

# Cuantificación de los niveles de absorción de magnesio en frijol común en tres diferentes suelos bajo condiciones de invernadero

Paola Alejandra Ortiz Henry

MICROISIS:	_____
FECHA:	_____
ENCARGADO:	_____

ZAMORANO  
Departamento de Agronomía  
Agosto, 1999

#1107

# Cuantificación de los niveles de absorción de magnesio en frijol común en tres diferentes suelos bajo condiciones de invernadero

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado  
Académico de Licenciatura

presentado por

Paola Alejandra Ortiz Henry

Zamorano, Honduras  
Agosto, 1999

El autor concede a Zamorano permiso  
para reproducir y distribuir copias de este  
trabajo para fines educativos. Para otras personas  
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor



---

Paola Alejandra Ortiz Henry

Zamorano, Honduras  
Agosto, 1999

## DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen Santísima por darme la oportunidad que tanto anhelaba, por abrirme los caminos y guiarme cada día que pasé, pero sobre todo por darme la fuerza de seguir en los momentos más difíciles.

A mi mejor amiga, Lourdes, que no solo fuiste y eres mi mejor amiga, mi apoyo, mi hombro donde llorar aunque estabas lejos, por todos los consejos, las palabras de aliento, y las penas que pasamos juntas, pero sobre todo y más que nada, por lo que le doy gracias a Dios cada día de mi vida, por ser mi mamá. Y a ti papá por ser el apoyo que me ayudó a seguir adelante.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen Santísima por darme la fuerza de seguir en todo momento sobre todo por darme la confianza de que sí puedo lograr cualquier cosa que me proponga.

A las personas que más quiero en mi vida, mi familia.

Papá, porque gracias a ti he llegado donde estoy, porque apoyaste todo los proyectos y deseos que tuve, y confiaste completamente en mí.

Mamá, gracias porque me cuidaste de lejos todos los días que pase aquí y porque la distancia ha hecho que nos uniéramos más. Te quiero un mundo.

Abuelita Sara, porque gracias a todos tus consejos y regaños que aquí me di cuenta que sí servían de mucho y me hicieron salir adelante.

Mis hermanos, Sergio porque sé lo valioso que es tenerte como hermano al recordar todo lo que pasamos juntos los mejores recuerdos de mi vida, donde aprendimos todo juntos y pasamos los momentos más difíciles unidos. Alvaro, mi enano no enano, porque estuviste ahí conmigo aunque yo no estuve en algunos buenos momentos de tu vida, pero no dejás de ser mi mimado.

A mis familias adoptivas, Honduras: Ferreira-Sabillón, Revilla; Ecuador: Brando-Morán, Zambrano-Solorzano, Mejía-Jurado; Guatemala: Vila-Ramazzini, Mérida-Escobar Estrada-Aguilar; El Salvador: Ortiz-Quintanilla; Nicaragua: Oviedo-Delgado. A todos ellos por abrirme las puertas de su casa y dejar que su familia también sea la mía. Mis más sinceros GRACIAS.

Al Dr. Pablo Paz por sus consejos como consejero, su apoyo, su ayuda y las largas pláticas.

A la Dra. A. Margoth Andrews, por la ayuda brindada en todo momento. A Hilda Flores por su ayuda incondicional y su buena amistad.

A todo el personal del Laboratorio de Suelos por todo el tiempo que me brindaron.

Y mis amigos los que me apoyaron en todo momento, y que saben que es el verdadero significado de la amistad: Pablo Zacarias, Cristobal Williams, Camila Ortiz y Carla Mejía mis amigos de siempre por pasar tan buenos momentos; Margoth Verde Ramo y Carmen Ugarte por los años que vivimos juntas. A Claudia Urrutia, José Mérida, Diego y Javier Vila, porque son lindas personas y amigos; Vanesa Quesada por descubrir que la amistad no esta en el montón sino en la calidad de la amistad; Stefan Fleig y Marisela Lizanne por todo lo que pasamos, lo mejor de mi vida zamorana. A Mario Estrada, por estar ahí en todo momento, por la confianza, por todo el tiempo que vamos a estar juntos y porque siempre vas a estar en mi corazón y sobre todo por lo más grande que hay entre nosotros, nuestro bebe, T. A.

Y por último y sin dejar de ser importante a mi Alma Mater porque ha abierto las puertas a grandes oportunidades sobre todo la oportunidad de alcanzar el éxito profesional y personal con sus lemas Labor Omnia Vincit y el Aprender Haciendo.

## AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco a mi papá por la oportunidad que me brindó para continuar mis estudios en el Programa de Ingeniería Agronómica.

Agradezco a la Fundación Alemana para el Desarrollo (DSE) por el financiamiento brindado para la realización de mis estudios en el Programa de Agrónomo y al Dr. Zimmermann por el tiempo brindado.

## RESUMEN

Ortiz, Paola. 1999. Cuantificación de los niveles de absorción de magnesio en frijol común en tres diferentes suelos bajo condiciones de invernadero, Zamorano, Honduras. 37p.

En Honduras, el 70 % de la producción de frijol está en manos de pequeños agricultores, cuyos rendimientos son muy bajos y son en promedio por debajo de 600 kg/ha. Estos bajos rendimientos mayormente se deben a la baja fertilidad de los suelos; por lo que se recomiendan incrementar estos rendimientos con el uso de fertilizantes. En Zamorano, se han hecho varios estudios sobre niveles de fertilización en frijol. En el presente estudio se quiso determinar el efecto del magnesio (Mg) en el crecimiento del frijol común. Los suelos de Zamorano cuentan con niveles bajos de Mg, en algunos casos pueden llegar a niveles medios. Se realizó un ensayo en invernadero utilizando 12 tratamientos que consistían de tres suelos con distintos contenidos de Mg y cuatro dosis de aplicación de Mg, usando una solución nutritiva de cloruro de magnesio hexahidratado ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ). Se utilizó un diseño factorial  $3 \times 4$  en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se realizaron tres muestreos de plantas cada 15 días para determinar la cantidad de Mg absorbido y los incrementos en peso fresco y peso seco. Se analizaron dichas muestras en el Laboratorio de Suelos. Para determinar la cantidad de Mg se usó el método de digestión húmeda y el espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados mostraron que la mayor acumulación de Mg en la parte vegetativa se presentó a los 30 días del cultivo, reduciéndose a partir de esa fecha. La mayor acumulación de peso fresco y peso seco se encontró muy significativa en las etapas avanzadas. Los mejores resultados de la absorción de Mg se encontraron en los suelos con bajos contenidos de Mg; y esto se pudo deber a un efecto antagónico, ya que las relaciones entre el Ca, K y Mg se encontraban bajas en los suelos con medio y alto en Mg, rangos solo tomados para este ensayo.

Las aplicaciones de Mg no se vieron traducidas en un aumento en el rendimiento en este ensayo conducido en condiciones de invernadero, por lo que en base a este estudio no se pueden formular recomendaciones sobre aplicaciones de Mg para mejorar la productividad del frijol Tío Canela-75.

**Palabras claves:** magnesio, frijol, absorción, invernadero.

## Nota de Prensa

### ¿TIENE ALGÚN EFECTO LA APLICACION DE MAGNESIO SOBRE FRIJOL COMUN?

Durante mucho tiempo se han realizado numerosos ensayos con el fin de incrementar los rendimientos de frijol común, con fuentes de nutrimentos esenciales para la planta.

En Zamorano se realizó un ensayo en invernadero para cuantificar las dosis de magnesio que se debe aplicar al frijol con el fin de conseguir un incremento del rendimiento o encontrar una respuesta del magnesio que se traduzca en un aumento del peso fresco y peso seco de la planta.

Se probaron cuatro dosis de cloruro de magnesio hexahidratado ( $MgCl \cdot 6H_2O$ ), como solución nutritiva, donde se demostró que a mayor cantidad de aplicación mayor es la respuesta en peso fresco y peso seco del cultivo. Cabe aclarar que los mejores resultados fueron en suelos con bajos contenidos de calcio, potasio y magnesio; no siendo de igual manera en suelos con altos contenidos de estos elementos. En cuanto al rendimiento de grano no se observó ninguna respuesta.

Esto llevó a concluir que altas cantidades de calcio y potasio en los suelos pueden reducir la absorción del magnesio por la planta.

Según los análisis realizados, las concentraciones de magnesio en las partes vegetativas demostraron que el mayor contenido de este elemento se da en las hojas como era de esperarse, por ser éste un componente esencial de la clorofila. A partir de los 30 días del ciclo la concentración de Mg se reduce, como ocurre en la mayoría de los cultivos al entrar a la etapa reproductiva.

En este trabajo se concluyó que las aplicaciones de magnesio no fueron requeridas por la variedad del frijol. En cultivos donde se pretende una mayor acumulación de material vegetativo como en pastos u otros similares la aplicación del magnesio será muy importante.

