras de suelo

En un lote de aproximadamente 1,5 hectáreas, se tomó una muestra compuesta de suelo, de cerca de 500 kilos, extrayendo de 15 lugares porciones de suelo de la capa arable de 0-30 cm de profundidad. Se hizo la descripción del suelo en un perfil de 1 x 1 x 1 m, el que se aprovechó para tomar muestras de volumen conocido para el análisis físico y otras para el análisis químico respectivo en cada uno de los horizontes diferenciados; se colectaron muestras no alteradas en cilindros metálicos para la densidad aparente y anillos metálicos para la curva de desorción.

Las muestras de suelo recolectadas en el campo fueron secadas al aire, tamizadas en una malla de 5 mm y luego homogenizadas. Se utilizaron macetas de ocho kilogramos de capacidad, en el fondo de cada maceta se colocó un kilogramo de grava, previamente lavada y tamizada en una malla de 7 a 12 mm, sobre esta grava se depositó siete kilogramos de suelo seco y tamizado.

3.4 Planta

Como planta indicadora del experimento se utilizó el frijol

(Phaseolus vulgaris L.) de la variedad 27-R, arbustiva y con semillas de color rojo claro.

3.5 Técnica experimental

La técnica utilizada durante el transcurso del experimento se detalla a continuación:

3.5.1 Diseño experimental

El diseño experimental fue irrestrictamente al azar con tres repeticiones, con un arreglo factorial 4^2 , siendo los factores de variación el nitrógeno y azufre, cada uno de estos elementos con cuatro niveles que corresponden a 16 tratamientos y 48 unidades experimentales. El resto de los elementos P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, Mo y B se mantuvieron constantes como nutrimentos básicos.

<u>Factores de variación</u>		<u>Código</u>	<u>Tratamiento</u>
<u>Nitrógeno</u>	<u>Azufre</u>		
n_0	s_0	n_0s_0	1
	s_1	n_0s_1	2
	s_2	n_0s_2	3
	s_3	n_0s_3	4
n_1	s_0	n_1s_0	5
	s_1	n_1s_1	6
	s_2	n_1s_2	7
	s_3	n_1s_3	8

n_2	s_0	n_2s_0	9
	s_1	n_2s_1	10
	s_2	n_2s_2	11
	s_3	n_2s_3	12
n_3	s_0	n_3s_0	13
	s_1	n_3s_1	14
	s_2	n_3s_2	15
	s_3	n_3s_3	16

Factores

Nitrógeno	dosis kg/ha	0	60	120	180
	código	n_0	n_1	n_2	n_3
Azufre	dosis kg/ha	0	50	100	150
	código	s_0	s_1	s_2	s_3

3.5.2 Aplicación de nutrimentos

Los nutrimentos se aplicaron en dos formas: 1) Nutrimentos básicos, para las 48 unidades experimentales con un nivel estándar, se muestra en el Cuadro 1, 2) La cantidad de nutrimentos aplicados de acuerdo a los niveles codificados, tomando en cuenta los 16 tratamientos estudiados, se presentan en el Cuadro 2.

La aplicación de los nutrimentos tanto básicos como las variables nitrógeno y azufre, se efectuaron dos días antes de la siembra, para evitar que la semilla sea afectada por las sales aplicadas.

Cuadro 1. Nutrimientos básicos.

Nutri- mento	Fuente del Nutrimento	Nivel kg/ha	Gramos por Maceta	Gramos para 48 macetas	Com- puesto %	Total gra- mos del compuesto	Diluido en ml	ml por maceta
P	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	500	2,23	107,04	22	486,54	480	10
K	KCl	50	0,22	10,56	52	20,31	480	10
Ca	CaCO_3	500	2,23	107,04	40	267,60	480	10
Mg	MgCO_3	300	1,34	64,32	29	221,79	480	10
Cu	$\text{CuCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	10	0,04	11,92	37	5,19	480	10
Zn	ZnCl_2	20	0,09	4,32	48	9,00	480	10
Mn	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	40	0,24	11,52	28	41,14	480	10
Fe	$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Fe} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	50	0,22	10,56	17	62,12	480	10
Mo	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	10	0,04	1,92	40	4,80	480	10
B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	10	0,04	1,92	11	17,45	480	10

Cuadro 2. Niveles de nitrógeno y azufre codificados.

Nutri- mento	Fuente del nutrimento	Nivel kg/ha	Gramos por maceta	Gramos para 48 macetas	Compues- to %	Total gra- mos compuesto	Dilui- do en ml	Ml por maceta
n ₀	NH ₄ NO ₃	0	-	-	-	-	-	-
n ₁	"	60	0,27	3,24	35	9,26	120	10
n ₂	"	120	0,53	6,36	35	18,17	120	10
n ₃	"	180	0,80	9,60	35	27,33	120	10
s ₀	Na ₂ SO ₄	0	-	-	-	-	-	-
s ₁	"	50	0,22	2,64	23	11,48 ^a	120	10
s ₂	"	100	0,44	5,28	23	22,96	120	10
s ₃	"	150	0,66	7,92	23	34,43	120	10

3.5.3 Siembra y riego

La siembra se llevó a cabo el 24 de octubre, colocando cuatro semillas por maceta. Para controlar la humedad de las macetas se instaló tensiómetros, a 5 y 15 cm de profundidad. El cálculo de la cantidad de agua de riego (se utilizó agua de lluvia) se efectuó en base a la curva de desorción para las tensiones de 0,2-0,8 bares, aplicando la siguiente fórmula:

$$H_v = \frac{\rho_a}{\rho_{ag}} \times H_g \quad (26)$$

donde:

H_v	=	humedad volumétrica	(%)
H_g	=	humedad gravimétrica	(%)
ρ_a	=	densidad aparente	(g/ml)
ρ_{ag}	=	densidad del agua	(g/ml)

3.5.4 Control de insectos y enfermedades

El suelo con el que se trabajó no fue desinfectado. Pero en el transcurso del experimento se presentaron ataques leves de insectos, hongos, que no llegaron a afectar el rendimiento. Para el control de los insectos y enfermedades se aplicaron productos químicos, como Ekatín, P.C.N.B y Karatane.

3.5.5 Toma de datos en el momento de la cosecha

Una vez finalizado el ciclo vegetativo del cultivo, a los 70 días de la siembra, se llevó a cabo la cosecha, los datos que

se tomaron en cuenta son los siguientes: número de vainas por maceta, número de vainas por planta, número de semillas por vaina promedio, peso promedio de semillas, peso de semillas por planta, peso de semillas por maceta, peso promedio de la vaina, peso total de las vainas por maceta, materia seca de la porción aérea, y materia seca de la porción radical. Todo el material debidamente identificado se llevó a la estufa a una temperatura de 70°C por 48 horas, para después determinar la materia seca de la porción aérea y radical.

3.5.6 Estandarización del rendimiento

La semilla recolectada en el invernadero, para poder comparar el peso entre tratamientos, se estandarizó a la humedad del 13 por ciento, siguiendo el siguiente procedimiento: primeramente se pesó la semilla húmeda y luego se puso a secar en una estufa con una temperatura de 105°C por 16 horas*, luego se determinó el contenido de humedad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100$$

Una vez que se consiguió el porcentaje de humedad de los diferentes tratamientos, se estandarizó a la humedad del 13 por ciento, usando la siguiente fórmula:

* Echandi, R. Comunicación personal.

$$PF = \frac{PI (100 - HI)}{100 - HF}$$

donde:

PF = peso final
 PI = peso inicial
 HI = humedad inicial
 HF = humedad final

3.6 Análisis de laboratorio

El análisis de laboratorio consistió en análisis químico y físico del suelo en estudio, análisis de planta, tanto de las hojas como raíces tomadas en el momento de la cosecha. El número de determinaciones en el análisis químico se muestra en el Cuadro 3 y los resultados de estos análisis en el Cuadro 13 del Apéndice. De la misma manera las determinaciones físicas del suelo se presentan en el Cuadro 4 y los resultados respectivos en el Cuadro 12 del Apéndice.

3.6.1 Determinaciones químicas de la planta

Las determinaciones químicas detalladas a continuación se realizaron en semillas, hojas y raíces:

Nitrógeno total: Las muestras fueron tomadas durante la cosecha del experimento. Se siguió el método de micro-kjeldahl de Bremmer (14).

Azufre total: Siguiendo el método del $BaCl_2$ por turbidimetría, descrito por Fox (27).

Cuadro 3. Determinaciones químicas del suelo.

Determinaciones químicas	Método	Referencia
Reacción del suelo (pH)	Potenciómetro Beckman, relación agua-suelo 1:1	Saíz del Río y Bornemisza (59)
Materia orgánica	Walkley - Black	Saíz del Río y Bornemisza (59)
Carbón orgánico	Calculado a partir de la materia orgánica	Allison, L. E. (4)
Nitrógeno total	Micro-Kjeldahl	Bremmer, J. M. (14)
Fósforo disponible	Bray I	Bray, R. H. (13)
Calcio, magnesio y potasio intercambiables	Acetato de amonio 1N, pH 7,0	Albán, L. A. (3)
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio	Fuentes, R. (29)
Elementos menores Fe, Mn, Zn y Cu	Oxalato de amonio	Reisenauer, H. M. (55)
Azufre total	Digestión y turbidimetría (BaCl ₂)	Chaudry, I. A. (20)
Azufre intercambiable	Turbidimetría (BaCl ₂)	Fox, R. L. (27)

Cuadro 4. Determinaciones físicas del suelo.

Determinaciones físicas	Método	Referencia
Textura	Hidrómetro	Bouyoucus, C.J. (12)
Densidad aparente	Cilindro de volumen conocido	Blake, G. R. (8)
Densidad de sólidos	Kerosene	Forsythe, W. M. (26)
Curva de desorción	Richards modificado por Forsythe	Forsythe, W. M. (26)
Humedad gravimétrica	$H_g (\%) = \frac{M_{ag}}{M_s}$	Forsythe, W. M. (26)
Humedad volumétrica	$H_v = \frac{\rho_a}{\rho_{ag}} \times H_g$	Forsythe, W. M. (26)
Porosidad total	$E = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}$	Forsythe, W. M. (26)
Espacio aéreo	$E_a = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}\right) - \frac{H_g \rho_a}{100 \rho_{ag}}$	Forsythe, W. M. (26)

Calcio, magnesio y potasio: En el extracto obtenido por el método nítrico-perclórico, se hizo la lectura directa por absorción atómica.

3.7 Análisis estadístico

Los datos obtenidos en el experimento fueron procesados en una computadora IBM-1130 de la Unidad de Estadística y Computación, del IICA-CTEI. Los pasos que se dieron en el análisis estadístico son los siguientes: con el propósito de detectar el efecto principal de los factores estudiados nitrógeno y azufre en el rendimiento del frijol se procedió al análisis de variancia de las variables consideradas de mayor importancia como: rendimiento, contenido de proteína en la semilla, relación nitrógeno-azufre de la semilla, y relación de la parte aérea con respecto a la parte radical en base al peso de la materia seca. Seguidamente se hizo el ajuste del modelo matemático por superficie de respuesta, así a continuación presentamos la función de producción:

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

donde:

Y = función de producción

b_0 = media general

b_1 = efecto de nitrógeno

b_2 = efecto de azufre

b_{12} = interacción nitrógeno-azufre

4. RESULTADOS

4.1 Características físicas del suelo

Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 12 del Apéndice e indican que el suelo en estudio pertenece a la categoría de franco arcilloso aunque tornándose arenoso después de los 30 cm de profundidad. Otras características son las siguientes:

Densidad aparente

Los valores obtenidos varían entre 1,030 y 1,160 g/cc, con tendencia a aumentar en la profundidad. El valor más alto, 1,160 g/cc se encuentra entre 30 y 60 cm, mientras que los más bajos se encuentran entre los 0-10 cm y 60-80 cm de profundidad. De cualquier manera, los valores indicados no parecen ser críticos y consecuentemente no existirá un impedimento mecánico a la penetración de las raíces de la planta.

Densidad de partículas

Los valores de la densidad de partículas dan una indicación de los minerales presentes en el suelo, en el presente caso, aparentemente el suelo entre 0 y 30 cm de profundidad contiene minerales más livianos que aquellos presentes entre 30 y 80 cm. No se efectuó el análisis mineralógico para poder identificar el tipo de minerales presente.

Porosidad

En general los valores de porosidad del suelo no parecen ser críticos; sin embargo, posiblemente por características de textura,

el suelo en toda su profundidad muestra poseer una alta capacidad de retención de humedad (48% en volumen), lo cual en determinada época del año, época de lluvias, puede ocasionar condiciones de deficiencia de aireación tal como se observa en el caso actual, pues los horizontes 0-10 y 30-60 cm de profundidad denotan condiciones de baja aireación (9,2 y 8,7%), respectivamente, en tales condiciones la planta puede sufrir y ser afectado en el rendimiento.

4.2 Características químicas del suelo

El pH del suelo con un valor promedio para la capa arable (0-30 cm) de 6,0, se encuentra en el rango adecuado. En el aspecto nutritivo podemos decir que los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, carbono orgánico y relación C/N (3,6 ; 0,20 ; 2,1 y 10,5) respectivamente, de acuerdo con los patrones de comparación, son adecuados. La concentración de fósforo disponible es muy baja. El azufre intercambiable está en el rango de bajo a medio. Las mayores variaciones se encuentran en el contenido de bases intercambiables, donde el potasio es alto, mientras que el calcio y magnesio son muy bajos; por lo tanto, las relaciones entre estos elementos presentan serios desbalances. La capacidad de intercambio de cationes es baja. En cuanto a los elementos menores podemos decir que el Mn y Zn, se encuentran en cantidades normales, en cambio el Fe y Cu se encuentran en cantidades muy elevadas.

