

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

EVALUACION DE TRES NIVELES DE CALCIO Y MAGNESIO CON  
CINCO NIVELES DE POTASIO, EN SUELOS DE LA SERIE  
RETALHULEU, UTILIZANDO SORGO (*Sorghum vulgare* L.) COMO  
PLANTA INDICADORA, EN INVERNADERO.

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA  
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

WALTER ENRIQUE BOLAÑOS AMPUDIA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRONOMO  
EN  
SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE  
LICENCIADO

GUATEMALA, abril del 2001

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

DL  
01  
+ (1964)

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**RECTOR**

**INGENIERO AGRONOMO EFRAIN MEDINA GUERRA**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Agr. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA</b>
<b>VOCAL PRIMERO</b>	<b>Ing. Agr. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO</b>
<b>VOCAL SEGUNDO</b>	<b>Ing. Agr. MANUEL DE JESÚS MARTINEZ OVALLE</b>
<b>VOCAL TERCERO</b>	<b>Ing. Agr. ALEJANDRO ARNOLDO HERNANDEZ FIGUEROA</b>
<b>VOCAL CUARTO</b>	<b>Profesor ABELARDO CAAL ICH</b>
<b>VOCAL QUINTO</b>	<b>Br. JOSE BALDOMERO SANDOVAL ARRIAZA</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Agr. EDIL RODRIGUEZ QUEZADA</b>

Guatemala, abril del 2001

Honorable Junta directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

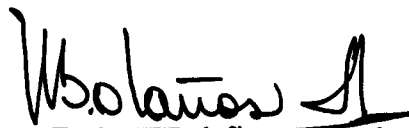
De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:

**EVALUACION DE TRES NIVELES DE CALCIO Y MAGNESIO CON CINCO NIVELES DE POTASIO, EN SUELOS DE LA SERIE RETALHULEU, UTILIZANDO SORGO (*Sorghum vulgare* L.) COMO PLANTA INDICADORA, EN INVERNADERO.**

Presentándolo como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente trabajo de investigación llene los requisitos para su aprobación, agradezco la atención a la presente.

Atentamente,

  
~~Walter Enrique Bolaños Ampudia~~

## ACTO QUE DEDICO

A:

<b>DIOS</b>	<b>TODO PODEROSO, por permitirme alcanzar la meta deseada</b>
<b>MIS PADRES</b>	<b>Mario Alberto Bolaños e Irma Nineth Ampudia Quan (†), como el más grande agradecimiento por su amor y dedicación, a quienes debo mi triunfo y dedico con mucho orgullo.</b>
<b>MI ESPOSA</b>	<b>Lorena Castañaza de Bolaños, por su paciencia, apoyo y comprensión.</b>
<b>MIS HIJAS</b>	<b>Jaqueline Análí y Jennifer Nineth, con amor especial y que este acto sea un ejemplo para su futuro.</b>
<b>MI ABUELO</b>	<b>Pedro Ampudia (†), que Dios lo tenga en ese lugar sagrado.</b>
<b>MIS HERMANOS</b>	<b>Mario Waldemar, Aura Marina, Willy Rolando, Edwin Rodolfo, Luis Alberto y Sergio Oswaldo, con mucho cariño y aprecio.</b>
<b>FAMILIA BOLAÑOS VALLEJO</b>	<b>Por el apoyo moral y económico que me brindaron al inicio de mi carrera.</b>
<b>MIS SUEGRÓS</b>	<b>Merari Castañaza y Ana Maria Silva, por su apoyo brindado.</b>
<b>MIS CUÑADOS Y CUÑADAS</b>	<b>Con cariño y aprecio</b>
<b>MIS SOBRINOS</b>	<b>Con mucho cariño.</b>
<b>MIS TIOS</b>	<b>Con aprecio y cariño</b>
<b>MIS AMIGOS EN GENERAL</b>	<b>Por su amistad.</b>

## **TESIS QUE DEDICO**

**A:**

**Dios Todo Poderoso**

**Mi patria Guatemala**

**Escuintla**

**Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Facultad de Agronomía**

**Escuela Nacional Central de Agricultura, Barcena**

**DIGESA Región V**

**TODOS LOS AGRICULTORES DE GUATEMALA.**

## **AGRADECIMIENTOS:**

**Mis sinceros agradecimientos para las siguientes personas**

**A:**

**Ingeniero Agrónomo M. C. José Jesús Chonay Pantzay, por su valiosa colaboración durante la asesoría del presente trabajo.**

**Ingeniero Agrónomo M. C. Aníbal Sacbajá Galindo, por sus valiosos aportes, apoyo brindado y revisión del presente trabajo.**

**Ingeniero Agrónomo M. C. Maxdello Herrera de León, por su orientación, revisión y sugerencias en el presente trabajo.**

**Laboratorio de análisis de suelo y planta "Ing. Agr. Salvador Castillo" por el apoyo en los análisis realizados y material bibliográfico prestado.**

**Ingeniero Agrónomo Mario Enríquez, por su apoyo prestado en la realización de este trabajo.**

**Y a todos mis amigos que de alguna manera me apoyaran para la culminación en la realización de este trabajo.**

# CONTENIDO

Página

	RESUMEN	iv
1	INTRODUCCION	1
2	DEFINICION DEL PROBLEMA	3
3	MARCO TEORICO	4
	3.1    MARCO CONCEPTUAL	4
	3.1.1    Absorción de nutrientes	4
	3.1.1.1    Intercepción radicular	4
	3.1.1.2    Flujo de masas	4
	3.1.1.3    Difusión	4
	3.1.2    Factores que afectan la absorción de nutrientes	5
	3.1.2.1    PH	5
	3.1.2.2    Factores bióticos de la planta	6
	3.1.2.3    Características físicas y químicas del suelo	6
	3.1.3    Calcio y magnesio en el suelo	7
	3.1.4    Calcio y magnesio en la planta y su importancia en la nutrición	9
	3.1.5    Dinámica del calcio y magnesio en el suelo	9
	3.1.6    El potasio en el suelo	10
	3.1.7    El potasio en la planta y su importancia en la nutrición	12
	3.1.8    Dinámica del potasio en el suelo	14
	3.1.9    Estudios sobre niveles y relaciones de calcio, magnesio y potasio	16
	3.1.10    Niveles críticos para calcio, magnesio y potasio	18
	3.1.11    Etapa fenológica del sorgo ( <i>Sorghum vulgare</i> L)	18
	3.2    MARCO REFERENCIAL	20
	3.2.1    Localización del experimento	20
	3.2.2    Procedencia de la muestra de suelo	20
	3.2.3    Descripción del área de estudio	20
4	OBJETIVOS	22
5	HIPOTESIS	23
6	METODOLOGIA	24
	6.1    Método de muestreo	24
	6.2    Análisis de fijación o sorción	24
	6.3    Determinación de calcio, magnesio y potasio a aplicar	24
	6.4    Planta indicadora	25
	6.5    Metodología experimental	26
	6.5.1    Diseño experimental	26
	6.5.2    Diseño de tratamientos	26
	6.5.3    Tamaño de Unidad experimental	27
	6.6    Manejo del ensayo	27
	6.6.1    Fertilización	27
	6.6.2    Siembra	27
	6.6.3    Riego	27
	6.6.4    Cosecha	27
	6.7    Variables respuesta	28
	6.7.1    Biomasa de la parte aérea expresada en materia seca	28
	6.7.2    Peso de raíz	28
	6.7.3    Altura de planta	28
	6.8    Análisis de la Información	28
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
8	CONCLUSIONES	34
9	RECOMENDACIONES	35
10	BIBLIOGRAFIA	36
11	APENDICE	38

## Indice de cuadros

Cuadro	CONTENIDO	Página
1A	Resultado del análisis químico de la muestra de suelo	39
2A	Niveles críticos de la fracción disponible extraída de Mehlich I (Carolina del norte)	39
3A	Combinación de tratamientos, niveles e Interacciones de elementos	40
4	Niveles evaluados de calcio y magnesio y resultados de la incubación al utilizar como fuente CaO y MgO.	25
5	Concentración de niveles del elemento potasio y dosis aplicada a 300 gramos de Suelo como unidad experimental	25
6A	Rendimiento de materia seca por repetición y promedio por tratamiento	41
7A	Peso de raíces por repetición y promedio por tratamiento	42
8A	Altura de planta por repetición y promedio por tratamiento	43
9	Análisis de varianza para biomasa de la parte aérea expresada en gramos de materia seca bajo condiciones de invernadero en suelos de la serie Retalhuleu.	29
10	Comparación múltiple de medias para biomasa de la parte aérea expresada en gramos de materia seca, bajo condiciones de invernadero en los suelos de la serie Retalhuleu.	29
11	Análisis de varianza para peso de raíces expresada en gramos de materia seca, bajo condiciones de invernadero en los suelos de la serie Retalhuleu	31
12	Comparación múltiple de medias para peso de raíces expresada en gramos de materia seca, bajo condiciones de invernadero en los suelos de la serie Retalhuleu.	31
13	Análisis de varianza para altura de planta expresada en centímetros, bajo condiciones de invernadero en los suelos de la serie Retalhuleu.	32
14	Comparación múltiple de medias para altura de planta expresada en centímetros, bajo condiciones de invernadero en los suelos de la serie Retalhuleu.	33
15A	Medias de las tres variables en la interacción de calcio-magnesio	44
16A	Medias de las tres variables en la interacción de calcio-potasio	44
17A	Medias de las tres variables en la interacción de magnesio-potasio	44



## Indice de figuras

figura	CONTENIDO	página
1	Ciclo del Calcio y Magnesio en el Suelo	10
2	Analogía hidráulica de disponibilidad de potasio para la planta	13
3	Acumulación de materia seca y absorción de N.P.K por el cultivo	14
4	Ciclo del potasio en el suelo	15
5	Comportamiento de la acumulación de biomasa en materia seca en función de la Interacción calcio-potasio	30
6	Comportamiento del peso de raíz expresado en gramos en función de la interacción de calcio-magnesio	32
7	Comportamiento de la altura de planta expresada en centímetros en función de los niveles de magnesio evaluados	33
8A	Determinación del nivel crítico para fósforo	45
9A	Determinación del nivel crítico para potasio	45
10A	Determinación del nivel crítico para cobre	46
11A	Determinación del nivel crítico para zinc	46
12A	Determinación del nivel crítico para manganeso	47

EVALUACION DE TRES NIVELES DE CALCIO Y MAGNESIO CON CINCO NIVELES DE POTASIO, EN SUELOS DE LA SERIE RETALHULEU, UTILIZANDO SORGO (*Sorghum vulgare* L.) COMO PLANTA INDICADORA EN INVERNADERO.