## CONTENIDO

Portadila.....	i.
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimiento a patrocinadores.....	vii
Resumen.....	viii
Nota de prensa.....	ix
Contenido.....	x
Índice de Cuadros.....	xii
Índice de Gráficas.....	xiv
<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 IMPORTANCIA DEL MAGNESIO.....	4
2.2 DEFICIENCIA DE MAGNESIO.....	5
2.3 RELACION CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO.....	7
<b>3. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>9</b>
3.1 UBICACION DEL ENSAYO.....	9
3.2 DESCRIPCION DEL ENSAYO EXPERIMENTAL.....	9
3.2.1 Material vegetativo.....	9
3.2.2 Unidad experimental.....	9
3.2.3 Diseño experimental.....	10
3.2.4 Tratamientos.....	10
3.2.5 Prácticas agronómicas.....	11
3.2.5.1 Suelo.....	11
3.2.5.2 Maceteros.....	11
3.2.5.3 Siembra.....	11
3.2.5.4 Fertilización.....	11
3.2.5.5 Riego.....	13
3.2.5.6 Cosecha.....	13
3.2.6 Recolección de datos.....	13
3.3 ANALISIS DE LAS MUESTRAS.....	13
3.4 ANALISIS ESTADISTICO.....	14
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>15</b>
4.1 PESO FRESCO.....	16
4.1.1 Peso fresco de las hojas.....	16
4.1.2 Peso fresco de los tallos.....	17
4.1.3 Peso fresco de las raíces.....	17

4.2	PESO SECO.....	19
4.2.1	Peso seco de las hojas.....	19
4.2.2	Peso seco de los tallos.....	20
4.2.3	Peso seco de las raíces.....	20
4.3	CONCENTRACION DE Mg EN HOJAS, TALLOS Y RAICES.....	23
4.3.1	Concentración de Mg en las hojas.....	23
4.3.2	Concentración de Mg en los tallos.....	24
4.3.3	Concentración de Mg en las raíces.....	25
4.4	COMPONENTES DE RENDIMIENTO.....	27
4.4.1	Número de vainas por planta.....	27
4.4.2	Número de granos por vaina.....	28
5.	CONCLUSIONES.....	29
6.	RECOMENDACIONES.....	30
7.	BIBLIOGRAFIA.....	31

## INDICE DE CUADROS

## Cuadro

1.	Contenido de nutrimentos en las hojas trifoliadas de frijol común ( <i>Phaseolus vulgaris.L.</i> ).....	4
2.	Rangos de las relaciones de Ca, Mg y K más la relación de Ca + Mg con K tomados como referencia para cualquier suelo.....	8
3.	Resultado del análisis de los suelos utilizados para la evaluación de los niveles de absorción de Mg por el frijol Tfo Canela-75. Zamorano, Honduras.....	10
4.	Cantidad y compuestos químicos usados para la formulación de las soluciones nutritivas para fertilización básica del frijol Tfo Canela-75 en invernadero.....	12
5.	Cantidad de cloruro de magnesio para la formulación de las soluciones nutritivas para el cultivo de frijol Tfo Canela-75 en invernadero.....	12
6.	Efectos simples de los factores de suelos, niveles de Mg y días a muestreo sobre las variables estudiadas.....	15
7.	Niveles de significancia obtenidos en el análisis de varianza de los efectos de los tratamientos sobre las variables estudiadas.....	15
8.	Acumulación del peso fresco (g) en las hojas por efecto de la interacción de los factores suelo*niveles de Mg.....	16
9.	Peso fresco de los tallos debido a la interacción de suelos*días a muestreo.,17	
10.	Peso seco de las hojas debido al efecto simple de los suelos.....	19
11.	Peso seco de las hojas debido al efecto simple de los días a muestreo.....	19
12.	Acumulación de peso seco (g) en los tallos por el efecto de la interacción de la interacción suelo*días a muestreo.....	20
13.	Peso seco en las raíces debido al efecto simple de los suelos.....	21
14.	Peso seco en las raíces debido al efecto simple de días a muestreo.....	21

15.	Relación Ca, Mg y K obtenidos del análisis de suelo utilizados en el ensayo.....	23
16.	Diferencias en la concentración de Mg en las hojas debido al efecto de los niveles de Mg aplicados.....	24
17.	Acumulación de Mg en las hojas debido al efecto simple de la interacción de los factores de suelo*días a muestreo.....	24
18.	Concentración de Mg en las raíces debido al efecto de la interacción de los factores suelo*niveles.....	25
19.	Concentración de Mg en las raíces debido al efecto de la interacción de suelo*días a muestreo.....	25
20.	Número de vainas por planta debido al efecto de la interacción de factores de suelo*nivel.....	27
21.	Efecto de la interacción de los factores de suelo*niveles sobre el número de granos.....	28

## INDICE DE GRAFICAS

## Gráfica

1. Acumulación del peso fresco en hojas, tallos y raíces bajo los tratamientos de suelo y niveles de Mg..... 18
2. Acumulación del peso seco en hojas, tallos y raíces bajo los tratamientos de suelo y niveles de Mg..... 22
3. Concentración de Mg en hojas, tallos y raíces bajo los tratamientos de suelo y niveles de Mg..... 26

## I. INTRODUCCION

Durante las últimas décadas la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) ha ido creciendo debido a su gran importancia en la dieta de la población latinoamericana, sobre todo centroamericana, mayormente debido a su alto contenido de proteínas (22.1%) y carbohidratos (61.4%).

El cultivo del frijol es considerado como uno de los más antiguos hallazgos arqueológicos en su posible centro de origen y en Sudamérica indican que era conocido unos 5000 años antes de la era cristiana (Ospina, 1981).

Dentro del grupo de las especies leguminosas el frijol común es una de las más importantes. Es originario de América, y México ha sido señalado como el más probable centro de origen, o al menos el centro de diversificación primaria.

Debido al interés del hombre por esta leguminosa, las selecciones realizadas por culturas precolombinas originaron un gran número de formas diferentes, y en consecuencia existen diversas denominaciones para identificarlos como ser poroto, judía, habichuela, vainita, para citar algunos.

En América Latina se siembra el frijol en suelos con condiciones físicas y químicas variables; en algunos casos las deficiencias nutricionales pueden reducir considerablemente los rendimientos. Aunque el frijol absorbe cantidades relativamente altas de nitrógeno (N) y potasio (K), puede presentar deficiencias de fósforo (P) y elementos secundarios como magnesio (Mg) dependiendo de las características de los suelos donde se cultiva el frijol.

En Honduras, el frijol es cultivado mayormente por pequeños agricultores; donde el 70% de la producción de frijol proviene de fincas de tres hectáreas a menos y el cultivo ocupa una extensión de 100,000 ha de tierra cultivable (Adams, 1984). El promedio de productividad de América Latina es de solo 600 kg/ha, y cerca de 800 kg/ha si se elimina el efecto de asociación con otros cultivos sobre los rendimientos (CIAT, 1982).

Por lo general el diagnóstico de los problemas nutricionales del frijol se hace mediante el uso de técnicas como análisis de suelo, análisis de tejidos y observación visual de síntomas. También utiliza la aplicación directa de uno o varios elementos al suelo o al

follaje, para identificar el o los elementos que limitan o benefician el crecimiento de la planta.

Los suelos de Zamorano cuentan con niveles bajos de Mg, pero algunos suelos pueden llegar a un rango de contenido medio (180 – 300 ppm). En general los suelos de Zamorano están entre un rango de 70-250 ppm. Debido a esto se consideró la posibilidad de que los niveles relativamente bajos de Mg puedan estar afectando el desarrollo y el rendimiento del cultivo del frijol en Zamorano.

El Mg es uno de los seis elementos mayores esenciales en la nutrición de las plantas, las cuales usan desde unos décimos hasta un uno por ciento de este elemento; por otro lado las plantas requieren cantidades similares de P y S.

Las cantidades de un determinado nutrimento que la planta absorbe durante las diferentes etapas de su desarrollo determinan lo que se conoce como curva de absorción.

Los objetivos de este estudio fueron:

#### Objetivo General

Determinar el efecto del Mg sobre el crecimiento y rendimiento de grano del frijol común variedad Tío Canela 75 en condiciones de invernadero utilizando tres suelos de Zamorano con diferentes contenidos de Mg.

#### Objetivos específicos

- a. Determinar curvas de absorción de Mg para frijol común bajo condiciones de invernadero.
- b. Comparar el efecto de la aplicación de niveles de Mg en las plantas de frijol crecidos en suelos con diferentes contenidos de Mg y determinar la dosis adecuada para una óptima producción de materia fresca, materia seca y en el rendimiento.

## II. REVISION DE LITERATURA

Según Rosas (1998) el frijol común es una planta de origen tropical y se desarrolla a temperaturas entre 18 y 24° C, y generalmente predomina en regiones entre 400 y 1200 msnm. Se puede establecer en una gran variedad de suelos de características variables, pero es muy susceptible a suelos ácidos, sobre todo cuando la acidez se presenta asociada a niveles tóxicos de aluminio (Al) y manganeso (Mn). Los valores óptimos de pH para el cultivo de frijol están entre 6.0 y 7.5; sin embargo, se pueden adaptar a diversas condiciones de suelos.

Diversos factores son los que determinan el rendimiento final del cultivo, entre estos el potencial genético de la variedad del frijol sobre todo si se escogen las más adaptadas a las condiciones producción. También son determinantes las prácticas agronómicas como la preparación de suelo, épocas de siembra, densidad de siembra, riego y fertilización del cultivo. Para la fertilización de frijol se debe tomar en cuenta las características físicas favorables del suelo, ya que debe suministrar los nutrimentos indispensables para el desarrollo de las plantas. Con frecuencia los suelos no contienen los elementos nutritivos en las cantidades adecuadas para el crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo. Por esta razón, se hace necesario proporcionar los nutrimentos deficientes en el suelo mediante la fertilización (Rosas, 1998).

Existen elementos esenciales obtenidos de los suelos por la planta, seis de ellos son usados en cantidades relativamente altas por lo que son conocidos como macronutrientes, estos son nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) (Cuadro 1). Las plantas pueden retardar su crecimiento por la poca disponibilidad de algunos de estos elementos en los suelos debido a la lenta conversión a formas disponibles, o porque no hay un buen balance con otros nutrimentos.

La química de la solución del suelo es una importante consideración en algunos estudios de nutrición vegetal ya que la determinación de esta composición puede mostrar el comportamiento de los procesos microbiales y de las funciones de la raíz, así como de posibles deficiencias o toxicidades (Lawrence y David, 1996).

Los nutrimentos generalmente existen en dos condiciones. Como componentes complejos e insolubles y como componentes solubles que son fácilmente disponibles para las plantas. La mayor cantidad de K, Ca y Mg existen en el suelo en forma inorgánica.

Cuadro 1. Contenido de nutrimentos en hojas trifoliadas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*).

Elemento	Bajo	Suficiente	Alto
	%		
N	4.24-4.99	5.00-6.00	>6.0
P	0.25-0.34	0.35-0.75	>0.75
K	2.00-2.24	2.25-4.00	>4.0
Ca	1.00-1.49	1.50-2.50	>2.5
Mg	0.25-0.29	0.30-1.00	>1.0
	ppm		
B	15-19	20-75	>75
Cu	4-6	7-30	>30
Fe	40-49	50-300	>300
Mn	15-49	50-300	>300
Zn	18-19	20-200	>200

Fuente: Plant Analysis Handbook, (1991).

## 2.1 IMPORTANCIA DEL MAGNESIO

El Mg es el segundo catión intercambiable más abundante en los suelos; sin embargo, es el ion menos estudiado en su grupo. Las cantidades excesivas o deficientes de Mg no son muy comunes (Bear, sf).