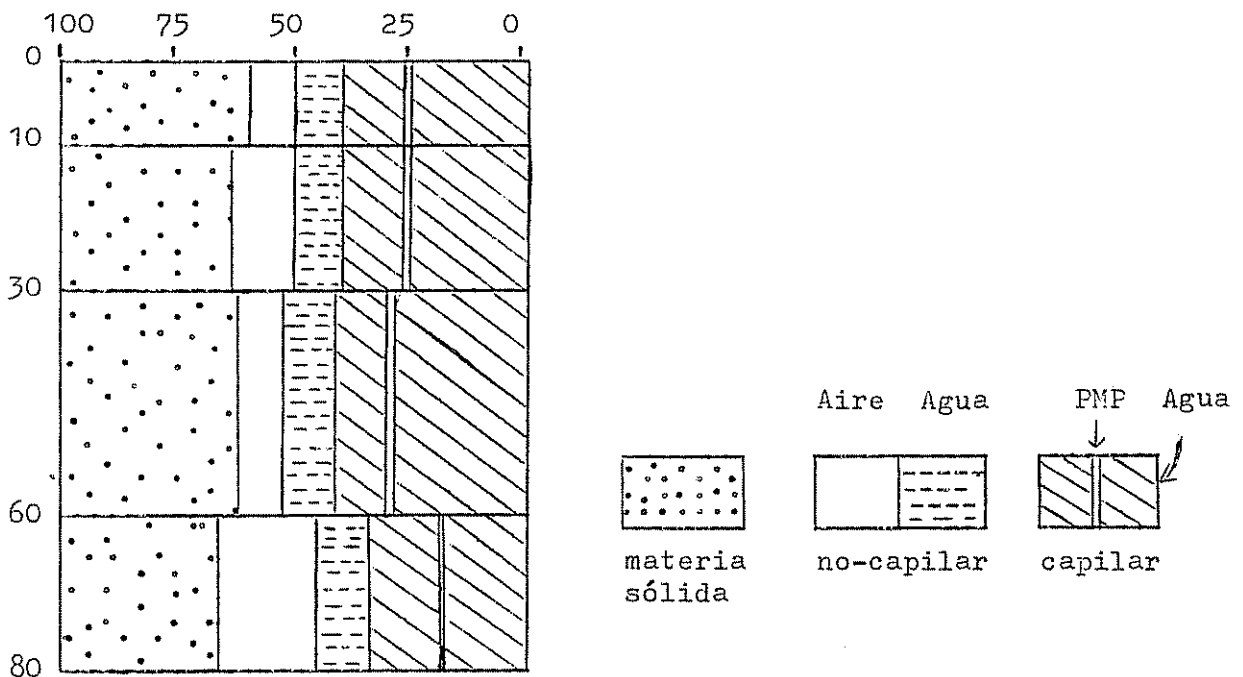
4.3 Rendimiento

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico se presentan en el Cuadro 1 del Apéndice.

Cuadro 5. Diagrama de porosidad del suelo utilizado en el experimento.

Profundidad (cm)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Agua (g)	Densidad aparente (g/cc)	Densidad real (g/cc)	Porosidad total %	Agua %	Aire %
0-10	166,4	113,1	53,3	1,03	2,4	57,2	48	9,2
10-30	169,1	115,7	53,4	1,06	2,6	59,4	48	11,4
30-60	179,7	126,9	52,8	1,16	2,7	57,7	49	8,7
60-80	160,8	113,1	47,7	1,03	2,7	61,7	43	18,7

Profundidad (cm)	Porosidad total %	Indice de textura	Espacio poroso capilar %	Espacio poroso no capilar (%)	Agua %	Agua en espacio no capilar (%)	Aire en espacio no capilar (%)
0-10	57,2	35,6	36,7	20,5	48	11,3	9,2
10-30	59,4	34,6	36,7	22,7	48	11,3	11,4
30-60	57,7	32,3	37,4	20,3	49	11,6	8,7
60-80	61,7	25,8	26,6	35,1	43	16,5	18,6



Para poder hacer una interpretación adecuada del rendimiento del presente estudio, aprovechamos el análisis de variancia correspondiente, que presentamos en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Análisis de variancia de rendimiento, proteína de la semilla, relación N/S de la semilla, y relación peso seco de parte aérea y raíces, respectivamente.

FV	GL	CM	CM	CM	CM
S	3	30048,07NS	1,74NS	870,05NS	2.96NS
N	3	1567200,75**	4,54*	1839,51**	4,48NS
S x N	9	22362,77NS	0,80NS	724,32NS	1,82NS
Error	32	10594,57	1,38	399,23	3,82
Total	47				

A juzgar por los rendimientos obtenidos se puede afirmar que el factor azufre no ha detectado efecto importante sobre la variable en particular para las probabilidades del 95 y 99 por ciento. La tasa lineal de incremento del rendimiento como efecto del factor azufre es igual a:

$$\frac{dY}{dS} = - 1.41528$$

El efecto principal o individual del factor nitrógeno es altamente significativo sobre la variable del rendimiento para una

probabilidad del 99 por ciento. Lo que nos sugiere que la tasa lineal del incremento del rendimiento como efecto del factor nitrógeno es igual a:

$$\frac{dY}{dN} = 1.82211$$

La interacción o combinación de los factores nitrógeno y azufre no detecta efecto significativo en el rendimiento, por lo tanto podemos decir que los elementos en estudio aparentemente actúan en forma independiente para dosis bajas de nitrógeno. Para un mejor estudio del comportamiento de estos nutrimentos podemos observar en la Figura 1 que el azufre es ligeramente detrimental cuando el nitrógeno se encuentra en dosis bajas, así: el tratamiento testigo con cero kg/ha de nitrógeno y azufre, respectivamente, produce un mayor rendimiento que aquellos tratamientos altos en azufre, o sea, que a medida que se aumenta la dosis de azufre manteniendo dosis bajas de nitrógeno el rendimiento es menor. Por el contrario, cuando se incrementa la dosis de nitrógeno la diferencia de rendimiento de los tratamientos de azufre se estrechan hasta llegar a interceptarse, para una dosis de 180 kg/ha de nitrógeno. En vista de que la confiabilidad del ajuste de la curva, fue alta ($R^2 = 0,90$), se hicieron cálculos de predicción para mayores dosis de nitrógeno, con la intención de conocer el equilibrio óptimo de estos elementos nutritivos. Efectivamente, lo que se obtuvo fue de que a mayores dosis de nitrógeno, el azufre comienza a responder positivamente en el rendimiento, ya que en la curva se encontró el rendimiento máximo para las dosis altas de nitrógeno y azufre (300 y 150 kg/ha respectivamente). Estos resultados permiten

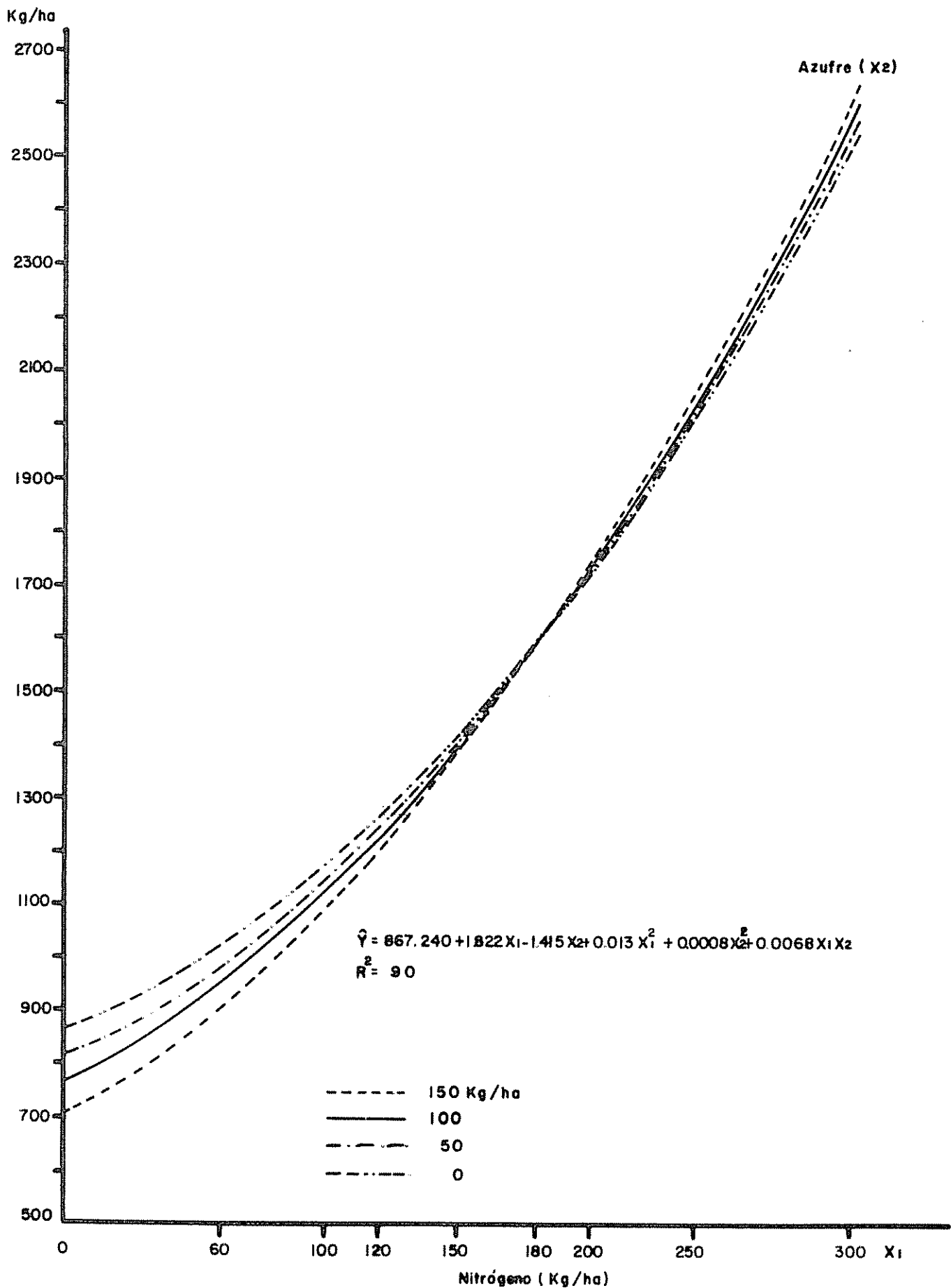


Fig. 1 Rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en Kg/ha de semilla

afirmar de que se requieren altas dosis de nitrógeno para que el azufre muestre un efecto positivo.

El análisis de correlación indica que existe una alta correlación entre el rendimiento y aquellas variables que están íntimamente asociadas con él, o sea: número de vainas por maceta, número de vainas por planta (promedio), número de semillas por maceta, peso estandarizado de semillas (al 13% de humedad). Otras variables que tienen una alta correlación con el rendimiento son: la relación Ca/Mg en la hoja, relación Mg/K en la hoja y relación Ca+Mg/K en la hoja, que se presentan en el Cuadro 20 del Apéndice. Otro aspecto de importancia para el rendimiento del frijol son las correlaciones negativas encontradas, o sea aquellas variables que son antagónicas con el rendimiento, entre éstos podemos indicar los siguientes: azufre total en el grano, azufre total en la hoja, calcio total en el grano, relación Ca/Mg en el grano, relación Ca/K en el grano, y potasio total en la hoja.

4.4 Contenido de proteína en la semilla

Los resultados del contenido de proteína en la semilla (N x 6,25) se presentan en el Cuadro 2 del Apéndice. El análisis de variancia de la proteína se presenta en el Cuadro 6.

A juzgar por el contenido de proteína de la semilla el factor azufre no muestra un efecto importante sobre la variable indicada, para las probabilidades del 95 y 99 por ciento. El contenido de proteína de la semilla para los diferentes tratamientos se muestra en el Cuadro 2 del Apéndice, en el que se puede ver que el contenido de

proteína aumenta con el contenido de azufre pero sin llegar a ser significativo.

El efecto principal del factor nitrógeno es significativo sobre la variable en particular para una probabilidad del 95 por ciento. El contenido de proteína de la semilla aumenta a medida que aumenta el contenido de nitrógeno.

La interacción o combinación de los factores azufre y nitrógeno no detecta un efecto significativo para la variable en particular, para las dosis bajas de nitrógeno, pero haciendo un cálculo de predicción en base a los resultados del experimento, manteniendo las mismas dosis para el azufre y aumentando las dosis de nitrógeno, se encuentra que el máximo contenido de proteína se obtiene para dosis máximas de nitrógeno y azufre, respectivamente (300 y 150 kg/ha). Se encontró una correlación positiva de $r = 0,90$, de la proteína con el contenido de nitrógeno en la semilla de frijol, lo que quiere decir que el contenido de proteína aumenta cuando la cantidad de nitrógeno aumenta en la semilla de frijol.

4.5 Relación nitrógeno-azufre en la semilla

Los resultados obtenidos de la relación N/S en la semilla, se presentan en el Cuadro 6.

Por los resultados encontrados podemos afirmar que el factor azufre no tiene un efecto de importancia sobre la variable en particular, para las probabilidades del 95 y 99 por ciento; a medida que se aumenta la concentración del azufre aumenta la relación N/S, pero sin llegar a ser significativo.

El factor nitrógeno detecta un efecto altamente significativo sobre la variable considerada para una probabilidad del 99 por ciento, lo que nos sugiere que la relación N/S aumenta con el contenido de nitrógeno.

La interacción o combinación de los factores nitrógeno y azufre no detectan efecto importante sobre la variable en particular, para las probabilidades del 95 y 99 por ciento. Todas las correlaciones de la relación N/S con el resto de las variables no son significativas por ser muy bajas tanto positivas como negativas.

4.6 Relación de la parte aérea y raíces en base a peso seco

El análisis de variancia de la relación peso seco de parte aérea y raíces, tomada en cuenta en base a la materia seca, tanto aérea como radical en el momento de la cosecha, se presentan en el Cuadro 6.

A juzgar por los resultados encontrados podemos afirmar que el factor azufre no detecta efecto importante sobre la variable considerada para las probabilidades del 95 y 99 por ciento. En el Cuadro 4 del Apéndice se puede ver que la relación peso seco de parte aérea y raíces aumenta con dosis mayores de azufre para declinar nuevamente para las dosis máximas, pero por ser la variación muy pequeña no es significativo.