EVALUATION OF THREE CALCIUM LEVELS AND MAGNESIUM WITH FIVE POTASIIUM LEVELS, ON SOILS OF THE SERIES RETALHULEU, USING SORGHUM (*Sorghum vulgare* L.) LIKE INDICATOR PLANTS IN GREENHOUSE

## RESUMEN

Uno de los problemas de la aldea San Gerónimo del municipio de El Tumbador departamento de San marcos, es la poca respuesta de los cultivos a la fertilización, porque los suelos han sufrido un proceso de lixiviación de las bases intercambiables en los horizontes superficiales, lo cual no permite la disponibilidad de calcio magnesio y potasio dando como resultado el desbalance entre los mismos y como consecuencia el bajo rendimiento de los cultivos.

El objetivo de esta investigación fue la evaluación de tres niveles de calcio, tres niveles de magnesio y cinco niveles de potasio en la serie de suelos Retalhuleu, procedente de la aldea San Gerónimo, en un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo factorial con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en macetas plásticas de 500 cc de capacidad, en la cual se colocaron 300 gramos de suelo. El ensayo experimental se realizó en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, utilizando como planta indicadora el sorgo forrajero HF-895 (*Sorghum vulgare* L.).

Las variables evaluadas fueron biomasa de la parte aérea expresada en gramos, peso de raíz expresado en gramos de materia seca y altura de planta expresado en metros. Los nutrientes potasio, fósforo, cobre, zinc, molibdeno y boro se aplicaron cinco días antes de la siembra. El nitrógeno el 50% una semana después de la siembra y el otro 50% veinte días después de la primera aplicación.

A los cincuenta días después de la siembra se midió altura de planta, se cosechó cortando el tallo a un centímetro del suelo y se extrajo la raíz de cada unidad experimental, se secaron en un horno de convección a 70 °C para obtener la biomasa y el peso de raíz expresado en base seca.

El análisis de varianza para biomasa de la parte aérea expresada en gramos de materia seca indica que existe significancia para el potasio y la interacción de calcio y potasio. Para peso de raíz el análisis de varianza indica significancia para calcio y magnesio y la interacción calcio-magnesio. Para altura de planta solamente el magnesio presenta significancia según el análisis de varianza.

Se concluye que los niveles que mayor efecto presentaron en las variables evaluadas fueron: para biomasa de parte aérea: 3 y 6 meq de calcio y 1.04 meq de potasio; para el peso de raíz: 12 meq de calcio y 2.40 meq de magnesio; y para altura de planta: 1.20 meq de magnesio.

## 1. INTRODUCCION

A medida que la agricultura evoluciona, surgen necesidades y alternativas que deben ser satisfechas para lograr el éxito deseado en la producción.

Son muchos los factores que intervienen en el proceso producción agrícola; en este caso los nutrientes esenciales constituyen la importancia del estudio principalmente las bases potasio, calcio y magnesio. La nutrición vegetal adquiere su importancia cuando se producen bajos rendimientos de las cosechas como consecuencia del uso continuo del recurso suelo, sin su debido manejo y aprovechamiento, lo cual no favorece el desarrollo normal de los cultivos.

La presente investigación fue realizada en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, utilizando suelos de la serie Retalhuleu y cuyo objetivo fue determinar el efecto de diferentes niveles de potasio, calcio y magnesio y sus interacciones sobre el rendimiento de biomasa de la parte aérea expresada en materia seca, peso de raíz y altura en plantas de sordo como indicadora.

Para cumplir con el objetivo anterior, se realizó un muestreo de suelos de la serie Retalhuleu; específicamente del área donde se necesitó obtener información y con base a los resultados del análisis de laboratorio, y análisis de fijación de fósforo, zinc, potasio, manganeso y cobre, fueron evaluados tres niveles de calcio, tres niveles de magnesio y cinco niveles de potasio.

Los Resultados del estudio de acuerdo con el análisis de varianza a cada variable indica que: Para la biomasa de la parte aérea, el potasio y la interacción calcio-potasio fueron significativos; La prueba múltiple de medias realizada a las interacciones indica que con los niveles 3 y 6 meq de calcio/100 gramos de suelo y 1.04 meq de potasio/100 gramos de suelo se obtuvo el mayor peso promedio de producción de biomasa de la parte aérea expresada en gramos de materia seca por maceta.

Para el peso de raíz fue significativo el calcio, magnesio y la interacción de ambos. La prueba múltiple de medias reporta que en los niveles de la interacción 12 meq de calcio/100 gramos de suelo y 2.40 meq de magnesio/100 gramos de suelo se obtuvo el mayor peso promedio de raíces expresado en gramos.

Para la altura de planta, el análisis estadístico indicó que solo el magnesio fue significativo y según la prueba múltiple de medias fue el nivel de 1.20 meq de magnesio/100 gramos de suelo, el que dió la mayor altura promedio expresada en centímetros.

Según los resultados se concluye que los niveles que mayor efecto tuvieron en las tres variables evaluadas fueron: para biomasa: 3 y 6 meq de calcio/100 gramos de suelo y 1.04 meq de potasio/100 gramos de suelo; para el

peso de raíz: 12 meq de calcio/100 gramos de suelo y 2.40 meq de magnesio/100 gramos de suelo; y para altura de planta: 1.20 meq de magnesio/100 gramos de suelo.

En función de los niveles que mejor efecto tuvieron se recomienda validar en campo las siguientes interacciones: 3 meq de calcio, 2.4 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio; 3 meq de calcio, 1.2 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio; 6 meq de calcio, 2.4 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio; 6 meq de calcio, 1.2 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio; 12 meq de calcio, 2.4 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio; 12 meq de calcio, 1.2 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio.

La prueba de validación es recomendable desarrollarla en la comunidad donde se muestreo el suelo, o en su defecto en la misma serie de suelos.

Con base a los resultados obtenidos de los niveles evaluados se recomienda reducir el rango de exploración de niveles de calcio, magnesio y potasio para futuros ensayos , bajo condiciones de Invernadero, recomendándose los rangos siguientes: Para calcio de 4 a 8 meq/100 gramos de suelo, tomando como base 6 meq de calcio; Para magnesio de 0.90 a 1.5 meq/100 gramos de suelo, tomando como base 1.2 meq de magnesio y para el potasio de 0.80 a 1.2 meq/100 gramos de suelo, tomando como base 1.04 meq de potasio.

## 2. DEFINICION DEL PROBLEMA

San Gerónimo es una aldea que se localiza en municipio de El Tumbador, departamento de San Marcos. Es una comunidad agrícola, donde uno de sus problemas es la poca respuesta de los cultivos a la fertilización; pues sus suelos son ácidos, las bases disponibles se encuentran en un nivel bajo, la disponibilidad del hierro en un nivel que tiende a ser alto según el resultado del análisis químico del suelo presentado en el cuadro 1A. Estos suelos son bien drenados y han sufrido un proceso de lixiviación de las bases intercambiables en los horizontes superficiales, lo cual no permite la disponibilidad del calcio, magnesio y potasio lo que da como resultado el bajo rendimiento de los cultivos.

Los suelos en estudio se localizan en el departamento de San Marcos, pertenecen a la serie Retalhuleu y su naturaleza es ácida debido al clima, temperatura y la alta precipitación pluvial.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 MARCO CONCEPTUAL

##### 3.1.1 ABSORCION DE NUTRIENTES

Para que la absorción de cualquier elemento ocurra en la planta, se establece como primera condición; el contacto entre el mismo y la raíz, lo que puede ocurrir por tres procesos:

###### 3.1.1.1 Intercepción Radical

Ocurre cuando las raíces se extienden a través del espacio poroso e interceptan los nutrientes que encuentra a su paso. Se estima que corresponde a un 2 % de la concentración del elemento disponible en el suelo; asumiendo que mas o menos del 50% del espacio poroso de un suelo, el 1% corresponde a volumen ocupado por la raíces (2).

Este mecanismo tiene repercusión principalmente sobre la absorción del calcio, magnesio, manganeso y zinc (2).

###### 3.1.1.2 Flujo de Masa

Es el movimiento que mayor repercusión tiene sobre un mayor número de nutrientes. Consiste en el arrastre de los elementos con el agua que se mueve hacia la raíz por el efecto evapotranspiración de la planta (2).