El Mg es absorbido en la forma de ión y es el mayor constituyente mineral de la molécula de clorofila. La importancia del Mg está en que la ausencia de la clorofila impediría a las plantas verdes autótrofas llevar a cabo la fotosíntesis (Bohn et.al., 1993).

Aunque la importancia del Mg en las plantas radica en que es el constituyente primordial de la molécula de clorofila, también el Mg sirve como un componente estructural de los ribosomas estabilizándolos para la síntesis de proteínas. Como consecuencia de una deficiencia de Mg, las proporciones de N protéico decrece y las de N no protéico generalmente incrementan en la planta (Tisdale et.al., 1993).

El Mg está involucrado en un gran número de funciones físicas y biológicas; y requerida para una máxima actividad de la mayoría de enzimas del metabolismo de los carbohidratos. La mayoría de reacciones involucradas en la transferencia de fosfatos del ATP requieren Mg, como también en procesos como la transferencia de energía que

ocurre en la fotosíntesis, glucólisis, ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs y la respiración (Tisdale et al., 1993).

El contenido de Mg en las plantas está en rangos entre 0.15% a 1.0% en la materia seca de las hojas, con un valor de suficiencia de 0.25% en las hojas de la mayoría de los cultivos. Los valores críticos varían según la especie del cultivo, siendo bajo en cereales y altos para leguminosas, algunos vegetales y frutales. Altas concentraciones de Mg se encuentran en las hojas más viejas. Altos rendimientos de los cultivos requirieron de 11 a 196 kg Mg/ha. El contenido de Mg en la cosecha de los cultivos es considerablemente poco en granos y algunas frutas, ya que la mayoría del contenido de Mg se queda en las plantas (Jones et al., 1991).

El Mg está relacionado con la síntesis de aceite. Con el S se encuentra en cantidades bastantes notables en el contenido de aceite de varios cultivos oleaginosos (Kass, D. 1996).

Algunas capacidades de intercambio se encuentran dependientes de las condiciones físicas existentes en un suelo deficiente y a un pH alto, similares a las condiciones características de los suelos sódicos. Los suelos derivados de serpentina tienden a poseer niveles altos de Mg intercambiable y también son comunes (Bohn et al., 1993).

Las relaciones entre el Mg y K y Mg y Ca son bastantes conocidas. La deficiencia de Mg puede ser inducida por altas concentraciones de  $\text{NH}_4$ , K y Ca en el medio de la raíz, donde el Mg es pobre competidor con estos otros cationes (Bohn et al., 1993).

## 2.2 DEFICIENCIA DE MAGNESIO

Las cantidades excesivas o deficientes de Mg no son comunes, pero se han informado sobre las deficiencias de Mg en vegetales cultivados en algunos suelos ácidos y arenosos. El abonar con cal a menudo corrige tanto la acidez como la deficiencia de Mg, debido a que las rocas calizas que se usan en la agricultura contienen comúnmente considerables impurezas de Mg. En condiciones críticas y con cultivos que requieren un alto contenido de Mg, la roca caliza dolomítica es más satisfactoria para abonar (Bohn et al., 1993).

Las deficiencias de Mg se manifiestan con más frecuencia en los suelos de textura gruesa de las regiones húmedas. Estos suelos normalmente contienen tan sólo pequeñas cantidades de Mg cambiabile, condición que se agrava por la adición de grandes cantidades de fertilizantes que contienen poco o nada de este elemento (Tisdale et al., 1993).

Es muy importante tener en cuenta las formas en que el Mg puede estar disponible para una mayor absorción y remoción de los suelos. Las aplicaciones de fertilizantes suplen en su mayor parte las cantidades necesarias de Mg que el cultivo necesita, pero también existen otros ingresos del Mg a la solución de suelo en una forma disponible como ser en los residuos de cultivos, estiércol, fertilizantes comerciales y los provenientes de los

mismos minerales del suelo. Las pérdidas se dan por la remoción de los cultivos, por lixiviación y por erosión (Mengel y Kirkby, 1987).

En las plantas, la deficiencia de Mg se identifica por una clorosis intervenal en las hojas adultas, porque es un elemento de rápida movilidad dentro de ellas. Si hay deficiencias, sólo las venas tienen color verde pero el área foliar entre las venas se vuelve clorótica. Si la deficiencia avanza, las hojas adquieren un color pardo y posteriormente ocurre la necrosis de los tejidos. Si son plantas monocotiledóneas, la clorosis tiene un patrón longitudinal asociado a la nervadura de la lámina foliar; pero si es dicotiledóneas la clorosis es transversal a la nervadura central (Kass, D. 1996).

Una deficiencia de Mg en las plantas puede deberse a la utilidad que tengan estos cationes para la planta y la concentración de estos nutrientes en el suelo (Jones et al., 1991). El Ca y Mg intercambiable son fuertemente influenciados por los rangos de fertilización, decreciendo con fertilizaciones nitrogenadas. El Ca y Mg que son acumulados en la superficie de 0 - 5 cm del suelo son probablemente el resultado de enclavamientos. En contraste, suelos no enclavados tienen niveles bajos de Ca y Mg en la superficie de 0 - 5 cm en suelos que no han sido labrados. Debajo de 5 cm, los niveles del P, K y el Ca y Mg intercambiable son altos en suelos con tratamientos de una labranza convencional (Blevins y Frye, 1997).

Las deficiencias pueden ocurrir cuando los niveles de Mg y/o el pH del suelo es bajo y cuando existen prolongadas condiciones de humedad del suelo y lluvias constantes. También las deficiencias pueden ser inducidas por altas aplicaciones de fertilizantes de N y K. Los tratamientos correctivos pueden que no sean efectivos en estados avanzados del cultivo. Según Jones et al. (1991), si se detectan bajos contenidos de Mg en el suelo, se recomienda aplicar 0,74 -0,98 lb Mg/ha como sulfato de magnesio en 20-25 galones de agua; si el pH del suelo es mayor de 5.4. Si el nivel de Mg es bajo, aplicar 61 lb de Mg/ha.

### 2.3 RELACION CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO

La naturaleza e intensidad de los cambios catiónicos depende directamente de los requerimientos de la planta y de la capacidad del suelo de suplir estos elementos. Nutrientes como Ca y Mg, que usualmente están en altas cantidades en la solución de suelo, es transferida por flujo de masa del suelo a la raíz según el requerimiento que tenga ésta (Hinsinger, 1999).

Las deficiencias de Mg ocurren cuando existen en el suelo altos rangos de Ca/Mg intercambiable, donde la relación no debe exceder de 10/1 a 15/1. En algunas regiones húmedas, por el constante uso de materiales altos en Ca incrementa la relación Ca/Mg e inducen a una deficiencia de Mg en ciertos cultivos. Altos niveles de K intercambiable pueden interferir con la absorción de Mg; se recomienda que la relación de K/Mg sea < 5/1 para cultivos extensivos, 3/1 para hortalizas y de 2/1 para frutales y cultivos de invernadero (Tisdale et.al., 1993).

En estudios realizados, se encontró que la aplicación de Mg, especialmente en pasto, aumenta la concentración en la parte aérea en suelos no encalados. Este resultado pudo ser causado por la reducción de la producción de materia seca que se obtuvo o por el efecto antagónico del Ca a altos grados de encalamiento, sobre la absorción de Mg. Se obtuvo también que la concentración de Mg decrece con el crecimiento de la planta en suelos encalados con o sin la adición de Mg (Rengel y Robinson, 1990). Se puede reducir este efecto inhibitor del Ca sobre el Mg en suelos ácidos usando fuentes que contengan Mg este es el caso de productos con  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  y MgO conocido como FBC, así aumentando los rendimientos al mejorar la química del suelo así como la reducción del Al (Stehouwer et.al., 1999).

En otro trabajo realizado en sorgo, se encontró que existe un efecto inhibitor del K sobre la absorción del Mg como consecuencia de la reducción de las cantidades translocadas para las partes aéreas de la planta de sorgo. Las concentraciones de estos dos cationes, K y Mg, junto a la superficie radicular tuvo una influencia en la absorción del Mg por la plantas. Se sabe que los mecanismos y velocidades de absorción como también las cantidades absorbidas. Normalmente se observa un exceso en la concentración de Mg en la zona de la raíz en cuanto que las de K llegan a niveles muchos más bajos. La translocación a la parte aérea, parece también ser dependiente de las interacciones físicas y químicas de los cationes en el apoplasto y el simplasto de las raíces. También se observó que el antagonismo es más dependiente de las concentraciones de K que las de Mg junto a la superficie radicular, es decir, que los factores que condicionan la difusión del K pueden afectar también la del Mg. Como conclusión se llegó a que cuando existen altas concentraciones de Mg en la solución de suelo, el K no inhibe su absorción (Anduvo, 1997).

Existe un fenómeno que afecta la cantidad de iones en la solución de suelo; es conocido como el efecto del ion complementario y se define como la influencia de un ion adsorbido en la liberación de otro de la superficie de un coloide. Las altas concentraciones de K en el

suelo reducirán la toma de Ca y de Mg por las plantas. Esto parecería un efecto antagónico entre el K sobre la absorción del Ca y Mg. Los iones que son similares manifiestan antagonismos. El K no es similar al Ca y al Mg. Sin embargo, los efectos observados cuando las plantas crecen en el suelo deben ser causados por algún otro efecto que un simple antagonismo iónico. Ello se explica generalmente como el resultado del efecto del ión suplementario. Los coloides del suelo tienden a retener cationes bivalentes más que cationes monovalentes. Si las bases cambiables de un coloide de suelo consisten en grandes cantidades de K y  $\text{NH}_4$  en proporción a las cantidades de Ca y Mg, estos iones monovalentes serán remplazados más fácilmente por los iones bivalentes. De aquí que la absorción de iones monovalentes por la planta fuere mayor que la absorción de iones bivalentes. En casos extremos, en que la razón de iones monovalentes a bivalentes es muy amplia se puede producir deficiencias de iones bivalentes (Jones et.al., 1991).