El factor nitrógeno tampoco detecta efecto importante sobre la variable en particular, pero se nota un incremento de la variable considerada a medida que aumenta la dosis de nitrógeno sin llegar a ser significativo.

La interacción de los factores azufre y nitrógeno no detecta efecto importante sobre la variable en estudio para las probabilidades del 95 y 99 por ciento. Pero se puede ver en el Cuadro 4 del Apéndice, que la relación más alta de la relación peso seco de parte aérea y raíces, se encuentra a la dosis de 100 kg/ha de azufre y 180 kg/ha de nitrógeno, y sigue aumentando para mayores dosis de nitrógeno.

La relación peso seco de parte aérea y raíces, tiene una alta correlación positiva con las siguientes variables: nitrógeno total en la raíz, Ca-total en la raíz y relación Ca/K en la raíz.

4.7 Otros componentes del rendimiento de la planta

Las variables que están íntimamente relacionados con la variable del rendimiento son: número de vainas por maceta, número de vainas por planta promedio, número de semillas por planta, número de semillas por maceta, peso de semillas al 13 por ciento de humedad, y materia seca de la parte aérea y materia seca de la parte radical. Por lo tanto, estas variables de producción tienen el mismo comportamiento que la variable de rendimiento así: el efecto del factor azufre no tiene una influencia tan marcada como el factor nitrógeno, lo que quiere decir que la respuesta de estas variables se deben principalmente a la aplicación del factor nitrógeno según los resultados encontrados para las dosis aplicadas en el experimento.

5. DISCUSION

Los resultados encontrados en el presente estudio permiten afirmar que los rendimientos obtenidos están en función de la aplicación de nitrógeno principalmente.

El comportamiento del azufre para las dosis aplicadas no presentó un efecto importante sobre el rendimiento. Aparentemente el azufre tiene un efecto positivo cuando se incrementan las dosis de nitrógeno muy por encima de la aplicada en el experimento.

Estos resultados parecen concordar con los encontrados por Stewart (63), quien en un experimento con frijol (Phaseolus vulgaris L.), en la Estación Experimental de Colorado, encontró un gran incremento en el rendimiento cuando adicionó una parte de azufre por 30 partes de nitrógeno. Un incremento adicional del rendimiento, pero mucho más pequeño, fue obtenido por la adición de 1 parte de azufre por cada 15 partes de nitrógeno aplicado. Generalmente no hubo diferencia significativa entre los rendimientos de los tratamientos recibiendo 1 parte de azufre por 15 partes de nitrógeno adicionado y aquellos que recibieron 1 parte de azufre por cada 5 partes de nitrógeno aplicado.

Otros autores (18, 38, 55) concuerdan con los resultados encontrados en el presente experimento, a pesar de haber trabajado con otras especies de plantas, así: Cowling (18), en un estudio realizado sobre la disponibilidad del S para ryegrass, en suelos de Inglaterra, indica que las adiciones de azufre han tenido un incremento grande en el rendimiento de materia seca de 6,5 - 19,0 g por maceta, con el nivel

más alto de nitrógeno.

Jones (38), en experimentos con alfalfa (Medicago sativa) y cuatro leguminosas tropicales (Stylosanthes grandis, Centrocema pubescens, Glycine javanica y Phaseolus ottopurpureus), fueron cultivados en suelos deficientes en S del Brasil. Indica que contenidos de nitrógeno aumentaron, incrementando la proporción de azufre aplicado, seguido de un incremento del rendimiento en materia seca.

Reisenauer (55) indica que fue altamente significativo el aumento de rendimiento, como efecto de la fertilización nitrogenada y azufrada de la cebada. Aplicaciones de fertilizantes azufrados aumentaron los rendimientos solamente cuando se aplicó fertilizantes nitrogenados.

En cuanto al contenido de proteína en la semilla (N x 6,25), los resultados nos indican que el máximo contenido de proteína se encuentra para dosis máximas de nitrógeno y azufre (180 y 150 kg/ha, respectivamente). El contenido de proteína aumenta paulatinamente a medida que se aumenta la dosis de nitrógeno principalmente, lo que se confirma con los estudios realizados por Stewart (63), que dice que los cultivos requieren 1 parte de azufre por cada 15 partes de nitrógeno por peso para la síntesis de proteína y por lo tanto, la más grande proporción de nitrógeno está en la proteína.

Muller (50) sugiere que si hay deficiencia de azufre en el suelo y consecuentemente en la planta, se presenta una acumulación de N y P en los tejidos afectados. Esto puede explicarse por la interferencia en la síntesis de proteína, ya que el azufre es uno de los elementos

componentes de ciertos aminoácidos. Por otro lado, si se aumenta la concentración de N, se aumenta la síntesis de proteínas y el agotamiento de las reservas de S en la planta puede ser mayor, por esta razón es posible observar en el campo una deficiencia de S después de una prolongada aplicación de nitrógeno.

Según Dijkshoorn (23), las plantas deficientes en azufre, la relación N/S orgánico disminuye debido al aumento del N-no-proteínico bajo en azufre. Los requerimientos de azufre para el crecimiento son indicados por la normal relación N/S. En la mayoría de las especies el azufre se halla mayormente como cistina, metionina y está directamente relacionado con el metabolismo de la proteína.

Hanower (32) encontró que las dosis relativas de nitrógeno, azufre y arginina de las plantas de aráquides cultivadas en el invernadero sobre arena, la carencia de azufre influye en la disminución del nitrógeno proteico. En dicho caso, la cantidad de proteína en todos los órganos y en todos los estados vegetativos resulta claramente inferior a las plantas suministradas con azufre. En la formación de las legumbres, la cantidad de proteína resulta unas diez veces menor. La carencia de azufre determina una disminución de azufre en la proteína de todos los órganos y un aumento del tenor de arginina en la proteína presente en la parte aérea.

En la relación N/S de la semilla, obtenida en el experimento, nos sugiere que el azufre no tiene un efecto importante sobre la relación considerada, pero se encontró que a dosis bajas de azufre hay una disminución de la relación N/S, pero una vez que se aumenta la dosis de azufre hay un incremento rápido de esta relación.

El comportamiento del nitrógeno es un tanto diferente comparado con el azufre, en primer lugar, tiene un efecto altamente significativo sobre la relación N/S de la semilla, de la misma manera que para el azufre, cuando el nitrógeno se encuentra en dosis bajas hay una relación N/S baja, pero a medida que se aumenta la dosis de nitrógeno, aumenta la relación N/S hasta llegar a un máximo. Una relación N/S adecuada (17) para la síntesis de proteína y al mismo tiempo con un alto rendimiento en semilla, se ha obtenido para la dosis de 150 y 75 kg/ha de nitrógeno y azufre, respectivamente. Esta misma relación se puede obtener para dosis más altas de nitrógeno y azufre, acompañado de un mayor rendimiento.

Según Dijkshoorn y van Wijk (23), cuando la relación N-total/S-total de la planta (tejido de hoja) está por encima de 16, la falta de azufre puede ser limitante para la formación de la proteína. Una relación cerca de 20 o mayor indica que el azufre está severamente deficiente. Relaciones substancialmente menores que 15 sugieren que tiene acumulado una grande cantidad de S-inorgánico, ésta acumulación no tiene influencia en el rendimiento de la materia seca ni en la proteína.

Pumphrey (53) indica que la relación N/S en la planta de alfalfa (Medicago sativa), fue cercanamente constante en todos los estados de crecimiento y fue más estrecha en las no deficientes que en las deficientes en azufre en las plantas verdes, que da lugar a la posibilidad de usar la relación N/S como un instrumento de diagnóstico para predecir la necesidad de la fertilización de azufre.

El resultado obtenido para la relación peso seco de parte aérea y raíces, tomada en cuenta con base a la materia seca, nos sugiere que el azufre a pesar de no tener un efecto importante sobre la variable en particular, hay un pequeño incremento de la relación peso seco de parte aérea y raíces, para disminuir nuevamente para dosis altas de azufre, pero por ser la variación muy pequeña no es significativo.

El comportamiento del nitrógeno con respecto a la relación peso seco de parte aérea y raíces es como sigue: para dosis bajas de nitrógeno la relación indicada anteriormente es baja, pero a medida que se incrementa las dosis de nitrógeno aumenta esta relación; el factor nitrógeno tampoco tiene un efecto importante sobre la variable en particular, pero comparado con el azufre el incremento de la relación en consideración tiene mayor efecto por la aplicación de nitrógeno, lo que nos sugiere que para mayores dosis de nitrógeno la parte aérea de la planta será mayor que la parte radical.

Ulrich (67), en trabajos de invernadero con alfalfa (Medicago sativa), encontró que el crecimiento aéreo fue disminuido mucho más que el crecimiento de las raíces por deficiencia de azufre, con la relación de disminución de la parte aérea a raíces de cerca de cinco a menor de 1,5.

6. CONCLUSIONES

1. El rendimiento máximo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) de la variedad denominada 27-R, obtenido en el presente experimento parece estar en función de la aplicación de nitrógeno principalmente.
2. Aparentemente la dosis máxima aplicada de nitrógeno, fue demasiado baja para poder encontrar el equilibrio óptimo, de los elementos estudiados nitrógeno y azufre, con la correspondiente disminución del rendimiento.
3. No hubo respuesta positiva al azufre con aplicaciones bajas de nitrógeno. De acuerdo con un cálculo de predicción el azufre podría responder en forma positiva, cuando se aumenta la dosis de nitrógeno.
4. El contenido máximo de proteína en la semilla de frijol, se encontró para dosis altas de nitrógeno y azufre.
5. La relación nitrógeno-azufre óptima (17:1) para la síntesis de proteína, se encontró en varias combinaciones de nitrógeno y azufre. Por lo tanto no siempre está relacionado con un alto rendimiento del frijol.
6. La relación peso seco de parte aérea y raíces está en función de la aplicación de nitrógeno, encontrándose una relación óptima con altas dosis de nitrógeno; el azufre no influye tan marcadamente como el nitrógeno sobre la relación peso seco de parte aérea y raíces.
7. Los otros componentes del rendimiento de la planta como son:

número de vainas por planta promedio, número de semillas por planta, peso de semillas al 13 por ciento de humedad, se comportan de la misma manera que el rendimiento, o sea, que están en función de la aplicación de nitrógeno principalmente.

7. RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en el invernadero del IICA-CTMI, Turrialba, Costa Rica, con el objeto de determinar el efecto del nitrógeno y azufre en el rendimiento y contenido de proteína del frijol (Phaseolus vulgaris L.).

Los suelos utilizados pertenecen a la serie Instituto arcilloso (Orden Dystropepts, según la clasificación de la VII Aproximación), que se colocó en macetas metálicas de una capacidad de siete kilogramos.

Se utilizó una semilla de frijol de la variedad denominada 27-R, con un poder germinativo del 99 por ciento.

El diseño estadístico fue el de irrestrictamente al azar con tres repeticiones, con un arreglo factorial 4^2 , siendo los factores de variación el nitrógeno y el azufre, cada uno de estos elementos con cuatro niveles, que corresponden a 16 tratamientos y 48 unidades experimentales. El resto de los elementos nutritivos se les aplicó en un nivel estandar.

Se encontró que el rendimiento del frijol está en función de la aplicación de nitrógeno principalmente.

La dosis máxima de nitrógeno fue demasiado baja para encontrar un equilibrio óptimo del nitrógeno y azufre, con la consiguiente disminución del rendimiento.

El azufre no responde cuando el nitrógeno se encuentra en dosis bajas, se cree que usando dosis más altas de nitrógeno el comportamiento de azufre sea positivo con el consiguiente aumento del

rendimiento.

El contenido máximo de proteína de la semilla de frijol, se encontró con dosis altas de nitrógeno y azufre.

La relación N/S óptima (17:1) para la síntesis de proteína, no siempre está relacionado con un alto rendimiento del frijol.

7a. SUMMARY

An investigation was carried out under greenhouse conditions at IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica, to assess the effect of nitrogen and sulphur on bean yields and protein content of the seed.

Soil belonging to the Institute clay series, (Order Dystropepts) was placed in tin pots and planted with beans (Phaseolus vulgaris L.) variety 27-R.

A factorial 4^2 experiment with a complete randomized block design was used with varying levels of nitrogen and sulphur. All treatments were in triplicate and received a basic application of all other nutrient elements.

Results indicated that yield depended mainly on nitrogen application; however, maximum yields were not obtained with the levels selected.

There was no response to sulphur application at the nitrogen levels applied in this experiment. Employing prediction equations it appears that a yield response to sulphur would be expected at higher levels of nitrogen application.

Maximum protein contents in bean seed corresponded to the pots receiving the higher nitrogen and sulphur applications.

The optimum N/S ratio (17:1) for adequate protein synthesis was not always associated with higher bean yields.

8. LITERATURA CITADA

1. ADAMS, C. A. y SHEARD, R. W. Alterations in the nitrogen metabolism of Medicago sativa and Dactylis glomerata as influenced by potassium and sulfur nutrition. *Canadian Journal of Plant Science* 46:671-680. 1966.
2. AGUIRRE, A. V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA-CTEI. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 137 p.
3. ALBAN, L. A. y KELLOG, M. Methods of soil analysis as usual in the Oregon State Soil Testing Laboratory. Oregon. Agricultural Experimental Station. Miscellaneous Paper no. 65. 1959. 9 p.
4. ALLISON, L. E. Organic carbon. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1968. pp. 1367-1378.
5. ARORA, S. K. y LUTHRA, Y. P. Relationship between sulphur content of leaf with methionine, (Cystine) and Cysteine contents in the seeds of Phaseolus aureus L. as affected by S, P, and N application. *Plant and Soil* 34:91-96. 1971.
6. BIXBY, D. W., TISDALE, S. L. y RUCKER, D. L. Adding plant nutrient sulphur to fertilizer. The Sulphur Institute. Technical Bulletin 10. 1964.
7. _____ y RUCKER, D. L. Adding plant nutrient sulphur to fluid fertilizers. The Sulphur Institute. Technical Bulletin 11. 1965.
8. BLAKE, G. R. Bulk density. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1968. pp. 211-223.
9. _____. Particle density. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1968. pp. 374-390.
10. BLASCO, M. Curso de microbiología de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1970. 247 p.
11. BORNEMISZA, E. y MORALES, J. C. Soil chemical characteristics of recent volcanic ash. *Soil Science Society of American Proceedings* 33:328-530. 1969.