En la medida en que los nutrientes se encuentran disueltos en la solución del suelo, así serán susceptibles de ser arrastrados. La cantidad de nutrientes movida por este método depende, de la concentración del elemento en el solución del suelo y de la cantidad de agua transpirada por peso de tejido (2).

###### 3.1.1.3 Difusión

En este caso las partículas se mueven de una zona de mayor concentración (suelo fertilizado) a zonas de menor concentración (zona cercana a la raíz, donde existe déficit del nutriente por efecto de la absorción) (2).

El fósforo y el potasio son elementos que están supeditados a este movimiento en el suelo, de allí que las aplicaciones localizadas de fósforo cobren sentido en función de aumentar la gradiente de absorción (2).

### 3.1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

#### 3.1.2.1 EL pH

El pH del suelo puede influir en la absorción nutritiva y crecimiento de las plantas de tres maneras.

##### 1) A través del efecto directo del ion hidrógeno.

Cuando el pH es bajo < de 4 (fuertemente ácido), se producen trastornos en el sistema radical por efectos directos del ión hidrogeno, lo cual afecta severamente el desarrollo de las plantas susceptibles a esta condición. Por otra parte la disponibilidad de algunos nutrientes en las plantas disminuye con un aumento de pH. El hierro y el manganeso son buenos ejemplos (3).

El hierro y el manganeso son comúnmente deficientes en suelos calcáreos. El fósforo y el boro tienden a ser inasimilables en suelos calcáreos, como resultado de reacciones con el calcio. El fósforo, boro, zinc y cobre no son asimilables en suelos fuertemente ácidos como alcalinos. Para los nutrimentos de las plantas como un todo, un buen grado de asimilación de nutrientes se encuentra cerca a un pH de 6.5 (3).

##### 2) Indirectamente por su influencia sobre la asimilación de los nutrientes.

La asimilación de varios de los elementos esenciales nutrientes esta afectada drásticamente por el pH del suelo así como la solubilidad de algunos de los elementos que son tóxicos para el crecimiento de las plantas. Varios elementos esenciales tienden a ser menos asimilables cuando el pH aumenta de 5.0 a 8.0; el hierro, manganeso y zinc son buenos ejemplos (3).

En valores de pH por debajo de 5.0 a 5.5 el aluminio, hierro y manganeso son solubles casi siempre en cantidad suficiente para ser tóxicos al desarrollo de algunas plantas (3).

Con un pH bajo, el molibdeno forma con el hierro compuestos insolubles y queda en forma no disponible. En estas condiciones las plantas susceptibles a su deficiencia mostrarán una respuesta de crecimiento cuando aumenta el pH (3).

##### 3. Por la presencia de iones tóxicos

En muchos suelos este último aspecto es de mucha importancia. Aunque en los valores extremos del pH pueda demostrarse el efecto directo tóxico del ion hidrógeno, muchas plantas pueden tolerar una fuerte concentración de este ion, siempre que se mantenga un equilibrio con otros elementos (3).

La toxicidad del manganeso se presenta cuando el pH es aproximadamente de 4.5 o menos. El aluminio fuertemente intercambiable en muchos suelos ácidos restringe el crecimiento en muchos subsuelos (3).

### 3.1.2.2 FACTORES BIOTICOS DE LA PLANTA

Muchos son los factores bióticos que pueden afectar el desarrollo de las plantas y presentar un riesgo constante para los cultivos. Un desequilibrio entre los nutrientes útiles a las plantas puede ser la causa de la extensión de una enfermedad, cuyo control es esencial para el máximo desarrollo de la planta y una mayor respuesta de los fertilizantes (27).

Algunos nemátodos atacan las raíces de ciertos cultivos y reducen la absorción. Es necesario procurar una mayor concentración de nutrientes en el suelo para preparar un crecimiento razonable. Afortunadamente pueden controlarse tanto químicamente como mediante la rotación de cultivos (27).

Estrechamente ligados a las enfermedades está el problema de los insectos. Cualquier infestación puede limitar seriamente el crecimiento de las plantas, afortunadamente se han dado grandes pasos en el descubrimiento de excelentes insecticidas (27).

Otro serlo inconveniente para la máxima producción lo causan las malas hierbas, pues compiten por agua, luz, nutrientes.

Las malas hierbas pueden controlarse mediante un cultivo adecuado y químicamente.

Estos factores en conjunto pueden ser la causa del efecto limitante creado en el empleo eficiente de los nutrientes de las plantas (27).

Una programación adecuada de nutrientes es muy necesaria para la obtención de la máxima producción agrícola, sin embargo los nutrientes por si solos no son garantía de una cosecha abundante a causa del efecto inhibidor de muchos factores que limitan el empleo eficiente de los nutrientes para los cultivos(27).

### 3.1.2.3 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO

#### 1. Escorrentia y percolacion

En el ciclo del potasio en el suelo, se habla sobre la posibilidad de la pérdida del elemento debido a la percolación del agua a través del suelo y/o arrastre de las partículas superficiales del suelo por la erosión eólica y/o hídrica. Estos procesos son de gran importancia para el balance de nutrientes, especialmente de las bases Ca , Mg, K. (9)

Las pérdidas por escorrentía dependen de la vegetación y de las medidas de control de la erosión; sin embargo son menores a las causadas por la percolación (9).



## 2. Disponibilidad

Dentro de los límites al aumentar la concentración de un elemento en la solución del suelo aumenta también la cantidad absorbida, aunque esto va a depender de la disponibilidad relativa en que se encuentre determinado elemento para la planta (27).

El consumo de un elemento por la planta es el mejor criterio de la disponibilidad siempre que otros factores de crecimiento no sean limitantes. (27)

Para el caso del potasio su disponibilidad dependerá principalmente del tipo de potasio que exista en el suelo, pudiendo presentarse en las siguientes formas: a) fijado o relativamente no disponible b) lentamente disponible c) fácilmente disponible (27).

La disponibilidad de este elemento para las plantas es grandemente influenciada por

- 1) Los coloides presentes en el suelo.
- 2) La temperatura del suelo.
- 3) Humedad y sequedad de suelos arcillosos
- 4) El pH del suelo.

En el caso del calcio y magnesio los factores del suelo que se creen son de la máxima importancia en determinar su disponibilidad para las plantas son (27).

- 1) La cantidad de calcio y magnesio presente.
- 2) El grado de saturación del complejo de intercambio.
- 3) El tipo de coloides del suelo.
- 4) La naturaleza de los iones complementarios adsorbidos por el complejo de Intercambio.

### 3.1.3 CALCIO Y MAGNESIO EN EL SUELO

Junto al potasio y al sodio, el calcio y magnesio constituyen las llamadas bases cambiables, juegan un papel importante en la reacción del suelo (5).

El calcio total en los suelos es menor que el potasio total y el magnesio total, pero el calcio cambiabile es mucho más alto que la concentración cambiabile de potasio y magnesio. La mayor parte del calcio no cambiabile y calcio estructural de los suelos se encuentra en los minerales primarios tales como feldespatos cálcicos. Las formas no cambiiables y estructurales de magnesio se encuentran formando parte de minerales primarios como la biotita, serpentina, horblenda, olivino; y de minerales secundarios arcillosos como la clorita, vermiculita y otros.(5)

Muchas son las prácticas agronómicas que influyen sobre la disponibilidad de calcio y magnesio en el suelo, siendo una de ellas el uso continuo de sulfato de amonio como fuente fertilizante nitrogenada, provoca desplazamiento de calcio y acidifica el suelo (5).

El exceso de aluminio, hidrogeno y manganeso en la solución del suelo disminuye la absorción de calcio por la planta. El uso reiterado de materia orgánica al acidificar el suelo puede acelerar la pérdida de calcio por lixiviación (15).

López Galindo (19), menciona que las precipitaciones, la evapotranspiración, la frecuencia e intensidad de las temporadas de sequía, las características de intercambio catiónico del suelo, la absorción del agua y las características dinámicas del suelo, influyen sobre la rapidez con que el calcio y el magnesio son lavados, y por consiguiente es de tomar en cuenta todas estas condiciones para conocer el momento oportuno de efectuar la aplicación de las fuentes de Ca y Mg.

Estos elementos conjuntamente con el potasio y sodio, desempeñan un papel en los fenómenos de sinergismo y antagonismo de los iones que se traducen en un estado de inhibición de las plantas. La cantidad de calcio y magnesio sufren una reducción si el pH es superior a 8.5, debido a que el sodio y potasio los sustituyen por precipitación del calcio y magnesio en forma de carbonatos (19).

El calcio presente en los suelos a parte del que se añade como cal o fertilizante, tiene su origen en las rocas y minerales de los que el suelo esta formado. El calcio esta contenido en ciertos minerales como dolomita, calcita, apatita, feldespatos cálcicos y anfíboles entre otros y es liberado el calcio de estos minerales por su desintegración y descomposición, en el proceso de intemperismo (19).

Los iones de calcio situados libremente en solución pueden ser perdidos por drenaje, absorbidos por organismos, adsorbidos por las partículas de arcilla circundante o precipitados como un compuesto cálcico secundario, particularmente en los climas áridos. No hay conversión en el suelo de calcio a una forma comparable con el potasio fijado o lentamente disponible (27).

Gaucher (11), menciona que el calcio fijado en el complejo absorbente constituye el calcio cambiante del suelo; y el calcio de las soluciones del suelo presentan el calcio soluble.

