

57  
2 ej.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"CUAUTITLAN"

## EFFECTOS DE LA FERTILIZACION POTASICA SOBRE LA ABSORCION DE Ca Y Mg EN PLANTAS DE FRIJOL DESARROLLADAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES DOSIS DE K, Ca Y Mg

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

P R E S E N T A N :

TORRES JUAREZ MARTHA

VEGA MARTINEZ FRANCISCO JAVIER

Director de Tesis

M. C. MA. MAG. OFELIA GRAJALES MUÑIZ



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

Pág.

I. INTRODUCCION .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
III. REVISION DE LITERATURA .....	5
3.1. Generalidades del cultivo del frijol .....	5
3.2. Generalidades de la producción de cultivos me- diante el empleo de soluciones nutritivas.....	8
3.2.1. Importancia y definición .....	8
3.2.2. Ventajas y desventajas del uso de soluciones nutritivas .....	9
3.2.3. Elementos que conforman la unidad de cultivo hidropónico .....	11
3.2.3.1. Control del volumen de la solución .....	12
3.3. Cultivo de frijol en solución nutritiva .....	13
3.4. Dinámica del potasio, calcio y magnesio en el suelo .....	15
3.4.1. Dinámica del potasio .....	15
3.4.2. Dinámica del calcio .....	17
3.4.3. Dinámica del magnesio .....	19

3.5. Función de potasio, calcio y magnesio y sus síntomas de deficiencia o toxicidad en la planta ..	20
3.5.1. Función del potasio y sus síntomas de deficiencia o toxicidad en la planta .....	20
3.5.2. Función del calcio y sus síntomas de deficiencia o toxicidad en la planta .....	22
3.5.3. Función del magnesio y sus síntomas de deficiencia o toxicidad en la planta .....	23
3.6. Tipos de transporte iónico presentes entre la solución del suelo y la raíz .....	24
3.7. Antagonismo iónico .....	28
3.7.1. Causas que propician el antagonismo iónico ...	28
3.7.2. Definición de antagonismo .....	28
3.7.3. Evidencias del antagonismo iónico .....	29
IV. MATERIALES Y METODOS .....	37
4.1. Localización del lugar en el que se montó el experimento .....	37
4.2. Condiciones ambientales .....	37
4.3. Características del experimento .....	37
4.4. Material de frijol utilizado .....	39
4.5. Sistema hidropónico empleado .....	39
4.5.1. Características del invernadero, sustrato y recipientes utilizados .....	39
4.5.2. Solución nutritiva .....	40
4.5.3. Control del pH .....	41
4.6. Diseño experimental .....	41

	Pág.
4.6.1. Modelo de análisis .....	44
4.7. Manejo del cultivo .....	44
4.8. Obtención de datos durante y después del desarro llo del cultivo .....	45
V. RESULTADOS Y DISCUSION .....	47
VI. CONCLUSIONES .....	82
VII. RECOMENDACIONES .....	83
VIII. BIBLIOGRAFIA .....	85
IX. APENDICE	
9.1 Anexo No. 1 .....	92
9.2 Anexo No. 2 .....	106

#### INDICE DE CUADROS

	Pág.
CUADRO A .....	69
CUADRO B .....	73
CUADRO C .....	78
CUADRO No. 1 .....	92
CUADRO No. 2 .....	93
CUADRO No. 3 .....	94
CUADRO No. 4 .....	95
CUADRO No. 5 .....	96
CUADRO No. 6 .....	97
CUADRO No. 7 .....	98
CUADRO No. 8 .....	99

	Pág.
CUADRO No. 9 .....	100
CUADRO No. 10 .....	101
CUADRO No. 11 .....	102
CUADRO No. 12 .....	103
CUADRO No. 13 .....	104
CUADRO No. 14 .....	105

#### INDICE DE GRAFICAS

	Pág.
ESQUEMA No. 1 .....	42
ESQUEMA No. 2 .....	43
Peso Saco Total Lote 1 (primer corte) .....	59
Peso Seco Total Lote 1 (segundo corte) .....	61
Peso Seco Total Lote 2 .....	63

## I. INTRODUCCION

La actividad agrícola en nuestro país se enfrenta a una cantidad innumerable de problemas, que directa o indirectamente impiden su óptimo desarrollo. Tal es el caso del manejo inadecuado de el suelo, lo que en algunos de los casos ha provocado el agotamiento y/o la erosión de los mismos.

Por otro lado, en muchas ocasiones, debido a la falta de conocimientos, o bien, a causa del afán de pretender la obtención de mayores volúmenes de producción, el agricultor lleva a cabo un uso inconciente e irracional de algunos insumos químicos, como en el caso de los fertilizantes. Cuando estos productos no son empleados adecuadamente se puede estar alterando de una forma negativa las propiedades del suelo; con lo que a la larga, en lugar de obtener mayores rendimientos, la producción se verá seriamente afectada.

De este modo, es pertinente efectuar un manejo de los fertilizantes teniendo en conocimiento los posibles efectos secundarios que pudiese traer consigo la adición de éstos, así como las reacciones que pudiesen tener entre sí y sus efectos en el cultivo; puesto que existen evidencias de algunos elementos minerales (como el Potasio), que al encontrarse en dosis inadecuadas, actúan antagonicamente sobre otros elementos, trayendo como consecuencia una disminución en el rendimiento. Esto es importante ya que en nuestro país existen regiones en las que predominan suelos de escasa fertilidad, tal es el caso de los suelos tropicales, que por su naturaleza se caracterizan por ser suelos lavados, pobres en nutrientes y por ende demandan la incorporación de éstos por me--

dio de los fertilizantes.

De hecho, en algunos suelos tropicales de México se realiza la fertilización potásica, lo cual demanda un adecuado conocimiento de los niveles nutrimentales presentes en tales suelos; de manera que, con base a esto y a las características físicas y químicas del suelo se establecerán las dosis óptimas de fertilización, tratando de evitar al máximo los efectos antagónicos promovidos por el potasio.

En la actualidad la información disponible sobre el tema, en México, proviene principalmente de investigaciones realizadas en el extranjero, ya que los trabajos efectuados en el país son muy pocos. Por ello se decidió llevar a cabo el presente trabajo experimental, con la finalidad de detectar las posibles interrelaciones existentes entre los elementos minerales potasio, calcio y magnesio, cuando se aplican en diferentes concentraciones, y determinar su influencia en el rendimiento del cultivo. Para tal fin, se empleó la técnica hidropónica (soluciones nutritivas) ya que de acuerdo a sus características, podría tenerse un control más eficiente sobre los diferentes elementos nutritivos a manejar.



## II. OBJETIVOS

- 1.- Determinar la posible alteración en el desarrollo del frijol al que se le aplicarán soluciones nutritivas con distintas concentraciones de potasio, calcio y magnesio.
- 2.- Detectar la posible alteración en la incorporación de calcio y/o magnesio mediante la aplicación de una fertilización potásica, como correctivo, en plantas deficientes en potasio.

### Mediante:

- a) El desarrollo de plantas de frijol en el invernadero bajo soluciones nutritivas con distintas concentraciones de potasio, calcio y magnesio.
- b) La cuantificación de los parámetros altura de planta y número de hojas por planta.
- c) El establecimiento de las características visuales de los síntomas de deficiencia de las plantas desarrolladas en las soluciones nutritivas carentes de potasio ó calcio ó magnesio.
- d) La observación de los síntomas característicos de deficiencia de calcio y/o magnesio en las plantas corregidas con potasio.
- e) La determinación de los niveles de tales nutrientes median

te el análisis foliar en diferentes etapas fenológicas de las plantas.

- f) La cuantificación de peso fresco y peso seco de las plantas de frijol desarrolladas en los diferentes tratamientos.

### III. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1. Generalidades del cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris).

-**Importancia.** Después del maíz, el frijol ocupa el segundo lugar en importancia, tanto por la superficie que se siembra, como por el volúmen de grano consumido por persona. El frijol es un alimento importante en la dieta, y contribuye con cantidades significativas de proteínas, calorías y otros elementos nutritivos. (Arias, 1970). Cabe mencionar que este es un producto agrícola que se consume tanto en estado fresco o inmaduro (ajote) como en estado maduro o de semilla (grano seco).

En todos los estados se siembra frijol; los estados de mayor superficie cultivada y producción obtenida son: Zacatecas, Durango, Chihuahua y Jalisco; los estados de Nayarit, Sinaloa y Jalisco, además de tener una alta producción de grano, destacan por sus altos rendimientos unitarios. (INIA, SARH, 1980).

#### Clasificación Taxonómicas

Familia..... Leguminosae  
Subfamilia..... Papilionidae  
Tribu..... Fabeae  
Subtribu..... Fabeolinae  
Género..... Phaseolus  
Especie..... vulgaris

(Cronquist, A. Introducción a la Botánica, 1977).

Es pertinente mencionar que además de la especie (Phaseolus

vulgaris) o frijol común, existen otras ocho especies que a conti-  
nuación se mencionan:

- 1.- *Phaseolus lunatus* L. .... Frijol lima
- 2.- *Phaseolus coccineus* L. .... Frijol o ayocote
- 3.- *Phaseolus acutitolius* Gray .... Frijol Teparé
- 4.- *Phaseolus calcaratus* Roxb ..... Frijol arroz o amarillo
- 5.- *Phaseolus aureus* Roxb ..... Frijol mungo
- 6.- *Phaseolus mungo* L. .... Frijol uro
- 7.- *Phaseolus angularis* Wight ..... Frijol japonés
- 8.- *Phaseolus dumusus* Macfaduen ... Frijol acalete

De éstos sólo los primeros tres, al igual que el *P. vulgaris*,  
tienen importancia para México.

-Condiciones Ecológicas. La temperatura óptima va de los 20  
a los 25°C; se cultiva desde los 0 a los 3000 m.s.n.m.; con una  
precipitación de 1000 a 1500 mm. El frijol se cultiva en suelos  
cuya textura varía de franco-limosa a ligeramente limosa, pero to-  
lera bien suslos franco-arcillosos. El frijol desarrolla en suelo  
con pH entre 5.5 y 6.5.

-Fisiología. El ciclo de vida del frijol depende de las va-  
riedades y, en cierta medida, de las condiciones ambientales. Se-  
quia y temperaturas altas inducen una maduración temprana. Las va-  
riedades arbustivas son más precoces que las trepadoras de creci-  
miento indeterminado. (FAO, 1981).

En el frijol puede considerarse a las hojas como regiones de  
producción de fotosintátos, en contraste con los sitios de deman-  
da, tales como las raíces, los meristemas (yemas vegetativas, en-  
tre otras) y los órganos de reserva en crecimiento (vainas con gra

nos). Sin embargo, una hoja joven puede importar fotosintatos de otras regiones de la planta y posteriormente, al alcanzar mayor desarrollo, convertirse en exportadora.

El hecho de que haya una mayor cantidad de fotosintatos cuando no existe más capacidad morfológica para almacenamiento, no conduciría a un incremento en el rendimiento; en tanto que la mayor capacidad de almacenamiento sin que se tenga mayor cantidad de productos de fotosíntesis se traducirá probablemente en frutos sin grano (vanos) o en caída de órganos reproductivos. (Engleman, 1979)

Las flores y los frutos, en la planta de frijol, se desarrollan en forma secuenciada, y el período de floración puede extenderse durante varias semanas según el hábito de crecimiento y la variedad; esto tiene gran importancia porque en estas condiciones, según lo indica Evans (1975), para plantas con floración axilar se cuenciada, el período en que queda determinada la capacidad para almacenamiento se traslapa con el período de almacenamiento pro-piamente dicho.

En las variedades de hábito determinado una vez terminada la floración, la capacidad para almacenamiento queda fijada por el número de frutos (y granos), puesto que entonces ya no hay más yemas apicales susceptibles de crecer. (Evans, 1975).

-Variedades. Existen variedades de ciclo vegetativo corto (de 70-100 días) entre los que se encuentran el canario 101 y 107, flor de mayo, etc. y variedades de ciclo vegetativo largo (100-130 días) entre los que se encuentran: Jamapa, Negro Puebla, Ojo de Cabra, azufrado, Bayo blanco, Mantequilla, Pinto, etc. (FAO, 1981).

-Siembra. Para la siembra se utilizan de 60 a 70 Kg. de semilla por hectárea, en surcos de 60-65 cm. y con 10 cm. entre plan-

ta (en variedades de mata y semigufa); y para las variedades de gufa se utilizan alrededor de 35 Kg/Ha. de semilla, en surcos de 70 cm., y 15 cm. entre planta.

-Rendimiento. Hasta el momento no se ha presentado ningún avance verdaderamente decisivo en cuanto a rendimiento del frijol, ya que las cifras reportadas por la gran mayoría de los autores no alcanzan a llegar a la tonelada por hectárea. La baja en el rendimiento se ve influida, o propiciada, en cierta medida por el manejo inadecuado del cultivo, al mal uso de fertilizantes y a los frecuentes ataques de plagas y enfermedades.

Entre las principales plagas que atacan el cultivo del frijol se encuentran: Conchuela, diabrotica, chicharrita, mosquita blanca trips, picudo, minador de la hoja, etc.

De las enfermedades más frecuentes: Mosaico común, chahuixtle, antracnosis, pudriciones radiculares, moho blanco, cenicilla, etc. (FAD, 1981).

### 3.2. Generalidades sobre la producción de cultivos mediante el empleo de soluciones nutritivas (Hidroponia).

#### 3.2.1. Importancia y definición;

La hidroponia es un sistema de producción relativamente joven habiendo sido usada comercialmente desde hace cuarenta años; no obstante, aún en este tiempo ha podido adaptarse a diversas situaciones, desde los cultivos al aire libre como en invernadero. Este es un sistema especial, pero puede ser usado en países subdesarrollados del tercer mundo para proveer una producción intensiva

de alimentos en áreas limitadas. Existe una aplicación potencial en los desiertos. (Howard, 1982).

Se puede definir a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución. (Sánchez, 1983).

### 3.2.2. Ventajas y desventajas del uso de soluciones nutritivas, bajo condiciones de invernadero.

#### Ventajas:

- Existe un balance ideal del aire, agua y nutrientes.
- Excelente drenaje.
- Permite una mayor densidad de población, ya que los nutrimentos no son limitantes. Las plantas cultivadas en hidroponía pueden plantarse más cerca (entre un 10 y un 20%) que sus similares en suelo.
- Se puede corregir fácil y rápidamente la deficiencia o el exceso de un nutrimento (lo que en el suelo se lleva meses o años).
- Existe un perfecto control del pH. Uno de los factores que influyen notablemente en la asimilación de nutrimentos y por lo tanto en el rendimiento de las plantas, es el pH.
- No se depende tanto de los fenómenos meteorológicos.
- Se obtienen más altos rendimientos por unidad de superficie, mayor calidad de los productos; el eficiente control sobre nutrición, aereación, etc., permite que los productos del sistema hidropónico sean más uniformes en tamaño, peso, color, etc. El ma

## FALLAS DE ORIGEN

de alimentos en áreas limitadas. Existe una aplicación potencial en los desiertos. (Howard, 1982).

Se puede definir a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución. (Sánchez, 1983).

### 3.2.2: Ventajas y desventajas del uso de soluciones nutritivas, bajo condiciones de invernadero.

#### Ventajas:

- Existe un balance ideal del aire, agua y nutrientes.
- Excelente drenaje.
- Permite una mayor densidad de población, ya que los nutrimentos no son limitantes. Las plantas cultivadas en hidroponía pueden plantarse más cerca (entre un 10 y un 20%) que sus similares en suelo.
- Se puede corregir fácil y rápidamente la deficiencia o el exceso de un nutrimento (lo que en el suelo se lleva meses o años).
- Existe un perfecto control del pH. Uno de los factores que influyen notablemente en la asimilación de nutrimentos y por lo tanto en el rendimiento de las plantas, es el pH.
- No se depende tanto de los fenómenos meteorológicos.
- Se obtienen más altos rendimientos por unidad de superficie, mayor calidad de los productos; el eficiente control sobre nutrición, aereación, etc., permite que los productos del sistema hidropónico sean más uniformes en tamaño, peso, color, etc. El



terial cosechado es siempre limpio y libre de suelo u otro material extraño.<sup>1</sup>

- Se obtiene mayor precocidad en los cultivos; en cultivos hidropónicos anuales se ha encontrado que aún al aire libre éstos maduran, dependiendo de la especie, de 10 a 60 días antes que sus similares bajo condiciones de suelo.
- Existe la probabilidad de cultivar repetidamente la misma especie de planta. Puesto que los sustratos empleados carecen de materia orgánica (indispensable para muchos patógenos del suelo).
- Se pueden producir varias cosechas al año (por medio del uso de invernadero).
- Se presenta una uniformidad en los cultivos: las plantas florecen y maduran al mismo tiempo.
- Requieren mucho menor cantidad de espacio para producir el mismo rendimiento que en el suelo.
- Gran ahorro en el consumo de agua (aproximadamente 20 veces menos).
- Reducción de los costos de producción. Debido a menores gastos de fertilizantes, insecticidas, fungicidas, etc. Y a que no existen barbechos, escardas, etc. con lo que se ahorra tiempo y dinero.
- Se reduce en gran medida la contaminación del medio ambiente y los riesgos de erosión.

#### Desventajas:

- Requiere para su manejo a nivel comercial un conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de Fisiología

### Vegetal y Química Inorgánica.

- A nivel comercial el gasto inicial es relativamente alto.
- Se requiere cuidado con los detalles.
- Se necesita conocer y manejar la especie que se cultiva en el sistema.
- Requiere un abastecimiento continuo de agua. (Sánchez, 1983).

### 3.2.3. Elementos que conforman la unidad de cultivo hidropónico.

La unidad de cultivo se conforma de las siguientes partes:

- a) recipientes (bolsas, botes, macetas, cajas, cubetas, etc.);
- b) agregado o medio de cultivo, que se coloca dentro del recipiente, un espesor de 20 a 30 cm., para proporcionar soporte a las raíces (arena, vermiculita, perlita, grava, tezontle, aserrín, etc.);
- c) solución nutritiva. (Douglas, 1981; Huterwal, 1956).

La vermiculita, particularmente, suele ser un sustrato que retiene demasiada humedad en climas templados y lluviosos, sus partículas se desmenuzan poco a poco por lo que la aireación y el drenaje son cada vez menos eficientes.

#### La solución nutritiva.

La solución nutritiva se define como el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua.

Se ha probado que los siguientes elementos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo, Calcio, Azufre, Magnesio, Hierro, Manganeso, Boro, Cobre, Zinc y Molibdeno. (Huterwal, 1956; Sánchez,

1983).

Después de varios años de investigación, algunos autores han concluido que no existe una solución teórica ideal para un cultivo en particular y que la concentración óptima de los elementos nutritivos para una especie vegetal en particular depende de un conjunto de factores, entre los que destacan: la parte de la planta que se va a cosechar, la estación del año, el clima, la calidad del agua y el estado de desarrollo de la planta. Esta situación ha dado lugar a que la literatura reporte cientos de fórmulas nutritivas diferentes, cada una de las cuales sirve para uno o varios cultivos.

Por otro lado, también se recomienda ajustar el pH de la solución de acuerdo a las necesidades de la especie a cultivar; la mayoría de los autores coinciden en que prácticamente todas las plantas se desarrollan adecuadamente con un pH de 5 a 6.5.

La concentración de cada uno de los elementos en la solución se puede expresar de varias maneras, pero son tres las que se usan en hidroponía: Solución Molar, Solución Normal y Partes por millón.

### 3.2.3.1. Control del volumen de la solución.

La evapotranspiración ocasiona que las plantas tomen, proporcionalmente, más agua que elementos nutritivos, por lo que al ir descendiendo el volumen de la solución, ésta se va haciendo cada vez más concentrada. De esta situación resulta una reducción progresiva en el potencial osmótico de la solución y en consecuencia en el potencial hídrico. También conduce a un aumento en el pH.