12. BOUYOUCUS, C. J. Recalibration of hydrometer methods for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 43(9): 434-438. 1951.
13. BRAY, R. H. y KURTZ, L. T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1):39-45. 1945.
14. BREMMER, J. M. Total nitrogen. *In* Black, C. A. *et al.*, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1171-1175.
15. CAIRNS, R. R. y CARSON, R. B. Effect of sulphur treatments on yield and nitrogen and sulphur content of alfalfa grown on sulphur deficient and sulphur sufficient grey wooded soils. *Canadian Journal of Plant Science* 41:709-715. 1961.
16. CALDWELL, A. C., SEIM, E. C. y REHM, G. W. Sulphur effects on the elemental composition of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal* 61(4):632-634. 1969.
17. COLEMAN, R. The importance of sulfur as a plant nutrient in world crop production. *Soil Science* 101(4):230-239. 1965.
18. COWLING, D. W. y JONES, L. H. P. A deficiency in soil sulphur supplies for perennial ryegrass in England. *Soil Science* 110(5):346-354. 1970.
19. CHAO, T. T., HARWARD, M. E. y FENG, S. C. Iron or aluminium coatings in relation to sulphate adsorption characteristics of soils. *Soil Science Society of American Proceedings* 28:632-635. 1964.
20. CHAUDRY, I. A. y CORNFIELD, A. H. The determination of total sulphur in soil and plant material. *Analyst* 91:528-530. 1966.
21. CHOPRA, S. L. y KANWAR, J. S. Effect of sulphur fertilization on the chemical composition and nutrient uptake by legumes. *Soils and Fertilizers* 30(1):98. 1966.
22. DELGA, A. M. y TOUZE, A. Effect of some macro-elements deficiencies (S, Mg, P, K) on nitrogen metabolism of melon seedlings. *Soils and Fertilizers* 30(2):172-173. 1966.
23. DIJKSHOORN, W. y WIJK, A. L. VAN. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter. A review of published data. *Plant and Soil* 26:129-157. 1967.

24. DUBE, S. D. y MISRA, P. H. Effect of sulphur deficiency on growth, yield and quality in some of the important leguminous crops. *Soils and Fertilizers* 35(1):96. 1972.
25. ENSMINGER, L. E. Some factors affecting the adsorption of sulphate by Alabama soils. *Soil Science Society of American Proceedings* 18:259-264. 1954.
26. FORSYTHE, W. M. Manual de laboratorio de física de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 217 p.
27. FOX, R. L. Evaluating the sulphur status of soils by plant and soil tests. *Soil Science Society of American Proceedings* 28:243-246. 1964.
28. _____ et al. Sulphur fertilizers for alfalfa production in Nebraska. Nebraska Agricultural Experiment Station. *Research Bulletin*. 1964.
29. FUENTES, F. R. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en algunos suelos ácidos de origen volcánico. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 107 p. (Mimeografiada).
30. GARCIA, A. R., LUCENA, F. C. y PEREZ, R. P. Contenido en azufre de los suelos de la cuenca media del río Tormes. *Agrochimica* 1(3):201-210. 1965.
31. HAAG, H. P. et al. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. *Bragantia* 26, 30. pp. 381-391. 1967.
32. HANOWER, P. y BROZOZOWSKA, K. Influence de la deficiencia en Soufre sur la composition des proteines de l'arachide. *Agrochimica* 3(2):129-135. 1969.
33. HARWARD, M. E., CHAO, T. T. y RANG, S. C. The sulphur status and sulphur supplying power of Oregon soils. *Journal of Agronomy* 54(2):101-106. 1959.
34. _____ y REISENAUER, H. M. Reactions and movement of inorganic soil sulphur. *Soil Science* 101:326-335. 1966.
35. HOLDRIDGE, L. R. Mapa ecológico de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1959. Escala 1:1.000.000.
36. HUNTER, B. Farm methods of applying land plaster in Western Washington. U.S. Department of Agriculture. Bureau Plant Circular 22. 1909.

37. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA. CENTRO TROPICAL DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION. Resumen de datos meteorológicos anuales. Turrialba, Costa Rica, 1970. p. irr.
38. JONES, M. B. y QUAGLIATO, J. L. Response of lucerne and four tropical legumes to different rates of sulphur. *Soils and Fertilizers* 35(1):95-96. 1972.
39. JONES, R. K., ROBINSON, P. J., HAYDOCK, K. P. et al. Sulphur-nitrogen relationships in the tropical legume Stylosanthes humiles. *Soils and Fertilizers* 35(3):335. 1972.
40. JORDAN, H. V. y REISENHAUER, H. M. Sulphur and soil fertility. In U.S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture, Washington, D. C., 1957. pp. 107-111.
41. _____ y BARDSLEY, C. E. Response of crops to sulphur on southeastern soils. *Soil Science Society of American Proceedings* 22:254-256. 1958.
42. _____ y ENSMINGER, L. E. The role of sulphur in soil fertility. *Advances in Agronomy* 10:408-433. 1958.
43. JUSTE, C., DELAS, J. y TAUZIN, J. Sulphur deficiency in lucerne in a charente soil. III. Sulphur. Molibdenum interaction in a pot experiment. *Soils and Fertilizers*. 1971.
44. KOTER, M. y GRZESIUK, W. The effect of sulphur (CaSO_4) fertilizing on yield and chemical composition of crops. *Soils and Fertilizers* 30(3):300. 1967.
45. McCLUNG, A. C., DE FREITAS, L. M. y LOTT, W. L. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulphur. *Soil Science of American Proceedings* 23:221-224. 1959.
46. McNAUGHT, K. J. y CHRISSTOFFELS, P. J. E. Effects of sulphur deficiency on sulphur and nitrogen levels in pastures and lucerne. *New Zealand Journal of Agronomy* 4:177-196. 1961.
47. MARTINI, J. A. Guía para la investigación en el abonamiento del frijol para el PCCMCA. Turrialba, Costa Rica, 1968. 28 p.
48. MASAYA, P. S. Estudio de la absorción de nutrimentos y crecimiento de raíces de la planta de frijol, Phaseolus vulgaris L., var. "Turrialba-4". Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 57 p.

49. MULLER, L. E. Deficiencia de azufre en algunos suelos de Centro América. *Turrialba (Costa Rica)* 15(3):208-215. 1965.
50. _____. Deficiencia de azufre se registra en algunos suelos de América Latina. *El Colombiano, Medellín*. Julio. 1966. 10 p.
51. PASRICHA, N. S. y RANDHAWA, N. S. Available molybdenum status of some recently reclaimed saline-sodic soils and its effects on concentration of molybdenum, copper, sulphur, and nitrogen in berseem (*Trifolium alexandrinum*) grown on these soils. *Soils and Fertilizers* 35(1):96-97. 1972.
52. PERDOMO, R. y HAMPTON, H. E. Ciencia y tecnología del suelo. Biblioteca del Congreso, Washington, D. C., 1970. 366 p.
53. PUMPHREY, F. V. y MOORE, D. P. Sulphur and nitrogen content of alfalfa herbage during growth. *Agronomy Journal* 57: 237-239. 1965.
54. REISENAUER, H. M. y DICKSON, A. D. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on yield and malting quality of barley. *Agronomy Journal* 53(2):192-195. 1960.
55. _____. Acid ammonium oxalate method. In Black, C. A. et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1056-1057.
56. REHM, G. W. y CALDWELL, A. C. Effects of the separation of nitrogen and sulphur sources on sulphur uptake by corn. *Soil Science Society of American Proceedings* 34(5):769-772. 1970.
57. RICHARDS, L. A. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Science* 68:95-112. 1949.
58. _____ y OGATA, G. Psychrometric measurements of soil samples equilibrated on pressure membranes. *Soil Science Society of American Proceedings* 25(4):456-459. 1961.
59. SAIZ DEL RIO, J. R. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos: métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 107 p.
60. SEIM, E. C., CALDWELL, A. C. y REHM, G. W. Sulphur response by alfalfa (*Medicago sativa* L.) on a sulphur deficient soil. *Agronomy Journal* 61(3):368-371. 1969.

61. SELKE, W. Los abonos. Traducido por Ortwin Günther-León. León, España, Academia, 1968. 441 p.
62. SORENSEN, R. C., PENAS, E. J. y ALEXANDER, U. U. Sulphur content and yield of alfalfa in relation to plant nitrogen and sulphur fertilization. *Agronomy Journal* 60(1):20-23. 1968.
63. STEWART, B. A. y PORTER, L. K. Nitrogen - sulphur relationships in wheat (Triticum aestivum L.), corn (Zea mays), and beans (Phaseolus vulgaris). *Agronomy Journal* 61:267-271. 1969.
64. SUDHAKARA REDDY, C. y MEHTA, B. V. Response of alfalfa (Medicago sativa L.) to sulphur application on loomy sand soil of anand. *Soils and Fertilizers* 34(3):339. 1971.
65. TISDALE, L. S. y NELSON, W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducción del inglés por Jorge Balash y Carmen Piña. Barcelona, Montoner y Simon. 1970. 760 p.
66. ULRICH, A., TABATABAII, M. A., OHKI, K. y JOHNSON, C. M. Sulphur content of alfalfa in relation to growth in filtered and infiltrated air. *Plant and Soil* 26:235-253. 1967.
67. _____ y HYLTON, L. O. Sulphur nutrition of Italian ryegrass measured by growth and mineral content. *Plant and Soil* 29:274-284. 1968.
68. WALKER, K. W. The use of sulphur as a fertilizer. *Agrochimica* 1(1):1-14. 1964.
69. WOODING, F. J., PAULSEN, G. M. y MURPHY, L. S. Response of nodulation and non-nodulated soybean seedlings to sulphur nutrition. *Agronomy Journal* 62(2):277-280. 1970.
70. WOODHOUSE, W. W. Jr. Long-term fertility requirements of coostol bermudagrass. III. Sulphur. North Carolina State University Agricultural Experiment Station. *Agronomy Journal* 61(5):705-708. 1969.

A P E N D I C E

Cuadro 1. Rendimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en kg/ha.

N kg/ha	S kg/ha						
	00	25	50	75	100	125	150
0	867,23	832,35	815,40	798,45	765,53	733,61	702,67
30	933,29	903,53	889,14	874,75	846,96	820,15	794,34
60	1022,14	997,49	985,66	973,84	951,17	929,49	908,80
90	1133,77	1114,25	1104,98	1095,72	1078,17	1061,61	1046,04
120	1268,19	1253,79	1247,08	1240,38	1227,96	1216,52	1206,08
150	1425,40	1416,13	1411,98	1407,84	1400,54	1394,22	1388,90
180	1605,40	1601,25	1599,66	1598,08	1595,90	1594,71	1594,51
210	1808,18	1809,15	1810,13	1811,11	1814,05	1817,99	1822,90
240	2033,76	2039,85	2043,39	2046,93	2054,99	2064,05	2074,09
270	2282,12	2293,33	2299,43	2305,53	2318,72	2332,90	2348,06
300	2553,27	2569,60	2578,26	2586,93	2605,24	2624,54	2644,83

Cuadro 2. Contenido de proteína en la semilla de frijol (Phaseolus vulgaris L.).

N kg/ha	S kg/ha						
	00	25	50	75	100	125	150
0	20,48	20,77	20,85	20,94	20,98	20,90	20,69
30	20,10	20,43	20,53	20,63	20,71	20,67	20,50
60	19,84	20,21	20,33	20,45	20,57	20,56	20,43
90	19,71	20,11	20,25	20,39	20,55	20,58	20,48
120	19,70	20,15	20,30	20,46	20,66	20,72	20,67
150	19,83	20,31	20,48	20,66	20,89	21,00	20,98
180	20,07	20,59	20,78	20,98	21,25	21,39	21,41
210	20,45	21,00	21,21	21,43	21,74	21,92	21,97
240	20,95	21,54	21,77	22,01	22,35	22,57	22,66
270	21,57	22,20	22,45	22,71	23,09	23,34	23,47
300	22,33	22,99	23,27	23,54	23,95	24,25	24,41

Cuadro 3. Relación nitrógeno-azufre en la semilla de frijol (Phaseolus vulgaris L.).

N kg/ha	S kg/ha						
	00	25	50	75	100	125	150
0	1,17	- 1,71	- 2,35	- 3,00	- 2,68	- 0,77	2,73
30	8,00	5,72	5,38	5,04	5,96	8,48	12,60
60	12,81	11,14	11,10	11,07	12,60	15,73	20,45
90	15,61	14,55	14,81	15,08	17,22	20,95	26,29
120	16,39	15,94	16,51	17,08	19,82	24,17	30,11
150	15,16	15,31	16,18	17,06	20,41	26,36	31,91
180	11,91	12,67	13,85	15,03	18,98	24,54	31,70
210	6,64	8,01	9,45	10,98	15,54	21,61	29,47
240	- 0,63	1,34	3,12	4,91	10,08	16,86	25,23
270	- 9,92	- 7,34	- 5,25	- 3,16	2,61	9,99	18,97
300	-21,24	-18,05	-15,65	-13,26	- 6,87	1,10	10,69

Cuadro 4. Relación parte aérea y raíces, en base a la materia
seca del frijol (Phaseolus vulgaris L.).

N kg/ha	S kg/ha						
	00	25	50	75	100	125	150
0	2,87	3,33	3,46	3,60	3,67	3,54	3,21
30	2,74	3,20	3,33	3,47	3,54	3,41	3,08
60	2,71	3,18	3,31	3,45	3,52	3,39	3,05
90	2,80	3,27	3,40	3,54	3,61	3,47	3,14
120	3,00	3,46	3,59	3,73	3,80	3,67	3,34
150	3,30	3,67	3,90	4,03	4,10	3,97	3,64
180	3,71	4,18	4,31	4,44	4,51	4,38	4,05
210	4,23	4,69	4,82	4,96	5,03	4,90	4,57
240	4,85	5,32	5,45	5,59	5,66	5,52	5,19
270	5,59	6,05	6,18	6,32	6,39	6,26	5,93
300	6,43	6,90	7,03	7,16	7,23	7,10	6,77

Cuadro 5. Número de vainas por maceta.