Estos tres elementos son considerados juntos por los efectos que tiene uno sobre el otro en sus diferentes concentraciones. La suma de cationes Ca, Mg y K, es siempre constante en la mayoría de las plantas y en sus tejidos. La expresión en porcentaje tiende a minimizar la variación en Mg, mientras magnifica las variaciones de K; los pesos equivalentes de K, Ca y Mg son 39, 20 y 12, respectivamente. El contenido en porcentaje de K, Ca y Mg en los tejidos de las plantas pueden ser convertidos a meq/100g por la multiplicación de sus porcentajes con 25.57, 49.90 y 82.24, respectivamente (Jones et.al., 1991).

La concentración de K, Ca y Mg en el tejido de la planta es afectado por los niveles de competencia o ion antagónico que pueden presentarse en el suelos según su relación con otros iones (Cuadro 2). El K es el ion más activo de los tres cationes, ya que tiende a tener un mayor efecto depresivo sobre el Ca y Mg que estos sobre el contenido de K; y Ca aparece como un antagonista menor al Mg que el K. Evidentemente hay una mutuo antagonismo entre K y Ca, pero si existen altas concentraciones de ambos pueden existir simultáneamente (Mengel y Kirkby, 1987).

Cuadro 2. Rangos de las relaciones de Ca, Mg y K, más la relación de Ca + Mg con K tomados como referencia para cualquier suelo.

Relación	Limite inferior	Limite superior
Ca:Mg	4:1	15:1
Ca:K	16:1	35:1
Mg:K	2:1	14:1
Ca+Mg:K	25:1	40:1

Fuente: Laboratorio de Suelos, Departamento de Agronomía, Zamorano.

Mientras la suma de K y Ca + Mg es equivalente en los tejidos de las plantas, las variaciones son causadas por la adición de N, estado de crecimiento, adiciones de cal, y deficiencias de Mg o K. El uso de  $\text{NO}_2^-$ -N favorece la toma de cationes, mientras el  $\text{NaNO}_3$  puede afectar negativamente el Ca. Los miliequivalentes del total de cationes tienden a incrementar con la edad si niveles bajos de K están presentes.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 UBICACIÓN DEL ENSAYO

El ensayo se llevó a cabo en una casa de malla de las instalaciones del Departamento de Agronomía de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, situada a 30 km al sudeste de Tegucigalpa, carretera a Danlí, Honduras, a una latitud de 14° N y longitud de 87° O, a una altitud de 800 msnm y temperatura promedio anual de 23°C.

#### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

Se determinaron los niveles de absorción de Mg para determinar que cantidad de peso seco, peso fresco y concentración de Mg existía en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Esto se realizó usando 12 tratamientos que consistieron de tres suelos con diferentes contenidos de Mg y cuatro niveles de fertilización de Mg, y tres muestreos destructivos a intervalos de 15 días. A continuación se describe detalladamente los factores que se tomaron en cuenta para este ensayo.

##### 3.2.1 Material vegetativo

El ensayo se realizó con la variedad de frijol Tío Canela-75, por ser una variedad liberada por Zamorano y que se empleó en un gran porcentaje para la producción de frijol en la región.

##### 3.2.2 Unidad experimental

Las unidades experimentales del ensayo fueron maceteros de 1800 g de capacidad distribuidos al azar en cuatro repeticiones en el invernadero. Cada repetición consistía de los 12 tratamientos y cada uno de estos tratamientos de un grupo de cuatro maceteros que permitiría usar uno en cada muestreo, haciendo un total de 192 maceteros (12 tratamientos\* 4 maceteros por tratamiento\*4 repeticiones).

### 3.2.3 Diseño experimental

Se utilizó un arreglo factorial de 3\*4 en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada tratamiento de cada repetición constaba de cuatro submuestras individuales que correspondían a cada muestreo cuyo proceso era destructivo.

### 3.2.4 Tratamientos

Los tratamientos del ensayo consistieron de:

**Suelo:** Se utilizaron estos de acuerdo a su contenido de Mg y se seleccionaron de tres lugares según los contenidos de Mg escogidos de análisis anteriores de acuerdo datos del Laboratorio de Suelos de Zamorano donde fueron seleccionados los suelos de Zavala, lote 1B (nivel bajo), San Nicolás (nivel medio) y el lote 3SB de Zona 3 (nivel más alto).

A estos suelos se le realizó un análisis inicial para definir los contenidos de los nutrientes con los que iba a empezar el ensayo y el complemento de nutrientes requeridos (Cuadro 3).

Los suelos que se tomaron como base inicial se clasificaron en bajo (80-140 ppm), medio (141-200 ppm) o alto (>200 ppm) en contenidos de Mg y como referencia para la preparación de las soluciones nutritivas. Estos rangos fueron considerados para propósito del ensayo ya que los rangos normales de Mg que toman del Laboratorio de Suelos de Zamorano son para un nivel bajo de 0-180ppm de Mg, medio 181-300 ppm de Mg y alto de 301 ppm en adelante. Esta clasificación para el ensayo se debió a que en los suelos del Zamorano no existen suelos con niveles mayores que los utilizados.

Cuadro 3. Resultado del análisis de los suelos utilizados para la evaluación de los niveles de absorción de Mg por el frijol Tío Canela-75. Zamorano, Honduras.

	Zavala Lote 1B	Nivel	San Nicolás	Nivel	Zona 3 Lote 3SB	Nivel
pH	4.48	Fuertemente Acido	4.86	Fuertemente Acido	6.38	Levemente ácido
Nitrógeno total % <sup>1</sup>	0.08	Bajo	0.14	Medio	0.12	Medio
Fósforo <sup>2</sup> ppm	17	Bajo	8	Bajo	283	Alto
Potasio <sup>3</sup> ppm	90	Medio	298	Alto	253	Alto
Calcio <sup>4</sup> ppm	600	Bajo	1155	Medio	2570	Alto
Magnesio <sup>5</sup> ppm	82	Bajo	157	Bajo	210	Medio

Fuente: Laboratorio de Suelos, Departamento de Agronomía, Zamorano

<sup>1</sup> Potenciometría. Relación Suelo:H<sub>2</sub>O de 1:1

<sup>2</sup> Determinación del método de Kjeldahl

<sup>3</sup> Espectrofotómetro de absorción atómica

<sup>4</sup> Método de fosfocolorimetría de (selenotribleno azul)

### - Niveles de Mg aplicados

Los niveles de Mg determinados con el análisis inicial de suelos se complementaron con soluciones que contenían concentraciones de 0, 25, 50 y 75 ppm de Mg, utilizando como fuente cloruro de magnesio hexahidratado ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ).

## 3.2.5 Prácticas agronómicas

### 3.2.5.1 Suelo

Los suelos fueron recolectados de los tres lotes seleccionados y luego tamizados para evitar piedras, residuos de cosecha, terrones, basura, etc., que afectarán el crecimiento de la planta o en el aspecto nutricional aumentando o disminuyendo los nutrientes disponibles.

### 3.2.5.2 Maceteros

Por ser un ensayo de invernadero se utilizaron maceteros plásticos de una capacidad de 1800 g de suelo, con orificios en la parte inferior para el drenaje. Para evitar la pérdida de suelo y no tener así alguna pérdida de nutrientes antes del llenado del suelo se colocó en el fondo paja seca como una forma de retener el suelo.

### 3.2.5.3 Siembra

La siembra se hizo colocando cuatro semillas de frijol variedad Tío Canela-75 por macetero. Antes de la aplicación de la solución de Mg se realizó un raleo dejando la planta más vigorosa para dejar solo una por macetero.

### 3.2.5.4 Fertilización

Se hicieron fertilizaciones divididas en dos etapas, ambas consistieron en soluciones nutritivas preparadas en el Laboratorio de Suelos del Zamorano.

#### a) Fertilización básica

La solución nutritiva que consistió en la fertilización básica en base a los análisis de suelos realizados se preparó utilizando como fuentes nitrato de amonio ( $NH_4NO_3$ ) y ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). No se utilizó ninguna fuente potásica ya que según los análisis de suelos, indicaban que existía suficiente K en el suelo para un buen desarrollo de las plantas de frijol (Cuadro 4). Esta fertilización básica se realizó fraccionada en dos etapas, una al momento de la siembra y una segunda a los 25 días. Se aplicó un total de 15 ml de solución por macetero.

Cuadro 4. Cantidad y compuestos químicos usados para la formulación de las soluciones nutritivas para la fertilización básica del frijol Tio Canela-75 en invernadero.

Elemento	Compuesto Usado	Cantidad del compuesto (g)	Cantidad de Agua destilada (ml)
Suelo Bajo			
N	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	15.26	1250
P	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	23.03	1250
Ca	CaCO <sub>3</sub>	60	1000
Suelo Medio			
N	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	10.62	1250
P	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	25.51	1250
Ca	CaCO <sub>3</sub>	n.l.	n.l.
Suelo Alto			
N	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	12.17	1250
P	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	n.l.	n.l.
Ca	CaCO <sub>3</sub>	n.l.	n.l.

n.l. = Elemento que no necesitaba el suelo

Cabe aclarar que el Ca utilizado como carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) no iba en la solución de fertilización básica, sino fue mezclada en el suelo en el momento de la preparación del suelo, para evitar la precipitación del CaCO<sub>3</sub> en la solución.

#### b) Aplicación de magnesio

La solución nutritiva no se hizo tomando en cuenta los análisis de suelos sino con cantidades fijas de 0, 25, 50 y 75 ppm (Cuadro 5). Esto se hizo porque los niveles de Mg en los suelos eran muy bajos y se quería llegar a los rangos esperados (bajo, medio y alto de Mg) para el ensayo. Esta aplicación se realizó a los 10 días después de la fertilización básica según Henríquez et.al. (1995), para evitar la formación de precipitados especialmente fosfatos. Se aplicaron 15 ml de la solución nutritiva por macetero.

Cuadro 5. Cantidad de cloruro de magnesio para la formulación de las soluciones nutritivas para el cultivo de frijol Tio Canela-75 en invernadero.

Nivel de magnesio (ppm)	Cantidad del compuesto (g)	Cantidad de agua destilada (ml)
25	25.34	1000
50	50.21	1000
75	75.31	1000

### 3.2.5.5 Riego

El riego se realizó cada dos días con volúmenes similares de agua para todos los tratamientos.

### 3.2.5.6 Cosecha

La cosecha se realizó a los 65 días después de la siembra, y se determinaron los componentes de rendimiento como número de granos por vaina, número de vainas por planta y peso seco de 100 granos.