A medida que el potencial hídrico de la solución disminuye, la absorción del agua por las raíces baja. Si la concentración de sales llega a ser muy alta se puede detener por completo el crecimiento de la planta, en respuesta a un déficit de potencial hídrico, e incluso ésta puede morir por desecación al salir el agua de la raíz (producto de un gradiente de potencial hídrico desfavorable para la absorción de agua). Para mantener el potencial hídrico adecuado y los niveles correctos de nutrientes en la solución basta restituir periódicamente la pérdida por evapotranspiración. (Sánchez, 1983).

En el caso de las leguminosas, éstas pueden cultivarse siguiendo el método hidropónico, pero al aplicar la solución nunca se deberá anegar. (Douglas, 1981).

### 3.3. Cultivo de frijol con soluciones nutritivas.

Ballesteros (1982), realizó estudios en frijol mediante el empleo de soluciones nutritivas, encontrando que: a) el peso y volumen de raíces, con relación al tiempo, muestran una etapa de rápido crecimiento entre los 30 y 55 días de siembra, luego la etapa de estabilidad que se inicia aproximadamente a los 60 días de siembra, que coincide con la finalización de la floración. A partir de esta etapa ya no hay incremento en volumen y peso de raíz; b) durante los primeros 35 días de siembra, el tallo fue aproximadamente un 8% del peso seco total de la planta. De los 35 días en adelante se inicia la fase logarítmica de crecimiento que se prolonga hasta los 60 días cuando principia la fase de estabilidad. A finales de la fase de crecimiento rápido el tallo llega a ser

hasta el 17% del peso seco total; c) desde los primeros días de siembra la lámina foliar tiene la mayor proporción del peso seco de la planta con un máximo del 70% a los 10 días de siembra (en donde se incluye el peso de los cotiledones), entre los 20 y los 50 días de siembra, la lámina foliar constituye aproximadamente el 50% del peso seco total. De ahí en adelante el porcentaje correspondiente a hojas disminuye hasta el 21%.

En cuanto al contenido de los elementos potasio, calcio y magnesio encontrados en las hojas del frijol se reporta:

Lazaroff y Pintman (1966), citados por Sutcliffe (1976), encontraron una correlación entre el transporte del calcio y magnesio y el flujo transpiratorio, especialmente cuando hay una alta concentración externa de calcio y magnesio.

Wiebe (1977), encontró que el contenido de calcio depende de la influencia climática y sus repercusiones en la transpiración.

Abruña et al (1974), encontraron que los niveles óptimos de calcio en las hojas son del 2%; Barrios y Bergman (1968), detectaron niveles del 5 al 6%; Sanabria (1975), encontró que los niveles eran de 4.85% en hojas maduras; Ballesteros (1982), encontró que los niveles de calcio en hojas jóvenes es de 1.46 y en hojas viejas de 2.59%, el mismo autor reporta que la extracción total de calcio es de 29.295 mg/planta en hojas jóvenes y de 428.200 en hojas viejas.

Durante la época de estrés la mayor parte de magnesio se trasloca hacia las hojas más jóvenes, causando deficiencia en las hojas más viejas (Shuartz y Gálvez, 1980). El contenido de magnesio en plantas de frijol deficientes en magnesio generalmente es de -

0.22-0.3% en comparación con 0.35-1.30% en las plantas normales.

(Berrios y Bergman, 1968); Ballesteros (1982), encontró que el porcentaje de magnesio en plantas de frijol Michoacán es de 0.830% en hojas jóvenes y de 1.092 en hojas viejas, observando que la extracción total de magnesio es de 16.703 mg/planta en hojas jóvenes y de 177.340 mg. en hojas viejas.

Este mismo autor, reporta que el porcentaje de potasio en las hojas jóvenes es de 4.910 y de 5.815 en hojas viejas, mientras que la extracción total de potasio en plantas de frijol, fue de 100.50 mg/planta en hojas jóvenes y de 908 mg. en hojas viejas.

### 3.4. Dinámica del potasio, calcio y magnesio en el suelo.

#### 3.4.1. Dinámica del potasio.

El potasio se encuentra en el suelo como ión simple monovalente y puede presentarse en diversas fases que comúnmente son llamadas formas del potasio en el suelo: 1) potasio en solución; 2) potasio fácilmente intercambiable; 3) potasio difícilmente intercambiable; 4) potasio no intercambiable. Entre las tres primeras formas existe un equilibrio reversible:



Como una consecuencia de algunos procesos físicos, químicos y fisicoquímicos que caracterizan apropiadamente la dinámica del potasio, la cual ciertamente está en estrecha relación con los procesos de absorción nutrimental de las plantas.

El potasio en solución es una fracción pequeña del potasio to

tal y es el más fácilmente aprovechable por las plantas, o el que está disponible directamente. Está en equilibrio con el potasio fácilmente intercambiable, equilibrio que se alcanza fácilmente. Puede ser percolado constituyendo a veces una pérdida de potasio en el suelo, lo que puede variar entre 5 y 250 Kg de potasio/Ha.

El potasio fácilmente intercambiable depende del contenido de arcilla y materia orgánica del suelo, es decir, su capacidad de intercambio, no superando en general el 5% de esta capacidad.

Se considera potasio difícilmente intercambiable al potasio de los espacios interlaminares de determinadas arcillas (illita, Vermiculita, etc.). Existe un equilibrio lento entre éste y el potasio fácilmente intercambiable, no habiendo un límite claro entre ambos.

El potasio no intercambiable es el que está integrado en la red cristalina de los minerales que presentan plasticidad (feldespatos, micas, anfíboles, etc) y en la unión de dos capas tetraédricas en las micas primarias. Normalmente, con fines prácticos, el potasio difícilmente intercambiable y el no intercambiable se agrupan en el término del potasio no cambiante que constituye más del 98% del potasio total del suelo. (Carbonero Pilar, 1979).

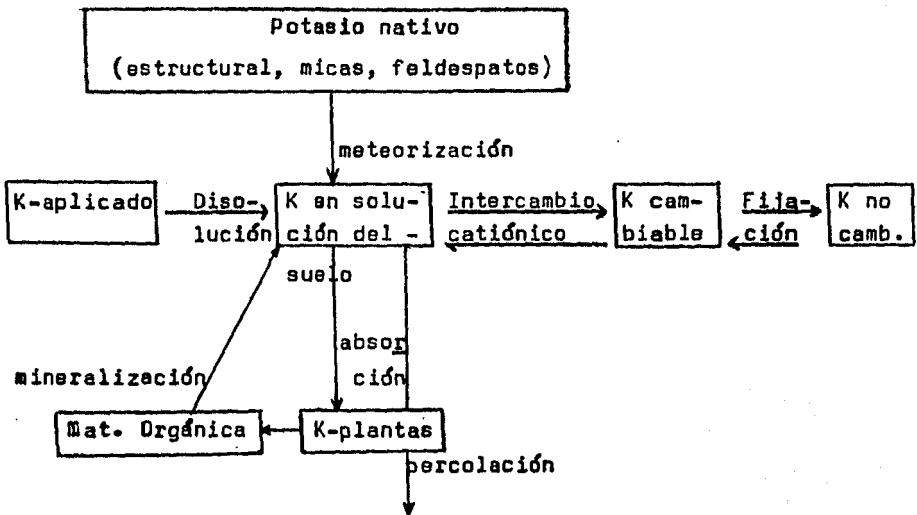
La interpretación de la dinámica del potasio en el suelo implica consideraciones de equilibrio de flujo desarrollados en la termodinámica. Tomando en cuenta que las diferentes formas no son estables y definidas, en virtud de una serie de procesos físicos (meteorización, percolación, fijación-liberación), químicos (mineralización, disolución) y fisicoquímicos (absorción, intercambio catiónico). Al absorber la planta potasio de la solución del suelo, éste debe ser repuesto paulatinamente a partir de potasio no integ

cambiable pero disponible. (Fassbender, 1984).

Al disolverse los fertilizantes potásicos en el suelo, el potasio liberado pasa a formar parte de la solución del suelo.

El potasio intercambiable que se encuentra absorbido al complejo coloidal (arcillas, materia orgánica, hidróxidos) está en equilibrio con el potasio de la solución. Al absorber potasio las plantas o al ser éste lavado, se produce una reposición en la solución del suelo a partir del potasio intercambiable, por lo que esta fracción es muy importante en la nutrición vegetal, ya que representa una reserva, donde se almacena el potasio que poco a poco se pone a disposición de la planta. (Carbonero, 1979).

Dinámica del potasio en el suelo (Fassbender, 1984).



### 3.4.2. Dinámica del calcio.

El calcio se encuentra en varias formas químicas. Desde el



punto de vista químico los más importantes son los carbonatos:  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ . Después vienen los Fosfatos: apatito, fosforitas; siguen los silicatos aluminicos: anortita; el calcio fijado coloidalmente por el complejo absorbente del suelo y, finalmente, el calcio ligado a la materia orgánica del suelo: humatos de calcio. (Baeyens, 1970).

La mayor cantidad de calcio nativo del suelo se encuentra asociado a feldespatos, piroxenos, anfíboles, micas y minerales arcillosos. (Fassbender, 1975).

En relación con los restantes cationes, el calcio coloidal es fácilmente cambiabile. Representa hasta un 80% del total de cationes cambiabiles. Este proceso de intercambio catiónico depende, sin embargo, del tipo de mineral. Los carbonatos son los más asimilables ya que se transforman fácilmente en bicarbonatos solubles. Después el sulfato de calcio con una solubilidad del 1-2%. (Baeyens, 1970).

La dinámica del calcio es muy similar a la del potasio; se diferencia únicamente en que no presenta calcio fijado. Los procesos de meteorización de minerales calcicos, especialmente anfíboles y piroxenos, llevan a la liberación de calcio estructural. El calcio en la solución del suelo se encuentra en equilibrio con el calcio intercambiabile, la magnitud de ambas formas varía constantemente a través de la absorción de calcio por las plantas y las pérdidas por percolación.

Encontrándose el calcio en cantidades mayores en el complejo de cambio y en la solución del suelo, se comprende que los elementos que se pierden por lavado, son mayores que los de magnesio y

potasio.

La absorción de calcio por las plantas varía entre 30 y 250 Kilo gramos de CaO, siendo más bajo para cereales que para leguminosas. (Fassbender, 1984).

### 3.4.3. Dinámica del magnesio.

El magnesio es el catión más abundante después del calcio, representa del 10 al 30% del total de los cationes cambiables. (Baeyens, 1970).

El magnesio es absorbido por las plantas en forma de ión  $Mg^{+2}$  a partir de la solución del suelo. El magnesio nativo se encuentra en el suelo asociado a determinados minerales primarios o secundarios. De manera especial el olivino, la biotita, los piroxenos y los anfíboles muestran contenidos altos de magnesio, el que además se presenta en los tetraedros de sílice de la illita y de la monmorillonita y especialmente en la vermiculita reemplazando isomórficamente al silicio.

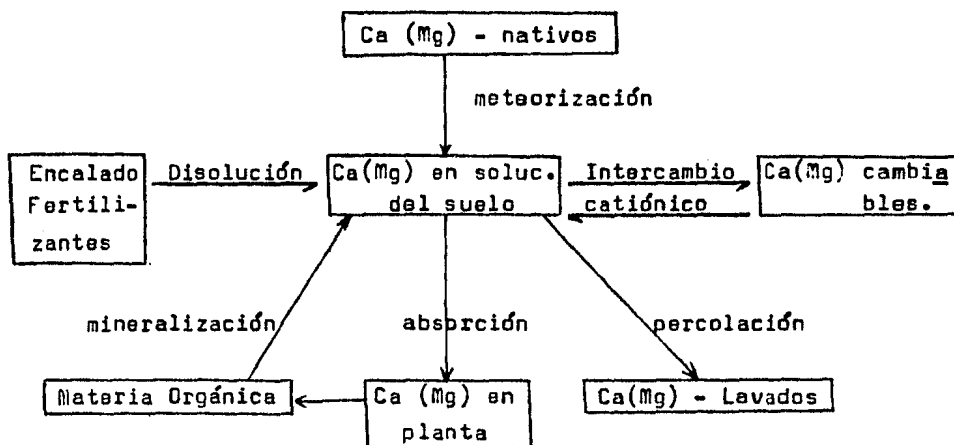
El magnesio también se encuentra adsorbido al complejo de intercambio catiónico del suelo. Las cantidades y las proporciones con respecto a otros elementos es variable entre suelos.

El contenido en magnesio en la solución del suelo es generalmente intermedio entre el de calcio y potasio. El magnesio cambiable representa una fracción pequeña del magnesio total (menos del 5%). (Fassbender, 1984).

Las formas y la dinámica del magnesio son muy parecidas a las de otros elementos alcalinos y alcalinotérreos como calcio, potasio y sodio. Se diferencia solamente la magnitud de las formas y

las cantidades que participan en los diferentes procesos.

Ciclo del calcio y del magnesio en los suelos. (Fassbender, 1984).



### 3.5. Función de potasio, calcio y magnesio y síntomas de su deficiencia o toxicidad en la planta.

3.5.1. Función del potasio y síntomas de su deficiencia o toxicidad en la planta.

Hasta la fecha no se ha encontrado ningún compuesto orgánico en cuya estructura se presente el potasio, como constituyente de células vivas, sino más bien se le ha aislado en forma iónica y a nivel celular no se encuentra potasio ni en el núcleo, ni en los cloroplastos, ni incluso en los cristales de albúmina, sino que abunda notablemente en el jugo vacuolar. Por otra parte, a nivel tisular se le encuentra en grandes cantidades en los tejidos meri-

temáticos, especialmente en hojas, raíces y tubos polínicos. (Baldovinos, 1957; Sánchez, 1981; Baeyens, 1970).

En ausencia de este elemento se frena la formación normal de carbohidratos. Puede ser que también juegue un papel importante en la neutralización de los ácidos orgánicos y en la síntesis de proteínas. Se ha visto que en condiciones de escasez de potasio, el pH de la savia baja aumentando la concentración de iones Hidrógeno. Existe una correlación negativa entre la acumulación de potasio y la acidez.

Se ha encontrado que si el suelo es pobre en potasio tiende a haber mayor absorción de Calcio, Magnesio y Fósforo. (Baldovinos, 1957).

En regiones con alta intensidad luminosa los requerimientos de potasio son de un orden del 50% menor que en áreas generalmente nubladas o de días cortos. Proporciona mayor resistencia a heladas y enfermedades.

Síntomas de su deficiencia. Los primeros síntomas visibles son el amarillamiento y luego el quemado de los márgenes de las hojas, empezando de las más viejas a las jóvenes. Se puede producir en algunos casos el enrollamiento de las hojas hacia arriba. (Sánchez, 1981).

La carencia de potasio repercute primeramente en un retraso general del crecimiento, que hace sentir especialmente sobre los órganos de reserva (semilla, frutos, tuberculos), órganos que deben formarse con el concurso de los glucidos. Los tallos son delgados debido a que todo el potasio se emplea en el ápice vegetativo.

Si el estado de carencia se acentúa, las hojas comienzan a -

broncearse y después aparecen necrosis. (Baeyens, 1970).

W. Bussler (1962), citado por Baeyens (1970), considera que los signos de carencia son: disminución de constantes osmóticas, pérdida de turgescencia, deformación de algunas células del borde de las hojas, necrosis puntuales que sirven de vía de entrada a las infecciones, disminución de la elongación de las células, entrenudos cortos, tendencia al marchitamiento y retraso en el crecimiento radicular.

Los síntomas visibles de exceso de este elemento muestra al principio entrenudos largos y hojas de color verde pálido; más tarde se frena el crecimiento y aparecen manchas caféas en las hojas. (Sánchez, 1981).

3.5.2. Función del calcio y síntomas de su deficiencia o toxicidad en la planta.

El calcio es un componente esencial para la formación de la laminilla media de la pared celular. (Sánchez, 1981).

El calcio reduce los efectos tóxicos de diferentes sales, neutralizando los radicales ácidos, si falta el calcio los ácidos orgánicos se acumulan en tales cantidades, que podrían ser dañinos, hasta el grado de interferir en la producción o síntesis de proteínas. (Baldovinos, 1957; Sánchez, 1981).

En la planta joven, el calcio se encuentra en el protoplasma y en las membranas celulares, contrariamente a las plantas adultas, en las que se encuentra en las vacuolas en forma de oxalatos precipitados.

Desde el punto de vista coloidal, el calcio plasmoliza el citoplasma, además, disminuye la permeabilidad de la membrana celu-

lar, impidiendo en menor o mayor grado la entrada de otros cationes.

El calcio activa la transpiración y disminuye la absorción de agua por las raíces. Su principal papel fisiológico parece ser el de activar el crecimiento de los sistemas radiculares jóvenes, disminuyendo la permeabilidad. (Baeyens, 1970).

**Síntomas de su deficiencia.** Si la carencia se manifiesta desde la germinación, se impide el transporte de las sustancias elaboradas por la planta y provoca clorosis. (W. Busser, 1963, citado por Baeyens, 1970).

La deficiencia de calcio propicia un crecimiento débil, seguido de follaje verde oscuro. En las hojas jóvenes se produce un amarillamiento (clorosis) a partir de los bordes y posteriormente una necrosis con enrollamiento del haz hacia el envés. Esta etapa puede producir amarillamiento en las nervaduras. El extremo de la planta y los extremos de las hojas superiores son los primeros en morir. La raíz presenta un mal desarrollo ya que sus puntos de crecimiento mueren rápidamente. (Sánchez, 1981).

Los síntomas visibles de exceso son: alteración del desarrollo normal del cultivo, interfiriendo en la absorción de otros nutrientes tales como el potasio, magnesio, manganeso, boro, fierro y zinc. (Baldovinos, 1957; Sánchez, 1981).

**3.5.3. Función del magnesio y síntomas de su deficiencia o toxicidad en la planta.**

El magnesio es un elemento demasiado móvil. Es un constituyente esencial de la molécula de clorofila. Actúa como transporta

dor del fósforo dentro de la planta; el magnesio abunda en las hojas y en las semillas.

Este elemento tiene un papel importante en la elaboración de los glúcidos durante la fotosíntesis. Además, es necesario para la formación de los carotenoides y otros pigmentos. (Baeyens, 1970)

Síntomas de su deficiencia. Las carencias se manifiestan principalmente en suelos ligeros, permeables, ácidos y en años lluviosos. La carencia de magnesio es, probablemente, una consecuencia de un lavado fuerte, ya que el magnesio es bastante cambiabile.

Los síntomas de deficiencia se presentan, inicialmente, en las hojas más viejas, las que presentan un moteado amarillo entre las nervaduras. Posteriormente el moteado se va extendiendo a las hojas más jóvenes. Los márgenes y nervaduras pueden permanecer verdes (excepto en caso de deficiencia aguda).

Síntomas visibles de exceso. El síntoma más evidente es el menor desarrollo y rendimiento en flores. También se aprecia un color verde oscuro en las hojas y un menor tamaño de las mismas; a veces tienen lugar enrollamientos del envés hacia el haz en las hojas jóvenes. (Sánchez, 1981).

### 3.6. Tipos de transporte iónico presentes entre la solución del suelo y la raíz.

La cantidad de los cationes cambiabiles de los suelos depende de sus minerales, de la superficie, de las cargas del complejo coloidal y de las características de los iones presentes en la solución del suelo.

Antes de estudiar la absorción de iones por las raíces, debe tomarse en cuenta el movimiento de los iones hacia las superficies de aquellas. La concentración de iones libres en la solución del suelo es generalmente baja, y muchos de los cationes son adsorbidos con diversos grados de firmeza en partículas arcillosas y materia orgánica del suelo, de carga negativa. Dicha atracción electrostática está sujeta a fuerzas interiónicas y cinéticas. Las primeras tienden a unir fuertemente al catión a la superficie de la arcilla, mientras que las fuerzas cinéticas tienden a disociar los cationes de la superficie.