N kg/ha	S kg/ha						
	00	25	50	75	100	125	150
0	6,33	6,33	6,33	6,33	6,31	6,28	6,25
30	7,34	7,35	7,35	7,35	7,34	7,32	7,29
60	8,31	8,33	8,33	8,33	8,33	8,31	8,29
90	9,23	9,25	9,25	9,26	9,26	9,25	9,23
120	10,09	10,12	10,13	10,14	10,14	10,14	10,12
150	10,91	10,94	10,95	10,96	10,97	10,97	10,97
180	11,68	11,71	11,72	11,74	11,75	11,76	11,76
210	12,39	12,43	12,44	12,46	12,49	12,50	12,50
240	13,06	13,10	13,12	13,14	13,17	13,18	13,19
270	13,69	13,72	13,74	13,76	13,80	13,82	13,83
300	14,24	14,29	14,31	13,34	14,38	14,40	14,42

Cuadro 6. Número de vainas por planta (promedio).

N kg/ha	S kg/ha						
	00	25	50	75	100	125	150
0	3,17	3,19	3,19	3,20	3,21	3,20	3,18
30	3,67	3,69	3,69	3,70	3,70	3,70	3,68
60	4,14	4,16	4,17	4,18	4,18	4,18	4,16
90	4,59	4,62	4,62	4,63	4,64	4,64	4,62
120	5,03	5,05	5,06	5,07	5,08	5,08	5,06
150	5,44	5,47	5,48	5,49	5,50	5,50	5,49
180	5,84	5,87	5,88	5,89	5,90	5,90	5,89
210	6,21	6,24	6,25	6,26	6,28	6,28	6,27
240	6,57	6,60	6,61	6,62	6,64	6,64	6,63
270	6,90	6,94	6,95	6,96	6,97	6,98	6,97
300	7,22	7,25	7,26	7,28	7,29	7,30	7,30

Cuadro 7. Peso de semilla al 13% de humedad en gramos.

N kg/ha	S kg/ha						
	00	25	50	75	100	125	150
0	10,52	10,09	9,88	9,67	9,27	8,88	8,50
30	11,31	10,95	10,77	10,60	10,25	9,93	9,61
60	12,39	12,08	11,93	11,79	11,51	11,25	11,00
90	13,74	13,50	13,38	13,27	13,05	12,85	12,65
120	15,36	15,18	15,09	15,01	14,86	14,72	14,59
150	17,26	17,14	17,09	17,04	16,95	16,87	16,80
180	19,43	19,38	19,36	19,34	19,31	19,29	19,29
210	21,88	21,89	21,90	21,91	21,95	21,99	22,05
240	24,61	24,68	24,72	24,76	24,86	24,96	25,08
270	27,61	27,74	27,81	27,89	28,04	28,21	28,40
300	30,89	31,08	31,18	31,29	31,51	31,74	31,98

Cuadro 8. Análisis de variancia de rendimiento.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 0.01	Ft 0.05
S	3	90144,22	30048,07	2,836NS	4,51	2,92
N	3	4701603,01	1567200,75	147,925**	4,51	2,92
S x N	9	201264,94	22362,77	2,111NS	3,07	2,21
Error	32	339026,25	10594,57			
Total	47	5332036,01				

Cuadro 9. Análisis de variancia del contenido de proteína.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 0.01	Ft 0.05
S	3	5,225203	870,052979	2,17930NS	4,51	2,92
N	3	13,625942	1839,507327	4,60759**	4,51	2,92
S x N	9	7,199251	724,321901	1,81428NS	3,07	2,21
Error	32	44,204622	399,233350			
Total	47	70,255005				

Cuadro 10. Análisis de variancia de la relación N/S.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 0.01	Ft 0.05
S	3	2610,1	870,05	2,179 NS	4,51	2,92
N	3	5518,5	1839,51	4,607**	4,51	2,92
S x N	9	6518,9	724,32	1,814NS	3,07	2,21
Error	32	12775,5	399,23			
Total	47	27423,0				

Cuadro 11. Análisis de variancia de la parte aérea/parte radical.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 0.01	Ft 0.05
S	3	8,8974	2,9658	0,775NS	4,51	2,92
N	3	13,4529	4,4843	1,172NS	4,51	2,92
S x N	9	16,3533	1,8170	0,475NS	3,07	2,21
Error	32	122,4314	3,8259			
Total	47	161,1350				

Cuadro 12. Determinaciones físicas del suelo.

Profundidad (cm)	Arena > 50 μ %	Arcilla < 2 μ %	Limo 2 μ - 50 μ %	Textura USDA	Densidad Aparente g/cc	Densidad de partículas g/cc	Porosidad total %	Humedad gravimétrica %	Humedad volumétrica %	Espacio aéreo (Ea) %
0-10	32	32	36	Franco arcilloso	1,035	2,42	57,23	46,86	48,50	8,73
10-30	42	32	26	Franco arcilloso	1,060	2,61	59,39	42,00	44,52	14,87
30-60	56	20	24	Franco arenoso	1,160	2,74	57,67	42,50	49,30	8,37
60-80	56	21	23	Franco arcilloso arenoso	1,030	2,69	61,71	42,60	43,88	17,83

Cuadro 13. Determinaciones químicas del suelo.

Profundidad (cm)	pH	H ₂ O	M.O. %	N-total %	P disponible	C %	Bases cambiabiles			Ca/Mg	Mg/K	$\frac{Ca+Mg}{K}$	CIC me/100 g	
							C/N	Ca	Mg me/100 g					K
0-10	6,10	5,05	5,83	0,30	4,52	3,38	11,26	10,35	2,50	1,00	4,14	2,50	12,85	36,2
10-30	5,95	4,85	1,44	0,10	1,05	0,83	8,30	4,55	2,95	0,75	1,53	3,93	10,00	26,7
30-60	6,10	5,05	0,50	0,05	2,76	0,29	5,80	6,25	2,73	0,34	2,28	8,02	26,41	24,3
60-80	5,74	4,65	0,37	0,04	2,34	0,21	5,25	3,75	3,56	0,20	1,05	17,80	36,55	24,3

Profundidad (cm)	S-total ppm	S-intercambiable ppm	Elementos menores intercambiables			
			Fe	Mn	Zn	Cu
0-10	125	21	7740	240,0	13,5	49,7
10-30	75	17	7200	74,0	15,7	57,5
30-60	200	36	6600	62,0	25,7	48,5
60-80	175	41	8200	36,5	31,5	45,5

Cuadro 14. Determinación del rendimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en kg/ha de semilla.

Unidad Experi mental	Tratamiento		Peso humedo en g	Peso seco en g	Humedad en %	Peso al 13% de humedad	Rendimiento en kg/ha con 99% de pg
	Nivel N	Nivel S					
1	120	50	16,25	13,25	22,64	14,44	1191
2	180	50	22,00	17,90	22,90	19,49	1607
3	180	100	24,10	19,00	26,84	20,27	1671
4	60	0	14,70	12,00	22,50	13,09	1079
5	180	100	22,25	18,13	22,72	19,76	1630
6	180	0	21,50	17,52	22,72	19,10	1576
7	60	50	12,33	10,19	21,00	11,25	928
8	60	100	14,65	12,28	19,30	13,59	1121
9	180	0	21,03	17,15	22,62	18,70	1542
10	120	50	15,10	12,60	19,84	13,91	1146
11	120	100	16,99	13,69	24,10	14,82	1223
12	60	0	12,10	10,00	21,00	10,99	906
13	0	50	12,57	10,49	19,83	11,58	995
14	120	150	16,82	14,20	18,45	15,77	1300
15	0	100	9,15	7,38	23,98	7,99	658
16	120	150	17,08	14,05	21,56	15,40	1270
17	60	50	12,55	10,53	19,18	11,66	962
18	180	150	21,42	17,68	21,15	19,41	1601
19	180	50	21,55	17,99	19,79	19,87	1638
20	180	150	22,65	17,22	21,53	17,82	1470
21	120	50	17,10	13,93	22,79	15,18	1252
22	0	50	12,10	10,04	20,52	11,05	911
23	60	50	16,19	13,28	21,91	14,53	1198
24	60	100	11,70	9,71	20,49	10,69	891
25	60	100	12,99	10,70	21,40	11,73	967
26	180	0	21,73	18,00	20,72	19,80	1633

Cuadro 14 (continuación)

Unidad Experi- mental	Tratamiento		Peso húmedo en g	Peso seco en g	Humedad en %	Peso al 13% de humedad	Rendimiento en kg/ha con 99% de pg
	N	S					
26	180	0	21,73	18,00	20,72	19,80	1633
27	120	0	17,92	14,63	22,49	15,96	1317
28	180	150	20,63	17,18	20,08	18,95	1562
29	60	150	14,19	11,51	23,28	12,51	1031
30	0	50	9,29	7,78	19,41	8,60	710
31	120	150	18,20	15,03	21,09	16,51	1360
32	0	100	8,38	6,92	21,10	7,60	627
33	60	0	12,48	11,32	10,35	11,83	975
34	0	150	9,58	7,92	20,96	8,70	718
35	180	50	22,19	18,37	20,79	20,20	1666
36	120	100	11,55	9,55	20,94	10,49	864
37	0	0	11,72	9,53	22,98	10,37	854
38	60	150	10,05	7,40	35,81	7,41	611
39	0	0	9,62	8,03	19,80	8,87	731
40	120	0	17,70	14,55	21,65	15,94	1315
41	120	0	17,09	14,14	20,86	15,55	1282
42	60	150	11,35	9,64	17,74	10,73	884
43	0	150	9,40	7,60	23,68	8,25	680
44	180	100	21,93	17,99	21,90	19,69	1624
45	120	100	15,13	12,55	20,56	13,81	1138
46	0	100	9,29	7,57	22,72	8,25	680
47	0	150	9,25	7,60	21,71	8,32	686
48	0	0	13,00	10,72	21,27	11,76	970

Cuadro 15. Efecto de la fertilización nitrógeno-azufre sobre algunos componentes del rendimiento.

Unidad Experi mental	Tratamientos Nivel N	Nivel S	Rendimiento en kg/ha	Número de vainas/maceta	Número de vainas/planta	Número de vainas promedio/planta	Número de frijoles/maceta	Número de frijoles/vaina promedio	
1	120	50	1191	9	5	4	4,5	29	3,2
2	180	50	1607	13	7	6	6,5	36	2,7
3	180	100	1671	13	5	8	6,5	39	3,0
4	60	0	1079	7	4	3	3,5	27	3,8
5	180	100	1630	10	6	4	5,0	39	3,9
6	180	0	1576	14	6	8	7,0	36	2,6
7	60	50	928	9	5	4	4,5	27	3,0
8	60	100	1121	10	5	5	5,0	31	3,1
9	180	0	1542	10	5	5	5,0	33	3,3
10	120	50	1146	11	6	5	5,5	31	2,8
11	120	100	1223	13	8	5	6,5	32	2,5
12	60	0	906	7	3	4	3,5	25	3,6
13	0	50	955	8	4	4	4,0	25	3,1
14	120	150	1300	11	5	6	5,5	34	3,1
15	0	100	658	7	4	3	3,5	17	2,4
16	120	150	1270	10	5	5	5,0	34	3,4
17	60	50	962	9	5	4	4,5	27	3,0
18	180	150	1601	12	6	6	6,0	33	2,7
19	180	50	1638	12	5	7	6,0	40	3,3
20	180	150	1470	10	4	6	5,0	36	3,6
21	120	50	1252	11	5	6	5,5	33	3,0
22	0	50	911	6	3	3	3,0	22	3,7
23	60	50	1198	8	4	4	4,0	29	3,6
24	60	100	891	7	3	4	3,5	27	3,8

Cuadro 15 (continuación).

Unidad Experimental	Tratamiento Nivel N	Tratamiento Nivel S	Rendimiento en kg/ha	Número de vainas/maceta	Número de vainas/planta	Número de vainas promedio/planta	Número de frijoles/maceta	Número de frijoles/vaina promedio	
25	60	100	967	8	4	4	4,0	27	3,4
26	180	0	1633	10	5	5	5,0	39	3,9
27	120	0	1317	10	5	5	5,0	34	3,4
28	180	150	1562	12	6	6	6,0	36	3,0
29	60	150	1031	10	5	5	5,0	28	2,8
30	0	50	710	6	3	3	3,0	19	3,2
31	120	150	1360	11	2	9	5,5	36	3,3
32	0	100	627	4	2	2	2,0	17	4,2
33	60	0	975	8	4	4	4,0	30	3,7
34	0	150	718	6	3	3	3,0	18	3,0
35	180	50	1666	11	5	6	5,5	40	3,6
36	120	100	864	6	3	3	3,0	22	3,7
37	0	0	854	7	3	4	3,5	24	3,4
38	60	150	611	8	5	3	4,0	23	2,9
39	0	0	731	6	3	3	3,0	22	3,6
40	120	0	1315	12	5	7	6,0	35	2,9
41	120	0	1282	10	5	5	5,0	34	3,4
42	60	150	884	7	3	4	3,5	22	3,1
43	0	150	680	7	4	3	3,5	17	2,4
44	180	100	1624	13	6	7	6,5	37	2,8
45	120	100	1138	9	4	5	4,5	34	3,8
46	0	100	680	6	2	4	3,0	20	3,3
47	0	150	686	6	4	2	3,0	18	3,0
48	0	0	970	7	4	3	3,5	25	3,6

Cuadro 16. Contenido de proteína y relación nitrógeno-azufre en la semilla de frijol.