La caliza cede a las soluciones del suelo los iones calcio, que provoca la neutralización de las valencias ácidas de las arcillas y del humus del complejo adsorbente. El magnesio en el suelo se origina por la descomposición de rocas que contengan minerales como la blotita, dolomita, clorita, serpentina y olvina. En su descomposición, el magnesio se desplaza libremente en las aguas que lo rodean, por lo que puede perderse por percolación, absorbido por los organismos vivientes, adsorbido por partículas de arcilla circundante o precipitado como el mineral secundario, principalmente en suelo ácido (11).

### 3.1.4 CALCIO Y MAGNESIO EN LA PLANTA Y SU IMPORTANCIA EN LA NUTRICION

El calcio es un ión relativamente inmóvil dentro de la planta y se encuentra en cantidades mayores en los tejidos maduros, por consiguiente la deficiencia se muestra en los renuevos de la misma. Los iones de calcio reprimen la absorción de agua que favorece la transpiración.(24)

El calcio protegerá a la planta de los ácidos orgánicos tóxicos, así mismo participará en el aumento de la actividad microorgánica favorable en la nutrición. El calcio inactiva el hierro y aluminio, aumentando así el nivel de fósforo disponible para las plantas. El calcio es un elemento necesario para el funcionamiento y crecimiento de las raíces, sirviendo en la síntesis del protoplasma y para la división celular (23).

La deficiencia de calcio es notoria por la falta de desarrollo de los brotes terminales de las plantas y tejidos apicales de la raíz, como consecuencia se detiene el crecimiento de la planta (23).

El magnesio es un ión bastante móvil que se encuentra en mayor cantidad en las frutas, semillas y hojas de plantas. El magnesio se sitúa dentro de las acciones coloidales en donde se considera que desempeña el papel principal. El magnesio se requiere para la síntesis de aceite vegetal y grasas, formando parte de algunas proteínas; además funciona como catalítico, siendo requerido para la transferencia de fósforo, hidrogeno y carbono. Otra de las funciones importantes es la de servir en el metabolismo del fósforo (23).

La importancia del magnesio es que es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila. La deficiencia de magnesio se manifiesta en las hojas más bajas mediante una clorosis intervenal. El magnesio es requerido para la activación de muchas enzimas y especialmente participa de la respiración celular (23).

### 3.1.5 DINAMICA DEL CALCIO Y MAGNESIO EN EL SUELO

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 cálcicos especialmente anfíboles y piroxénos llevan a la liberación de calcio estructural. El calcio en la solución del suelo se encuentra en equilibrio con el calcio intercambiable, la magnitud de ambas formas varía constantemente a través de la absorción de calcio por las plantas y las pérdidas que se dan por percolación (9).

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 también mayores que los de magnesio y potasio. La absorción de calcio por las plantas varía entre 30 y 250 kg CaO, siendo mas baja para cereales que para leguminosas (9).

Las formas y la dinámica del magnesio son muy parecidas a la de otros elementos alcalinos y alcalinoterreos como el calcio, potasio y sodio. Se diferencian solamente las magnitudes de las formas y las cantidades que participan en los diferentes procesos. La absorción de magnesio por las plantas varía entre 10 y 60 kg/ha a la cosecha. Las leguminosas absorben generalmente más magnesio que las gramíneas. Las pérdidas por escorrentía dependen de la vegetación y de las medidas de control de la erosión; sin embargo estas son menores que las debidas a la percolación (9).

Ocasionalmente se utilizan materiales de encalado a base de magnesio que se disuelve lentamente en el suelo. Algunos fertilizantes contienen magnesio como catión suplementario y otros como catión esencial. Después de su disolución este magnesio pasa a formar parte del magnesio en la solución del suelo y del magnesio cambiante (9).

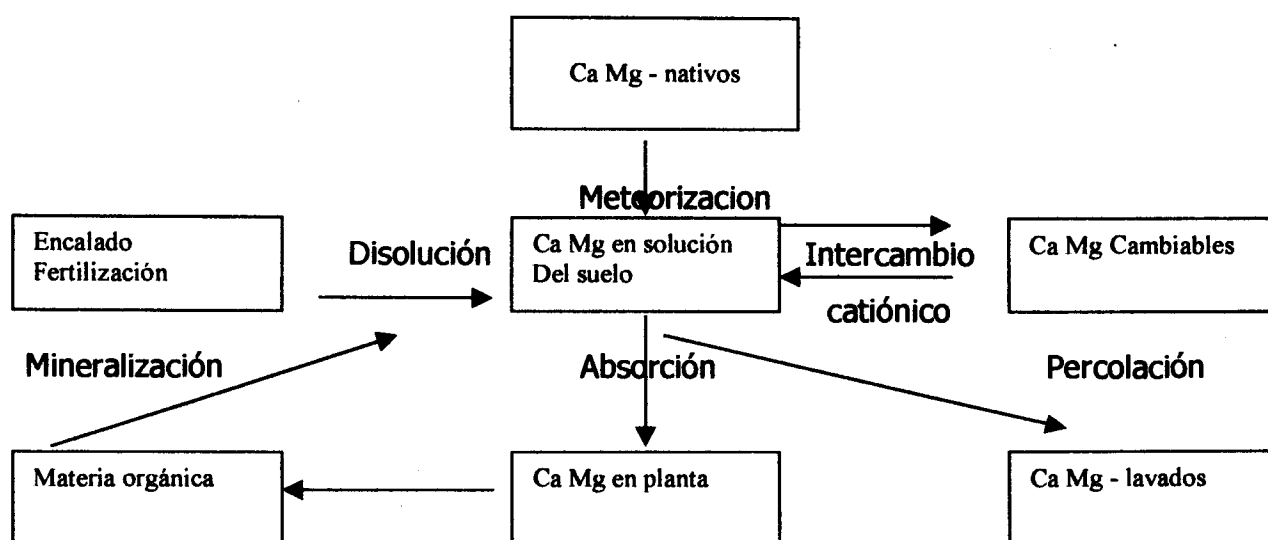


Figura 1. Ciclo del Calcio y Magnesio en el suelo.  
Fuente: Fassbender (9).

### 3.1.6 EL POTASIO EN EL SUELO

El potasio es denominado nutriente mayor y su naturaleza es totalmente mineral. La concentración de este elemento en los suelos es muy variable y está asociado con factores inherentes a la constitución mineralógica y el grado de meteorización. El elemento presenta diferentes estados o fracciones.

Potasio soluble : en la solución del suelo

Potasio intercambiable: adsorbido a la superficie coloidal

Potasio -no intercambiable: constituido por la porción del mineral potásico en avanzado estado de meteorización.

Potasio estructural: Constituyente del mineral potásico no alterado

Potasio fijado: Química o físicamente en cierto tipo de minerales arcillosos

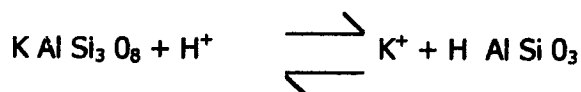
Entre las diferentes fracciones se ha comprobado la existencia de un equilibrio dinámico que permite el reabastecimiento de las fracciones soluble y cambiante cuando en éstas disminuye la concentración del elemento a causa del consumo por las plantas o pérdidas por la lixiviación. Este equilibrio también está condicionado por factores edáficos y ambientales. Exceptuando al potasio que es añadido con los fertilizantes, el potasio contenido en los suelos se origina de la desintegración y descomposición de rocas que contienen minerales potásicos (15).

Los minerales que se consideran generalmente como fuentes originales de potasio son los feldespatos potásicos ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), la Muscovita ( $\text{H}_2\text{K}_3(\text{SiO}_4)_3$ ) y la Biotita ( $(\text{H K})_2(\text{Mg Fe})_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ) (27).

Los resultados de experiencias indican que, de acuerdo con los datos de respuesta de las plantas, la disponibilidad del potasio en estos minerales, aunque ligero, es del orden Biotita Mayor Muscovita Mayor feldespatos potásicos (27).

La liberación del potasio contenido en estos minerales ocurre a través de intemperización. En suelos muy viejos por tanto muy intemperizados, los feldespatos de potasio ya se han disuelto, como sucede en regiones tropicales y sub-tropicales. Los feldespatos que existen en estos suelos son probablemente recubiertos con óxidos y por tanto inactivos para fines de liberación de potasio en la solución (27).

La intemperización de feldespatos de potasio se inicia en la superficie de las partículas por el cambio de potasio por hidrógeno, de acuerdo a la siguiente reacción (27).



Prosiguiendo con la disolución de feldespatos, se inicia la formación de una película de óxido de aluminio y sílice amorfos que disminuyen la velocidad de reacción. La intemperización de las micas es un proceso de varias etapas que da origen a varias arcillas-minerales con liberación de potasio en solución (27).

En zonas templadas y tropicales donde el proceso de intemperización es bastante intenso, la secuencia de intemperización de las micas es el siguiente:

MICA --- Vermiculita --- Vermiculita cloritizada --- Caolinita --- Óxidos hidratados de hierro y aluminio.

Las micas son minerales primarios que se presentan en forma de láminas constituyéndose en forma de una lámina de átomos de sílice (tetrahedros), otra lámina de átomos de aluminio (octaedros) y otra de sílice (tetrahedros) (27).

### 3.1.7 EL POTASIO EN LA PLANTA Y SU IMPORTANCIA EN LA NUTRICIÓN

El potasio es considerado macronutriente, porque ocupa el segundo lugar en la concentración de la planta, considerándose adecuada una concentración de 1%, y participa de las reacciones enzimáticas y no enzimáticas cruciales para la vida de la planta (20).