En esta forma, los cationes adsorbidos pueden ser reemplazados por otras especies catiónicas mediante el intercambio iónico.

La fuerza de unión de un catión será mayor mientras mayor sea su carga, es decir, los cationes trivalentes se unirán más fuertemente a la arcilla que los divalentes y monovalentes y dicha preferencia aumenta mientras mayor sea la densidad de carga de la arcilla. (Fassbender, 1984).

La absorción de cationes de la solución del suelo por las raíces, remueve los iones de la solución del suelo, de modo que los iones adsorbidos a las partículas del suelo son removidos hacia la solución para mantener el equilibrio de cargas.

Al proceso fisiológico que consiste en la incorporación de los iones del suelo por los pelos radiculares es denominado absorción, y este implica un transporte de los iones a través de la membrana plasmática de los pelos radiculares.

Para considerar el transporte de un compuesto a través de una membrana, deben notarse los siguientes aspectos: a) la naturaleza química del compuesto, lo que determina la vía de transporte a -



través de la membrana; b) el mecanismo de transporte del compuesto, determinado por las leyes de la Termodinámica. (Grajales y Martínez, 1985).

Dicho transporte a su vez está determinado por la característica estructural de la membrana, la cual se encuentra conformada de una bicapa de lípidos con proteínas intercaladas a diferentes profundidades, lo que a su vez permite seleccionar los nutrientes que la atraviesan, así como generar gradientes de concentración (Potenciales químicos) que determinan si el nutriente se transporta espontáneamente (transporte pasivo) o por medio de transportadores proteínicos con gasto de energía metabólica (transporte activo). En relación a esto, Baeyens (1970) y Oertli (1967), citados por Kramer (1974), definen al transporte pasivo como la difusión de los iones desde la solución del suelo hasta las partes exteriores de la raíz. La difusión es natural o espontánea ya que los iones pueden pasar de una fase a otra, según las diferencias de concentraciones en ellas, o más bien la diferencia de potenciales electroquímicos.

Kramer (1974) define como transporte activo al movimiento de materiales que se efectúa en contra del gradiente de concentración o de potencial electroquímico con gasto de energía metabólica. Lun degarth (1955), citado por Baeyens (1970), opina que el transporte activo está ligado a la fisiología de la planta, es decir, a la presencia de glúcidos descomponibles en la raíz y a su presión de Oxígeno. Se realiza contra los gradientes de concentración y necesita, por tanto, una energía que deriva de la descomposición de los glúcidos, provocando en la raíz, una concentración anidónica -

(ácidos orgánicos) que atraen a los cationes del exterior.

Contrariamente al transporte pasivo, el transporte activo es selectivo y específico en relación con los iones. La selectividad está ligada a la naturaleza de los iones; la especificidad es una propiedad de la planta. (Baeyens, 1970; Kramer, 1974).

Por otro lado, se dice que todos los aniones y además el potasio son incorporados activamente; mientras que el resto de cationes entran por difusión facilitada. De acuerdo con la Bioenergética, la difusión facilitada es un proceso espontáneo y por naturaleza ocurre a favor del gradiente energético, que al referirse al movimiento de los cationes (excepto el potasio) del suelo a la raíz, es el gradiente de potencial electroquímico, lo cual implica que es la suma de dos potenciales o fuerzas lo que dirige el transporte: el potencial químico y el potencial eléctrico y, por ello, aún cuando el potencial químico de cada catión es desfavorable para permitir su movimiento espontáneo a la raíz, es el potencial eléctrico lo que vence dicha imposibilidad, ya que las cargas negativas internas de la membrana de los pelos radiculares atraen electrostáticamente a los cationes (excepto el potasio). Por otra parte, el transporte activo es un proceso "forzado" que sólo ocurre a expensas de energía y se efectúa en contra del gradiente de potencial electroquímico, por lo que es de entenderse que todos los aniones son incorporados a la raíz por este tipo de transporte, ya que tanto el potencial químico como el eléctrico son desfavorables para permitir su movimiento espontáneo a la raíz. (Grajales y Martínez, 1985).

### 3.7. Antagonismo iónico.

#### 3.7.1. Causas que propician el antagonismo iónico.

El fenómeno del antagonismo se debe parcialmente a la especificidad de la planta para algunos iones y, como consecuencia, para su composición relativa, y en cierta forma se debe a la afinidad de ciertos iones para formar complejos. Esta especificidad de pende, además, de la carga eléctrica y de su grado de hidratación. La hidratación disminuye la movilidad iónica, mientras que la car ga eléctrica la aumenta. (Baeyens, 1970).

Como se sabe, el calcio y el magnesio son cationes bivalentes por lo que son altamente fijados por las arcillas del suelo, en relación al ion potasio monovalente, por lo que existe una mayor concentración de potasio disponible en la solución del suelo; por tal motivo, el potasio al encontrarse más disponible para la plan ta, entra por medio de transporte activo al interior celular (en contra del gradiente y por tanto con gasto de ATP). Con la entrada del potasio baja la cantidad de cargas negativas del interior celular, disminuyendo así el gradiente eléctrico (el cual mientras mayor es más tiempo vence al gradiente de potencial químico de ca da catión) y por tanto, disminuyendo la absorción la absorción de calcio y/o magnesio. (Mengel, 1979).

#### 3.7.2. Definición de Antagonismo.

**Antagonismo:** dicese de los medicamentos que obran en sentido contrario y tienden a neutralizar sus efectos.  
(Diccionario Enciclopédico Salvat, 1957).

**Antagonismo:** oposición, rivalidad. (Diccionario Internacional, 1973).

**Antagonismo:** consiste en la eliminación de los efectos tóxicos o benéficos de un elemento mineral por otro elemento mineral. (Barceló, J.R., 1982).

**Antagonismo iónico:** es la disminución de la absorción de un ion ocasionada por la absorción de otro ion. (Grajales, comunicación personal).

### 3.7.3. Evidencias del antagonismo iónico.

Lazaroff y Pitman (1966), citados por Sutcliffe (1976), encontraron una correlación entre el transporte del calcio y magnesio y el flujo transpiratorio, especialmente cuando había una alta concentración externa de calcio y magnesio.

Muchas plantas cultivadas sufren de escasez de calcio en órganos con baja transpiración. Wiebe (1977) encontró que el contenido de calcio dependía de la influencia climática y de sus repercusiones en la transpiración.

Wallace (1980) encontró que la absorción y distribución del calcio está influida por muchos factores: la absorción de la raíz parece ser independiente de inhibidores metabólicos, lo cual es una evidencia más para reforzar el concepto del transporte pasivo del calcio a la raíz, pero la transferencia hacia los brotes fue drásticamente reducida por inhibidores. El incremento en la absorción de potasio por la raíz trae consigo una reducción en la ab--

sorción de calcio. Estos efectos son más pronunciados en bajas concentraciones de calcio que en altas concentraciones.

Huguet, C. (1979) trabajando con árboles de manzana, en condiciones de hidroponia, manejando tres niveles nutrimentales de calcio y magnesio; calcio desde 5.9 a 1.0 me/l y magnesio de 0.6 a 5.5 me/l con una constante total de 6.5 me/l en la solución nutritiva, encontró que los niveles de calcio en el fruto decrecen cuando disminuye el contenido de calcio en la solución nutritiva. Los contenidos de magnesio muestran pequeñas variaciones.

Petkov (1980) trabajando con alfalfa para observar los efectos de la deficiencia de calcio en la formación de materia seca, encontró un antagonismo entre Ca-K y entre Ca-Mg que son manifestados por un incremento cuantitativo de potasio y magnesio y con deficiencias de calcio. Este fenómeno se manifiesta también cuando se presenta una alta relación K-Ca + Mg en las hojas y una ca-rencia de calcio en los tallos.

Kenji Kurashima (1980) encontró una correlación negativa establecida entre el contenido de magnesio en la planta (pasto) y los niveles de potasio y calcio en el suelo. Observando también una correlación no significativa entre el contenido de calcio en la planta y los niveles de potasio, calcio y magnesio en el suelo.

McLean, E.O. (1972) realizó estudios en invernadero implicando secuencialmente el empleo de dos suelos de diferente capacidad de intercambio catiónico, con cinco promedios de saturación de Ca-Mg en dos niveles de potasio. Desarrollando plantas de alfalfa con promedios de saturación de Mg-Ca que variaban del 5% Mg- 75%

Ca a 25% Mg- 55% Ca en dos niveles de potasio. Los rendimientos de la alfalfa no fueron afectados por los rangos de saturación de Ca-Mg. De cualquier modo, una aparente respuesta a magnesio ocurrió cuando los rendimientos de alfalfa fueron más del doble al incrementar los niveles de magnesio y calcio desde 3 y 18% a 5 y 75% respectivamente. El contenido de magnesio en los tejidos, de la planta, aumentaron cuando se incrementó la saturación de magnesio, pero el potasio del suelo disminuyó considerablemente al contenido de magnesio de los tejidos.

Welter y Werner (1963), citados por M.A. Omar (1966), establecieron que la absorción del magnesio por las plantas está influenciado por la presencia de potasio, amonio y calcio. Encontrando que los protones suspendían la absorción del magnesio y que en sustratos fuertemente ácidos las deficiencias de magnesio pueden ser reducidas al hacer aplicaciones de magnesio y/o subiendo el pH.

Olongunde, O.O. (1980) experimentos en invernadero lo han conducido a evaluar los principales efectos e interacciones entre la aplicación de potasio y magnesio en la producción de materia seca y el contenido de nutrientes en plantas de Sorgo. No observó efectos significativos de interacción. La producción de materia seca aumenta al incrementar las dosis de potasio. La asimilación y contenido de magnesio disminuyeron con todas las dosis de potasio utilizadas, indicando un fuerte efecto antagónico del potasio sobre la absorción del magnesio. El mismo autor, en 1982, determinó que en suelos bien provistos de magnesio la disponibilidad del mismo disminuye con altas aplicaciones de potasio. De este modo, la adición de magnesio, para un crecimiento óptimo, no conduce general-

mente a un incremento en la absorción del mismo, especialmente cuando la concentración del potasio en el medio es relativamente alta.

Lové (1980) estudió las interrelaciones del potasio con otros nutrientes, detectando un antagonismo entre potasio y magnesio lo que limita el desarrollo de la planta; observó también un antagonismo entre la relación de K-Na. Balagura, Khanna (1982) estudiaron el papel de sodio y potasio en el desarrollo del algodón, detectando la existencia de un efecto aditivo entre el potasio y el sodio en el abatimiento de la absorción de calcio y magnesio.

Por otro lado, Ivan S. (1979) señala que al utilizar de 5 a 50 mg/l de fierro no se presentan efectos negativos en los contenidos de nitrógeno y fósforo, en la planta, en tanto que decrecen los contenidos de potasio, calcio y magnesio. Bajo esas condiciones hubo efectos antagónicos entre fierro y magnesio y entre fierro-calcio.

Molino del M. Y Rosón (1979), estudiaron el contenido mineral en el cultivo de la fresa; indicando que al incrementar el potasio en el suelo, incrementa potasio y fósforo en los frutos, pero decrece el contenido de nitrógeno, calcio, fierro y manganeso.

Kondratev (1978) al trabajar con plantas jóvenes de frijol, observó que cuando existe una predominancia significativa de magnesio o calcio en la solución nutritiva incrementa la biosíntesis de ácido aspártico y glutámico y también la acumulación de alanina. Es digno señalar que estos tres compuestos son aminoácidos y que su acumulación puede deberse a una deficiencia de potasio, ya

que este último está involucrado en la síntesis de proteínas.

Hannaway (1979) estudió la absorción y acumulación de magnesio en el híbrido Amphiploid, bajo condiciones de invernadero, detectando que al incrementar el magnesio en la solución se incrementa el contenido de éste en los tejidos, similarmente, el potasio en los tejidos se incrementó al agregar más potasio en la solución. Al incrementar el potasio en la solución se presentó una reducción significativa de magnesio en los tejidos. También observó que al incrementar los niveles de magnesio se reduce la concentración de potasio.

M.A. Omar (1966) menciona que la absorción de potasio es difícilmente afectada por un incremento de magnesio, sin embargo la absorción de magnesio disminuye al incrementar el potasio. El mismo autor, encontró un efecto antagónico sobre el calcio y el magnesio en el cultivo de la caña de azúcar corregido con fertilización potásica. También se han reportado bajas en la producción de diversos cultivos debidos a efectos antagónicos entre potasio y magnesio, tal es el caso reportado por Agboola y Corey (1973) y Terman et al (1975-1977) quienes han registrado reducción en el rendimiento del Maíz; por su parte Kansal y Sekhon (1974) reportan una reducción en el rendimiento del trigo; Terman et al (1975) reportan mermas en el rendimiento del frijol.

Houland y Cadwel (1960), citados por Salomon (1964), consideraron que son tres los aspectos importantes relacionados con la interferencia del potasio con el magnesio:

a) la adición de potasio en los suelos puede ocasionar un decremento en el desplazamiento del magnesio trayendo como consecuencia



el menor aprovechamiento del mismo por parte de las plantas.

- b) al incrementar el potasio en el suelo éste puede competir con el magnesio por el sitio de entrada en las raíces de las plantas.
- c) las altas concentraciones de potasio en la planta pueden impedir el buen funcionamiento del magnesio.

Por otra parte, Grajales y Martínez (1985) consideran que el efecto principal en el antagonismo potasio-magnesio o potasio-calcio es que el potasio por ser absorbido activamente entra más rápido a los pelos radiculares y consecuentemente disminuye el número de equivalentes negativos de la membrana de los pelos absorbentes, y esto conlleva a la disminución de la absorción pasiva del calcio y magnesio la cual es dirigida notablemente por las cargas eléctricas negativas membranales.

Muchos autores sostienen la hipótesis de que a medida que los niveles del potasio disminuyen, calcio y magnesio aumentan en la planta. Por lo cual es importante que los elementos se encuentren en perfecto estado de equilibrio. Sobre lo mismo, Boswell (1957) determinó que el contenido de calcio y magnesio es inversamente proporcional al contenido de potasio en la planta. El mismo autor considera que el nivel de los cationes potasio, calcio y magnesio contenidos en tejidos secos: a) disminuyen dada la etapa de desarrollo de la planta al ir aumentando la fertilización potásica; b) aumenta con la edad de la planta en niveles bajos de potasio; y c) permanece constante desde el principio hasta el final de la vida de la planta con niveles altos de potasio. También ha encontrado que el máximo contenido de potasio se observa durante las etapas tempranas del desarrollo de la planta, y el contenido de

potasio baja porcentualmente cuando la planta se halla cercana a la madurez.

Lombin (1979) al trabajar con suelos Nigerianos encontró que la respuesta a magnesio en esta zona es improbable en un futuro inmediato, pero observó que cuando la fertilización potásica se realiza en amplia escala puede aparecer una deficiencia de magnesio debido al desequilibrio de la relación potasio-magnesio.

Pretrov-Spiridonov (1978) estudiando el efecto de las diferentes proporciones de los cationes potasio, calcio, magnesio y sodio en una concentración constante total (20 meq/l) en el medio de desarrollo del frijol y girasol, observó que las hojas, tallos y raíces del girasol fueron más dependientes de los valores promedio de las relaciones  $Mg:Ca$ ,  $Ca:K$  y  $(Ca + Mg):K$  que de las deficiencias de potasio, calcio y magnesio.

García y Guijarro (1979) trabajando en suelos cubanos para ver el efecto del potasio en la nutrición de árboles tropicales, detectaron que al incrementar el potasio en el suelo se incrementa el contenido de éste en la planta y decrece el contenido de calcio y magnesio; encontrando una correlación negativa entre potasio-calcio, potasio-magnesio y el contenido de calcio y rendimiento, y una correlación positiva entre potasio y rendimiento, y entre calcio y magnesio.

Morris y Cawthon (1980), Sánchez (1981), Fiedler y Polley (1984) y Reneau (1983) observaron que incrementos en la fertilización potásica aumentan el contenido de potasio y decrecen los niveles de calcio y magnesio en la planta. Neilsen (1983) encontró que

en árboles de manzana se presentaba un antagonismo entre potasio y calcio y entre potasio-magnesio.

Harrison (1980) estudió la interrelación del calcio, magnesio y potasio en los cultivos de col y papa; encontrando un antagonismo entre el calcio del suelo y el potasio de la hoja, el potasio del suelo y el calcio de la hoja, el potasio del suelo y el magnesio de la hoja, en el cultivo de la col. En papa sólo se observó un antagonismo entre el calcio del suelo y el fierro de la hoja, el potasio del suelo y el fierro de la hoja y el potasio del suelo con el cobre de la hoja.

Raili (1979) investigó sobre el efecto de la fertilización del magnesio sobre dos niveles de potasio y dos niveles de nitrógeno; observando que el uso de la fertilización con magnesio incrementa el contenido de éste en el grano de los cereales hasta en un 4%. Al incrementar la fertilización de potasio con nitrógeno no tienen efectos sobre los resultados obtenidos con la aplicación de magnesio. El uso de grandes cantidades de fertilización potásica reduce el contenido de magnesio en la paja. Schimansky (1983) señala que la presencia de calcio o potasio en la solución impiden la absorción de magnesio, pero esto se neutraliza con incrementos en la concentración de magnesio o realizando más frecuentemente las aplicaciones con magnesio.

Con respecto al potasio, las evidencias experimentales han demostrado que su incorporación a la raíz es del tipo activo con gasto de ATP y la única explicación posible para ello es que el gradiente del potencial químico del potasio es tan grande que no

puede ser vencido por el gradiente de potencial eléctrico, dando por resultado un gradiente de potencial electroquímico del potasio desfavorable para su movimiento espontáneo en la raíz. (Dunlop, 1971; Spanswick, 1974).

#### IV. MATERIALES Y METODOS

##### 4.1. Localización del lugar en el que se montó el experimento.

El municipio de Cuautitlán, Estado de México se extiende aproximadamente entre los 19°37' y los 19°45' de Latitud Norte y entre los 99°14' de Longitud Oeste, y a una altura de 2254 m.s.n.m

##### 4.2. Condiciones ambientales.

La temperatura media anual es de 15.7°C, las temperaturas máximas son de 26.5°C y las mínimas de 2.3°C. Una precipitación de 605 mm.

##### 4.3. Características del experimento.

Antes de establecer el trabajo experimental, se montó un lote preliminar con la finalidad de observar los síntomas característicos de deficiencia de potasio, calcio y magnesio, así como para definir con mayor precisión el fin del período vegetativo o inicio de la floración.

Para cubrir los objetivos planteados, el experimento se dividió en dos lotes (Lote 1 y Lote 2). Ambos se establecieron en la

misma fecha de siembra.

En el lote 1 las plantas de frijol fueron desarrolladas en soluciones nutritivas que variaron en los niveles de potasio, calcio y magnesio, incluyendo 3 dosis (mínima 0 ppm, óptima y máxima), con el objetivo principal de observar sus interrelaciones y para caracterizar sus síntomas, así como sus niveles foliares.

En el lote 2 se desarrollaron plantas de frijol en soluciones nutritivas carentes de potasio (0 ppm) pero con tres dosis variables de calcio y magnesio, al llegar a mediados del período vegetativo (aproximadamente a los 24 días después de la siembra) ya determinado previamente, se aplicó la dosis correctiva (dosis óptima de potasio, 250 ppm), de modo que con ésto se trató de analizar el efecto de la fertilización potásica sobre la absorción del calcio y magnesio en la planta.

El trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero para lograr un control más eficiente sobre la incidencia de plagas, enfermedades y partículas extrañas (polvo, etc.), que de una u otra manera podrían alterar los resultados.