### 3.2.6 Recolección de datos

Los muestreos se hicieron empezando a los 15 días después de la germinación. El primer muestreo coincidía con la etapa V3 del frijol (primer hoja trifoliada), 30 días entre las etapas V4 y R1 del frijol (3ra hoja trifoliada y prefloración) y a los 45 días después de germinación en la etapa R7 (formación de vainas). Las muestras fueron separadas en raíces, tallos y hojas, para luego ser analizadas.

A los 65 días (cosecha del ensayo) se recolectaron las vainas de cada tratamiento para determinar los contenidos de Mg en los granos y los componentes de rendimiento mencionados anteriormente.

## 3.3 ANALISIS DE LAS MUESTRAS

Para el peso fresco del material recogido del invernadero se determinó el peso de cada parte de la planta (hojas, tallos y raíces) de cada tratamiento y repetición separadamente en una balanza de precisión. Luego las muestras se dejaron secar en un horno a 65°C por 48 h y se tomaron los pesos secos.

Para determinar la concentración de Mg del material vegetativo se utilizó el método de digestión húmeda que consistió en destruir los tejidos vegetales utilizando ácidos fuertes, ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y peróxido ( $H_2O_2$ ) para que no interfirieran después con la determinación de los elementos y unas temperaturas moderadas para acelerar el proceso.

La digestión comienza con temperaturas bajas (< 100°C) aumentando poco a poco, hasta que las emanaciones de color café del ácido sulfúrico que se producen al inicio se convierten en blanco con la adición del peróxido y la solución digerida alcance un color transparente cuando la digestión ha finalizado.

Luego se toma 1ml del concentrado y se diluye en 1/25 con una solución de Lantano 1% para determinar el Mg en el espectrofotómetro de absorción atómica a una longitud de onda de 285.2 nm. El lantano es para evitar interferencias del Al y P en la determinación del Mg.

### 3.4 ANALISIS ESTADISTICO

Los datos se analizaron utilizando el Programa SAS<sup>TM</sup> (SAS Institute), 1989. Se realizó una comparación de medias para determinar el mejor tratamiento para la acumulación de peso fresco y peso seco y la absorción de Mg de acuerdo al siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu_i + N_j + S_k + N_j S_k + E_{ijk}$$

En donde,

$Y_{ijk}$ =	respuesta
$\mu_i$ =	respuesta del iavo repetición
$N_j$ =	efecto debido al javo niveles de magnesio
$S_k$ =	efecto debido al kavo suelo
$N_j S_k$ =	efecto de la interacción de javo nivel de magnesio con el kavo suelo
$E_{ijk}$ =	efecto debido al error

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba DMS (diferencia mínima significativa).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados generales del ensayo se presentan en el Cuadro 6; en el Cuadro 7 se presentan los niveles de significancia obtenidos en el análisis estadístico.

Cuadro 6. Efectos simples de los factores de suelos, niveles de Mg y días a muestreo sobre las variables estudiadas.

		Peso fresco hoja (g)	Peso seco hoja (g)	Peso fresco tallo (g)	Peso seco tallo (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco raíz (g)	Magnesio hojas (%)	Magnesio tallo (%)	Magnesio raíz (%)
Suelos	Bajo (82ppm)	4.61	1.30	3.63	1.21	3.76	1.56	0.66	0.39	0.33
	Medio (157ppm)	3.98	1.29	3.39	1.09	3.75	1.50	0.45	0.27	0.21
	Alto (210ppm)	4.22	1.19	3.46	1.12	3.75	1.43	0.41	0.28	0.23
Magnesio	0ppm	4.11	1.26	3.52	1.17	3.77	1.51	0.43	0.29	0.23
	25ppm	4.32	1.26	3.42	1.11	3.72	1.46	0.46	0.29	0.25
	50ppm	4.30	1.27	3.56	1.14	3.79	1.51	0.56	0.32	0.26
	75ppm	4.37	1.25	3.54	1.14	3.76	1.48	0.57	0.36	0.28
Días	15 días	2.20	0.60	0.66	0.48	1.63	1.06	0.42	0.23	0.20
	30 días	4.14	0.85	2.97	0.74	3.09	1.06	0.61	0.34	0.31
Muestreo	45 días	6.68	2.21	6.67	2.22	6.62	2.37	0.48	0.37	0.23

Cuadro 7. Niveles de significancia obtenidos en el análisis de varianza de los efectos de los tratamientos sobre las variables estudiadas.

	Peso fresco hoja	Peso seco hoja	Peso fresco tallo	Peso seco tallo	Peso fresco raíz	Peso seco raíz	Magnesio en las hojas	Magnesio en los tallos	Magnesio en la raíz
Suelos	0.001**	0.020**	0.0001**	0.0001**	0.7214	0.0481**	0.0001**	0.0001**	0.0001**
Niveles	0.1376	0.9674	0.6803	0.3266	0.9751	0.8746	0.0117**	0.0001**	0.0001**
Días a muestreo	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**
Suelos*Niveles	0.0056**	0.1914	0.592	0.3782	0.3941	0.9522	0.1041	0.0001**	0.0625**
Suelos*Días	0.1056	0.663	0.067**	0.0004**	0.3887	0.1919	0.0576**	0.6532	0.0001**
Niveles*Días	0.7215	0.9289	0.9303	0.4761	0.5921	0.7962	0.6264	0.0041**	0.5923
Suelos*Niveles*Días	0.6976	0.2299	0.9416	0.2539	0.8241	0.912	0.5204	0.0001**	0.1217

\*\* Significativo con un  $\alpha < 0.10$

A continuación se comentan los efectos significativos de los tratamientos y sus interacciones sobre las variables estudiadas.

#### 4.1 PESO FRESCO

##### 4.1.1 Peso fresco de las hojas

La significancia del modelo estadístico fue de  $P < 0.0001$ , ( $R^2$  de 0.9560), lo cual indica que el modelo empleado explicó en un 95% sobre la ganancia de peso fresco en las hojas debido a los tratamientos.

Se presentaron diferencias significativas en los factores de días a muestreo (Cuadro 6) y la interacción de suelo\* niveles (Cuadro 8).

La acumulación del peso fresco en las hojas se incrementó a medida que se van realizando los muestreos. La mayor respuesta se observó a los 45 días (el tercer muestreo), lo cual se pudo deber al proceso natural de las plantas de acumular la mayor cantidad de follaje durante las etapas vegetativas e inicio de las etapas reproductivas, donde reduce su crecimiento.

Cuadro 8. Acumulación del peso fresco (g) en las hojas por efecto de la interacción de los factores suelo\*niveles de Mg.

Nivel (ppm)	Suelo		
	Bajo	Medio	Alto
0	4.44b	3.94d	4.18c
25	4.55b	4.01d	4.15cd
50	4.68ab	4.17c	4.22c
75	4.95a	4.43bc	4.33c

Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

Se encontró que en la interacción de los diferentes suelos con los niveles de Mg, existió una respuesta mayor en los tratamientos en los que se aplicó 50 y 75 ppm en suelos con bajo contenido de Mg. Esto indica que aplicaciones de Mg en suelos deficientes de este elemento pueden tener efectos benéficos en la variedad de frijol como un incremento del peso fresco, pero hay que tener en cuenta las limitaciones de espacio y la movilidad del Mg en los maceteros comparados con los que tendría en un suelo normal. Por otro lado se observa que no se justifica aplicar mayores cantidades en suelos con contenidos normales de Mg ya que no se observan mejores respuestas probablemente porque la variedad de frijol no tiene requerimientos altos de Mg (Gráfica 1).

#### 4.1.2 Peso fresco de los tallos

El modelo aplicado a este experimento obtuvo una alta significancia ( $P < 0.0001$ );  $R^2$  de 0.9921. El efecto de la interacción de suelo y días a muestreo fue significativa, se puede observar en el Cuadro 9.

La mejor respuesta en la acumulación de peso fresco en los tallos se encontró en suelos bajos en contenidos de Mg a los 45 días (3er. muestreo). Esto se pudo deber a la mayor disponibilidad del Mg como respuesta a la aplicación en suelos deficientes de este elemento y que la planta al llegar al final de la etapa vegetativa y entrar a la etapa reproductiva haya llegado a su mayor acumulación de materia seca en los tallos (Gráfica 1).

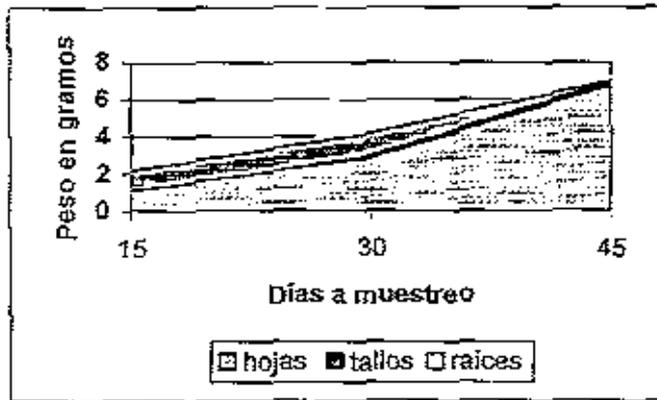
Cuadro 9. Peso fresco de los tallos debido a la interacción de suelo\*días a muestreo.