Unidad Experi- mental	Trata- mientos Niveles		Rendi- miento en kg/ha	Proteína bruta en semilla %	N-total en semilla %	S-total en semilla %	Relación N/S en semilla
	N	S					
1	120	50	1191	21,50	3,44	0,19	18,10
2	180	50	1607	21,44	3,43	0,17	20,18
3	180	100	1671	19,69	3,15	0,11	28,64
4	60	0	1079	20,69	3,31	0,75	4,41
5	180	100	1630	22,19	3,55	0,20	17,65
6	180	0	1576	22,06	3,53	0,25	14,12
7	60	50	928	21,12	3,38	0,44	7,68
8	60	100	1121	21,69	3,47	0,29	11,96
9	180	0	1542	19,25	3,08	0,30	10,27
10	120	50	1146	19,56	3,13	0,31	10,10
11	120	100	1223	20,81	3,33	0,31	25,61
12	60	0	906	21,94	3,51	0,65	5,40
13	0	50	955	21,50	3,44	0,87	3,95
14	120	150	1300	20,19	3,23	0,19	17,00
15	0	100	658	19,81	3,17	0,80	3,96
16	120	150	1270	19,87	3,18	0,06	53,00
17	60	50	962	20,12	3,22	0,77	4,18
18	180	150	1601	22,00	3,52	0,33	10,67
19	180	50	1638	21,75	3,48	0,37	9,40
20	180	150	1470	21,81	3,49	0,20	17,45
21	120	50	1252	19,00	3,04	0,33	9,21
22	0	50	911	20,31	3,25	0,84	3,86
23	60	50	1198	21,06	3,37	0,47	7,17
24	60	100	891	21,12	3,38	0,31	10,90
25	60	100	967	20,37	3,26	0,30	10,87

Cuadro 16 (continuación).

Unidad Experi- mental	Trata- mientos Niveles		Rendi- miento en kg/ha	Proteína bruta en semilla %	N-total en semilla %	S-total en semilla %	Relación N/S en semilla
	N	S					
26	180	0	1633	21,62	3,46	0,22	15,73
27	120	0	1317	16,62	2,82	0,15	18,80
28	180	150	1562	21,31	3,41	0,11	31,00
29	60	150	1031	19,69	3,15	0,20	15,75
30	0	50	710	21,62	3,46	0,89	3,89
31	120	150	1360	20,56	3,29	0,02	164,50
32	0	100	627	21,12	3,38	1,00	3,38
33	60	0	975	18,75	3,00	0,66	4,54
34	0	150	718	17,69	2,83	1,21	2,34
35	180	50	1666	21,94	3,51	0,11	21,90
36	120	100	864	22,50	3,60	0,22	16,36
37	0	0	854	19,87	3,18	1,16	2,74
38	60	150	611	21,81	3,49	0,33	10,57
39	0	0	731	21,50	3,44	0,50	6,88
40	120	0	1315	20,00	3,20	0,32	10,00
41	120	0	1282	19,25	3,08	0,12	25,67
42	60	150	884	21,50	3,44	0,30	11,46
43	0	150	680	20,81	3,33	0,84	3,96
44	180	100	1624	22,00	3,52	0,10	35,20
45	120	100	1138	19,56	3,13	0,27	11,59
46	0	100	680	20,37	3,26	0,72	4,53
47	0	150	686	21,44	3,43	0,80	4,29
48	0	0	980	19,87	3,18	0,79	4,02

Cuadro 17. Relación nitrógeno-azufre en la hoja del frijol
(Phaseolus vulgaris L.).

Unidad Experi- mental	Tratamientos Niveles		Rendi- miento en kg/ha	N-total en hoja %	S-total hoja %	Relación N/S hoja
	N	S				
1	120	50	1191	1,50	0,12	12,50
2	180	50	1607	1,65	0,12	13,75
3	180	100	1671	1,65	0,10	16,50
4	60	0	1079	1,72	0,55	3,13
5	180	100	1630	1,91	0,20	9,55
6	180	0	1576	1,61	0,12	13,42
7	60	50	928	1,72	0,27	6,37
8	60	100	1121	1,76	0,27	6,52
9	180	0	1542	1,84	0,23	8,00
10	120	50	1146	1,57	0,12	13,08
11	120	100	1223	1,76	0,12	12,67
12	60	0	906	1,61	0,10	16,00
13	0	50	955	1,95	0,37	5,27
14	120	150	1300	1,65	0,12	13,75
15	0	100	658	1,80	0,77	2,34
16	120	150	1270	1,57	0,05	31,40
17	60	50	962	1,69	0,45	3,75
18	180	150	1601	1,80	0,05	36,00
19	180	50	1638	1,88	0,20	9,40
20	180	150	1470	1,39	0,10	13,90
21	120	50	1252	1,57	0,05	31,40
22	0	50	911	1,69	0,45	3,75
23	60	50	1198	1,65	0,12	13,75
24	60	100	891	1,61	0,20	8,05
25	60	100	967	1,69	0,27	6,26

Cuadro 17 (continuación).

Unidad Experi- mental	Tratamientos Niveles		Rendi- miento en kg/ha	N-total en hoja %	S-total hoja %	Relación N/S hoja
	N	S				
26	180	0	1633	1,50	0,12	12,50
27	120	0	1317	1,54	0,20	7,70
28	180	150	1562	1,46	0,05	29,20
29	60	150	1031	1,69	0,20	8,45
30	0	50	710	1,84	0,60	3,07
31	120	150	1360	1,57	0,17	9,23
32	0	100	627	1,95	1,22	1,60
33	60	0	975	1,84	0,45	4,09
34	0	150	718	1,88	1,10	1,71
35	180	50	1666	1,50	0,10	15,00
36	120	100	864	1,57	0,02	78,50
37	0	0	854	1,80	0,27	6,67
38	60	150	611	1,72	0,55	3,13
39	0	0	731	1,84	0,62	2,97
40	120	0	1315	1,61	0,10	16,10
41	120	0	1282	1,54	0,17	9,06
42	60	150	884	1,88	0,37	5,08
43	0	150	680	1,91	1,10	1,74
44	180	100	1624	1,54	0,12	12,83
45	120	100	1138	1,54	0,37	4,16
46	0	100	680	1,80	0,23	7,83
47	0	150	686	2,03	1,00	2,03
48	0	0	970	1,80	0,20	9,00

Cuadro 18. Relación nitrógeno-azufre en la raíz del
frijol (Phaseolus vulgaris L.).

Unidad Experi- mental	Tratamientos		Rendimiento en kg/ha	N-total raíz %	S-total raíz %	Relación N/S raíz
	Niveles N	S				
1	120	50	1191	1,80	0,27	6,67
2	180	50	1607	2,03	0,80	2,54
3	180	100	1671	1,39	0,37	3,76
4	60	0	1079	0,94	0,32	2,94
5	180	100	1630	1,69	0,37	4,57
6	180	0	1576	0,90	0,37	2,43
7	60	50	928	1,20	0,50	2,40
8	60	100	1121	0,97	0,50	1,94
9	180	0	1542	1,27	0,23	5,52
10	120	50	1146	0,94	0,70	1,34
11	120	100	1223	1,35	0,50	2,70
12	60	0	906	1,01	0,32	3,16
13	0	50	955	1,01	0,50	2,01
14	120	150	1300	1,57	0,50	3,14
15	0	100	658	1,74	0,70	2,20
16	120	150	1270	0,86	0,37	2,32
17	60	50	962	1,01	0,42	2,40
18	180	150	1601	1,09	0,45	2,42
19	180	50	1638	1,01	0,37	2,73
20	180	150	1470	0,97	0,20	4,85
21	120	50	1252	1,12	0,45	2,49
22	0	50	911	1,24	0,60	2,07
23	60	50	1198	0,79	0,23	3,43
24	60	100	891	1,12	0,45	2,49
25	60	100	967	1,01	0,50	2,02

Cuadro 18 (continuación).

Unidad Experi- mentos	Tratamientos Niveles		Rendimiento en kg/ha	N-total raíz %	S-total raíz %	Relación N/S raíz
	N	S				
26	180	0	1633	1,09	0,27	4,04
27	120	0	1317	0,97	0,20	4,85
28	180	150	1562	0,75	0,45	1,67
29	60	150	1031	1,20	0,67	1,79
30	0	50	710	1,31	0,77	1,70
31	120	150	1360	1,09	0,62	1,76
32	0	100	627	1,12	0,62	1,81
33	60	0	975	1,09	0,32	3,41
34	0	150	718	1,01	0,60	1,68
35	180	50	1666	0,94	0,50	1,88
36	120	100	864	1,35	0,37	3,65
37	0	0	854	1,35	0,20	6,75
38	60	150	611	0,94	0,60	1,57
39	0	0	731	1,31	0,55	2,38
40	120	0	1315	0,94	0,67	1,40
41	120	0	1282	0,86	0,37	2,32
42	60	150	884	1,20	0,60	2,00
43	0	150	680	1,24	0,60	2,07
44	180	100	1624	1,05	0,27	3,89
45	120	100	1138	1,05	0,27	3,89
46	0	100	680	1,05	0,67	1,57
47	0	150	686	1,16	0,55	2,11
48	0	0	970	0,94	0,80	1,17

Cuadro 19. Relación parte aérea/parte radical, en base a la materia seca del frijol (Phaseolus vulgaris L.).

Unidad Experi- mental	Tratamientos		Rendimiento en kg/ha	Parte aérea	Parte radical	Relación P.A./P.R.
	Niveles N	S				
1	120	50	1191	24,08	3,20	7,52
2	180	50	1607	31,52	3,22	9,78
3	180	100	1671	35,12	7,85	4,47
4	60	0	1079	22,21	11,65	1,90
5	180	100	1630	30,25	3,25	9,30
6	180	0	1576	32,45	7,70	4,21
7	60	50	928	18,56	5,10	3,64
8	60	100	1121	22,28	8,95	2,48
9	180	0	1542	31,55	7,10	4,44
10	120	50	1146	24,60	12,45	2,49
11	120	100	1223	25,19	5,20	4,84
12	60	0	906	19,90	6,89	2,89
13	0	50	955	18,19	7,60	2,39
14	120	150	1300	27,27	3,53	7,72
15	0	100	658	13,67	2,50	5,47
16	120	150	1270	27,13	13,10	2,07
17	60	50	962	19,63	5,48	3,58
18	180	150	1601	32,84	8,95	3,67
19	180	50	1638	31,11	10,70	2,91
20	180	150	1470	31,07	16,08	1,93
21	120	50	1252	27,73	9,80	2,83
22	0	50	911	18,73	4,30	4,35
23	60	50	1198	24,38	14,00	1,74
24	60	100	891	19,36	5,40	3,58
25	60	100	967	20,75	9,34	2,22

Cuadro 19 (continuación).

Unidad Experi- mental	Tratamientos		Rendimiento en kg/ha	Parte aérea	Parte radical	Relación P.A./P.R.
	N	S				
26	180	0	1633	31,19	11,60	2,69
27	120	0	1317	27,76	7,98	3,47
28	180	150	1572	31,39	13,60	2,31
29	60	150	1031	21,44	4,50	4,76
30	0	50	710	15,11	2,72	5,55
31	120	150	1360	28,93	8,20	3,53
32	0	100	627	12,96	4,45	2,91
33	60	0	975	20,27	6,13	3,31
34	0	150	718	14,89	6,33	2,35
35	180	50	1666	33,04	11,98	2,76
36	120	100	864	18,45	8,70	2,12
37	0	0	854	17,83	5,30	3,36
38	60	150	611	15,48	10,25	1,51
39	0	0	731	13,86	3,45	4,01
40	120	0	1315	28,00	9,30	3,01
41	120	0	1282	27,24	12,00	2,27
42	60	150	884	19,94	8,38	2,38
43	0	150	680	13,22	2,30	5,75
44	180	100	1624	31,78	12,05	2,63
45	120	100	1138	23,96	9,80	2,45
46	0	100	680	13,37	7,32	1,82
47	0	150	686	13,40	6,05	2,21
48	0	0	970	18,25	10,12	1,80

Cuadro 20. Contenido de calcio, magnesio, potasio y sus respectivas relaciones en la hoja del frijol (Phaseolus vulgaris L.).

Unidad Experi- mental	Tratamientos		Rendi- miento kg/ha	Ca %	Mg %	K %	R e l a c i ó n			
	Niveles N	S					Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	$\frac{Ca+Mg}{K}$
1	120	50	1191	4,64	1,75	1,26	3,68	3,68	1,39	5,07
2	180	50	1607	5,58	1,75	1,20	4,65	4,65	1,46	6,11
3	180	100	1671	5,17	1,51	1,12	4,62	4,62	1,35	5,62
4	60	0	1079	3,64	1,50	1,93	1,88	1,89	0,78	2,66
5	180	100	1630	5,42	1,39	1,10	4,93	4,93	1,35	6,28
6	180	0	1576	5,58	1,97	1,16	4,81	4,81	1,70	6,51
7	60	50	928	4,32	1,36	1,74	2,48	2,48	0,78	3,26
8	60	100	1121	4,44	1,61	2,20	2,02	2,02	0,73	2,75
9	180	0	1542	5,80	1,54	1,12	5,18	5,18	1,37	6,55
10	120	50	1146	4,82	1,61	1,18	4,08	4,08	1,36	5,45
11	120	100	1223	4,94	1,34	1,26	3,92	3,92	1,06	4,98
12	60	0	906	4,40	1,52	1,52	2,89	2,89	1,00	3,89
13	0	50	955	3,99	1,93	3,07	2,07	1,30	0,63	1,93
14	120	150	1300	5,16	1,94	1,06	2,66	4,87	1,83	6,70
15	0	100	658	4,44	1,01	3,25	4,39	1,37	0,31	1,68
16	120	150	1270	4,62	1,53	1,24	3,02	3,72	1,23	4,96
17	60	50	962	4,62	1,42	1,92	3,25	2,41	0,74	3,14
18	180	150	1601	5,42	1,08	1,17	5,02	4,63	0,92	5,55
19	180	50	1638	4,92	1,66	0,92	2,96	5,35	1,80	7,15
20	180	150	1470	5,42	1,74	1,19	3,11	4,55	1,46	6,02
21	120	150	1252	5,09	1,69	1,13	3,01	4,50	1,49	6,00
22	0	50	911	4,28	0,96	2,92	4,46	1,46	0,33	1,79
23	60	50	1198	4,42	1,45	2,22	3,05	1,99	0,65	2,64
24	60	100	891	4,80	1,52	1,62	3,16	2,96	0,94	3,90
25	60	100	967	3,99	1,38	1,80	2,89	2,22	0,77	2,98

Cuadro 20 (continuación).