Del mismo modo, se utilizaron diferentes soluciones nutritivas empleándose como sustrato un material inerte, con la finalidad de obtener un balance ideal de aire, agua, nutrientes, una humedad uniforme para las raíces, un excelente drenaje y un buen control del pH. (Sánchez y Escalante, 1981).

Para este trabajo se empleó el cultivo del frijol por ser uno de los principales cultivos de interés antropocéntrico, principalmente a nivel nacional; además de que se considera como una planta indicadora de los síntomas de deficiencia de los elementos minerales potasio, calcio y magnesio.

#### 4.4. Material de frijol utilizado.

Se utilizó la variedad Canario 101, por presentar ciclo biológico corto (de 80 a 90 días), por ser una planta de crecimiento determinado, las que son muy solicitadas por los agricultores por que facilitan el control de malezas, plagas, la cosecha mecánica, evita la pudrición de vainas y no necesita soporte alguno para su cultivo. (Miranda, 1966).

Dicha variedad se caracteriza por tener un grado de adaptación bastante amplio con excelentes rendimientos. Con auxilio de riego produce hasta 2 Ton./Ha. bajo buenas condiciones de cultivo y climáticas.

Es resistente a Chahuixtle y a diferentes tipos de antracnosis y es susceptible a septoria, bacteriosis y pudriciones radiculares.

En condiciones de escasa humedad, la planta deja de florear y ya no vuelve a hacerlo, con lo que disminuye considerablemente el rendimiento. La planta produce sus flores de color rosa o lila a los 55 días. Las semillas son grandes; hay 3 161 semillas/Kg, tienen forma arriñonada y un color amarillo suave.

#### 4.5. Sistema hidropónico empleado.

4.5.1. Características del invernadero, sustrato y recipientes utilizados.

Se empleó un invernadero cerrado, de estructura de vidrio, de aproximadamente 9 X 7m., sin control de clima artificial.

El sustrato que se utilizó para la elaboración del trabajo -

fue vermiculita ya que ésta, además de ser un material inerte, proporciona un buen soporte a la raíz, aireación y filtración. Dicho material, antes de ser utilizado, se lavó varias veces con agua destilada con el fin de eliminar toda clase de impurezas que llevara consigo, ya que de no ser así éstas alterarían los resultados.

Una vez lavado el material empleado como medio de soporte, se llenaron los recipientes (bolsas de polietileno negro) con 800g. de dicho material. Para evitar la acumulación de la solución, en los recipientes, se hicieron pequeñas perforaciones en éstos, debido a que el frijol requiere de un buen riego, pero nunca se deberá permitir que quede anegado. (Douglas, 1981).

#### 4.5.2. Solución nutritiva.

Para la preparación de las soluciones nutritivas se emplearon los elementos minerales considerados esenciales para el adecuado desarrollo de las plantas. Se utilizaron tres diferentes dosis de los elementos potasio, calcio y magnesio siendo establecidas en base a las especificaciones hechas por Douglas:

Tabla de dosis recomendadas por Douglas (1981)

Elemento	Dosis Mínima (ppm)	Dosis Óptima (ppm)	Dosis Máxima (ppm)
N	150.0	300.0	1000.0
Ca	300.0	400.0	500.0
Mg	50.0	75.0	100.0
P	50.0	80.0	100.0
K	100.0	250.0	400.0
S	200.0	400.0	1000.0
Cu	0.1	0.5	0.5
B	0.5	1.0	5.0
Fe	2.0	5.0	10.0
Mn	0.5	2.0	5.0
Mo	0.001	0.001	0.002
Zn	0.5	0.5	1.0

La dosis mínima empleada para potasio, calcio y magnesio en este trabajo, no se estableció en base a lo reportado por Douglas, utilizándose en este caso un nivel de 0 ppm.

Para la elaboración de las soluciones patrón (1 litro) se realizaron los cálculos necesarios, obteniéndose las cantidades adecuadas de cada elemento para 25 litros de solución.

#### 4.5.3. Control del pH.

Antes de aforar las soluciones patrón, a un litro, se ajustó el pH (utilizando un potenciómetro) con hidróxido de sodio o ácido sulfúrico según fue necesario, llevándolo a un valor de 6 por ser este el óptimo para el desarrollo del frijol. (Fassbender, - 1975; Sánchez, 1983).

#### 4.6. Diseño Experimental.

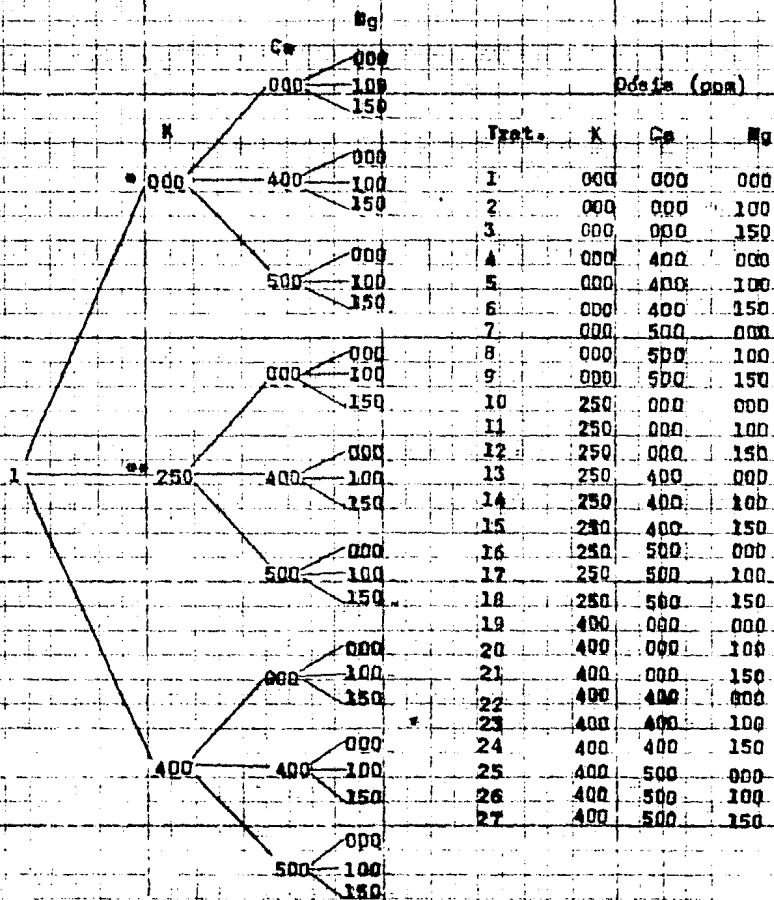
El lote 1 se trabajó en base a un diseño de Bloques completamente al azar, dado que las condiciones experimentales fueron homogéneas y la única variable independiente evaluada fue la dosis de fertilización, empleando un factorial 1X3X3X3 (esquema 1), en el cual se manejaron tres diferentes dosis de los elementos potasio (0, 250 y 400 ppm), calcio (0, 400 y 500 ppm) y magnesio (0, 100 y 150 ppm); para tal fin se emplearon cinco repeticiones por tratamiento, de modo que se manejó un total de 135 macetas.

El lote 2 establecido para corregir las deficiencias en plantas de frijol carentes de potasio, se diseñó bajo un factorial 1X3X3 (esquema 2) resultando un total de 9 tratamientos con cinco repeticiones cada uno; para este caso se emplearon las mismas do-



ESQUEMA # 1

Obtención de los tratamientos, para el lote #1, mediante el factorial IX(3)X(3).

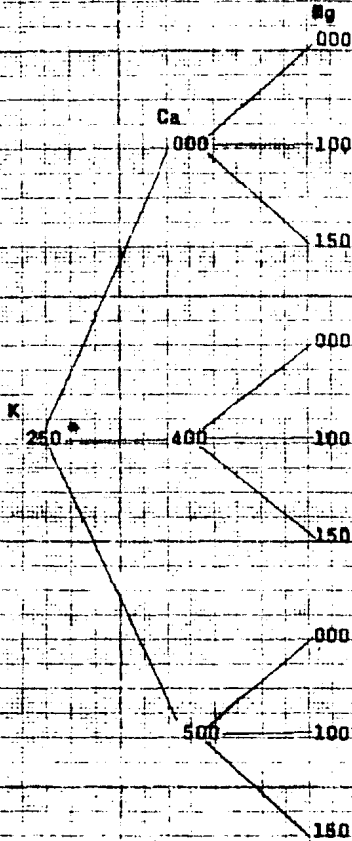


\* Estos 9 tratamientos coinciden con los manejados en el lote No 2 hasta mediados del período vegetativo (24 días desp. de la siembra.)

\*\* Tratamientos que coinciden con los manejados en el lote No 2 desde mediados del período vegetativo.

ESQUEMA # 2

Obtención de los tratamientos, para el lote #2, mediante el factorial [K][Ca].



Trat.	Dosis (ppm)		
	K	Ca	Mg
1	250	000	000
2	250	000	100
3	250	000	150
4	250	400	000
5	250	400	100
6	250	400	150
7	250	500	000
8	250	500	100
9	250	500	150

\*La dosis de potasio se aplicó a los 24 días después de la siembra, fecha en la que aproximadamente se encuentra a mediados del período vegetativo el cultivo.

sis de calcio y magnesio utilizadas en el lote 1, mientras que el potasio solamente se incorporó, como correctivo a mediados del período vegetativo, en la dosis óptima (250 ppm).

#### 4.6.1. Modelo de análisis.

$$Y_{ij} = \mu + T_j + e_{ij}$$

Donde:

$\mu$  = efecto medio experimental.

$T_j$  = efecto producido por los elementos a estudiar.

$e_{ij}$  = error representado por los efectos de repetición y efecto de tratamiento.

#### 4.7. Manejo del cultivo.

Antes de sembrar se seleccionaron las semillas de mejor aspecto. Cabe señalar que ambos lotes (Lote 1 y Lote 2) se sembraron al mismo tiempo, se depositaron 6 semillas por maceta. Una vez que emergieron se procedió a desahijar, dejando sólo 4 plántulas por maceta.

Después de cinco días de emergidas las plántulas se aplicó el primer riego, hasta alcanzar la capacidad de campo. Los riegos siguientes se efectuaron cada tercer día; para tal fin se utilizó agua destilada con el propósito de no alterar el pH ni los niveles nutrimentales manejados. De igual manera, cada tercer día se rotaban de lugar las macetas.

Para evitar la alteración del pH debido a la acumulación de sales en el sustrato, cada quince días se lavó con agua destilada.

#### 4.8. Obtención de datos durante y después del desarrollo del cultivo.

Con el propósito de cuantificar y cualificar el grado de crecimiento y desarrollo de las plantas, se efectuaron mediciones cada 8 días (altura de planta, número de hojas por planta) y las determinaciones visuales (para detectar síntomas de deficiencia) se efectuaron cada tercer día.

Por otro lado, a los 24 días después de la siembra (mitad del período vegetativo, determinado previamente) se cosecharon 2 de las 4 plantas que se dejaron por maceta, de ambos lotes experimentales, obteniendo el número total de hojas, peso fresco y peso seco (de hojas, tallo y raíz) y cuantificando los niveles de potasio, calcio y magnesio en las hojas mediante el análisis foliar.

En el lote destinado para la corrección de deficiencia potásica, después de eliminar 2 plantas por maceta (con el objeto de mantener las condiciones de competencia similares a las del lote #1), se incorporó el potasio a las soluciones nutritivas (después de los 24 días de siembra).

A los 44 días después de la siembra (inicio de la floración) se cosecharon las plantas restantes de cada maceta, de ambos lotes, obteniéndose el número de hojas, peso fresco y peso seco (de hojas, tallo y raíz) y se cuantificó el contenido de potasio, calcio y magnesio en hojas mediante el análisis foliar.

Es pertinente señalar que las plantas fueron secadas en estufa a 70°C durante 3 días.

La metodología seguida para la realización del análisis foliar fue la siguiente:

Se pesaron 0.2gr. de todas y cada una de las diferentes muestras, posteriormente este material se trató por medio de una digestión húmeda (utilizando mezcla binaria de ácido perclórico y ácido sulfúrico) y por último se hizo un filtrado a 50 ml.

Para la cuantificación del potasio se utilizó el filtrado obtenido después de la digestión; se tomaron alícuotas y se diluyeron, tomando directamente en un flamómetro las lecturas de las muestras en Intensidad de Emisión. Previamente se ajustó el equipo con las curvas de calibración (0, 10, 15, 20 y 25 ppm de potasio). Por último, se realizaron los cálculos de conversión.

Para calcio y magnesio.- de la dilución para potasio se tomaron alícuotas a las que se les adicionó óxido de lantano, llevándolos luego a una dilución tal que pudiesen ser leídas dentro de la curva de calibración para calcio que va de 0, 1, 2, 3, 4 y 5 ppm.; y la de magnesio de 0, .1, .2, .3 y .4 ppm. Estos elementos fueron cuantificados por absorción atómica. Por último se realizaron los cálculos de conversión.

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. Características fenológicas de plantas de frijol desarrolladas bajo diferentes tratamientos.

#### 5.1.1. LOTE 1.

En el cuadro 1 se reportan los días a emergencia, la aparición del primer par de hojas y el inicio de la floración en plantas de frijol desarrolladas bajo 3 diferentes dosis de potasio, calcio y magnesio.

Nótese primeramente que los días a emergencia fueron similares en todos los tratamientos, lo cual indica evidentemente que las reservas nutritivas de esta semilla son suficientes para permitir la emergencia de la planta.

En cuanto a la aparición del primer par de hojas puede observarse un ligero desfase en los diferentes tratamientos, manifestandose la aparición más tardía del primer par de hojas en los tratamientos 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 18, 19, 20, 21, 22, 26 y 27, los que mayoritariamente comparten una característica común: son carentes en calcio, a excepción del tratamiento 4 (contiene calcio pero no potasio y magnesio), el tratamiento 18 contiene la dosis óptima de potasio y la máxima de calcio y magnesio, el tratamiento 26 (dosis máximas de calcio y potasio, óptima de magnesio) y el tratamiento 27 (contiene la dosis máxima de los tres elementos).

No se observó floración y consecuentemente no se completó el ciclo biológico de la planta en los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 10,

11, 19, 20, 21, 22 y 23, los cuales se caracterizan generalmente por carecer de alguno de los tres nutrientes manejados aquí, a excepción del tratamiento 23 que presenta la dosis máxima de potasio y la óptima de calcio y magnesio. Este comportamiento, de hecho, corrobora el concepto de esencialidad de estos nutrientes, puesto que su carencia no permite completar el ciclo biológico de la planta. En cuanto al comportamiento de las plantas desarrolladas bajo el tratamiento 23 que presenta la dosis máxima de potasio y óptima de calcio y magnesio pudiera explicarse en el sentido de un posible antagonismo iónico potasio-calcio y/o potasio-magnesio de modo que la mayor absorción de potasio condujera a una absorción disminuida de calcio y/o de magnesio que repercuta en los niveles óptimos de estos últimos elementos. Al respecto, Mengel (1979) reporta este posible antagonismo, debido a que con la entrada de potasio reduce la cantidad de cargas negativas del interior celular, disminuyendo así el gradiente eléctrico (el cual mientras mayor es más tiempo vence el gradiente de potencial químico de cada catión) y por tanto, disminuyendo la absorción de calcio y/o magnesio.

#### 5.1.2. LOTE 2.

Los días a emergencia, la aparición del primer par de hojas y el inicio de la floración en las plantas desarrolladas en soluciones nutritivas carectes de potasio (hasta los 24 días de emergidas) y en dosis óptimas de calcio y magnesio son reportadas en el cuadro 2.

Puede notarse que las plantas desarrolladas en los tratamien

tos 1 y 2 no completaron su ciclo biológico ya que carecían de calcio o de magnesio, y aunque el tratamiento 3 también era carente en calcio, tenía las dosis máximas de magnesio. En cuanto a la aparición del primer par de hojas se observa nuevamente un ligero desfase entre los diferentes tratamientos, registrándose la aparición más tardía en los tratamientos 1, 2 y 3 (desarrollados en ausencia de calcio), mientras que el tratamiento 6 emitió más rápido el primer par de hojas (desarrollado en presencia de dosis óptimas de calcio y máximas de magnesio).

## 5.2. Síntomas de deficiencia detectados en plantas de frijol desarrolladas bajo diferentes tratamientos.

### 5.2.1. LOTE 1.

Trat.	Síntomas observados
1	Tallos delgados, hojas pequeñas cloróticas y abigarradas. Hojas rasgadas, con clorosis entre las nervaduras, escaso desarrollo radicular. Los síntomas se manifestaron inmediatamente después de aparecer el primer par de hojas.
2	Hojas verde intenso, con crecimiento desproporcionado que provoca rompimiento de las mismas. Hojas abigarradas. Los síntomas se presentaron inmediatamente.
3	Hojas pequeñas de color verde intenso, escaso desarrollo radicular, clorosis entre nervaduras; tallos cortos y gruesos. Se empezaron a observar después de 5 a 7 días de la aparición del primer par de hojas simples.
4	Hojas pequeñas, verde intenso, raíz con escaso desarrollo, clorosis entre las nervaduras, tallos del



Trat.

Síntomas observados

gados. Su aparición se observó pocos días después de emitir el primer par de hojas.

- 5 Tallos delgados; hojas verde intenso, grandes y deformes con presencia de rompimientos de las mismas, clorosis entre las nervaduras. Se observan a partir de los primeros diez días después de aparecer las primeras hojas.
- 6 Hojas grandes con clorosis en las nervaduras, hojas con rasgaduras; tallos delgados. Se observaron aproximadamente a los 18 días después de emergidas las plántulas.
- 7 Hojas abigarradas, de color verde intenso y bastante pequeñas; tallos delgados. Detectándose aproximadamente desde los 15 días después de emergidas las plántulas.
- 8 Hojas con crecimiento desproporcionado, deformes, rasgadas; tallos largos y delgados. Su aparición se observó aproximadamente a los 15 días después de emerger.
- 9 Hojas grandes y rasgadas, clorosis en las nervaduras; tallos delgados. Se aparecieron aproximadamente desde los 15 días después de aparecer las primeras hojas.
- 10 Hojas pequeñas de color verde intenso; escaso desarrollo radicular, raíz con quemaduras. Se detectaron a los pocos días después de aparecer las primeras hojas.
- 11 Hojas de color verde intenso, deformes y abigarradas, rasgadas; tallos cortos y gruesos; escaso desarrollo radicular; se aprecian desde los 12 días después de emergidas.
- 12 Hojas de color verde intenso, con crecimiento desproporcionado y rompimiento de las mismas, clorosis entre las nervaduras; tallos gruesos. Se observaron desde los 8 días después de emergidas las plántulas.

Trat,	Síntomas observados
13	Hojas abigarradas, con crecimiento desproporcionado y rompimiento de las mismas, clorosis en nervaduras; tallos gruesos. Se observaron a partir de los 13 días después de emerger las plántulas.
19	Hojas de color verde intenso, abigarradas y bastante pequeñas; escaso desarrollo radicular. Aparecen inmediatamente después de emitir el primer par de hojas.
20	Hojas pequeñas, verde intenso, escaso desarrollo radicular. Aparición de los síntomas, inmediatamente después de salir el primer par de hojas.
21	Hojas verde intenso, pequeñas, ásperas; tallos delgados; escaso desarrollo radicular. Su aparición también fue inmediata.
25	Hojas con clorosis en las nervaduras. Se observan a partir de los 15 días después de emerger las plántulas.
El resto de los tratamientos se comportaron normalmente.	

### 5.2.2. LOTE 2.

Síntomas de deficiencia de potasio, calcio y magnesio observados en plantas carentes de potasio hasta los 24 días después de la siembra.