Días	Suelo		
	Bajo	Medio	Alto
15	1.01e	0.98e	0.88e
30	3.12c	2.85d	2.92d
45	6.80a	6.52b	6.57b

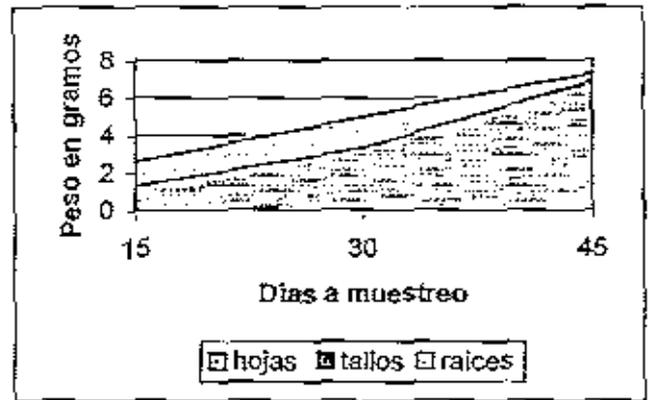
Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

#### 4.1.3 Peso fresco de las raíces

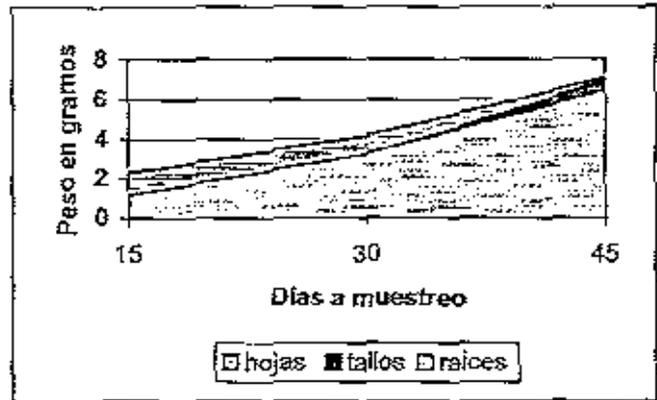
En esta variable se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.0001$ ), un ajuste al modelo del 97% ( $R^2 = 0.9731$ ). Se encontró que los días de muestreo (Cuadro 6) fue el único factor que influyó significativamente en el peso fresco de las raíces, observándose los pesos mayores en el tercer muestreo (45 días), donde las plantas tuvieron su mayor acumulación de material vegetativo, aunque la planta pudo encontrarse en condiciones limitadas de espacio para el desarrollo de raíces y no tener un desarrollo como en un ensayo de campo.



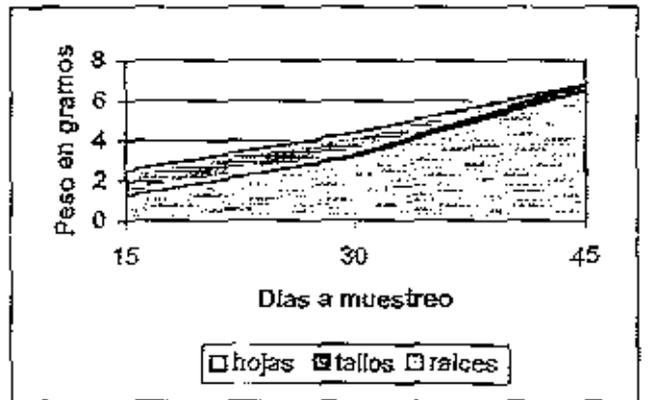
Suelo Bajo (Nivel 00 ppm)



Suelo Bajo ( Nivel 25ppm)



Suelo Bajo ( Nivel 50ppm)



Suelo Bajo ( Nivel 75ppm)

Grafica. 1. Acumulación del peso fresco en hojas, tallos y raíces bajo los tratamientos de suelo y niveles de Mg.

## 4.2 PESO SECO

### 4.2.1 Peso seco de las hojas

El modelo estadístico para esta variable resultó significativa ( $P < 0.0001$ ), y los datos se ajustaron al modelo en un 98 % ( $R^2 = 0.98$ ).

Se encontraron diferencias significativas en los efectos de suelos (Cuadro 10) y los días a muestreo (Cuadro 11), sin que las interacciones fueran significativas.

La mejor respuesta en la acumulación de peso seco en las hojas se encontró en los suelos bajos en Mg. Esto se puede deber a una menor absorción en los suelos con contenidos medios y altos en Mg ya que la variedad de frijol no necesite absorber mayor cantidad de la observada, y que con los niveles existentes en el suelo cubra sus requerimientos para su crecimiento y desarrollo.

Cuadro 10. Peso seco de las hojas debido al efecto simple de los suelos.

Suelos	Peso seco (g)	
Bajo	1.3053	a
Medio	1.2897	b
Alto	1.1935	c

Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

Como se observa el Cuadro 11, el peso seco de las hojas mostró un aumento según los días a muestreo; donde en el tercer muestreo (45 días), se encontró la mayor acumulación de peso seco en las hojas. Este efecto se debió a que al tercer muestreo el frijol ya había terminado su etapa vegetativa, estando ya en la etapa R6 (floración), teniendo la mayor acumulación del material vegetativo al completar su desarrollo. Cabe observar que este máximo desarrollo vegetativo pudo ocurrir entre los 30 y 45 días de muestreo.

Cuadro 11. Peso seco de las hojas debido al efecto simple de los días a muestreo.

Días a muestreo	Peso seco (g)	
45	2.2126	a
30	0.8581	b
15	0.8003	c

Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

#### 4.2.2 Peso seco de los tallos

El modelo aplicado a este experimento obtuvo una alta significancia ( $P < 0.0001$ ), el ajuste a nuestro modelo fue del 98%.

Se observaron diferencias significativas en la interacción de los factores suelos\* días a muestreo (Cuadro 12).

Se encontró que la mejor respuesta a la acumulación de peso seco en los tallos se dio a los 45 días de muestreo, donde la planta había terminado su etapa vegetativa pero con una mejor respuesta en suelos bajos en Mg, pudiéndose deber a que la variedad no necesita altas cantidades de Mg para acumular material vegetativo, no habiendo diferencia en contenidos mayores de Mg en el suelo donde no se justificaría hacer una aplicación de Mg.

Cuadro 12. Acumulación de peso seco (g) en los tallos por el efecto de la interacción de suelo\*días a muestreo.

Días	Suelo		
	Bajo	Medio	Alto
15	0.49e	0.48e	0.47e
30	0.79c	0.73cd	0.70d
45	2.35a	2.15b	2.14b

Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente.

#### 4.2.3 Peso seco de las raíces

El modelo estadístico empleado para evaluar esta variable fue significativo ( $P < 0.0001$ ), un  $R^2$  de 0.8819, que explica que el ajuste al modelo se ajustó en un 88%.

Se detectaron diferencias significativas de los efectos de suelos (Cuadro 13) y días a muestreo (Cuadro 14).

Se encontró una mejor acumulación de peso seco en los suelos con contenidos bajos de Mg, teniendo una similar respuesta con los suelos medios siendo solamente diferente a los suelos altos en Mg. Ese efecto de mejor absorción en el suelo bajo en Mg se pudo deber a que la variedad no necesita mayores cantidades de Mg para tener una alta acumulación de peso seco en la raíz y que no justifica hacer mayores aplicaciones ya que no se obtienen mejores respuestas.

Cuadro 13. Peso seco en las raíces debido al efecto de los suelos.

Suelos	Peso seco (g)	
Bajo	1,5594	a
Medio	1,5140	ab
Alto	1,4286	b

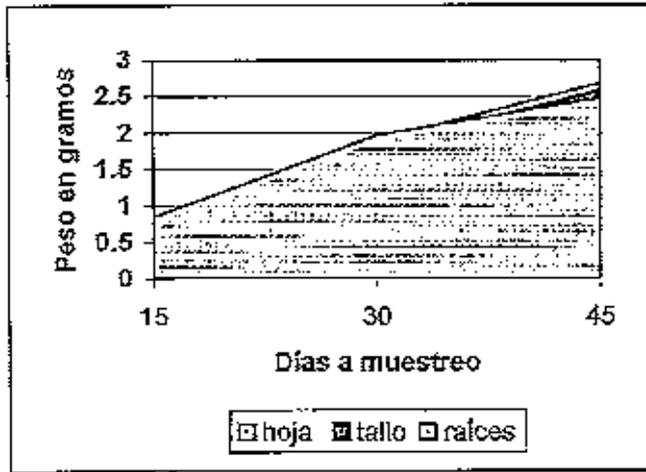
Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

El mayor peso seco de las raíces fue a los 45 días, pudiéndose deber como se explicó, a que la variedad había llegado al final de su etapa vegetativa, encontrándose en la etapa de inicio a floración al momento del tercer muestreo. Se observó que el peso de las raíces a 15 y 30 días fue similar debido al poco desarrollo de las raíces entre esas épocas, pudiéndose deber a efectos ajenos al ensayo como un ataque de pájaros en las primeras etapas del cultivo.

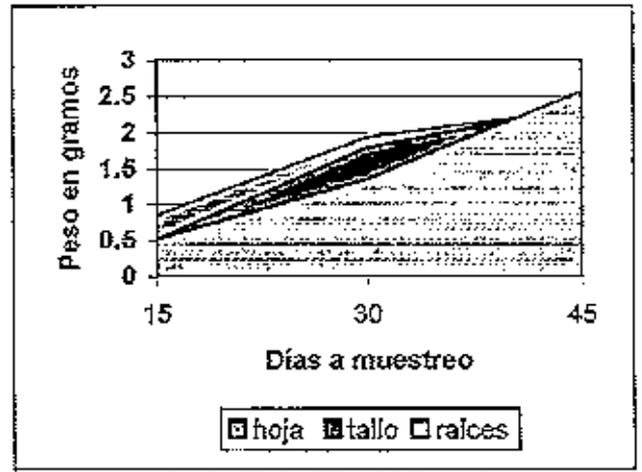
Cuadro 14. Peso seco en las raíces debido al efecto de los días a muestreo.