La ausencia de potasio puede causar el desarrollo incompleto del ciclo de vida de la planta, ningún elemento puede sustituir al potasio, sin embargo el sodio puede tomar ese lugar cuando se consideran las funciones del potasio dentro de la vacuola (regulación de presión osmótica) porque esas funciones no son específicas. Al existir sustitución, el potasio se torna disponible en funciones específicas para la planta o distribución en otros órganos (20).

Comparado con el potasio, el efecto activador del sodio sobre las enzimas, es generalmente menor o nulo. El potasio absorbido por la raíz, es conducido al follaje a través del xilema y floema y su redistribución interna por el floema lo conduce hacia las hojas maduras y de aquí a las jóvenes o a los frutos en crecimiento. Esto ocurre porque cerca del 75% del potasio total esta en forma iónica y soluble (20).

Dentro de los límites, el aumentar la concentración de potasio en la solución del suelo, aumenta también la cantidad absorbida. El aprovechamiento del potasio del suelo, esta en función de tres parámetros; Cantidad(Q), Intensidad(I) y capacidad(C).

Q = Cantidad total de potasio disponible en el suelo.

I = Fracción del elemento que se haya en el suelo.

C = Factor que rige el paso del reservorio(Q) para la solución del suelo.

En la figura 2, se presenta el esquema de cómo el potasio es asimilado por la planta.

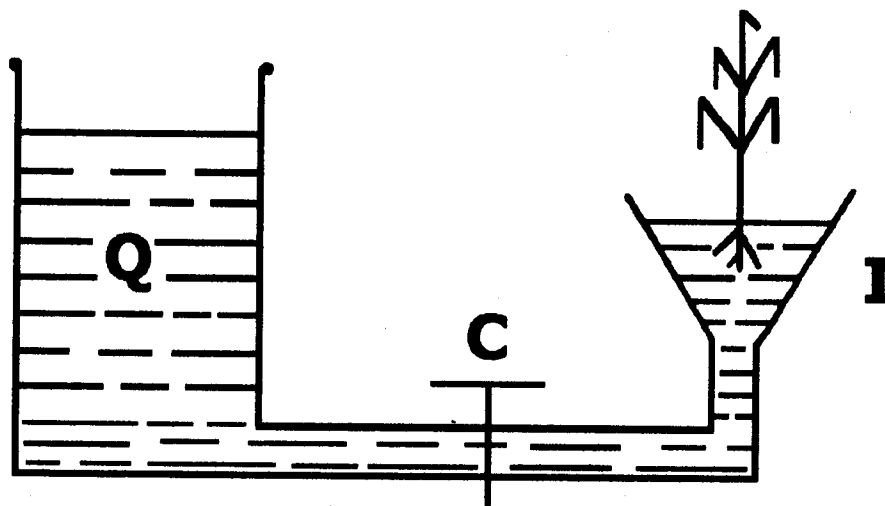


Figura 2. Analogía hidráulica de disponibilidad de potasio para la planta.  
Fuente: Malavolta (20)

Como acontece con los demás nutrientes, el potasio puede también ser absorbido por las hojas. El elemento en solución atraviesa la cutícula, generalmente por difusión y llega a las paredes de las células de la epidermis. Por proceso activo penetra a la célula en forma similar como acontece con la absorción radical. De los espacios intercelulares y las paredes, el potasio es "bombeado" hacia los vasos del xilema y floema, siendo conducido a los demás órganos de la planta (20).

La asimilación de nutrientes procede a la acumulación de materia seca ya que son indispensables para el crecimiento de la planta y acumulación de la misma materia seca. La planta de sorgo asimila más rápido el potasio, le sigue el nitrógeno y luego el fósforo (5).

Durante el ciclo de vida de la planta, la absorción de potasio en general es paralela a la acumulación de materia seca, presentándose en forma sigmoide, es decir aspecto de una "S" como se observa en la figura 3. Al principio y al final del ciclo, las exigencias de potasio son relativamente menores. Cuando se trata de cultivos perennes en producción; la parte superior de la "S" tiende a tomar una forma horizontal con altos y bajos en función de las cosechas (20).

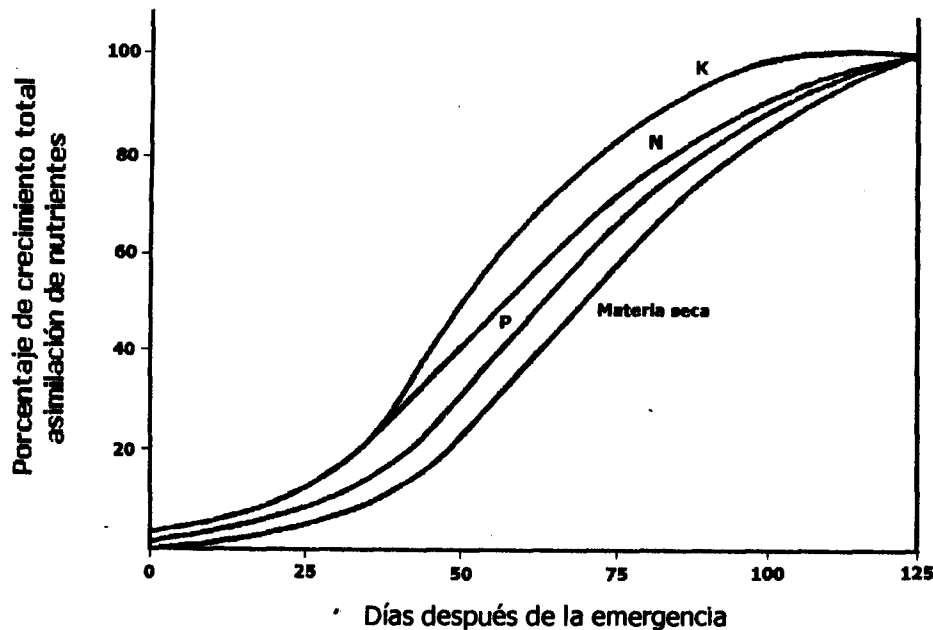


Figura 3. Acumulación de materia seca y absorción de NPK por el cultivo.  
Fuente: Malavolta (20)

### 3.1.8 DINÁMICA DEL POTASIO EN EL SUELO

Los distintos procesos dinámicos y equilibrios químicos entre las diferentes formas de potasio en el suelo, se presentan en la figura 4. El potasio en la solución del suelo, directamente es aprovechado por la planta y bajo condiciones específicas puede ser percolado, considerándose una pérdida de potasio en el suelo que va de 5 a 250 kg/ha/año según su contenido, precipitación pluvial, cobertura vegetal (9).

Los fertilizantes potásicos al ser aplicados al suelo y disolverse, liberan potasio que pasa a formar parte de la solución del suelo. El potasio intercambiable que está adsorbido a los coloides del suelo, se encuentra en equilibrio con el potasio de la solución del suelo. El potasio al ser lixiviado o absorbido por las plantas; es repuesto en la solución a partir del potasio cambiante, siendo esta fracción de mucha importancia en la nutrición vegetal por presentar una reserva que poco a poco se pone a disposición de la planta y al mismo tiempo se protege del lavado a través de la adsorción (9).

A medida que el potasio se agota como potasio intercambiable, debe reponerse a partir del potasio no cambiante pero disponible. La percolación causa pérdida de potasio en el suelo, la aplicación de fertilizantes interfiere en el equilibrio, entonces parte del potasio aplicado pasa a las formas cambiantes o fijadas (9).

La fijación de potasio, o sea la acumulación del elemento en el espacio interlamilar de las arcillas es un fenómeno de gran importancia dentro de su dinámica. Este proceso ocurre por características específicas de minerales



arcillosos del grupo 2:1 como las illitas, vermiculitas, montmorillonitas, y características específicas de los iones  $K^+$  y  $NH_4^+$ . Para que se produzca fijación, el ión potasio debe deshidratarse e introducirse en el espacio interlaminar saturando las cargas electrostáticas. El potasio fijado llena los espacios y establece una configuración química estable con el resto del mineral. La densidad de las cargas también es importante para que se produzca fijación. Las cargas electropositivas en cargas equivalentes a 200 meq/100gr de arcilla o humus le facilitan, mientras que las 110meq/100gr solo permite una pequeña fijación (9).