Trat.	Síntomas observados
1	Hojas de color verde intenso pero con clorosis entre las nervaduras, hojas pequeñas; tallos largos y delgados. Su aparición se observó aproximadamente a los 10 días después de emergidas las plántulas.
2	Hojas pequeñas y cenizas, con clorosis entre las nervaduras, producción únicamente del primer par de hojas; tallos delgados; escaso desarrollo radicular.

Trat.

Síntomas observados

Su aparición también se observó desde los 10 días después de emergidas las plántulas.

3

Hojas pequeñas y de verde intenso, clorosis entre nervaduras; tallos delgados. Aparecen aproximadamente desde los 10 días después de emergidas las plántulas.

4

Hojas pequeñas y deformes, clorosis entre nervaduras. Aparecieron inmediatamente después de emitir el primer par de hojas.

5

Hojas pequeñas; tallos largos y delgados. Aparecen a partir de los 15 días después de emerger el primer par de hojas.

6

Hojas grandes con ligera clorosis entre nervaduras. Se observaron aproximadamente después de los 18 días de emergidas las plántulas.

7

Hojas pequeñas de color verde oscuro; tallos delgados. Se detectaron a los 15 días después de emergidas las plántulas.

8

Hojas pequeñas, clorosis entre nervaduras; tallos largos y delgados. Se aprecian a partir de los 15 días después de emergidas las plántulas.

9

Las plantas exhibieron un desarrollo normal; con tallos ligeramente delgados.

Síntomas observados en plantas de frijol corregidas, a los 4 días después de la siembra, con potasio.

Trat.

Síntomas observados

1

Tallos delgados, hojas pequeñas de color verde pálido.

Trat.	Síntomas observados
2	Hojas pequeñas, verde oscuro, clorosis entre nervaduras.
3	Hojas pequeñas, verde oscuro; tallos delgados.
4	Hojas con clorosis entre nervaduras.
5	Hojas de color verde pálido.
6	Plantas normales.
7	Hojas con clorosis entre nervaduras.
8	Hojas con clorosis entre nervaduras.
9	Plantas normales.

**5.3. Determinación del Peso Fresco Total de la Planta y de sus respectivos órganos obtenidos.**

**5.3.1. LOTE 1.**

**5.3.1.1. Primera Muestra.**

Al momento de realizar el muestreo para esta determinación las plantas se encontraban aproximadamente a mediados del período vegetativo. El mayor peso fresco total de la planta registrado se encontró en los tratamientos 14 y 18, los cuales comparten en común la dosis óptima de potasio y difieren en cuanto al calcio y magnesio, siendo la dosis óptima de ambos nutrimentos en el tratamiento 14 y la máxima en el tratamiento 18. (cuadro 3).

Por otra parte, el menor peso fresco total registrado fue para los tratamientos 2, 4, 10, 12, 20 y 21, los que son similares en que carecen de calcio, a excepción del 4, que sí tiene la dosis óptima de calcio pero sin potasio y magnesio. Considerando que el peso fresco total de la planta incluye el porcentaje de agua absorbida y que una de las funciones principales del potasio es la apertura y cierre estomática que conlleva a la regulación del equilibrio hídrico de la planta, es digno notar que los tratamientos con la dosis óptima de potasio fueron los de mayor peso fresco total.

En relación al peso fresco de cada uno de los órganos, vease que es una tendencia general en todos los tratamientos que el tallo es el órgano que más contribuye al peso fresco de la planta (cuadro 3). Esto es de esperarse ya que el peso fresco incluye también el nivel de agua y en este sentido el tallo contiene más agua que los demás órganos, debido primeramente a la estructura misma de este órgano ya que posee mayormente tejido vascular o de conducción, por donde se conduce un gran porcentaje de agua y también a que este último pierde menos agua por transpiración en relación a las hojas.

#### 5.3.1.2. Segunda Muestra.

Este muestreo se llevó a cabo a fines del período vegetativo (44 días después de la siembra).

El mayor peso fresco total determinado fue para los tratamientos 6, 18, 22, 24 y 26, los cuales se caracterizan por presentar la dosis óptima o máxima de calcio y magnesio, a excepción del tratamiento 22 que se desarrolló en ausencia de magnesio y con dosis óptimas de calcio y máximas de potasio (cuadro 4).

Observese que el mayor peso fresco en hojas y tallos se registró en los tratamientos 24, 23, 18, 6, 26, 8 y 4, éstos se caracterizan por tener, en solución, los elementos potasio, calcio y magnesio, a excepción de los tratamientos 6 y 8 que carecen de potasio, y el tratamiento 4 que únicamente contiene calcio. Cabe mencionar que los pesos exhibidos por las hojas fueron ligeramente mayores a los del tallo; esto puede deberse al hecho de que es tos tratamientos, a excepción del número 4, presentaron mayor desarrollo foliar (mayor número de hojas y mayor tamaño de éstas).

Los tratamientos que mostraron mayor peso fresco de raíz fueron: 6, 9, 18, 22, 23, 24 y 26, observandose que prácticamente é tos, a excepción del 9, son los mismos que presentaron el mayor peso fresco de tallo y hoja. Esto puede deberse al hecho de que al paso del tiempo se presenta un mayor desarrollo de las estructuras aéreas de la planta que demandan mayor suministro de nutrientes y por consiguiente un mayor desarrollo radicular.

Los tratamientos que presentan un menor peso fresco tanto en hojas, tallo y raíz fueron: el 2, 19, 20, 21 y 25, caracterizados por la carencia de calcio, a excepción del tratamiento 25 que sólo carece de magnesio, los cuales presentan una menor altura y un menor desarrollo foliar y radicular.

### 5.3.2. LOTE 2.

Este muestreo se efectuó a fines del período vegetativo de las plantas de frijol (a los 44 días después de la siembra).

En el cuadro 5 puede observarse que el peso fresco total, en los nueve tratamientos, siempre fue menor que el de sus correspondientes, de la segunda muestra, del lote 1 (tratamientos 10, 11,

12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18). Esto se explica debido a que en el segundo lote se aplicó la dosis óptima de potasio a partir de los 24 días después de la siembra (mediados del período vegetativo de las plantas cultivadas), en tanto que en el lote 1 la dosis óptima se aplicó desde el inicio del cultivo. Y como se dijo anteriormente, una de las principales funciones del potasio es la regulación de abertura y cierre estomática que conlleva a la regulación del equilibrio hídrico y del proceso fotosintético, lo que a su vez conduce a un buen crecimiento.

Por otro lado, el mayor peso fresco total, en plantas del lote 2, se registró en los tratamientos 6 y 5, ambos desarrollados en medios ricos en calcio y magnesio (y con la adición de la dosis óptima de potasio a mediados del período vegetativo); en tanto que el menor peso fresco se obtuvo en los tratamientos 2 y 3 que carecían de calcio.

En relación al peso fresco de cada órgano, se observa que tanto la hoja como el tallo contienen los mayores porcentajes de agua en la mayoría de los tratamientos.

#### 5.4. Determinación del Peso Seco Total de la Planta y de sus respectivos órganos obtenidos.

##### 5.4.1. LOTE 1.

##### 5.4.1.1. Primera Muestra.

El peso seco es un parámetro de crecimiento de la planta que resulta mejor indicador que el peso fresco, pues este último depende de las fluctuaciones del contenido de agua del vegetal.

En lo referente al peso seco total (cuadro 6) se observa que

éste es mayor en los tratamientos 14 y 18, ambos se caracterizan por haberse desarrollado en medios nutritivos con una dosis óptima de potasio, calcio y magnesio (tratamiento 14) y óptima de potasio con máximas de calcio y magnesio (tratamiento 18), por lo que quizás, al presentarse cantidades adecuadas de estos nutrientes se propicie el equilibrio iónico en la solución del suelo, manifestándose una absorción adecuada tanto de potasio, calcio y magnesio por la raíz de la planta.

Por otro lado, el menor peso seco total registrado fue para los tratamientos 19 y 20, los cuales contienen dosis óptimas de potasio y carencia de calcio. Si se comparan los tratamientos 14 y 18 con el 19 y 20, en términos generales presentan las dosis óptimas de potasio y difieren en que los primeros llevan la óptima de calcio, mientras que los últimos (19 y 20) son carentes en este nutriente. Por otra parte, los tratamientos 14 y 18 ofrecen el mayor peso seco total y los tratamientos 19 y 20 el menor, indicando claramente, que la presencia de calcio en el medio nutritivo donde se desarrolla la planta durante la fase vegetativa es un requisito esencial para permitir la absorción y asimilación del resto de nutrientes, incluyendo al mismo potasio, para la producción de materia seca. La acción del calcio a este nivel del suelo no se conoce pero probablemente esté muy relacionado con su gran capacidad como ión importante en el equilibrio iónico.

Ahora bien, al considerar por separado el peso seco de cada órgano, en general la hoja es la que representa la mayor proporción del peso seco total (35 al 48%), ésto se debe a que las hojas representan la fábrica de alimento en las plantas puesto que son las productoras de los foto-asimilados. El tallo exhibió un porcen



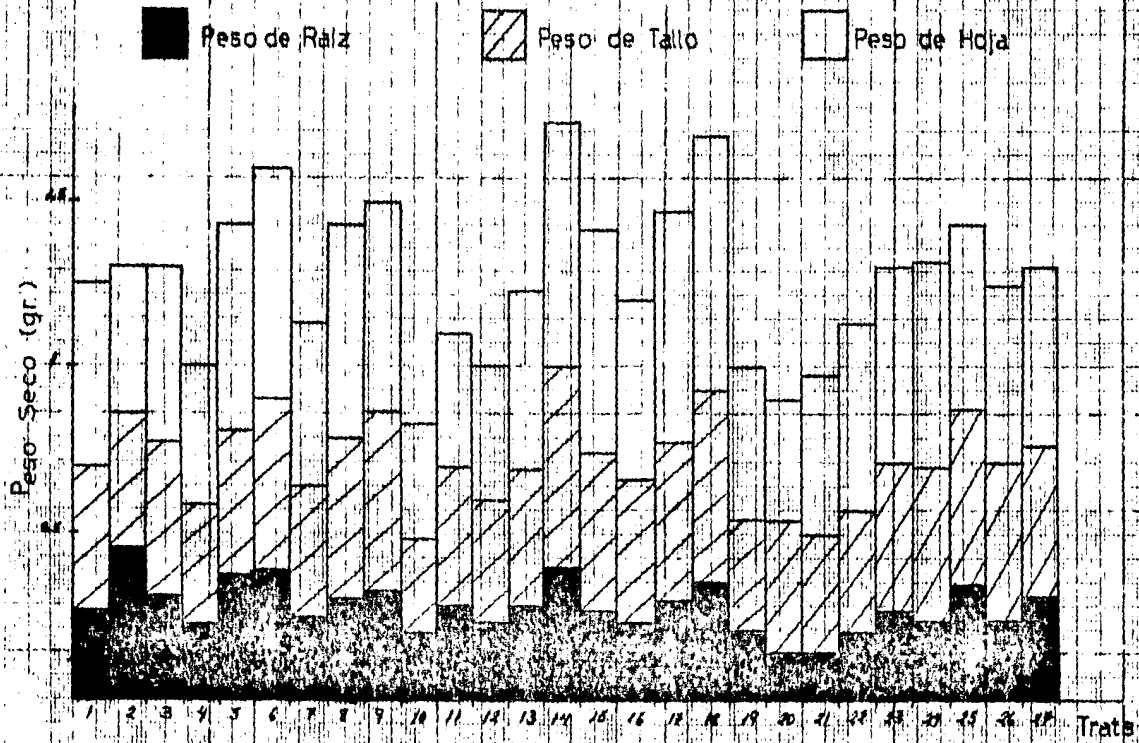
taje del 30 al 37%, y la raíz del 16.6 al 25.8%. (gráfica 1).

Los mayores pesos secos de la hoja se encontraron en los tratamientos 5, 6, 8, 9, 14, 15, 17, 18 y 24, todos estos se desarrollaron en medios ricos en calcio. En tanto que los tratamientos de menor peso seco fueron: el 2, 4, 10, 11, 12, 20 y 21, con la característica en común de la carencia de calcio, a excepción del tratamiento 4 que se desarrolló bajo niveles óptimos de calcio pero en ausencia de potasio y magnesio.

Al realizar el análisis de varianza se detectó diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 12). Mediante la prueba de Tukey se observó que los tratamientos 19 y 14 fueron significativamente mayores (en presencia de potasio, calcio y magnesio en óptimas y/o máximas dosis), mientras que los tratamientos 21, 12, 11, 20, 10 y 4 resultaron significativamente menores, en cuanto al contenido de peso seco, y éstos se caracterizan por la ausencia de calcio en solución, a excepción del tratamiento 4.

Este comportamiento indica que el calcio es un elemento esencial para la formación de materia seca, aún cuando esto no signifique que los demás nutrientes no son esenciales, sino más bien de alguna manera el calcio participe en mantener un equilibrio iónico importante para permitir una buena absorción de nutrientes.

Por otra parte, si se considera que la producción de materia seca está estrechamente relacionada con el crecimiento y éste último se inicia con un crecimiento celular empezando con la mitosis y reconociendo que un nivel apropiado de calcio es necesario para este proceso celular en su última fase durante la formación de la lamela media de las células, es posible entender que la ca-



Gráfica Nº1: Peso Seco Total de planta y de sus respectivos órganos, primera muestra (Lote 1).

rencia de calcio, aún con el resto nutrimental óptimo, no permitiría un buen crecimiento y en consecuencia un buen porcentaje de materia seca en comparación a los tratamientos con niveles adecuados de calcio y de los demás nutrimentos.

#### 5.4.1.2. Segunda Muestra.

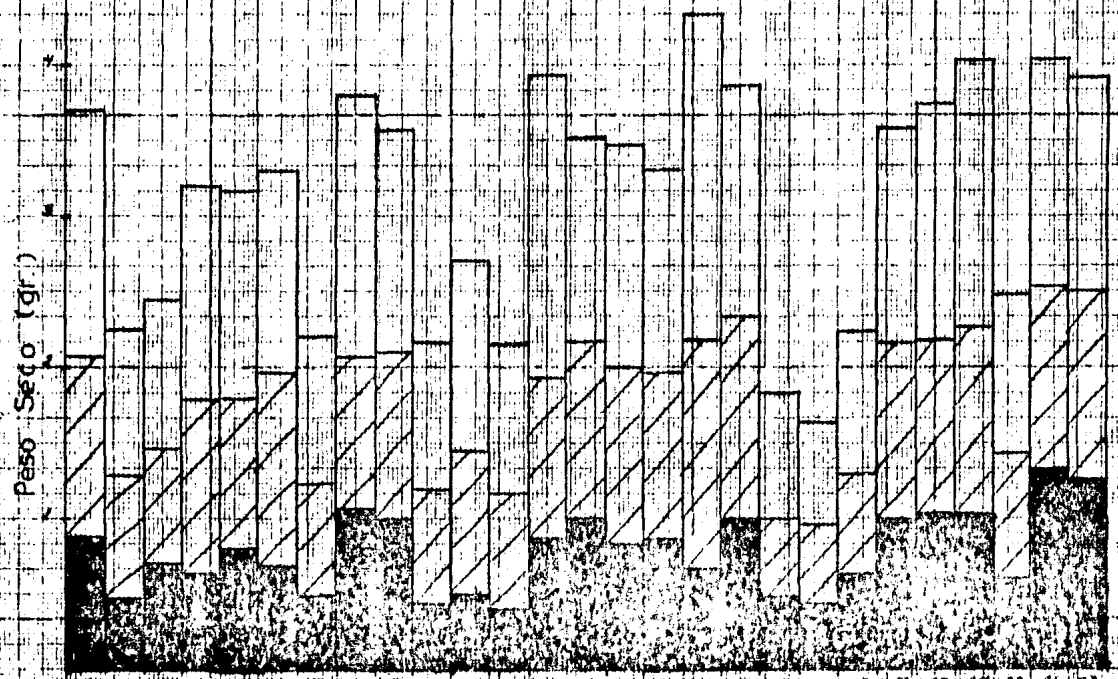
Las plantas desarrolladas en los tratamientos 17, 26, 24, 13, 27, 8 y 18, registraron el mayor contenido de peso seco, éstos se caracterizaron por contener tanto potasio, calcio y magnesio, a excepción del 8 que carece de potasio, y del 13 carente de Magnesio. (cuadro 7).

Observese que los tratamientos 2, 3, 7, 10, 11, 12, 19, 20, 21 y 25 muestran el menor peso seco total, éstos tienen en común el carecer de calcio, a excepción de los tratamientos 7 (con presencia de calcio pero carente en potasio y magnesio) y el 25 (carente en magnesio).

En cuanto a los órganos respectivos de la planta, nuevamente la hoja contribuye con el mayor peso seco (39-46.5%) en relación al tallo (29-36%) y raíz (18.7-28.7%). Los tratamientos que mayor peso seco de hoja mostraron: 8, 13, 17, 23, 24 y 26, se desarrollaron bajo dosis óptimas o máximas de calcio. En tanto que los tratamientos 7, 10, 19, 20 y 22 presentaron el menor peso seco de hoja, éstos se desarrollaron en medios carentes en calcio, a excepción del 7 que contiene calcio pero carece de potasio y magnesio. (gráfica 2).

El análisis de varianza reportó diferencia significativa entre tratamientos. La prueba de Tukey (cuadro 13) destaca como tra

Peso de Raíz
  Peso de Tallo
  Peso de Hoja



Gráfica No 2: Peso seco Total de planta y de sus respectivos órganos,  
 segunda muestra (Lote 1)

tamientos significativamente mayores al 17, 13, 2, 4, 18 y 23; en tanto que el 10, 21, 19 y 20 presentaron significativamente menor peso seco en hoja.

#### 5.4.2. LOTE 2.

En el cuadro 8 puede observarse que el peso seco total es menor en los tratamientos corregidos con potasio, en relación a sus correspondientes del lote 1 (del segundo muestreo), a los que se les aplicó la dosis óptima de potasio desde el inicio del cultivo (tratamientos del 10 al 18). Tal diferencia se debe principalmente al hecho de que el potasio se aplicó a partir de los 24 días después de la siembra. Boswell (1957) observó que el máximo contenido de potasio, en la hoja, se manifestaba durante las etapas tempranas del desarrollo de la planta y el contenido de éste baja porcentualmente cuando la planta se aproxima a la madurez.

El mayor peso seco total se registró en los tratamientos 5 y 6, desarrollados en medios ricos de calcio y magnesio, adicionando la dosis óptima de potasio desde mediados del período vegetativo. Mientras el menor peso se presentó en los tratamientos 2 y 3, comportándose similarmente a las plantas desarrolladas en el lote 1. (gráfica 3).

En lo que respecta a cada órgano de la planta, nuevamente, la hoja muestra un mayor peso seco (del 36 al 46.9%) en relación al tallo (33 al 37%) y raíz (21.2 al 26%).

El mayor peso seco de hoja, a su vez, se registró en los tratamientos 5 y 6, en tanto que los valores más bajos se presentaron en los tratamientos 2 y 3.

Peso (gr)

3

2

1



Peso de Raíz



Peso de Tallo



Peso de Hoja

Trajes

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Gráfica Nº 3: Peso seco Total de planta y de sus respectivos órganos (Lote 2)

El análisis de varianza detectó diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 14). Mediante la prueba de Tukey se determinó que los tratamientos 5 y 6 presentaron los mayores pesos secos; en tanto que los de menor significancia fueron el 2 y 3.

Esto viene a confirmar que un buen equilibrio iónico en la solución del suelo se manifiesta en la planta de una forma positiva y viceversa.