Días a muestreo	Peso seco (g)	
45	2,3696	a
30	1,0661	b
15	1,0603	b

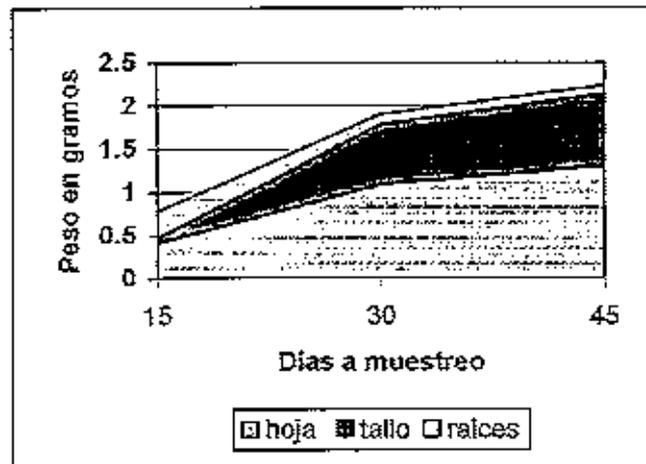
Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente



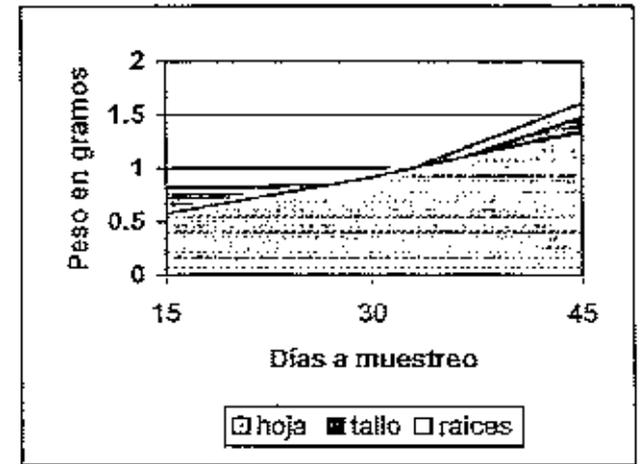
Suelo Bajo (Nivel 00ppm)



Suelo Bajo (Nivel 25ppm)



Suelo Bajo (Nivel 50ppm)



Suelo Bajo (Nivel 75ppm)

Grafica 2. Acumulación del peso seco en hojas, tallos y raíces bajo los tratamientos de suelo y niveles de Mg.

### 4.3 CONCENTRACION DE Mg EN HOJAS, TALLOS Y RAÍCES

#### 4.3.1 Concentración de Mg en las hojas

El modelo estadístico mostró una significancia para esta variable ( $P < 0.0001$ ), un  $R^2$  de 0.5147 que indica que nuestro modelo sólo se ajustó en un 52%. El C.V fue de 40.16%, el cual no es aceptable para este tipo de ensayos. Se cree que esta variabilidad se deba al daño de pájaros que existió en el follaje en las primeras etapas del cultivo.

Otro de los posibles efectos de esta variabilidad de datos pudo deberse que en los suelos las relaciones de Ca: Mg, Ca: K, Mg: K y Ca+Mg:K se encontraban bajas, sobre todo en los suelos medios y altos, pudiéndose crear un antagonismo en la disponibilidad y absorción de Mg por la planta (Cuadro 15).

Cuadro 15. Relación Ca, Mg y K obtenidos del análisis de suelo utilizado en el ensayo.

Relación	Bajo	Medio	Alto	Rangos normales
Ca:Mg	44.1:1	4.4:1	7.2:1	4:1-15:1
Ca:K	13:1	7.6:1	19:1	15:1-35:1
Mg:K	2.95:1	1.72:1	2.69:1	2:1-14:1
Ca+Mg:K	16:1	9.5:1	22.1:1	25:1-40:1

<sup>1</sup> Según rangos usados en el Laboratorio de Suelos, Zamorano

Se observa que las relaciones de Mg:K están cerca o por debajo del límite inferior de los rangos normales de un suelo, al igual que la relación Ca+Mg:K.

A pesar de esta alta variabilidad se encontraron diferencias significativa de los efectos de niveles de Mg aplicados (Cuadro 16), y la interacción de suelo\*días a muestreo (Cuadro 17).

Se encontró diferencia entre la concentración de Mg en las hojas debido a las aplicaciones de Mg donde hubo mayor respuesta en las dosis altas, esto se puede deber a que al ser aplicado el Mg fue más disponible para la planta que el existente en el suelo y por eso la planta absorbió la mayor cantidad de Mg disponible; además que al estar en un espacio reducido de suelo la planta tenía mayor disponibilidad en las aplicaciones altas de Mg (50 y 75 ppm).

Cuadro 16. Diferencias en concentración de Mg en las hojas debido al efecto simple de los niveles de Mg aplicados.

Niveles (ppm)	Concentración de Mg	
75	0.5667	a
50	0.5622	a
25	0.4764	b
0	0.4306	b

Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

Entre las interacciones de los efectos suelo por días de muestreo, se encontró que la mayor acumulación de Mg se observó al segundo muestreo (30 días) en suelos bajos. Esto se pudo deber al efecto natural de las plantas de reducir su absorción al llegar al inicio de la etapa reproductiva y reducir la concentración de Mg, además de existir una reducida translocación de las hojas a las vainas, y que las cantidades de Mg que necesite la variedad sean mínimas no requiriendo de altas concentraciones en los suelos. (Gráfica 3).

Cuadro 17. Acumulación de Mg en las hojas debido al efecto de la interacción de los factores de suelo\*días a muestreo.

Días	Suelo		
	Bajo	Medio	Alto
15	0.54bc	0.36d	0.36d
30	0.87a	0.55b	0.43c
45	0.58b	0.43c	0.43cd

Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

#### 4.3.2 Concentración de Mg en los tallos

El modelo estadístico fue significativo ( $P < 0.0001$ ), un  $R^2$  de 0.8399, lo que indica que el modelo se ajustó en un 83 % y que hubo una variabilidad de 15.49% debido a otros factores no tomados en cuenta en el ensayo, como el ataque de pájaros en las primeras etapas del cultivo. Se encontró significativo la interacción de nivel\*suelo\*días a muestreo.

La mayor concentración de Mg en los tallos se dio en el segundo muestreo (30 días). Pudiéndose deber a que en el tercer muestreo ya había formación de vainas y el Mg haya sido translocado a éstas, aunque en una pequeña cantidad. Un efecto normal en la mayoría de los cultivos su reducción de la concentración de Mg en las partes vegetativas al entrar a la etapa reproductiva.

Se encontró que la mejor respuesta se dio en los suelos bajos de Mg con los niveles más altos de aplicación de Mg (50 y 75 ppm), por su alta disponibilidad para la planta, y que concentraciones mayores no tengan una mejor respuesta sobre la variedad, ya que la planta ya pudo haber cubierto sus requerimientos.

### 4.3.3 Concentración de Mg en las raíces

El modelo estadístico mostró una significancia ( $P < 0.001$ ), con un ajuste de un 88% ( $R^2 = 0.8818$ ). Se encontraron diferencias significativas entre las interacciones de suelo\*niveles (Cuadro 18) y suelo\*días a muestreo (Cuadro 19).

Se encontró que hubo una mayor respuesta con el nivel bajo (Gráfica 3), pudiéndose deber al efecto antagónico descrito o también a que las raíces no necesitan clorofila por no tener una actividad fotosintética y no acumulen en gran cantidad Mg.

Al igual que en los tallos, la mejor respuesta se encontró en la interacción del suelo bajo con la aplicación más alta de Mg, esto indica que al haber un mayor requerimiento por la planta en este suelo deficiente en Mg haya existido una mejor respuesta a la aplicación del Mg.

Cuadro 18. Concentración de Mg en las raíces debido al efecto de la interacción de los factores de suelo\*niveles.

Nivel	Suelo		
	Bajo	Medio	Alto
0	0.29b	0.19e	0.20e
25	0.31b	0.21e	0.21de
50	0.34a	0.20e	0.22d
75	0.36a	0.22d	0.26c

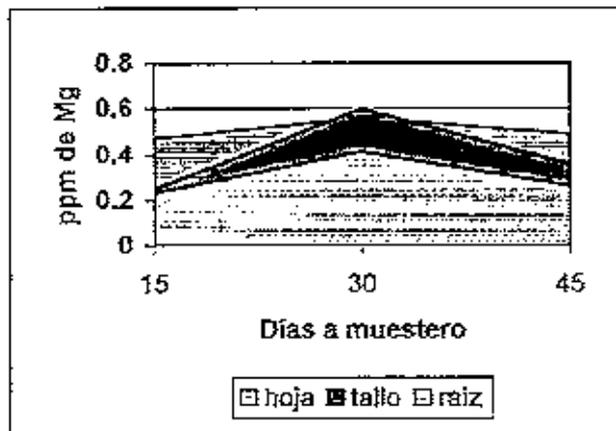
Médias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

La mayor concentración de Mg en las raíces se encontró a los 30 días (segundo muestreo) en el suelo bajo en Mg. Este efecto se pudo deber a que las raíces no necesiten una mayor cantidad de Mg, por no realizar fotosíntesis y los suelos al igual que en la interacción con niveles este afectado por un efecto antagónico. Y la concentración de Mg empieza a disminuir a partir de la etapa reproductiva, como en la mayoría de los cultivos por no ser utilizadores de lujo de Mg.

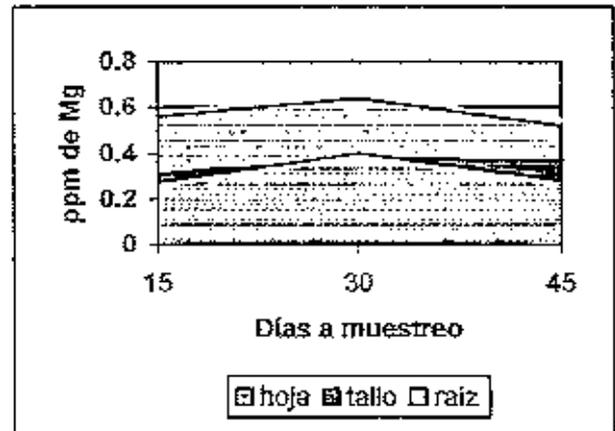
Cuadro 19. Concentración de Mg en las raíces debido al efecto de la interacción de los factores de suelo\*días a muestreo.