Unidad Experi- mental	Tratamientos		Rendi- miento kg/ha	Ca %	Mg %	K %	R e l a c i ó n			
	Niveles N	S					Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	$\frac{Ca+Mg}{K}$
26	180	0	1633	5,98	1,80	0,98	3,32	6,10	1,84	7,94
27	120	0	1317	5,01	1,56	1,26	3,21	3,98	1,24	5,21
28	180	150	1562	4,64	1,54	1,10	3,01	4,22	1,40	5,62
29	60	150	1031	4,69	1,44	1,72	3,26	2,73	0,84	3,56
30	0	50	710	4,48	1,24	3,35	3,61	1,34	0,37	1,71
31	120	150	1360	5,68	1,94	1,16	2,93	4,89	1,67	6,57
32	0	100	627	4,48	1,43	3,25	3,13	1,38	0,44	1,82
33	60	0	975	5,12	1,90	1,65	2,69	3,10	1,15	4,25
34	0	150	718	4,06	1,17	3,64	3,47	1,11	0,32	1,44
35	180	50	1666	5,64	1,69	1,17	3,33	4,82	1,44	6,26
36	120	100	864	4,25	1,40	1,44	3,03	2,95	0,97	3,92
37	0	0	854	4,42	1,40	3,00	3,16	1,47	0,47	1,94
38	60	150	611	4,36	1,44	1,88	3,03	2,32	0,76	3,08
39	0	0	731	3,87	1,16	2,68	3,34	1,44	0,43	1,88
40	120	0	1315	5,09	1,88	1,13	2,71	4,50	1,66	6,17
41	120	0	1282	4,80	1,59	1,27	3,02	3,78	1,26	5,03
42	60	150	884	4,12	1,38	1,98	2,98	2,08	0,69	2,78
43	0	150	680	4,42	1,00	2,50	4,42	1,77	0,40	2,17
44	180	100	1624	5,34	1,64	1,08	3,26	4,94	1,52	6,46
45	120	100	1138	5,08	1,72	1,11	2,95	4,58	1,55	6,13
46	0	100	680	4,31	1,08	2,84	3,99	1,52	0,38	1,90
47	0	150	686	4,22	1,19	2,86	3,55	1,37	0,42	1,89
48	0	0	970	4,12	1,07	3,02	3,85	1,36	0,35	1,72

Cuadro 21. Contenido de calcio, magnesio, potasio y sus respectivas relaciones en la raíz del frijol (Phaseolus vulgaris L.).

Unidad Experimental	Tratamientos Niveles		Rendimiento kg/ha	Ca %	Mg %	K %	R e l a c i ó n			
	N	S					Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	$\frac{Ca+Mg}{K}$
1	120	50	1191	0,10	0,26	0,22	0,38	0,45	1,18	1,63
2	180	50	1607	0,35	0,33	0,46	1,06	0,76	0,72	1,48
3	180	100	1671	0,08	0,46	0,76	0,17	0,10	0,60	0,71
4	60	0	1079	0,04	0,26	0,16	0,15	0,25	1,62	1,87
5	180	100	1630	0,19	0,35	0,47	0,54	0,40	0,74	1,15
6	180	0	1576	0,05	0,25	0,16	0,20	0,31	1,56	1,87
7	60	50	928	0,05	0,26	0,22	0,19	0,23	1,18	1,41
8	60	100	1121	0,24	0,46	0,66	0,08	0,06	0,69	0,76
9	180	0	1542	0,07	0,58	0,44	0,12	0,16	1,32	1,48
10	120	50	1146	0,05	0,18	0,18	0,28	0,28	1,00	1,28
11	120	100	1223	0,07	0,46	0,74	0,15	0,09	0,62	0,72
12	60	0	906	0,04	0,51	0,22	0,08	0,08	2,32	2,50
13	0	50	955	0,04	0,18	0,17	0,22	0,23	1,06	1,29
14	120	150	1300	0,12	0,30	0,52	0,40	0,23	0,58	0,81
15	0	100	658	0,10	0,46	0,74	0,22	0,13	0,62	0,76
16	120	150	1270	0,04	0,20	0,23	0,20	0,17	0,87	1,04
17	60	50	962	0,05	0,20	0,20	0,25	0,25	1,00	1,25
18	180	150	1601	0,06	0,26	0,34	0,23	0,18	0,76	0,94
19	180	50	1638	0,05	0,20	0,21	0,25	0,24	0,95	0,19
20	180	150	1470	0,05	0,25	0,32	0,20	0,16	0,78	0,94
21	120	150	1252	0,05	0,21	0,17	0,24	0,29	1,23	1,53
22	0	50	911	0,05	0,25	0,22	0,20	0,23	1,14	1,36
23	60	50	1198	0,04	0,17	0,18	0,23	0,22	0,94	1,17
24	60	100	891	0,05	0,46	0,68	0,11	0,07	0,68	0,75
25	60	100	967	0,04	0,31	0,37	0,13	0,11	0,84	0,94

Cuadro 21 (continuación).

Unidad Experi- mental	Tratamientos		Rendi- miento kg/ha	Ca %	Mg %	K %	R e l a c i ó n			
	Niveles N	S					Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	$\frac{Ca+Mg}{K}$
26	180	0	1633	0,06	0,20	0,13	0,30	0,46	0,54	2,00
27	120	0	1317	0,07	0,25	0,22	0,28	0,32	0,14	0,45
28	180	150	1562	0,04	0,28	0,41	0,14	0,10	0,68	0,78
29	60	150	1031	0,06	0,27	0,28	0,22	0,21	0,96	1,18
30	0	50	710	0,06	0,40	0,54	0,15	0,11	0,74	0,85
31	120	150	1360	0,05	0,26	0,19	0,19	0,26	1,37	1,63
32	0	100	627	0,05	0,34	0,42	0,15	0,12	0,81	0,93
33	60	0	975	0,04	0,27	0,22	0,15	0,18	1,23	1,41
34	0	150	718	0,04	0,45	0,22	0,09	0,18	2,04	2,23
35	180	50	1666	0,04	0,24	0,16	0,16	0,25	1,50	1,75
36	120	100	864	0,06	0,24	0,20	0,25	0,30	1,20	1,50
37	0	0	854	0,05	0,24	0,24	0,21	0,21	1,00	1,21
38	60	150	611	0,04	0,22	0,24	0,18	0,17	0,92	1,08
39	0	0	731	0,10	0,36	0,20	0,28	0,50	1,80	2,30
40	120	0	1315	0,05	0,41	0,26	0,12	0,19	1,57	1,77
41	120	0	1282	0,04	0,29	0,17	0,14	0,23	1,70	1,94
42	60	150	884	0,07	0,23	0,24	0,30	0,29	0,96	0,25
43	0	150	680	0,08	0,28	0,28	0,28	0,28	1,00	1,28
44	180	100	1624	0,05	0,50	0,69	0,10	0,07	0,70	0,80
45	120	100	1138	0,04	0,40	0,58	0,10	0,07	0,69	0,83
46	0	100	680	0,05	0,46	0,74	0,11	0,07	0,62	0,70
47	0	150	686	0,05	0,53	0,44	0,09	0,11	1,20	1,32
48	0	0	970	0,05	0,35	0,22	0,14	0,23	1,59	1,82

Cuadro 22. Contenido de calcio, magnesio, potasio y sus respectivas relaciones en la semilla de frijol (Phaseolus vulgaris L.).

Unidad Experi- mental	Tratamientos		Rendi- miento kg/ha	Ca %	Mg %	K %	R e l a c i ó n			$\frac{Ca+Mg}{K}$
	Niveles N	S					Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	
1	120	50	1191	0,19	0,35	1,58	0,54	0,12	0,22	0,34
2	180	50	1607	0,17	0,36	1,66	0,47	0,10	0,22	0,32
3	180	100	1671	0,18	0,32	1,52	0,56	0,12	0,21	0,33
4	60	0	1079	0,29	0,40	1,64	0,72	0,18	0,24	0,42
5	180	100	1630	0,17	0,34	1,61	0,50	0,10	0,21	0,32
6	180	0	1576	0,19	0,38	1,46	0,50	0,13	0,26	0,39
7	60	50	928	0,20	0,33	1,54	0,61	0,12	0,20	0,32
8	60	100	1121	0,27	0,32	1,60	0,64	0,17	0,26	0,43
9	180	0	1542	0,24	0,46	1,58	0,52	0,15	0,29	0,44
10	120	50	1146	0,20	0,38	1,67	0,53	0,12	0,23	0,35
11	120	100	1223	0,28	0,42	1,61	0,67	0,17	0,26	0,43
12	60	0	906	0,26	0,40	1,70	0,65	0,15	0,23	0,39
13	0	50	955	0,20	0,29	1,54	0,69	0,13	0,19	0,32
14	120	150	1300	0,27	0,46	1,61	0,58	0,17	0,28	0,45
15	0	100	658	0,29	0,37	1,64	0,78	0,18	0,22	0,40
16	120	150	1270	0,20	0,40	1,66	0,50	0,12	0,24	0,36
17	60	50	962	0,28	0,35	1,58	0,80	0,18	0,22	0,40
18	180	150	1601	0,21	0,40	1,71	0,52	0,12	0,23	0,36
19	180	50	1638	0,19	0,36	1,60	0,52	0,12	0,22	0,34
20	180	150	1470	0,23	0,41	1,65	0,56	0,14	0,25	0,39
21	120	150	1252	0,31	0,46	1,63	0,67	0,19	0,28	0,47
22	0	50	911	0,23	0,33	1,67	0,70	0,14	0,20	0,33
23	60	50	1198	0,20	0,32	1,49	0,62	0,13	0,21	0,35
24	60	100	891	0,20	0,34	1,66	0,59	0,12	0,20	0,32
25	60	100	967	0,27	0,45	1,72	0,60	0,16	0,26	0,42

Cuadro 22 (continuación).

Unidad Experi- mental	Tratamientos		Rendi- miento kg/ha	Ca %	Mg %	K %	R e l a c i ó n			
	Niveles N	S					Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	$\frac{Ca+Mg}{K}$
26	180	0	1633	0,19	0,35	1,66	0,54	0,11	0,21	0,32
27	120	0	1317	0,20	0,46	1,65	0,43	0,12	0,28	0,40
28	180	150	1562	0,22	0,44	1,72	0,50	0,13	0,25	0,38
29	60	150	1031	0,23	0,32	1,66	0,72	0,14	0,19	0,33
30	0	50	710	0,21	0,31	1,62	0,68	0,13	0,19	0,32
31	120	150	1360	0,18	0,36	1,49	0,50	0,12	0,24	0,36
32	0	100	627	0,22	0,34	1,68	0,65	0,13	0,20	0,33
33	60	0	975	0,24	0,40	1,74	0,60	0,14	0,23	0,37
34	0	150	718	0,21	0,33	1,62	0,64	0,13	0,20	0,33
35	180	50	1666	0,16	0,36	1,65	0,44	0,09	0,22	0,31
36	120	100	864	0,20	0,34	1,53	0,59	0,13	0,22	0,35
37	0	0	854	0,31	0,44	1,77	0,70	0,17	0,25	0,42
38	60	150	611	0,28	0,44	1,73	0,64	0,16	0,25	0,42
39	0	0	731	0,26	0,36	1,76	0,72	0,15	0,20	0,35
40	120	0	1315	0,24	0,38	1,69	0,63	0,14	0,22	0,37
41	120	0	1282	0,21	0,33	1,59	0,64	0,13	0,21	0,34
42	60	150	884	0,29	0,39	1,72	0,74	0,17	0,23	0,39
43	0	150	680	0,24	0,36	1,59	0,67	0,15	0,23	0,38
44	180	100	1624	0,19	0,32	1,57	0,59	0,12	0,20	0,32
45	120	100	1138	0,20	0,40	1,70	0,50	0,12	0,23	0,35
46	0	100	680	0,30	0,41	1,61	0,73	0,19	0,25	0,44
47	0	150	686	0,28	0,40	1,63	0,70	0,17	0,24	0,42
48	0	0	970	0,29	0,43	1,81	0,67	0,16	0,24	0,40