### 5.5. Altura de planta.

#### 5.5.1. LOTE 1.

##### 5.5.1.1. Primera Muestra.

Otro parámetro que se utilizó para evaluar el crecimiento fue la altura, ésta es mayor en los tratamientos 13, 17, 18, quienes tienen en común el haber sido desarrolladas con dosis óptimas de potasio y óptimas y/o máximas de calcio y magnesio (a excepción del tratamiento 13 que carece de magnesio). En tanto que la menor altura se presenta en los tratamientos 12, 19 y 20, éstos comparten la característica de haberse desarrollado en soluciones nutritivas carentes de calcio.

Al efectuar el análisis de varianza se detecta una diferencia significativa entre tratamientos; al aplicar la prueba de Tukey se observa que los tratamientos carentes de calcio y con cantidades óptimas o máximas de potasio (10, 12, 19, 20 y 21) presentaron una menor altura. En tanto que algunos de los tratamientos (13, 18, 14, 26 y 23) que se desarrollaron bajo condiciones óptimas de potasio y calcio exhibieron las mayores alturas de planta.

(cuadro 9 y 12).

De lo anterior, vease que la altura se encuentra directamente relacionada con el contenido de calcio en la solución, e inversamente relacionada con dosis máximas de potasio. Al respecto Sánchez (1981), reporta que un exceso de potasio frena el crecimiento de la planta.

#### 5.5.1.2. Segunda Muestra.

En el cuadro 10 vease que la mayor altura (a los 44 días después de la siembra) se presentó en los tratamientos 14, 17, 18, 23 y 25, desarrollados en presencia de dosis óptimas y/o máximas de potasio, calcio y magnesio, a excepción del tratamiento 25 que carece de magnesio. Ahora bien, la menor altura se registró en tratamientos carentes de calcio (3, 7, 10, 12, 19, 20 y 21), a excepción del 7 que presenta calcio pero carece de magnesio.

con el análisis de varianza, nuevamente, se observa diferencia significativa entre tratamientos; al aplicar la prueba de Tukey se detectó que los tratamientos 14, 18, 23, 26 y 17, (desarrollados en medios ricos en potasio, calcio y magnesio); mientras que los tratamientos de menor altura fueron el 7, 10, 12, 19, 20 y 21, desarrollados en ausencia de calcio, a excepción del 7 que sólo carece de magnesio.

#### 5.5.2. LOTE 2.

Por lo que toca a los tratamientos corregidos con potasio, la mayor altura se presenta en los tratamientos 5, 6 y 9 desarrollados en condiciones óptimas de calcio, magnesio y potasio (este úl



timo se incorporó desde mediados del período vegetativo). Mientras que la menor altura la registran los tratamientos 2 y 3, los cuales carecían de calcio. (cuadro 11).

El análisis de varianza mostró diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 14); la prueba de Tukey señaló que los tratamientos que presentaron mayor altura fueron el 5, 6 y 9, en tanto que los de menor altura fueron el 2 y 3.

Al comparar estos valores con los obtenidos en plantas de la segunda muestra de el lote 1 se observa que existe prácticamente un comportamiento bastante similar entre ambos. Notese igualmente que las menores alturas, en los dos lotes, se registraron en los tratamientos carentes en calcio, mientras que las mayores se presentaron en los tratamientos con calcio y con niveles óptimos de potasio y magnesio. A su vez, el parámetro altura muestra el mismo patrón que peso fresco y peso seco determinados.

## 5.6. Número de Hojas.

### 5.6.1. LOTE 1.

#### 5.6.1.1. Primera Muestra.

Otra variable determinada fue el número de hojas por planta. Al respecto, se obtuvo una mayor cantidad de hojas trifoliadas en los tratamientos 6, 8, 9, 14, 15, 17, 18, 22, 24 y 27 (cuadro 9) los cuales se caracterizan, por haberse desarrollado en soluciones nutritivas con potasio, calcio y magnesio, a excepción de los tratamientos 6, 8 y 9 (carentes en potasio) y el 22 (sin magnesio). Los que exhibieron un menor número de hojas fueron: 2, 9, 11, 19,

20 y 21, desarrollados en ausencia de calcio, principalmente, a excepción del tratamiento 9 que sólo carecía de potasio.

#### 5.6.1.2. Segunda Muestra.

En el cuadro 10 puede observarse que a los 44 días después de la siembra, nuevamente, las plantas de los tratamientos carentes en calcio (2, 19, 20 y 21) presentaron el menor número de hojas trifoliadas; en tanto que los tratamientos 7, 18, 13, 24, 26 y 27 mostraron un mayor número de hojas, éstos tienen como característica el haber sido desarrollados en medios ricos en calcio, potasio y magnesio, a excepción del 7 (sin potasio) y el 13 (sin magnesio).

#### 5.6.2. LOTE 2.

En lo referente a los tratamientos corregidos con potasio, se registró que el número de hojas es menor, en relación al de los tratamientos de la segunda muestra de el lote 1. El hecho de haber incorporado el potasio a mediados del período vegetativo influyó para que se manifestara un menor número de hojas, a diferencia de cuando se aplicó desde el inicio del cultivo.

De acuerdo al cuadro 11, observese que los tratamientos 6 y 7 presentaron el mayor número de hojas, ambos fueron desarrollados en medios ricos en calcio y potasio (este último incorporado a mediados del período vegetativo). Por otro lado, los tratamientos 2 y 3, desarrollados en ausencia de calcio, presentaron el menor número de hojas.

Como se indicó anteriormente, tanto el peso seco, peso fres-

co, altura de planta y número de hojas presentan el mismo patrón de comportamiento. Dicho patrón confirma que estos parámetros están directamente relacionados con un equilibrio iónico de potasio, calcio y magnesio.

## 5.7. Análisis foliar.

### 5.7.1. LOTE 1.

#### 5.7.1.1. Primera Muestra.

Potasio.- Al realizar el análisis de varianza se detectó diferencia significativa entre tratamientos, en relación al porcentaje de concentración de potasio acumulado. Al aplicar la prueba de Tukey, nótese que los tratamientos 10, 17, 19 y 27 registraron una mayor concentración de potasio, y se caracterizan por haber sido desarrollados en medios ricos de este elemento. Por otro lado, el menor porcentaje se observó en los tratamientos desarrollados en ausencia de potasio. (cuadro A).

Ahora bien, al referirse a la absorción total de potasio (mg/planta), el análisis de varianza (cuadro 12) encuentra diferencia significativa entre tratamientos. Mediante la prueba de Tukey se observa que los tratamientos 19, 17, 18, 27 y 14 absorben significativamente mayores cantidades de potasio (25, 25, 22, 20 y 20 - mg/planta respectivamente); en tanto que los tratamientos con menor absorción: 11, 21, 12 y 20 presentaron 7, 8, 10 y 8 mg/planta respectivamente. (cuadro A).

Nótese que los tratamientos que mostraron mayor absorción son algunos de los que se desarrollaron en medios ricos en potasio,

CUADRO A

Resultados, promedios, del análisis foliar de la primera muestra de los tratamientos del factorial 1X3X3X3 (LOTE 1):

Trats.	Peso Seco	% de concentración			mg. absorbidos		
	Hoja	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
1	0.56	0.00	0.00	0.00	00.00	00.00	00.00
2	0.47	2.70	4.88	3.89	13.00	23.00	18.00
3	0.55	2.21	3.14	1.50	12.00	17.00	08.00
4	0.44	2.92	4.29	2.28	13.00	19.00	10.00
5	0.63	2.81	6.72	1.50	17.00	42.00	09.00
6	0.70	2.97	6.66	4.61	19.00	46.00	32.00
7	0.49	2.38	5.96	1.77	11.00	29.00	08.00
8	0.64	3.18	6.10	1.12	20.00	39.00	07.00
9	0.63	3.93	6.72	2.12	24.00	42.00	13.00
10	0.33	4.07	3.84	1.96	13.00	12.00	06.00
11	0.42	1.83	7.73	1.61	07.00	32.00	06.00
12	0.42	1.93	5.60	1.33	08.00	23.00	05.00
13	0.53	2.08	6.77	1.42	11.00	36.00	07.00
14	0.73	2.76	4.36	2.02	20.00	32.00	14.00
15	0.63	2.58	3.16	1.50	16.00	20.00	09.00
16	0.54	2.26	4.57	1.27	12.00	24.00	07.00
17	0.66	3.87	5.87	2.71	25.00	38.00	19.00
18	0.76	2.88	3.22	1.28	22.00	24.00	09.00
19	0.50	4.96	4.86	2.11	25.00	24.00	10.00
20	0.36	2.78	6.04	3.88	10.00	21.00	13.00
21	0.43	1.88	3.52	3.60	08.00	15.00	15.00
22	0.55	2.29	4.93	1.43	12.00	27.00	07.00
23	0.59	2.54	3.47	1.51	15.00	20.00	09.00
24	0.61	2.48	3.16	1.36	15.00	11.00	08.00
25	0.58	2.51	5.67	1.05	14.00	33.00	06.00
26	0.54	2.88	3.37	1.43	15.00	18.00	07.00
27	0.54	3.68	3.71	1.93	20.00	20.00	10.00

calcio y magnesio, a excepción del número 19 que sólo contiene potasio; mientras los que exhibieron menor absorción se desarrollaron en ausencia de calcio y potasio, a excepción del tratamiento 10 que sí contiene potasio pero carece de magnesio.

Calcio.- En cuanto al contenido porcentual de calcio, el análisis de varianza indica que existe diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 12). La prueba de Tukey señala que los tratamientos 6, 13, 9, 8, 7, 17 y 25, caracterizados por haber sido desarrollados en presencia de calcio, son significativamente mayores en lo que se refiere al porcentaje de calcio acumulado. Mientras que los tratamientos 18, 15 y 24, desarrollados en presencia de potasio, calcio y magnesio, presentaron el menor porcentaje de calcio acumulado. (cuadro A).

Prácticamente en todos los casos en donde se carece de potasio, y con presencia de magnesio, manifiestan un mayor porcentaje de calcio acumulado, mientras que en los tratamientos a los que se les aplicó potasio (tanto en dosis óptimas o máximas) el porcentaje de calcio en la hoja baja considerablemente, aún cuando la dosis de calcio utilizada sea la máxima. Al respecto Mengel - (1979), encontró antagonismo entre potasio-calcio, debido a que con la entrada del potasio baja la cantidad de cargas negativas del interior celular, disminuyendo así el gradiente eléctrico (el cual mientras mayor es más tiempo vence al gradiente de potencial químico de cada catión) y por tanto, disminuyendo la absorción de calcio y/o magnesio.

En lo que se refiere a la absorción de calcio (mg/planta), el análisis de varianza registró cierta diferencia significativa

entre tratamientos (cuadro 12). La prueba de Tukey muestra que los tratamientos con mayor cantidad de calcio absorbida (8, 9, 17, 13 y 25) son los mismos que presentaron el mayor porcentaje de acumulación de dicho elemento. En tanto que los tratamientos 24, 26, 27 y 15 mostraron menor absorción de calcio. (cuadro A).

Magnesio.- En lo que respecta al porcentaje de magnesio, el análisis de varianza indica que existe diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 12). De acuerdo a la prueba de Tukey, se presenta un porcentaje mayor en los tratamientos 6, 20, 21 y 2 los cuales carecen de potasio y/o de calcio. En tanto los que resultaron significativamente con menor porcentaje de acumulación fueron los tratamientos 18, 15, 8 y 12, se desarrollaron en presencia tanto de K, Ca y Mg (tratamientos 15 y 18), potasio y magnesio (tratamiento 12) y calcio y magnesio (tratamiento 8). De ésto puede suponerse la existencia de un posible antagonismo potasio-magnesio y calcio-magnesio.

En relación al contenido total de magnesio absorbido (mg/planta), varía entre 7 y 32 mg. La prueba de Tukey muestra que los tratamientos 6, 21, 20, 17 y 2 absorbieron las mayores cantidades de magnesio, habiéndose desarrollado con dosis óptimas o máximas de magnesio, en presencia o ausencia de potasio y/o calcio. La menor absorción de este elemento se registró en los tratamientos 11 y 12, ambos fueron desarrollados en condiciones óptimas de potasio y ausencia de calcio. (cuadro A).

De acuerdo a lo anterior, los tratamientos con mayores contenidos de magnesio fueron aquellos que se desarrollaron en medios rícos en magnesio, y principalmente en ausencia de potasio y calcio.

### 5.7.1.2. Segunda Muestra.

Potasio.-- Algunos autores señalan que el porcentaje de acumulación de potasio, en las hojas, aumenta progresivamente con relación al tiempo; en este caso se observó que prácticamente en todos los tratamientos el porcentaje de potasio disminuye ligeramente con relación al tiempo. De este modo se corrobora lo dicho por Boswell (1957), que el máximo contenido de potasio se registra durante las etapas tempranas del desarrollo de la planta y éste baja porcentualmente cuando la planta se acerca a la madurez.

Lo anterior puede explicarse debido a que conforme la edad de la planta avanza la traslocación de los fotoasimilados se dirige hacia la demanda más importante según sea y por lo tanto disminuye la concentración de potasio en la hoja ya que este ión es bastante móvil en el floema.

Al realizar el análisis de varianza se registra diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 13). Al aplicar la prueba de Tukey se observa que los tratamientos 24, 19, 10, 15, 18 y 27 presentaron mayor concentración de potasio (4.1, 3.8, 3.5, 3.3, 3.2 y 2.8% respectivamente), cuadro B. Por otro lado, el menor porcentaje acumulado se presentó en los tratamientos desarrollados en ausencia de éste (del 1 al 9).

En cuanto a la cantidad total absorbida de potasio (mg/planta), mediante el análisis de varianza se detecta diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 13). Al aplicar la prueba de Tukey se detecta que los tratamientos 24, 18, 27, 17, 15 y 23 fueron significativamente superiores, habiendo sido desarrollados en soluciones nutritivas ricas en potasio; en tanto que las menores

CUADRO B

Resultados, promedios, del análisis foliar de la segunda muestra de los tratamientos del factorial 1X3X3X3 (LOTE 1):

Trats.	Peso Seco Hoja	% de concentración			mg. absorbidos		
		K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
1	1.65	0.00	0.00	0.00	00.00	00.00	00.00
2	0.96	2.27	5.40	2.24	21.00	52.00	21.00
3	0.99	2.28	5.28	2.53	22.00	52.00	25.00
4	1.91	2.44	5.52	1.69	34.00	78.00	24.00
5	1.36	2.43	7.80	1.41	33.00	106.00	19.00
6	1.30	2.98	6.49	1.91	38.00	84.00	25.00
7	0.99	2.03	7.22	2.05	20.00	71.00	20.00
8	1.58	2.62	6.80	1.30	41.00	107.00	20.00
9	1.46	2.88	7.36	1.29	42.00	107.00	18.00
10	0.95	3.52	5.69	1.86	33.00	54.00	17.00
11	1.26	2.72	3.57	2.96	34.00	45.00	37.00
12	1.00	1.99	3.44	1.74	20.00	34.00	17.00
13	1.66	1.83	5.91	1.60	30.00	98.00	26.00
14	1.37	2.70	7.56	1.74	37.00	103.00	24.00
15	1.48	3.52	4.98	2.08	52.00	73.00	31.00
16	1.36	2.14	7.30	0.96	29.00	99.00	12.00
17	1.86	2.57	6.26	1.23	48.00	116.00	23.00
18	1.56	3.29	5.74	0.19	51.00	89.00	18.00
19	0.77	3.88	4.49	2.59	30.00	34.00	20.00
20	0.67	2.75	4.06	3.07	18.00	27.00	20.00
21	0.91	2.45	3.92	1.83	22.00	35.00	16.00
22	1.41	2.26	6.30	1.13	32.00	89.00	16.00
23	1.55	2.96	5.95	1.20	46.00	143.00	18.00
24	1.61	4.17	5.23	2.42	67.00	84.00	39.00
25	1.02	1.99	6.00	1.29	20.00	61.00	13.00
26	1.52	2.82	5.63	1.53	43.00	85.00	23.00
27	1.41	2.84	7.07	1.54	40.00	99.00	21.00



cantidades absorbidas las registraron los tratamientos carentes de este elemento. (cuadro B).

De acuerdo a ésto puede decirse que la cantidad total absorbida aumenta progresivamente en relación al tiempo, debido principalmente al incremento que se va registrando paulatinamente en la producción de biomasa; tal aumento no es homogéneo entre tratamientos, a causa precisamente, de que la producción de materia seca difiere de uno y otro tratamiento, de acuerdo al medio de desarrollo.

Calcio.- Con respecto a la concentración de calcio (%), mediante el análisis de varianza se observa diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 13). La prueba de Tukey muestra que los tratamientos 5, 14, 16, 7, 8, 27, 6, 17 y 9, presentan porcentajes de calcio mayores a los demás. Destacando por contener los niveles óptimos de calcio y magnesio, acompañados por dosis óptimas o mínimas de potasio. (cuadro B).

En cuanto a la absorción de calcio (mg/planta), los niveles se incrementan notablemente con relación al tiempo, ya que los valores cuantificados a los 44 días después de la siembra superaron en mucho a los obtenidos en plantas cosechadas a los 24 días después de la siembra.

Al realizar el análisis de varianza se detecta cierta diferencia significativa. La prueba de Tukey muestra que la mayor absorción de calcio se presentó en plantas desarrolladas en presencia de dosis óptimas o máximas de calcio y magnesio, en ausencia de potasio o bien con niveles óptimos de éste (tratamientos 17, 8, 14, 27, 5, 16, 13, 23, 9 y 22). Por otro lado, se observa menor

cantidad absorbida de calcio en los tratamientos 19, 12, 20 y 21, desarrollados en ausencia de este elemento. (cuadro B).

Magnesio.- En lo tocante al porcentaje de concentración de magnesio en la planta, el análisis de varianza muestra diferencia significativa entre tratamientos; los niveles de absorción fluctuaron entre el 1.3 y 3.44%, lo que implica un aumento prácticamente del 100% en relación a los valores cuantificados a 24 días después de la siembra (es decir, el porcentaje de magnesio presente en la hoja aumenta en relación al tiempo). Cuadro B.

La prueba de Tukey muestra que los tratamientos 20, 11, 3, 24, y 2 presentan mayor contenido porcentual de magnesio, caracterizándose éstos por la carencia de calcio, a excepción del tratamiento 24 (desarrollado en dosis máximas de potasio, magnesio y óptimas de calcio). En tanto que los tratamientos 18, 17 y 23 contienen una menor concentración de magnesio, por haberse desarrollado en medios ricos en potasio y calcio. Al estudiar detenidamente estos valores, se aprecia que los que exhibieron mayor porcentaje de magnesio son aquellos tratamientos que se desarrollaron en medios ricos de este elemento, en ausencia de potasio y calcio; en tanto que los que muestran los menores porcentajes se desarrollaron en presencia de potasio, calcio y magnesio. Tal parece que la incorporación del magnesio a la planta estuviese inversamente relacionada con los contenidos de potasio y calcio en la solución nutritiva. Al respecto Walter y Werner (1963), citados por M.A. - Omar (1966); Olongunde (1980) y Pentkov (1980) encontraron efectos antagónicos entre potasio-magnesio y/o calcio-magnesio. Schimansky (1983) observó que la presencia de potasio y de calcio im-

piden la absorción de magnesio.

El antagonismo potasio-magnesio teóricamente es entendible puesto que ambos iones son de naturaleza catiónica y el potasio debido a que se absorbe activamente su transporte a través de las raíces se efectúa más rápidamente y en consecuencia provoca una disminución de las cargas negativas internas de la membrana que tiende a reducir el gradiente eléctrico, el cual constituye una fuerza impulsora importante para la absorción de naturaleza pasiva para el magnesio. (Mengel, 1979; Baeyens, 1970).