Días	Suelo		
	Bajo	Medio	Alto
15	0.26c	0.17f	0.18f
30	0.42a	0.23d	0.27c
45	0.30b	0.21e	0.24d

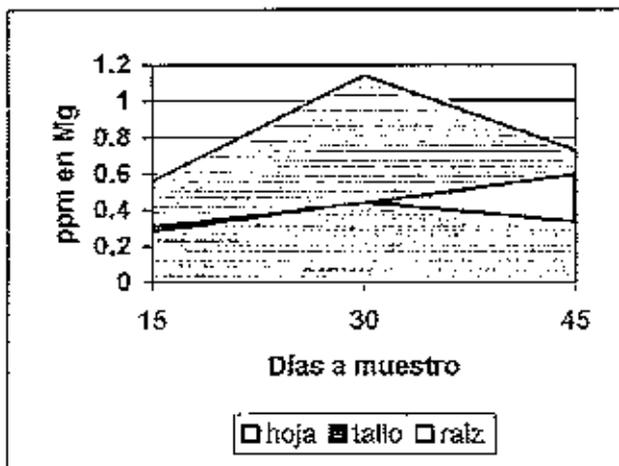
Médias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente



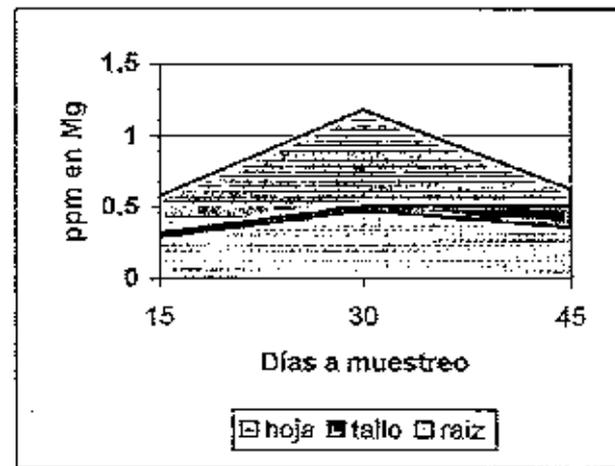
Suelos Bajo (Nivel 00ppm)



Suelo Bajo (Nivel 25 ppm)



Suelo Bajo (Nivel 50 ppm)



Suelo Bajo (Nivel 75 ppm)

Gráfica 3. Concentración de Mg en hojas, tallos y raíces bajo los tratamientos de suelo y niveles de Mg.

#### 4.4 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

En las medidas de rendimiento se tomaron en cuenta los componentes de número de granos por vaina, el número de vainas por plantas, el peso total de los granos por planta, el peso de 100 granos y el contenido de Mg en los granos, que no es componente de rendimiento pero es parte principal del estudio.

Los únicos factores de rendimiento que se encontraron significativos fueron el número de vainas por plantas y el número de granos por vaina, ya que los demás factores estudiados no demostraron tener diferencias significativas a las distintas concentraciones de los tratamientos. Esto se pudo deber a que el Mg no tenga un mayor efecto sobre el rendimiento ya que la cantidad que es translocada a las vainas es mínima y solo sea como elemento estructural y no como un elemento que ayude positivamente a la variedad del frijol en su etapa reproductiva.

En general se puede decir que los rendimientos obtenidos por los tratamientos estuvieron en un promedio de nueve vainas por planta, tres granos por vaina y un peso de 100 granos de 21.09 g.

##### 4.4.1 Número de vainas por planta

El modelo estadístico se encontró significativo ( $P < 0.0286$ ), un  $R^2$  de 0.7758, que indica que el ajuste a nuestro modelo fue de un 77%. El C.V. fue de 35.76%, el cual no está en los límites permisibles para un estudio como este. El ataque de pájaros que pudo retrasar o reducir la cantidad de flores, traduciéndose esto a una reducida formación de vainas o que la planta haya estado limitada en el espacio de crecimiento en el que se encontraba.

Se encontró una diferencia significativa en la interacción de suelo\*niveles (Cuadro 20).

Se encontró que hay una diferencia en el número de vainas entre los niveles de Mg de 0 y 25 ppm comparadas con los niveles de 50 y 75 ppm y en suelos medios en Mg. Este efecto se pudo deber que hay una mejor respuesta a la formación de vainas a suelos con mejores condiciones ya que no sólo tenía un alto contenido de Mg por el ya existente en el suelo sino por el aplicado sino por los demás elementos requeridos por el cultivo estaban en altas concentraciones pudiendo beneficiar a la variedad.

Cuadro 20. Número de vainas por plantas debido al efecto de la interacción de los factores suelo\*nivel.

Nivel	Suelo		
	Bajo	Medio	Alto
0	7.00bc	5.50c	11.00a
25	9.50b	8.75b	6.25c
50	11.00a	11.75a	10.00a
75	8.00b	12.25a	10.50a

Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

#### 4.4.2 Número de granos por vaina

El modelo aplicado en este ensayo se observó significativo ( $P < 0.0465$ ) con un  $R^2$  de 0.7758 y un C.V. de 35.76%, el cuál no entra en los límites permisibles para este tipo de ensayos. La variabilidad se pudo deber al efecto del ataque de pájaros que existió pudiendo afectar negativamente en la etapa reproductiva del cultivo o que estuvo reducido el desarrollo de la planta por efecto del espacio en que se encontraba el cultivo

Se encontraron diferencias significativas en la interacción de niveles de Mg con el suelo (Cuadro 21).

En los niveles de Mg usados se encontró que no hubo diferencia significativa entre los niveles de 0 y 25 ppm ni entre los niveles de 50 y 75 ppm, pero sí entre estos dos grupos; donde la mejor respuesta se dio en niveles altos pudiéndose deber a la mayor disponibilidad del Mg al haber sido aplicado al suelo.

Cuadro 21. Efecto de la interacción de los factores de suelo\*niveles sobre el número de granos.

Nivel	Suelo		
	Bajo	Medio	Alto
0	20.25b	12.00c	27.50a
25	19.25b	17.75bc	10.75c
50	21.50b	36.25a	23.00b
75	19.50b	32.00a	30.25a

Medias seguidas de la misma letra no son diferentes estadísticamente

## V. CONCLUSIONES

Los resultados de este experimento muestran que:

Las aplicaciones de Mg al suelo no tuvieron efectos significativos sobre las variables estudiadas en este ensayo. Puede ser que el frijol común o la variedad Tio Canela-75 no necesiten altas cantidades de Mg para su desarrollo. En este caso no justificaría la aplicación de Mg, ya que no sería aprovechada por el cultivo si no existieran condiciones deficientes de este elemento.

Como en la mayoría de los cultivos, la mejor absorción se dio cuando el cultivo terminaba su etapa vegetativa e iniciaba su etapa reproductiva. En el caso del ensayo, el máximo de absorción se dio a los 30 días después de la germinación, reduciéndose paulatinamente al entrar en la etapa reproductiva. La mayor acumulación de material vegetativo fue al terminar la etapa vegetativa entre los días 30 y 45.

El efecto del Mg en frijol común (variedad Tio Canela-75) no tuvo un aumento en el rendimiento general en este ensayo conducido bajo condiciones de invernadero. Se estima que los rendimientos obtenidos fueron relativamente bajos, por un reducido crecimiento y desarrollo de las plantas por daño de pájaros y estrés ambiental. La cantidad de suelo pudo haber afectado el desarrollo de la planta, no teniendo un igual comportamiento como en un ensayo de campo. A pesar de esto, se encontró un efecto de los tratamientos sobre los componentes de rendimiento de granos por vaina y vainas por planta, pudiendo no ser representativos al momento del cálculo total del rendimiento.

## VI. RECOMENDACIONES

Realizar ensayos de campo para verificar si se repiten los efectos del Mg sobre el frijol encontrados en este ensayo de invernadero.

Evaluar si el efecto de altas cantidades de K y Ca que existe en los suelos medio y alto en Mg afecta antagónicamente como se supone en este ensayo a la absorción de Mg.

Estudiar dosis mayores de 75 ppm, sobre todo en suelos con contenidos medios y altos de Ca y K para ver si se contrarresta el efecto antagónico de estos iones sobre la absorción de Mg.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, M. 1984. Bean-cowpea. Production Constraints and National Programs. Bean/Cowpea CRSP, Michigan State University. Michigan, USA. 320p.
- ANDUVO, S. 1997. Inibicao da absorcao de magnesio pelo potassio em plantas de milho. <http://anduvostrevo.com/ci/bd/lscs/dissertacoes/44/g003/lsc003-29.htm>
- BEAR, F. sf. Chemistry of the soil. New York, USA. 373p.
- BLEVINS, R; FRYE, W. 1997 Conservation tillage: An ecological approach to soil management. *Advances in Agronomy (USA)*. 20:33-78.
- BOHN, H; McNEAL, B; O'CONNOR, G. 1993. Química del suelo. Trad. Mario Sánchez. Instituto Técnico Nacional. Ed. Grupo Noriega. México. 370p.
- CENTRO Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1982. Problemas de campo en los cultivos de frijol en América Latina. Cali, Colombia. 182p.
- ESCUELA Agrícola Panamericana/ Zamorano y el programa Bean/Cowpea CRSP, s.f. Tío Canela-75. Presentación de la Nueva variedad de frijol rojo; Tío Canela-75. Zamorano, Honduras. 12p.
- HENRIQUEZ, C; BERTSCH, F; SALAS, R. 1995. Fertilidad de suelos. Manual de Laboratorio. Asociación Costarricense del Suelo. San José, Costa Rica. 64p.
- HINSINGER, P. 1999. How do plant root acquire mineral nutrient? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Advances in Agronomy (USA)*. 64:225-257.
- JONES, J; WOLF, B; MILLS, H. 1991. Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc. Georgia, USA. 213p.

- KASS, D. 1996. Fertilidad de suelo. Ed. Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica. 175p.
- LAWRENCE, G; DAVID, M. 1996. Chemical evaluation of soil solution in acid forest soils. *Soil Science (USA)*. 161(5):298-313.
- MENGEL, K; KIRKBY, E.A. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. 4<sup>th</sup> Edition. Bern, Suiza. 687p.
- OSPINA, H. 1981. Morfología de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*). Guía de estudio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 50p.
- RENGEL, Z; ROBINSON, D. 1990. Soil fertility and plant nutrition. Modeling magnesium uptake from an acid soil: I. Nutrient relationship at the soil-root interface. *Soil Science Society of America Journal ( USA)*. 54(3):185-187.
- ROSAS, J.C. 1998. El cultivo del frijol común en América tropical. Zamorano, Honduras. Zamorano Academic Press. 52p.
- SAS INSTITUTE, 1989. SAS/STAT user guide. Version 6.4<sup>th</sup> Ed. Vol. I. SAS Intitute, Carg. NC, USA.
- STEHOUWER, R; DICK, W; SUTTON, P. 1999. Acidic soil amendment with a magnesium-containing fluidized bed combustion by-product. *Agronomy Journal (USA)*. 91(1):24-32.
- TISDALE, S; NELSON, W; BEALTON, J; HAVLIN, J. 1993. Soil fertility and fertilizer. Fifth edition. USA. 525p.