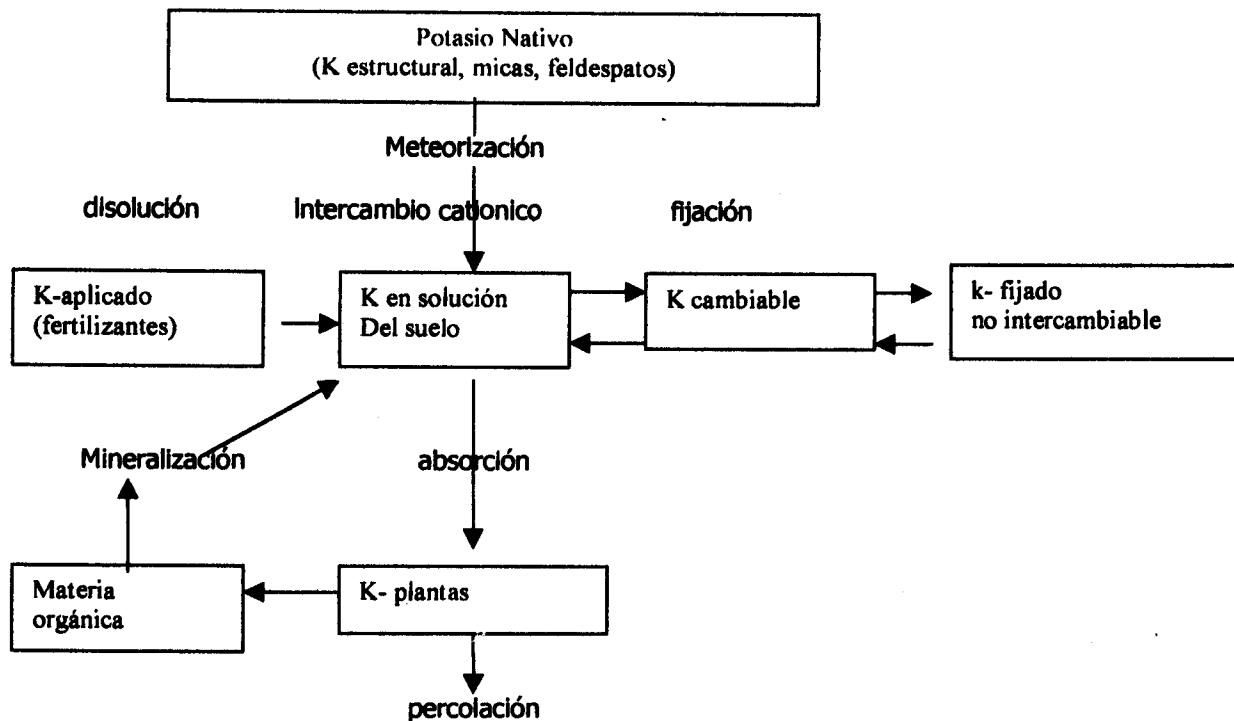


Figura 4. Ciclo del potasio en el suelo

Fuente : Malavolta (21)

Para Suarez (26), la fijación, es un proceso mediante el cual el potasio aprovechable pasa a la forma de potasio lentamente no aprovechable, debido a que los iones de potasio pasan a formar parte de los cristales de minerales arcillosos parecidos a las micas y otros minerales arcillosos.

Donahue (7), indica que la mayoría de los suelos con arcilla illita y aun montmorillonita; cuando se secan fijan potasio, llamado FIJACION DE POTASIO, en forma no disponible para las plantas por el fuerte enlace que existe entre las capas de arcilla. La cantidad total de potasio en la mayoría de los suelos es suficiente por varias generaciones, inclusive el uso de fertilizantes la esta aumentando. La explicación a esta aparente contrariedad es que la mayoría de potasio en el suelo es un constituyente de minerales poco solubles, como los feldespatos, resultando de potasio soluble disponible en forma muy esparcida para las plantas.

Jackson (17), menciona que a medida que el potasio canjeable del suelo se lixivia o es usado en las cosechas, parte del potasio de "RESERVA" presente en feldespatos y micas, se va alternando hasta volverse canjeable, tendiendo a alcanzar el estado de equilibrio original con un nivel constante.

La adición de potasio soluble tiende a invertir esta reacción; es decir que parte del potasio queda "FIJADO" en forma canjeable, sobre todo cuando se seca el suelo. El porcentaje de saturación de bases, así como el potasio, calcio y magnesio, guardan una relación directa con el pH. Bajo condiciones de alta acidez, disminuyen rápidamente las concentraciones en los suelos, produciéndose deficiencias de los mismos (9)

Una parte del potasio del suelo, o del añadido con los fertilizantes se fija en los huecos de las interláminas de la red cristalina de los minerales arcillosos, lentamente va liberándose hasta hacerse disponible para las plantas. La velocidad de liberación depende del tipo de suelo, de las condiciones de humedad, temperatura, de las circunstancias en que se fijó y finalmente de los cultivos (9).

### 3.1.9 ESTUDIOS SOBRE NIVELES Y RELACIONES DE CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO.

Al interpretar un análisis con alto contenido de calcio y magnesio, Frey (10) no encontró respuesta del potasio, considerándolos como elementos independientes. Determinó que por ser elementos que se extraen conjuntamente con el potasio, debían relacionarse en la forma  $(Ca+Mg) / K$ ; llegando a la conclusión que esta relación constituye un buen índice para el diagnóstico de la disponibilidad de elementos, pues relaciones altas coincidieron con alta probabilidad de respuesta a su aplicación.

Fassbender (9), confirma lo anterior, indicando que las relaciones entre las bases cambiables ( $Ca/K$ ,  $Mg/K$ ,  $Ca+Mg/K$  y  $Mg/Ca$ ) son igualmente un criterio importante de interpretación de las condiciones del complejo de intercambio. Los valores absolutos de las bases cambiables; Ca, Mg y k las relaciones entre ellas ganan importancia en su interpretación, al ser asociados con el desarrollo de un cultivo específico.

Hardy, citado por Fassbender (9), publicó sus estudios sobre las relaciones óptimas para los cocientes entre las bases, así una relación de 40, por ejemplo para  $(Ca+Mg) / k$  resultara óptima; valores mas altos indican deficiencia de potasio y valores mas bajos indican la falta de Ca y Mg.

Can Choy (4), en 1986 evaluó el efecto de niveles y relaciones de calcio y magnesio sobre el crecimiento de plantillas de tomate a nivel de invernadero. De su estudio concluyó que para obtener alto rendimiento de biomasa seca total; debe hacerse uso de la relación  $Ca:Mg$  de 12:1 con un nivel de 16 meq de  $Ca+Mg/100$  ml. en la solución. Para el rendimiento del follaje, la mejor respuesta la obtuvo de la relación  $Ca:Mg$  12:1 con los niveles 16 y 64 meq de  $Ca+Mg/100$  ml. en la solución.

Los resultados del análisis de raíces no presentaron diferencia, lo que indica que no hubo respuesta a los diferentes tratamientos.

En altura de plantillas hubo respuesta a las relaciones Ca:Mg 12:1, 4:1 y 1:1. Finalmente recomienda fertilizar tomate en ensayos, utilizando niveles de 16 o 64 meq de Ca+Mg/100ml. en la relación Ca:Mg de 12:1. (4)

Barrios (1) recomienda aplicar nutrientes antes de la etapa de florescencia del cultivo del miltomate, pues este acumula los nutrientes que le servirán para sus etapas de desarrollo. Este indica que en aplicaciones de potasio hubo respuesta en la madurez fisiológica, y por lo tanto en la acumulación de materia seca porque hubo acumulación de nutrientes. El índice de crecimiento se basa en el peso seco de las plantas.

Milian (22) reporta que la mayor acumulación de nutrientes ocurre al inicio de la floración y madurez fisiológica en guicoy, lo cual puede ser afectado por la concentración de nitrógeno existente. El nitrógeno favorece la acumulación de calcio y magnesio en el cultivo a la madurez fisiológica, mientras que la asimilación de potasio se favorece cuando existe un balance en la interacción de nitrógeno-fósforo.

Jordan (18), en 1994 evaluó dos metodologías y cuatro relaciones Ca:Mg, en la estimación de cal en suelos ácidos en Izabal. De su estudio concluye que no hay significancia para metodológicas ni relaciones en el rendimiento de biomasa; pero con la relación Ca:Mg 2:1 sin aplicación de zinc, se obtiene la mayor altura de planta, siendo el fósforo y potasio limitantes. Con la mayor relación evaluada de Ca:Mg 10:1, se obtiene la menor altura, por lo que deduce que con mayor aplicación de Ca y menor de Mg., la altura decrece, a causa del efecto antagónico que se crea.

Tobias (28) en 1978, publicó los resultados de su trabajo de evaluación de 8 niveles de Ca+Mg con relación Ca:Mg 6:1. Concluyó que con 8 meq/100ml de solución de enmienda, se alcanza el mayor intercambio de calcio y magnesio, obteniéndose un incremento en la saturación de bases de 40%; también se alcanza el nivel de saturación de Ca intercambiable, quedando toda la enmienda aplicada en forma disponible.

Ante estos resultados, recomienda hacer enmiendas a suelos ácidos con aplicaciones de Ca+Mg en cantidad de 4 a 6 Ton/Ha. Y que la fertilización con N-P-K se haga 30 días después de la enmienda (28).

López Galindo (19), al evaluar 4 niveles de calcio y 3 dosis de fósforo en el cultivo de arroz, encontró que hubo marcada tendencia a producir mejores resultados de rendimiento, mientras mayores fueron los niveles de cal encontrados en el suelo.

Del estudio concluye que la adición de calcio mejoró el nivel de magnesio; hizo más disponible el fósforo, aumentó la saturación de bases, disminuyó la acidez provocando en la planta una mejor altura y sobre todo indujo a mayor rendimiento del cultivo (19).

### 3.1.10 NIVELES CRÍTICOS PARA CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO

Para potasio se ha establecido un nivel crítico para granos básicos de 100 Ug/ml para la zona del suroriente del país, y para los mismos cultivos y algunos otros del resto del país, el nivel crítico establecido es de 60 Ug/ml.

Un suelo tiene cantidades adecuadas de calcio, cuando se encuentra en un rango de 4 a 10 meq/100 ml, con un óptimo de 8 meq/100 ml. Cuando se establece que el magnesio esta presente, debe estar en un rango de 1 a 3 meq/100 ml con óptimo de 1 meq/100 ml. de solución. Al considerar las relaciones de los elementos respecto al potasio, se tiene que Ca/Mg debe estar en un óptimo de 4/1 con un rango de variación de 2/1 a 6/1(8).

La relación Mg/K debe presentarse en 8/1, con un rango de 4/1 a 10/1. La relación (Ca + Mg)/K con un valor de 16/1 en un rango de 13/1 a 19/1. Valores menores a las cifras proporcionadas, implica la necesidad de aplicar elementos que se encuentran como dividendos y valores mayores a los anotados, implica la necesidad de aplicar el elemento que actúa como divisor de la relación (8).