Por otra parte el posible antagonismo encontrado entre calcio y magnesio no es explicable bajo estos mismos términos ya que ambos cationes son absorbidos por el mismo proceso energético de naturaleza pasiva. (Grajales, comunicación personal). No obstante, pudiera explicarse en términos de la función que realizan ambos cationes en la planta, ya que los dos poseen propiedades químicas bastante similares por ser elementos del mismo grupo y además, ambos participan como cofactores enzimáticos de algunas enzimas involucradas en el metabolismo de los Carbohidratos.

Con respecto a la absorción de magnesio (mg/planta), observase que existe un aumento considerable al incremento registrado en la producción de biomasa que se presenta con relación al tiempo; los valores determinados superaron prácticamente en un 100% los obtenidos en plantas de 24 días. En el segundo corte los valores fluctuaron entre 17 y 39 mg/planta. (cuadro B).

Ahora bien, al realizar el análisis de varianza se detectó diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 13). De acuerdo a la prueba de Tukey, los tratamientos 24, 11, 15, 6, 27, 3, 17 y 20 absorbieron significativamente mayores cantidades de mag-

nesio. En tanto que los menores valores de absorción se observaron en los tratamientos 12 y 26. (cuadro B).

Véase que la producción de biomasa incrementa considerablemente en aquellos tratamientos ricos en potasio, calcio y magnesio, lo que trae consigo un aumento progresivo en la cantidad absorbida de los elementos nutrimentales.

#### 5.7.2. LOTE 2.

Potasio.- Las plantas desarrolladas en ausencia de potasio durante los primeros 24 días mostraron síntomas visibles de la deficiencia de este elemento (tallos delgados, hojas amarillas de los bordes y crecimiento escaso), mismos que fueron desapareciendo al ir aplicando el potasio como corrector.

De acuerdo al análisis de varianza, se encontró diferencia significativa en relación al porcentaje de potasio (cuadro 14). La prueba de Tukey mostró que los tratamientos 9, 6, 8 y 5 presentaron mayor porcentaje de potasio, caracterizándose por su desarrollo en medios ricos en calcio y magnesio (con dosis óptimas de potasio, aplicada a mediados del período vegetativo); mientras los tratamientos 2,3 y 7 mostraron los menores porcentajes. (cuadro C).

Al compara estos resultados con los observados en las plantas de la segunda muestra, pertenecientes al lote 1, se aprecia que aquellos muestran un mayor contenido de potasio; lo cual, en cierto modo, muestra que el potasio es un elemento que se incorpora con mayor rapidez en las primeras etapas de desarrollo del cultivo.

### CUADRO C

Resultados, promedios, del análisis foliar de la muestra de los tratamientos del factorial 1X3X3 (LOTE2):

Trats.	Peso Seco	% de concentración			mg. absorbidos		
	Hoja	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
1	0.85	2.91	4.55	2.22	24.00	38.00	19.00
2	0.63	1.47	5.81	1.59	09.00	36.00	10.00
3	0.69	1.60	3.53	1.65	11.00	24.00	11.00
5	0.90	2.25	7.52	1.70	20.00	67.00	25.00
6	1.47	3.84	5.60	2.03	56.00	82.00	30.00
7	1.25	2.01	9.13	1.71	25.00	114.0	21.00
8	1.00	2.84	4.76	2.76	28.00	47.00	27.00
9	1.19	4.06	6.06	1.90	48.00	71.00	22.00

Al referirse a la absorción total de potasio (mg/planta) se observó diferencia significativa entre tratamientos mediante el análisis de varianza (cuadro 14). Nótese que, al aplicar la prueba de Tukey, la mayor absorción se presentó en los tratamientos 6, 9 y 5 (desarrollados con dosis óptimas o máximas de calcio y magnesio). Mientras que los tratamientos 2 y 3 mostraron el menor contenido. (cuadro C).

Calcio.- En el lote corregido con potasio, los porcentajes de calcio son ligeramente superiores a los registrados en los tratamientos de el lote 1, segunda muestra (a los que se les aplicó desde el inicio la dosis óptima de potasio). Lo que muestra que la ausencia de potasio facilita la incorporación del calcio a la planta y viceversa.

Mediante la prueba de Tukey se observa que los tratamientos 7, 4, 9 y 6 son significativamente mayores a los restantes; en tanto que los de menor significancia fueron el 1 y el 3. (cuadro C).

En cuanto a la absorción, al aplicar la prueba de Tukey se obtiene que los tratamientos 7 y 6 fueron significativamente mayores, habiéndose desarrollado en condiciones óptimas y máximas de calcio. En tanto que los de menor absorción (mg/planta) fueron el 3, 2 y 1, los cuales se desarrollaron en ausencia de calcio. (cuadro C).

Magnesio.- En cuanto al porcentaje de concentración de magnesio, el análisis de varianza muestra diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 14). La prueba de Tukey determinó que el mayor porcentaje de magnesio se registró en los tratamientos 8, 6

y 5, los cuales se desarrollaron en soluciones nutritivas ricas en calcio; mientras que los de menor porcentaje fueron el 2 y el 3, desarrollados en ausencia de calcio. (cuadro C).

Estos resultados no difieren en mucho con respecto a los encontrados en plantas de la segunda muestra, del lote 1; aunque se alcanza a apreciar un ligero aumento, en el porcentaje de magnesio, en las plantas corregidas con potasio, con respecto a los tratamientos que contenían la dosis óptima de potasio desde el inicio del cultivo (lote 1). De lo que se deduce la posible existencia de un efecto antagónico entre potasio-magnesio. Al respecto, Grajales y Martínez (1985) consideran que el efecto principal del antagonismo potasio-magnesio se debe a que el potasio por ser absorbido activamente entra más rápido a los pelos radiculares y consecuentemente disminuye el número de equivalentes negativos de la membrana de los pelos absorbentes, lo cual conlleva a la disminución de la absorción pasiva del magnesio, ya que esta última está influenciada notablemente por las cargas eléctricas negativas membranales.

Referente a los valores de absorción total de magnesio (mg/planta), se observa un comportamiento similar al anterior.

Por otro lado, al comparar los valores encontrados en plantas corregidas con potasio, con relación a plantas a las que se les aplicó la dosis óptima de este elemento durante todo el período, y con adición de calcio, la incorporación del potasio se efectúa con mayor rapidez y en mayores proporciones en las etapas tempranas (y disminuye cuando la planta alcanza etapas más maduras). En tanto que en las mismas etapas tempranas pero en ausencia de po--

tasio, el calcio es asimilado en mayores cantidades y viceversa. Cabe mencionar que el contenido de calcio en la planta, a diferencia de lo que sucede con el potasio, aumenta conforme ésta se aproxima a la madurez. Esto es debido a que el calcio es un ión poco móvil por lo que no es traslocable por el floema, y además el crecimiento a nivel celular va disminuyendo.

Por último, en ambos lotes, se detectó que la presencia de óptimas o máximas cantidades de potasio los contenidos de calcio disminuyeron, mientras que en ausencia de potasio y con dosis óptimas o máximas de magnesio la cantidad absorbida de calcio aumenta. Además, los contenidos de magnesio, en la hoja, disminuyeron en presencia de dosis óptimas o máximas de potasio y calcio, y viceversa.



## VI. CONCLUSIONES

- 1) La producción de biomasa, altura de planta y el número de hojas por planta estuvieron directamente relacionadas con la adición de dosis óptimas o máximas de calcio, conteniendo además dosis óptimas de potasio y magnesio. Con ésto se cumple con el objetivo número uno ya que el desarrollo de las plantas de frijol se altera bajo diferentes concentraciones de potasio, calcio y magnesio.
- 2) La absorción de calcio por la planta estuvo inversamente relacionada con la adición de potasio, principalmente ante dosis máximas de este elemento. Con ello se cubre el objetivo número dos ya que se altera la incorporación del calcio con la fertilización potásica.
- 3) El contenido de magnesio en la hoja estuvo inversamente relacionado con la aplicación de potasio, observandose un antagonismo potasio-magnesio tal y como se esperaba. El mismo comportamiento se encontró entre calcio y magnesio, aún cuando teóricamente no se esperaba.
- 4) El potasio se incorporó con mayor velocidad en etapas tempranas de la planta y el porcentaje de concentración del mismo, en la hoja, disminuye con respecto al tiempo.
- 5) La deficiencia potásica se corrigió al aplicar dosis óptimas

de potasio a mediados del período vegetativo, aunque los contenidos de este elemento se observaron ligeramente por debajo de los cuantificados en plantas desarrolladas en presencia de potasio desde el inicio del cultivo.

## VII. RECOMENDACIONES

- Sería conveniente que, en base a este trabajo, se implementen otros a nivel de campo para obtener resultados más reales.
- Aún cuando se considera que en su gran mayoría los suelos agrícolas de México son ricos en potasio, existen regiones (las tropicales) en donde debido a las condiciones ambientales predominantes, los suelos son lavados por lo que éstos se caracterizan por ser pobres en minerales, y por lo tanto demandan la aplicación de fertilizantes potásicos, entre otros.

En este caso consideramos pertinente realizar análisis de suelo para tener un conocimiento lo más exacto posible sobre los niveles de potasio disponible o aprovechable, principalmente, y en base a esto establecer las fórmulas de fertilización que se deberán emplear, teniendo la certeza que de esta manera no se presentarán los efectos antagónicos aquí observados, promovidos principalmente por el potasio.

- En caso de que se detecten síntomas de deficiencia de potasio cuando el cultivo se encuentra en etapas tempranas de desarrollo, es conveniente aplicar una fertilización potásica con dosis óptimas de este elemento, con lo que se garantiza el total

reestablecimiento y por lo tanto un adecuado desarrollo del cultivo, teniendo en cuenta que para ésto se requiere de la presencia de niveles óptimos del resto de los nutrimentos, ya que de lo contrario la aplicación del potasio resultaría un gasto inútil.

### VIII. BIBLIOGRAFIA

- 1) Abruña, Pérez-Escolar. 1974. Response of green beans to activity factors in six tropical soils. J. Agr. Univ. Puerto Ríco. 58: 44-58.
- 2) Arias L. 1970. Frijol, No. 77. Instituto Internacional de Ciencias agrícolas de la OEA.
- 3) Baeyens J. 1970. Nutrición de las plantas. Edit. Lemos. España. pp. 230, 241, 172-179, 214-223.
- 4) Baldovinos. 1957. El Desarrollo Fisiológico y el Rendimiento de las cosechas. Chapingo México. pp 264-279.
- 5) Ballesteros Patrón. 1982. El Sombreado artificial en un frijol indeterminado arbustivo. Efectos morfológicos y fisiológicos. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo México.
- 6) Berrios L. y E. L. Bergman. 1968. La influencia del Magnesio en el análisis foliar, rendimiento y calidad de habichuelas - tiernas (*Phaseolus vulgaris*). Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 11: 151-158.
- 7) Boswell. 1957. The effect of Soil Potassium Levels on Yield Longings and Mineral Composition of Corn. Soil. Sci. Soc. Proc. 301-304.
- 8) Carbonero Zalduegui, Pilar. 1979. Química del Suelo y los fer-

tilizantes-Monografías. España. Pp 95-105, 125-148.

- 9) Cruz Díaz, Jaime. 1984. El uso de los parámetros Q/I y de los potenciales químicos (Potasio, Calcio y Magnesio) como una medida de disponibilidad nutrimental en algunos suelos cañeros de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo México.
- 10) Douglas James. 1981. Hidroponia. Edit. El Ateneo. Buenos Aires.
- 11) Dunlop J. and Bowling, D.J.F. 1971. The movement of ions to the xylem exudate of mayze roots. II. A comparision of the poten--tial and in the root cells. J. Exp. Bot. 22: 445-452.
- 12) Engleman E., Mark. 1979. Contribuciones al Conocimiento del - frijol (Phaseolus) en México. Chapingo México. Pp. 42-44.
- 13) Evans, L.T. 1975. The physiological basis of crop yield. Pp. 237-356 in: L.T. Evans, Ed. Crop physiology. Some Case Histpries. Cambridge Univ. Press. 374 pp.
- 14) FAO. 1981. Frijol, y Chicharo. SEP-Trillas, México. Manuales para la educación agropecuaria, áreas Producción Vegetal.
- 15) Fassbender Hans. 1975 y 1984. Química de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Costa Rica.
- 16) García R., Guijarro R. 1979. The effect of potassium on the nu

- 17) Grajales Muñiz y Martínez H. 1985. Apuntes de Fisiología Vegetal. México.
- 18) Hannaway, D.B. 1979. Ion Accumulation and Kinetics of  $^{28}\text{Mg}$  Magnesium and  $^{86}\text{Rb}$  Rubidium Absorption by a *Lolium multiflorum*. Diss. Abst. Int. 840, 2470.
- 19) Harrison, H.E.C. 1980. Calcium, Magnesium and potassium interrelationships affecting cabbage (*Brasica oleracea* L. variety Capitata) and Potato (*Solanum tuberosum*) Production. Diss. Abstr 840: 4050-4051.
- 20) Howard M. 1982. Cultivos hidropónicos. Edit. Mundi-Prensa. España.
- 21) Huget C. 1979. Relations between the calcium and magnesium nutrition of the Golden delicious apple tree, and the composition of the apple, with observations on physiological disorders and parasitic infections. Potash Review. 11:5.
- 22) Huterwal G. 1956. Hidroponia. Edit. Hobby. Argentina.
- 23) INIA, SARH. 1980. Programa Nacional de Frijol, Plan de investigación. México. Pp 1-2.
- 24) INIA. 1981. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el estado de Tlaxcala. Chapingo México. Pp. 40-42.
- 25) Ivans S.; Todor K. 1979. Growth and absorption of mineral elements by maize in relation to iron concentration in nutrient

medium. *Fisiologiya na Rastenyata*. 5: 43-51.

- 26) Kenji Kurashima. 1980. The distribution of potassium, calcium and magnesium contents in soils and composition in Herbage on the Mountainous Sloping Pasture. II. Potassium, calcium and magnesium contents and Balance in Herbage. *J. Jpn. Soc. Grassl Sci.* 25: 354-361.
- 27) Khanna S. and Balaguara T. 1982. Sodium Substituting potassium nutrition of cotton-crop. *Journal of the Indian Soc. of Soil Sci.* 30: 170-175.
- 28) Kondratév, M.N. 1978. Metabolism of amonio acids in vegetative organs of young bean plants depending on the magnesium and potassium ratio in the nutrient medium. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii*. 6: 76-83.
- 29) Kramer P.J. 1974. *Relaciones Hídricas de suelo y plantas*. Edit. Edutex. México. Pp 242-253.
- 30) Lombin, L.G. 1979. Evaluation of the Magnesium Supplying Powers of the Nigerian Savannah Soil. *Soil Sci. Plant. Nutr.* 25: 477-492.
- 31) Lové A. 1980. The interactions of potassium with other nutrients *International Potash Institute Berne, Switzerland*. 67-81 pp.
- 32) M.A. Omer. 1966. Some Observations on the interrelationships of Potassium and Magnesium. *Soil Science* 101: 437-439.

- 33) Mengel, K. and Kirkbi E.A. 1979. Principles of plant nutrition  
2a. Edition International Potash Institute Berne, Switzerland.  
Pp 17.
- 34) Miranda Colín, S. 1966. Herencia del hábito de crecimiento en  
*Phaseolus vulgaris* L. *Agrociencia* 1: 77-83.
- 35) McLean E.O. and M.D. Carbonell. 1972. Calcium, Magnesium and  
Potassium Saturation ratios in two soils and their effects Upon  
yields and Nutrient contents of German Millet and Alfalfa. *Soil  
Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 927-930.
- 36) Molino del, Martín y Rosón Riestra. 1979. The mineral content  
of the strawberry fruit and its medium. *Centro de Edafología  
y Biología aplicada, Salamanca España.* 5: 311-319.
- 37) Morris, J.R., Cawthon, D.L., Ileming. 1980. Effects of high ra-  
tes of potassium fertilization on raw product quality and chan-  
ges in pH and acidity during storage of concord grape juice.  
*America Journal of Ecology and Viticulture.* 31: 323-328.
- 38) Nielsen, G.H. 1983. Leaching of a soil calcium, magnesium and  
potassium in irrigated orchard x lysimeters. *Soil Science Soc.  
of Amer. Journal.* 47: 692-696.
- 39) Olongunde, O.O. 1980. Influence of potassium and magnesium con-  
centrations in nutrient culture on Growth and composition of  
*Sorghum (Sorghum bicolor)* plants. *Diss. Abstr.* B41: 1194-1195.



- 40) Olongunde O.O., and Sorensen. 1982. Influence of concentrations of K and Mg in nutrient solutions on Sorghum. Agronomy Journal 75: 5-8.
- 41) Petkov. 1980. Physiology of calcium nutrition in Alfalfa. IV - Effect of calcium deficiency on the formation of dry matter and generative organs and on its uptake and accumulation by the plants V. Plant Sci. 16: 9-10.
- 42) Polley, H., Fiedler H.J. 1984. Pot experiments for investigating the effect of various nitrogen, magnesium, potassium, boron and water. Archiv für Ackerund Pflanzenbau und Boden Kunde. 28: 435-439.
- 43) Petrov-Spiridonov. 1978. The variation in cation composition of plant organs with different concentrations of K, Ca, Mg and Na in the medium. Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokozyaistvennoi Akademii. 1: 12-17.
- 44) Raili Jokinen. The effect on Magnesium, Potassium and Nitrogen fertilizers in Spring Cereals and Grassland Crops. Ann. Agric. Fenn. 18: 188-202.
- 45) Reneau, R.B., Fridericks, J.B. 1983. Effect of P and K on yield and chemical composition of forage sorghum. Agronomy Journal. 75: 5-8.
- 46) Sanabria de M.E. 1975. Producción de biomasa, nutrición mineral y absorción de agua en la asociación frijol-maíz cultivada en solución nutritiva. Tesis de maestría. I.I.C.A. (DEA). Turrial

ba, Costa Rica. Pp 63.

- 47) Salomon R.C. 1964. Cation-activity in Equilibrium Soil Solution and the Availability of Magnesium. Soil Sci. 98: 213-216.
- 48) Sánchez, Felipe. 1981 y 1983. Hidroponia Principios y Métodos de cultivo. Chapingo México.
- 49) Schimansky, C. 1983. Uptake of magnesium, calcium and potassium and their posible effects on stalk necrosis of vines. Soils and Fertilizer. Pp 248-249.
- 50) Shuartz, H.A. y Gálvez, G.E. 1980. Problemas de producción del frijol. Enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de Phaseolus vulgaris. Editado por CIAT, Colombia. 424p.
- 51) Spanswick, R.M. and Williams, E.J. 1964. Electrical Potentials and concentrations in the vacuole and cytoplasm of *Nitella translucens*. J. Exp. Bot. 55: 193-200.
- 52) Sutcliffe V. 1976. Regulation in the whole plant in: Transport in plants II part B tissues and organs Edited by V. Lüttge and M.G. Pitman Springer-Verlag. Berlin. 456p.
- 53) Wallace, A.; Mueller. 1980. Calcium and uptake and distribution in plants. Journal of Plant Nutrition. 2: 247-256.
- 54) Wiebe, H.J. 1977. On the movement and distribution of calcium in white cabbage in dependence of the water status. Plant and Soil. 48: 409-416.

**A P E N D I C E**

## ANEXO No. 1 CUADROS DE RESULTADOS

## CUADRO No. 1

Datos sobre el desarrollo de las plantas del Lote No. 1.