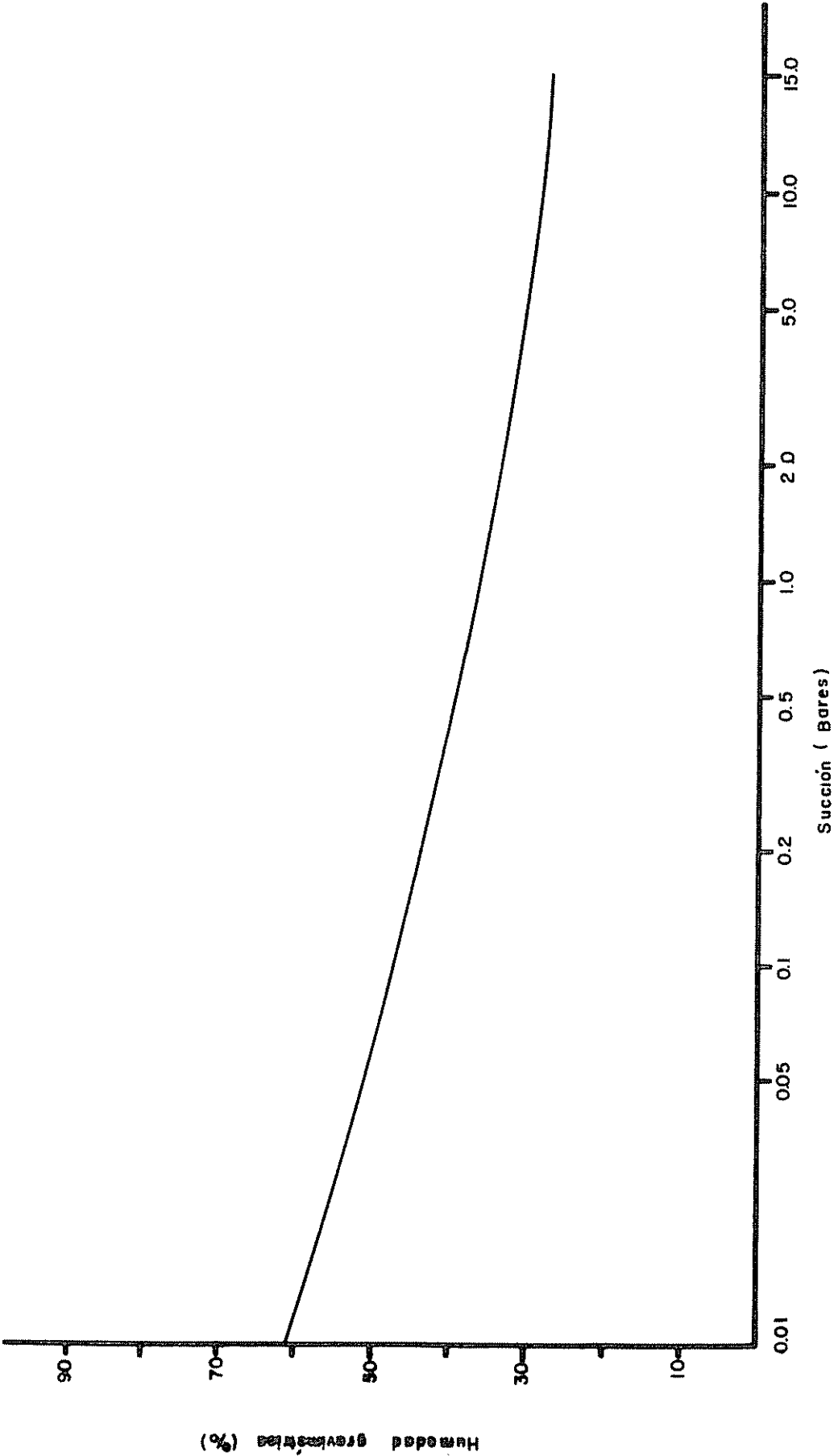


Fig. 1 Curva de desorción de 0.01 - 15 bares de succión, de muestras no alteradas (Prof. 0-10 cm)

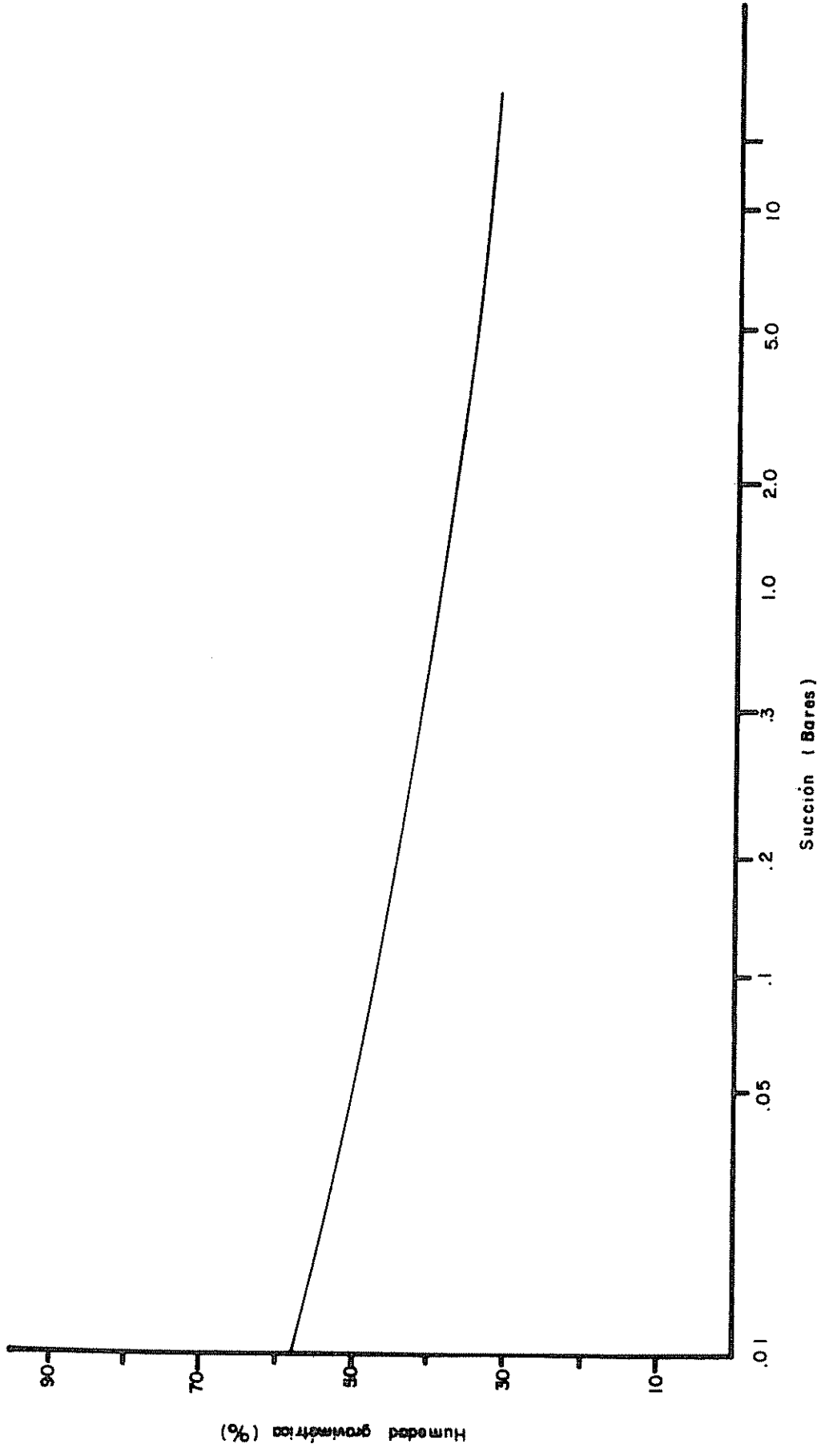


Fig. 2 Curva de desorción de 0.01 - 15 bares de succión, de muestras no alteradas (Prof. 10 - 30 cm)

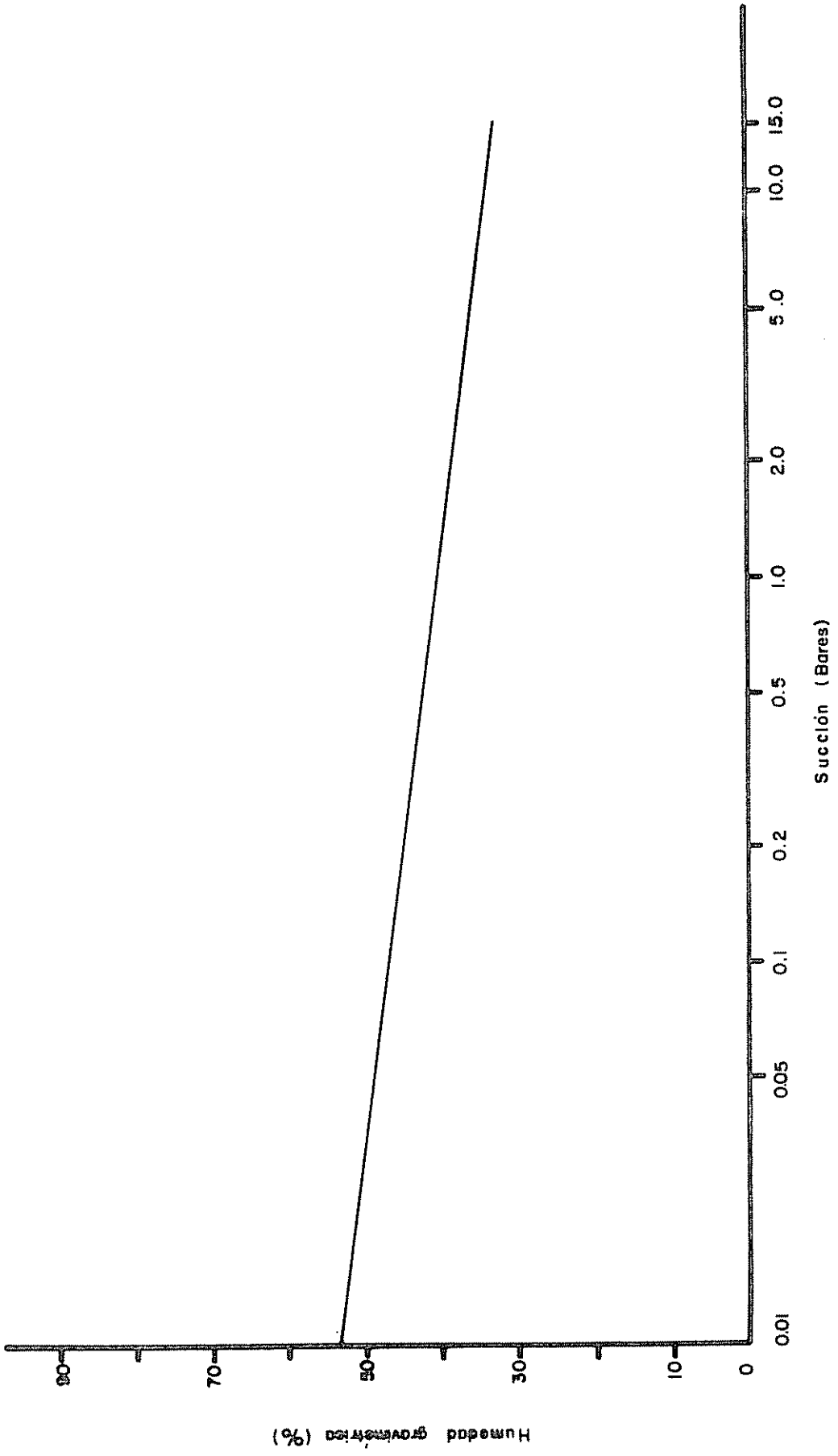


Fig.3 Curva de desorción de 0.01 - 15 bares de succión, de muestras no alteradas (Prof. 30-60 cm)

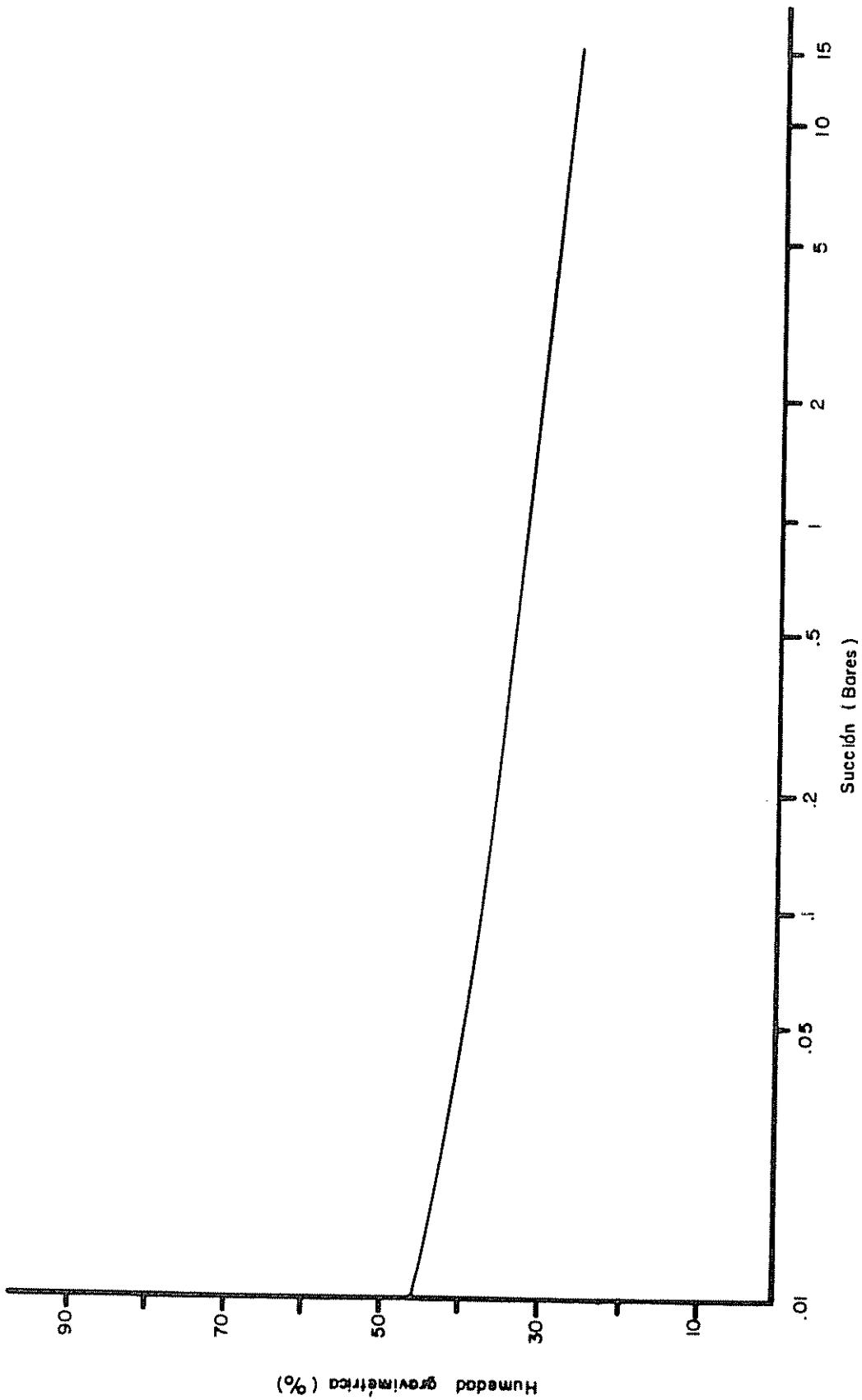


Fig. 4 Curva de desorción de 0.01 - 15 bares de succión, de muestras no alteradas (Prof. 60-80 cm)