### 3.1.11 ETAPAS DE DESARROLLO DE LA PLANTA DE SORGO (*Sorghum vulgare*)

A las diferentes etapas de crecimiento se les asignan números que van de la etapa cero, cuando la semilla germina y la plántula emerge del suelo, hasta la etapa nueve donde la planta alcanza su madurez fisiológica. El tiempo requerido para alcanzar cada etapa varía y depende del híbrido, medio ambiente y factores agronómicos tales como fertilidad del suelo y fertilización, daños ocasionados por plagas y enfermedades, densidad de población, competencia de malezas, luz, humedad, etc (5).

- a) ETAPA CERO. Esta etapa abarca el período desde que la semilla germina y la plántula emerge a la superficie del suelo. Durante la emergencia la plántula toma los nutrientes de sus reservas que se encuentra en las estructuras de la semilla (cotiledón).
- b) ETAPA UNO. Esta etapa ocurre aproximadamente a los diez días después de la emergencia, cuando el cuello de la tercera hoja ya es visible. Se le conoce como la etapa de las tres hojas definidas. El punto de crecimiento de la plántula aún se encuentra debajo de la superficie del suelo, el desarrollo durante de esta etapa depende principalmente de la temperatura ambiental. En esta etapa la competencia por malezas es crítica, el daño a las hojas causado por los insectos no incide en el desarrollo final de la planta pero si es importante su control.
- c) ETAPA DOS. Esta etapa se inicia aproximadamente tres semanas después de la emergencia. El sistema radicular se ha desarrollado adecuadamente y la planta entra en un período de crecimiento acelerado (crecimiento logarítmico), acumulando materia seca a una tasa constante hasta la madurez fisiológica, si

no ocurren anomalías. Para el sorgo forrajero se le conoce como etapa de las cinco hojas definidas y durante el cual la recuperación del follaje es más acelerado que cualquier otra etapa.

- d) **ETAPA TRES.** Esta etapa ocurre aproximadamente 30 días después de la emergencia. La planta a desarrollado aproximadamente un tercio de su follaje (entre 7 y 10 hojas), aquí el crecimiento de la planta cambia de la formación de hojas al desarrollo de tallo y panoja. Si la fertilización es en dos fases, en esta etapa debe hacerse la segunda aplicación ya que el tamaño potencial de la panoja empieza a determinarse por lo que la planta absorbe los nutrientes rápidamente.
- e) **ETAPA CUATRO.** Esta etapa ocurre aproximadamente a los 40 días después de la emergencia. La hoja bandera ya se ha formado pero aun se encuentra dentro del cogollo (cartucho), todas las hojas se han extendido, excepto las últimas tres que se encuentra en el cogollo con la hoja bandera y las tres primeras que ya se han perdido (hojas viejas). En esta etapa de diferenciación la panoja esta totalmente desarrollada pero aun dentro del tallo. El crecimiento de la planta y la absorción nutrientes sigue muy acelerado, aunque únicamente un quinto del desarrollo vegetativo a ocurrido, la asimilación del potasio ha sobrepasado el 41%.
- f) **ETAPA CINCO.** Esta etapa ocurre aproximadamente a los 50 días. El tallo se ha desarrollado totalmente y todas las hojas se han extendido para la Intercepción de luz. La panoja casi ha alcanzado su longitud final y se encuentra enrollada dentro de la vaina de la hoja bandera (panzoneo), el crecimiento del pedúnculo de la inflorescencia se inicia en esta etapa y es lo que da la exersión a la panoja. A esta etapa también se le conoce como "etapa de la bota".
- g) **ETAPA SEIS.** Esta etapa ocurre aproximadamente a los 55 días después de emergencia. Normalmente ya ha transcurrido dos terceras partes del periodo vegetativo, aquí el pedúnculo de la inflorescencia crece rápidamente y la panoja sale de la vaina de la hoja bandera, iniciándose la polinización la cual ocurre de arriba hacia abajo en un periodo que dura aproximadamente de 4 a 9 días, comenzando la formación del grano. Durante esta etapa la planta ya ha acumulado el 50% de la materia seca total y asimilado un 60%, 70% y 80% de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente. También se le conoce como "etapa de la floración".
- h) **ETAPA SIETE.** Esta etapa ocurre aproximadamente entre los 70 días después de la emergencia. Después de la polinización empieza el llenado del grado por una masa lechosa, y la panoja va ganando peso a medida de que los granos se forman y el tallo va perdiendo peso debido a que parte de los compuestos elaborados por la planta van dirigidos al cuaje del grano, y en la medida que el grano va secando la taza de acumulación de materia seca será la respuesta del rendimiento final. A esta etapa también se le llama "etapa del grano lechoso".

- i) **ETAPA OCHO.** Esta etapa ocurre aproximadamente entre los 80 días después de la emergencia. Aquí tres cuartas partes del peso total del grano se han acumulado y el estado lechoso se empieza a perder, fase que esta en función del balance hídrico del cultivo ya que la falta de humedad provoca que el grano no alcance su peso total. El tallo deja de perder peso y la asimilación de nutrientes finaliza. También se le llama "etapa de la pérdida de leche".
- j) **ETAPA NUEVE.** Esta etapa ocurre aproximadamente entre 90 y 120 días después de la emergencia, y se le conoce como "Etapa de la madurez fisiológica". El total del peso seco de la planta y el grano se han alcanzado y se reconoce cuando se forma un punto negro en grano en el lado opuesto al embrión.

Los períodos de las etapas varían entre híbridos, condiciones ambientales tales como temperatura, humedad relativa y fotoperíodo; y condiciones del suelo como humedad, temperatura, condiciones químicas y físicas (5).

## 3.2 MARCO REFERENCIAL

### 3.2.1 LOCALIZACION DEL EXPERIMENTO

El trabajo fue realizado en condiciones controladas de invernadero en la facultad de agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Geográficamente se ubica en las coordenadas 14° 35' 11" Latitud Norte y 90° 31' 58" Longitud Oeste; con una altitud de 1502.32 msnm, Con precipitación pluvial de 1246 mm /año y una temperatura media anual de 18.2 °C con 79% de humedad relativa (12).

### 3.2.2 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA DE SUELO

La aldea San Geronimo tiene una extensión de 1954 hectáreas, pertenece al municipio del Tumbador departamento de San Marcos, aquí se localizan los suelos utilizados en la presente investigación los cuales se ubican dentro de la serie Retalhuleu (25)

### 3.2.3 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La aldea San Geronimo se localiza a una altitud de 540 msnm entre las coordenadas 14° 47' 45" Latitud Norte y 91° 57' 02" Longitud Oeste, con una precipitación pluvial de 1800 mm/año (13).

La temperatura media es de 28° C, con una humedad relativa del 80 % pertenece a la zona de vida Bosque muy Húmedo Sub-tropical Cálido (14).

De acuerdo a Simmons (25), los suelos Retalhuleu son bien drenados, excepcionalmente profundos, en un clima cálido seco a húmedo sobre una superficie suavemente inclinada a ondulada sobre la mayor parte de su extensión, pero en algunos lugares, el relieve ondulado esta en pendientes que tienen casi el 15% de inclinación. Estos suelos se encuentran al Sur Oeste de Guatemala en los departamentos de Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos, comprenden 42,092 hectáreas.

El suelo superficial es una mezcla de suelo y ceniza volcánica pomácea de textura franco arenosa fino de color café oscuro. En muchos lugares el subsuelo es café rojizo y las capas mas profundas están moteadas de un color café claro y arcilla blanca que no es plástica. La estructura es granular poco desarrollada y su reacción es de mediana a ligeramente ácida; el pH alrededor de 6.0 en la mayoría de los casos (24).

Estos suelos están completamente lixiviados de sus bases y son mas ácidos que la mayoría de suelos de esta región; necesitan fertilización para dar buenos rendimientos, pero la calidad y clase deben determinarse a base de experimentación (25).

De acuerdo a propiedades físicas y químicas que presentan los suelos en estudio; estos se clasifican dentro del grupo de los Andisoles. Estos suelos son originados de material volcánico, y heredan de las cenizas volcánicas algunas características físicas muy especiales; tales como densidad aparente muy baja, alta retención de humedad, por derivarse de materiales piroclásticos relativamente gruesos presentan textura franco arenosa, el color de estos suelos varía de pardo oscuro hasta negro. Los suelos desarrollados de cenizas volcánicas Andisoles y Andicos por su baja densidad y baja cohesión son muy susceptibles a la erosión de tipo eólica, proceso bastante significativo en el área durante la época seca (16)

#### 4. OBJETIVO

Determinar el efecto de diferentes niveles de potasio, calcio y magnesio, y sus interacciones sobre el rendimiento de biomasa de la parte aérea expresada en materia seca, peso de raíz y altura en planta de sorgo (*Sorghum vulgare* L) como indicadora.



## 5. HIPOTESIS.

Por lo menos uno de los niveles de potasio, calcio y magnesio y sus interacciones influyen sobre el rendimiento de biomasa de la parte aérea expresada en materia seca, peso de raíz y altura en plantas de sorgo (*Sorghum vulgare* L) como Indicadora.

## C. METODOLOGIA.

### 6.1. METODO DE MUESTREO

En el área de estudio se seleccionaron los sitios de muestreo de los cuales se obtuvo una muestra compuesta de 50 kilogramos de suelo.