Trat.	Siembra	Emergencia (días)*	Aparición de hojas** (días)*	inicio floración (días)*
1	23-XII-85	6-7	10-11	NO
2	23-XII-85	6-7	10-11	NO
3	23-XII-85	6-7	10-11	NO
4	23-XII-85	6-7	10-11	NO
5	23-XII-85	6-7	9-10	NO
6	23-XII-85	6-7	8-9	40
7	23-XII-85	6-7	9-10	41
8	23-XII-85	6-7	9-10	41
9	23-XII-85	6-7	9-10	41
10	23-XII-85	6-7	10-11	NO
11	23-XII-85	6-7	10-11	NO
12	23-XII-85	6-7	10-11	42
13	23-XII-85	6-7	9-10	41
14	23-XII-85	6-7	8-9	40
15	23-XII-85	6-7	9-10	41
16	23-XII-85	6-7	9-10	40
17	23-XII-85	6-7	9-10	41
18	23-XII-85	6-7	10-11	41
19	23-XII-85	6-7	10-12	NO
20	23-XII-85	6-7	10-12	NO
21	23-XII-85	6-7	10-12	NO
22	23-XII-85	6-7	10-11	NO
23	23-XII-85	6-7	9-10	NO
24	23-XII-85	6-7	9-10	42
25	23-XII-85	6-7	9-10	42
26	23-XII-85	6-7	10-11	40
27	23-XII-85	6-7	10-11	40

\* Número de días después de la siembra.

\*\* Aparición del primer par de hojas (hojas simples).

## ANEXO No. 1 CUADROS DE RESULTADOS

## CUADRO No. 1

Datos sobre el desarrollo de las plantas del Lote No. 1.

Trat.	Siembra	Emergencia (días)*	Aparición de hojas** (días)*	inicio floración (días)*
1	23-XII-85	6-7	10-11	NO
2	23-XII-85	6-7	10-11	NO
3	23-XII-85	6-7	10-11	NO
4	23-XII-85	6-7	10-11	NO
5	23-XII-85	6-7	9-10	NO
6	23-XII-85	6-7	8-9	40
7	23-XII-85	6-7	9-10	41
8	23-XII-85	6-7	9-10	41
9	23-XII-85	6-7	9-10	41
10	23-XII-85	6-7	10-11	NO
11	23-XII-85	6-7	10-11	NO
12	23-XII-85	6-7	10-11	42
13	23-XII-85	6-7	9-10	41
14	23-XII-85	6-7	8-9	40
15	23-XII-85	6-7	9-10	41
16	23-XII-85	6-7	9-10	40
17	23-XII-85	6-7	9-10	41
18	23-XII-85	6-7	10-11	41
19	23-XII-85	6-7	10-12	NO
20	23-XII-85	6-7	10-12	NO
21	23-XII-85	6-7	10-12	NO
22	23-XII-85	6-7	10-11	NO
23	23-XII-85	6-7	9-10	NO
24	23-XII-85	6-7	9-10	42
25	23-XII-85	6-7	9-10	42
26	23-XII-85	6-7	10-11	40
27	23-XII-85	6-7	10-11	40

\* Número de días después de la siembra.

\*\* Aparición del primer par de hojas (hojas simples).

CUADRO No. 3

Resultados de peso fresco total de la planta y de sus respectivos órganos. (LOTE No. 1, primera muestra)

Treat.	Peso Fresco Total (gr)	Peso Hoja (gr)	Peso Tallo (gr)	Peso Raíz (gr)
1	4.16	1.62	2.08	0.46
2	5.24	1.76	2.72	0.76
3	6.11	2.48	2.94	0.69
4	5.73	2.34	2.60	0.79
5	7.47	3.16	3.19	1.12
6	8.16	3.62	3.46	1.08
7	6.90	2.70	2.83	1.47
8	9.17	3.54	3.59	2.04
9	7.82	3.34	3.14	1.34
10	5.32	1.76	2.54	1.02
11	5.58	2.08	2.52	0.98
12	4.78	1.54	2.42	0.82
13	8.07	3.14	3.46	1.47
14	10.61	4.16	4.35	2.10
15	8.04	3.26	3.46	1.32
16	6.38	2.30	3.00	1.08
17	9.26	3.70	3.82	1.74
18	10.36	4.55	4.23	1.58
19	3.38	1.00	2.02	0.36
20	4.36	1.48	2.34	0.54
21	5.10	1.82	2.28	1.00
22	8.62	3.54	3.56	1.52
23	7.52	3.06	3.12	1.34
24	9.12	3.78	3.90	1.44
25	7.33	2.72	3.10	1.51
26	8.56	3.36	3.72	1.48
27	9.10	3.46	3.56	2.08

CUADRO No. 4

Resultados de peso fresco total de la planta y de sus respectivos órganos. (LOTE 1, segunda muestra)

Treat.	Peso Fresco Total (gr)	Peso Hoja (gr)	Peso Tallo (gr)	Peso Raíz (gr)
1	20.18	7.86	7.14	5.18
2	17.18	7.66	5.82	3.70
3	30.76	13.60	9.76	7.40
4	30.94	15.08	12.44	3.42
5	28.43	10.86	9.26	8.31
6	47.68	16.30	13.16	18.22
7	32.58	12.08	8.72	11.78
8	42.28	15.22	14.46	12.60
9	41.26	14.66	11.50	15.10
10	21.14	9.14	6.56	5.44
11	39.40	14.66	15.24	7.50
12	22.92	8.80	8.72	5.40
13	30.38	10.14	9.98	10.26
14	42.32	14.08	13.34	14.90
15	30.04	10.48	9.02	10.54
16	35.24	11.54	10.66	13.04
17	38.52	14.36	11.68	12.48
18	52.84	18.26	16.12	18.46
19	9.26	4.02	3.56	1.68
20	10.42	3.76	4.12	2.54
21	17.24	7.20	5.88	4.16
22	44.70	14.28	12.00	18.42
23	50.48	17.00	14.04	19.44
24	49.00	19.28	14.58	15.14
25	23.84	7.9	10.02	5.92
26	50.24	16.10	11.80	22.34
27	29.46	9.78	7.94	11.74

CUADRO No. 5

Resultados de peso fresco total de la planta y de sus respectivos -  
 órganos (LOTE 2).

Treat.	Peso Fresco Total (gr)	Peso Hoja (gr)	Peso Tallo (gr)	Peso Raíz (gr)
1	12.84	4.76	4.62	3.86
2	4.50	2.00	2.28	0.62
3	4.62	1.44	2.70	0.48
4	11.40	4.60	5.95	2.04
5	17.54	7.58	6.16	3.80
6	21.80	9.92	8.42	4.26
7	10.11	6.96	5.82	6.72
8	11.00	6.10	5.50	5.90
9	8.80	6.42	6.72	4.36



CUADRO No. 6

Resultados de peso seco total de la planta y de sus respectivos órganos (LOTE 1, primera muestra).

Treat.	Peso Seco Total (gr)	Peso Hoja (gr)	Peso Tallo (gr)	Peso Raíz (gr)
1	0.80	0.40	0.27	0.12
2	1.33	0.47	0.40	0.46
3	1.32	0.55	0.45	0.32
4	1.03	0.44	0.36	0.23
5	1.44	0.63	0.44	0.37
6	1.60	0.70	0.52	0.38
7	1.13	0.49	0.39	0.25
8	1.43	0.64	0.48	0.31
9	1.50	0.63	0.54	0.33
10	0.82	0.33	0.29	0.20
11	1.12	0.42	0.41	0.29
12	1.02	0.42	0.38	0.22
13	1.22	0.53	0.41	0.28
14	1.74	0.73	0.61	0.40
15	1.38	0.63	0.48	0.27
16	1.20	0.54	0.44	0.22
17	1.47	0.66	0.47	0.33
18	1.71	0.76	0.59	0.36
19	1.05	0.50	0.34	0.21
20	0.90	0.36	0.39	0.15
21	0.97	0.43	0.35	0.18
22	1.13	0.55	0.37	0.21
23	1.30	0.59	0.44	0.27
24	1.32	0.61	0.46	0.24
25	1.44	0.58	0.51	0.35
26	1.25	0.54	0.47	0.24
27	1.30	0.54	0.45	0.31

CUADRO No. 7

Resultados de peso seco total de la planta y de sus respectivos órganos (LOTE 1, segunda muestra).

Tret.	Peso Seco Total (gr)	Peso Hoja (gr)	Peso Tallo (gr)	Peso Raíz (gr)
1	1.69	0.65	0.16	0.88
2	2.25	0.96	0.82	0.47
3	2.45	0.99	0.76	0.70
4	3.19	1.41	1.16	0.62
5	3.17	1.36	1.00	0.81
6	3.29	1.30	0.96	1.03
7	2.21	0.99	0.74	0.48
8	3.82	1.50	1.16	1.08
9	3.57	1.46	1.10	1.01
10	2.16	0.95	0.77	0.44
11	2.72	1.26	0.95	0.51
12	2.15	1.00	0.74	0.41
13	3.93	1.66	1.39	0.88
14	3.52	1.37	1.14	1.01
15	3.47	1.48	1.13	0.86
16	3.30	1.36	1.08	0.86
17	4.35	1.86	1.48	1.01
18	3.87	1.56	1.22	1.09
19	1.83	0.77	0.58	0.48
20	1.64	0.67	0.53	0.44
21	2.21	0.91	0.68	0.62
22	3.58	1.41	1.14	1.04
23	3.73	1.55	1.14	1.04
24	4.04	1.61	1.39	1.04
25	2.48	1.02	0.84	0.62
26	4.05	1.52	1.20	1.33
27	3.91	1.41	1.25	1.25

CUADRO No. 8

Resultados de peso seco total de la planta y de sus respectivos órganos (LOTE 2).

Trate.	Peso Seco Total (gr)	Peso Hoja (gr)	Peso Tallo (gr)	Peso Raíz (gr)
1	2.26	0.85	0.83	0.58
2	1.75	0.63	0.65	0.42
3	1.85	0.69	0.70	0.30
4	2.32	0.90	0.87	0.57
5	3.19	1.30	1.18	0.71
6	3.13	1.47	1.05	0.66
7	2.79	1.25	1.00	0.54
8	2.63	1.00	0.42	0.76
9	3.02	1.19	1.12	0.71

CUADRO No. 9

Resultados de altura máxima y número de hojas por planta del-  
 LOTE No. 1, primera muestra:

Treat.	Altura Máxima (cm)	Número de Hojas/plta.
1	8.40	4
2	11.98	4
3	13.00	5
4	14.18	5
5	13.62	5
6	13.87	6
7	12.37	5
8	14.13	6
9	14.00	6
10	11.35	4
11	13.20	5
12	9.12	4
13	16.00	5
14	14.85	6
15	14.25	6
16	14.61	5
17	15.18	6
18	15.18	6
19	7.02	4
20	7.47	4
21	10.68	4
22	14.93	6
23	14.75	5
24	14.62	6
25	13.50	5
26	14.75	5
27	12.87	6

CUADRO No. 10

Resultados de altura máxima y número de hojas por planta del-  
 LOTE No. 1, segunda muestra:

Trat.	Altura Máxima (cm)	Número de Hojas/plta.
1	14.31	10
2	17.74	10
3	18.87	11
4	18.81	13
5	19.81	14
6	21.37	14
7	17.30	12
8	21.52	13
9	21.67	13
10	17.68	11
11	11.23	11
12	14.80	12
13	21.00	15
14	24.58	14
15	20.02	14
16	20.93	12
17	22.52	17
18	22.62	16
19	8.66	8
20	16.40	8
21	16.40	10
22	21.31	13
23	23.20	14
24	21.26	15
25	21.36	12
26	22.86	15
27	18.45	15

CUADRO No. 11

Resultados de altura máxima y número de hojas por planta del-  
LOTE No. 2:

Treat.	Altura Máxima (cm)	Número de Hojas/plta.
1	19.7	9
2	15.15	6
3	12.07	5
4	18.20	9
5	24.07	9
6	28.15	11
7	22.75	10
8	21.62	8
9	24.37	10

CUADRO No. 12

Valores estadísticos obtenidos en el análisis de varianza y prueba de Tukey para plantas del primer corte (Lote 1):

	C.V. %	$r^2$	PR>F (trats)	Tukey 0.05 (trats)
CK	26.0539	0.694549	28E-17 **	1.6757
CCa	45.2556	0.464030	667E-8 **	5.1219
CMg	74.5717	0.388390	0.0009 *	3.489
AK	50.5566	0.470986	336E-8 **	17.9240
ACa	51.9824	0.501800	285E-9 **	31.7020
AMg	89.5114	0.380090	0.0022 *	22.0750
AL (planta)	12.8836	0.708332	56E-18 **	4.0750
PF (Hoja)	37.2857	0.531298	885E-9 **	2.5375
PS (Hoja)	30.4062	0.372627	0.0059 *	0.40412

C= % de concentración del elemento, presente en la hoja.

A= absorción total del elemento, por parte de la hoja.

PS= peso seco.

PF= peso fresco.

AL= altura.

\* Significativo al 5%

\*\* Muy significativo al 5%

CUADRO No. 13

Valores estadísticos obtenidos en el análisis de varianza y prueba de Tukey para plantas del segundo corte (Lote 1):

	C.V. %	r <sup>2</sup>	PR>F (trats)	Tukey 0.05 (trats)
CK	25.6244	0.640006	28E-14 **	1.5778
CCa	30.3105	0.543776	11E-9 **	3.9729
CMg	49.5608	0.457745	217E-7 **	1.9900
AK	43.5373	0.541448	86E-10 **	34.3740
ACa	48.3926	0.496762	710E-9 **	83.4550
AMg	65.5196	0.307035	0.0464 *	31.8380
PS (Hoja)	33.6878	0.401562	0.0005 *	1.0548
PF (Hoja)	5.4672	0.979032	1E-70 **	1.6272
AL (planta)	13.7722	0.716007	20E-18 **	6.5138

C= % de concentración del elemento, presente en la hoja.

A= absorción total del elemento, por parte de la hoja.

PS= peso seco.

PF= peso fresco.

AL= altura.

\* Significativo al 5%

\*\* Muy significativo al 5%



CUADRO No. 14

Valores estadísticos obtenidos mediante el análisis de varianza y prueba de Tukey para plantas a las que se les incorporó potasio como corrector (Lote 2):

	C.V. %	r <sup>2</sup>	PR>F (trats)	Tukey 0.05 (trats)
CK	28.6867	0.661616	131E-7 **	1.5525
CCa	32.0748	0.583404	1.0020 **	3.8730
CMg	28.0120	0.449005	0.0358 *	1.1196
AK	47.3821	0.653988	2.89E-7**	27.3680
ACa	37.6027	0.649454	448E-7 **	46.2480
AMg	42.6825	0.460707	0.0076 *	16.7610
PS (Hoja)	33.2298	0.546734	0.0045 *	0.72227
PF (Hoja)	44.4543	0.665864	638E-7 **	5.1250
AL (planta)	12.0853	0.838613	28E-11 **	5.3276

C= % de concentración del elemento, presente en la hoja.

A= absorción total del elemento, por parte de la hoja.

PS= peso seco.

PF= peso fresco.

AL= altura.

\* Significativo al 5%

\*\* Muy significativo al 5%

ANEXO No. 2

A continuación se presentan, únicamente, los cuadros del análisis de varianza que se efectuó en relación a las cantidades totales absorbidas de los elementos potasio, calcio y magnesio.

a) Absorción de potasio en plantas pertenecientes al primer corte.

ANALISIS DE VARIANZA

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PR > F	r <sup>2</sup>
MODEL	30	5147.614814	171.587160	3.09	120E-7	0.47098
ERROR	140	5781.822222	55.594444			C.V.
TOTAL	134	10929.437037				50.5566

SOURCE	DF	ANOVA SS	F VALUE	PR > F
REP	4	122.177777	0.55	0.6998
TRAT	26	5025.437037	3.48	336E-8 **

\* Significativo al 5%

\*\* Muy significativo al 5%

b) Absorción de Ca en plantas pertenecientes al primer corte.

ANALISIS DE VARIANZA

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PR>F	r <sup>2</sup>
MODEL	30	18219.111111	607.303703	3.49	123E-8	0.50180
ERROR	104	18088.370370	173.926638			C.V.
TOTAL	134	36307.481418				51.9824
SOURCE	DF	ANOVA SS	F VALUE	PR>F		
REP	4	327.629629	0.47	0.7570		
TRAT	26	17891.481481	3.96	285E-9 **		

c) Absorción de Mg en plantas pertenecientes al primer corte.

ANALISIS DE VARIANZA

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PR>F	r <sup>2</sup>
MODEL	30	5377.481481	179.249382	2.13	0.0027	0.38009
ERROR	104	8770.444444	84.331196			C.V.
TOTAL	134	14147.925925				89.5114
SOURCE	DF	ANOVA SS	F VALUE	PR>F		
REP	4	465.555555	1.38	0.2459		
TRAT	26	4911.925925	2.24	0.0022 *		

\* Significativo al 5%

\*\* Muy significativo al 5%

d) Absorción de K en plantas pertenecientes al segundo corte.

ANALISIS DE VARIANZA

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PR > F	r <sup>2</sup>
MODEL	30	25110.044444	837.001481	4.09	45E-9	0.54145
ERROR	104	21265.688888	204.477777			C.V.
TOTAL	134	46375.733333				43.5373

SOURCE	DF	ANOVA SS	F VALUE	PR > F
REP	4	337.511111	0.41	0.7992
TRAT	26	24772.533333	4.66	86E-10 **

e) Absorción de Ca en plantas pertenecientes al segundo corte.

ANALISIS DE VARIANZA

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PR > F	r <sup>2</sup>
MODEL	30	123736.325925	4124.544197	3.42	181E-8	0.49676
ERROR	104	125349.600000	1205.284615			
TOTAL	134	249085.925925				C.V. 48.3926

SOURCE	DF	ANOVA SS	F VALUE	PR > F
REP	4	5360.000000	1.11	0.3550
TRAT	26	118376.325925	3.78	710E-9 **

\* Significativo al 5%

\*\* Muy significativo al 5%

f) Absorción de Mg en plantas pertenecientes al segundo corte.

ANALISIS DE VARIANZA

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PR > F	r <sup>2</sup>
MODEL	30	8082.977777	269.432592	1.54	0.0585	0.30702
ERROR	104	18243.792592	175.421082			C.V.
TOTAL	134	26326.770370				65.5196

SOURCE	DF	ANOVA SS	F VALUE	PR > F
REP	4	699.807407	1.00	0.4125
TRAT	26	7383.170370	1.62	0.0464 *

g) Absorción de K en plantas a las que se les incorporó (K) en  
no correctivo.

ANALISIS DE VARIANZA

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PR > F	r <sup>2</sup>
MODEL	12	10260.577777	855.048148	5.04	0.0001	0.65398
ERROR	32	5428.666666	169.645833			C.V.
TOTAL	44	15689.244444				47.3821

SOURCE	DF	ANOVA SS	F VALUE	PR > F
REP	4	874.133333	1.29	0.2953
TRAT	8	9386.444444	6.92	289E-7 **

\* Significativo al 5%

\*\* Muy significativo al 5%

b) Absorción de Ca en plantas a las que se les incorporó (K) - como correctivo.

ANALISIS DE VARIANZA

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PR>F	r <sup>2</sup>
MODEL	12	28720.933333	2393.411111	4.94	0.0001	0.649454
ERROR	32	15502.266666	484.445833			
TOTAL	44	44223.200000				C.V. 37.6027

SOURCE	DF	ANOVA SS	F VALUE	PR>F
REP	4	3188.533333	1.65	0.1870
TRAT	8	25532.400000	6.59	448E-7 **

i) Absorción de Mg en plantas a las que se les incorporó (K) - como correctivo.

ANALISIS DE VARIANZA

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PR>F	r <sup>2</sup>
MODEL	12	1739.466666	144.955555	2.28	0.0314	0.460707
ERROR	32	2036.177777	63.630555			
TOTAL	44	3775.644444				C.V. 42.6825

SOURCE	DF	ANOVA SS	F VALUE	PR>F
REP	4	67.422222	0.26	0.8983
TRAT	8	1672.044444	3.28	0.0076 *

\* Significativo al 5%

\*\* Muy significativo al 5%