La muestra compuesta de suelo consistió de 20 submuestras simples tomadas al azar, la cual fue analizada con la solución extractora Mehlich I (Carolina del Norte) para cuantificar la fracción disponible de nutrientes en el laboratorio de la Subárea de Manejo Suelo y Agua "Salvador Castillo" de la Facultad de Agronomía. Los resultados de la fracción disponible se presentan en el cuadro 1A, el cual indica que de acuerdo a los niveles críticos presentados en el cuadro 2A. el fósforo, cobre y hierro se encuentra en un nivel medio, mientras que el potasio, calcio, magnesio, zinc y manganeso se encuentran en un nivel bajo y el pH ácido.

### 6.2 ANALISIS DE FIJACION O SORCION:

Para determinar la capacidad de fijación del P, K, Cu, Zn, y Mn; se aplicaron al suelo dosis crecientes de cada uno de los elementos en duplicado.

Los estudios de fijación realizados, se llevaron a cabo añadiendo al suelo, en solución, distintas cantidades y niveles de elementos. Este sistema permite que los elementos reaccionen con el suelo, bajo una condición de humedad hasta llegar a la sequedad, bajo la sombra durante tres días, este procedimiento permite reducir en un corto período de tiempo las reacciones que se llevan a cabo, aproximando el tiempo que tarda esta reacción cuando esto sucede a nivel de campo (6).

### 6.3 DETERMINACION DE CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO A APLICAR.

Se hicieron aplicaciones al suelo de calcio y magnesio, utilizando CaO y MgO, dejando un período de incubación de 45 días, luego se efectuó la siembra en las macetas de plástico, los niveles aplicados se presentan en los cuadros 4 y 5.

En el cuadro 4 se presentan los niveles evaluados de los elementos calcio y magnesio en meq/100 gr. de suelo que se aplicaron a 300 gr. de suelo como unidad experimental. Así también los resultados obtenidos de pH de la incubación

Cuadro 4. Niveles evaluados de Calcio y Magnesio y resultados de la incubación al utilizar CaO y MgO.

Tratamiento	Nivel Elementos meq/100 ml solución		Nivel Elementos gr /100 ml. solución		pH de Incubación
	Ca	Mg	CaO	MgO	
1	3	0.6	0.083	0.057	4.90
6	3	1.2	0.083	0.113	5.95
11	3	2.4	0.083	0.227	6.30
16	6	0.6	0.166	0.057	7.25
21	6	1.2	0.166	0.113	6.50
26	6	2.4	0.166	0.227	6.85
31	12	0.6	0.333	0.057	7.55
36	12	1.2	0.333	0.113	7.30
41	12	2.4	0.333	0.227	7.60
FUENTE: Laboratorio de análisis de Suelo, Planta y Agua "Ing. Agr. Salvador Castillo". Subarea Manejo de Suelo y Agua. Facultad de Agronomía, USAC.					

En el cuadro 5 se presenta la concentración en meq/100 ml de suelo de los niveles evaluados del elemento potasio, así como la dosis que fue aplicada para cada unidad experimental (300 gr de suelo). El valor medio fue obtenido de la curva de fijación y el nivel crítico establecido multiplicado por 3, para evitar deficiencias, según el criterio de Diaz Romeu-Hunter (6).

Cuadro 5. Concentración de niveles del elemento potasio y dosis aplicada a 300 gr. de suelo como unidad experimental.

Nutriente	Compuesto Químico	Meq/100 ml. De solución	Concentración En ppm.	Gr. de compuesto Por litro de solución madre	ml. aplicadas en 300 gr. de suelo
K	KCL	0.37	145.0	0.097	3.00
		0.13	50.8326	0.097	3.00
		0.26	101.6652	0.194	3.00
		0.52	203.3304	0.388	3.00
		1.04	406.6608	0.775	3.00
		2.08	813.2160	1.551	3.00
FUENTE: Laboratorio de análisis de Suelo, Planta y Agua "Ing. Agr. Salvador Castillo". Subarea Manejo de Suelo y Agua. Facultad de Agronomía. USAC					

#### 6.4 PLANTA INDICADORA.

Se utilizo sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) HF-895 como planta indicadora en la serie de suelos Retalhuleu, por tener una alta capacidad de absorción de nutrientes y ser muy susceptible a la deficiencia de nutrientes (6).

## 6.5 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 6.5.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

La evaluación de los niveles de calcio, magnesio y potasio sobre el rendimiento de biomasa de la parte aérea expresado en materia seca, peso de raíz y altura de planta, se efectuó mediante el diseño experimental de bloques completamente al azar usando el modelo estadístico siguiente.

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + E_{ijk}$$

DONDE:

$Y_{ijk}$	=	Variables respuesta de la $ijk$ -ésima unidad experimental.
$U$	=	Efecto de la media general.
$A_i$	=	Efecto del $i$ -ésimo nivel de calcio.
$B_j$	=	Efecto del $j$ -ésimo nivel de magnesio.
$C_k$	=	Efecto del $k$ -ésimo nivel de potasio.
$AB_{ij}$	=	Efecto de la Interacción calcio-magnesio.
$AC_{ik}$	=	Efecto de la interacción calcio-potasio.
$BC_{jk}$	=	Efecto de la interacción magnesio-potasio.
$ABC_{ijk}$	=	Efecto de la interacción calcio-magnesio-potasio.
$E_{ijk}$	=	Efecto del error experimental asociado a la $ijk$ -ésima unidad experimental.

A) = Calcio.

B) = Magnesio

C) = Potasio

I = 1, 2, 3                   niveles de calcio

J = 1, 2, 3                   niveles de magnesio

K = 1, 2, 3, 4, 5           niveles de potasio

### 6.5.2 DISEÑO DE TRATAMIENTOS

Con base a las curvas de fijación presentadas en las figuras 8A, 9A, 10A, 11A y 12A; y los resultados del análisis químico de la fracción disponible de nutrientes que se presenta en el cuadro 1A, se determinaron y evaluaron tres niveles de calcio, tres niveles de magnesio y cinco niveles de potasio con tres repeticiones, lo cual hace un total de 135 unidades experimentales. Los tratamientos, su combinación y la relación de elementos se presenta en el cuadro 3A. Para preparar la solución nutritiva que se aplicó a las unidades experimentales, fueron utilizados los siguientes elementos con su respectiva concentración en partes por millón; nitrógeno (50), fósforo (115), Cobre (10), Zinc (40), Manganeso (4), Azufre (36), Boro (0.6) y Molibdeno (0.6).

### 6.5.3 TAMAÑO DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

la unidad experimental consistió de una maceta de plástico de 500 cc de volumen con 300 gramos de suelo tamizado a 2 mm.

## 6.6 MANEJO DEL ENSAYO

### 6.6.1 FERTILIZACION

El proceso consistió en aplicar los nutrientes en solución al suelo cinco días antes de la siembra, luego se dejó secar el suelo y se homogenizó para que los elementos no se concentraran en poco volumen de suelo. A cada maceta se le aplicó una cantidad constante de nitrógeno, que según el criterio de Díaz Romeu (6), es para que este elemento no sea un factor limitante.

Una semana después de la siembra se aplicó el 50% del total del nitrógeno, y 20 días después de la primera aplicación, se aplicó el restante 50%.

### 6.6.2 SIEMBRA

Finalizado el período de incubación, fue realizada la siembra del sorgo forrajero, colocando 10 semillas por maceta. Posterior a la emergencia se efectuó un raleo a manera de dejar solo 5 plantas por maceta, con el objeto de no causar mayor competencia entre ellas.

### 6.6.3 RIEGO

Para efectuar los riegos se utilizó agua destilada aplicando por primera vez un volumen de 80 cc. por maceta para llegar a capacidad de campo y obtener una buena germinación de la semilla. Los riegos posteriores se efectuaron de acuerdo a la necesidad del cultivo.

### 6.6.4 COSECHA

La cosecha se realizó 50 días después de la siembra.

## 6.7 VARIABLES DE RESPUESTA

### 6.7.1 BIOMASA DE LA PARTE AEREA.

El tejido foliar obtenido fue secado en un horno a temperatura de 70 °C y posteriormente se obtuvo el peso del material seco en gramos por maceta, expresado como rendimiento relativo de biomasa.

### 6.7.2 PESO DE RAIZ

Posterior a la cosecha, fueron extraídas las raíces de las plantas por maceta, las cuales fueron secadas en horno a 70° C para obtener su peso seco expresado en gramos por maceta.

### 6.7.3 ALTURA DE PLANTA

Previo a la cosecha, que fue a los 50 días después de la siembra, se midió la altura de cada una de las plantas por maceta, la medida se hizo desde su base al ápice de la última hoja, expresado en centímetros.

## 6.8 ANALISIS DE LA INFORMACION

La base datos para cada una de las variables respuesta, se presenta en los cuadros 6A, 7A y 8A. Se realizó en análisis de varianza mediante el modelo estadístico de bloques al azar y la comparación múltiple de medias por el estadístico de Tukey al 5% de significancia para cada variable. Los resultados se presentan en los cuadros 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1 Efecto de los niveles de Calcio, Magnesio y Potasio y sus interacciones sobre la biomasa de la parte aérea expresada en gramos de materia seca.

En el cuadro 9 se presenta el análisis de varianza para la biomasa de la parte aérea, indica que el potasio presenta efecto significativo y la interacción del potasio con el calcio una alta significancia. En el cuadro 10 se presenta la prueba múltiple de medias, indica en que Interacción de calcio y potasio la planta acumula la mayor producción de biomasa aérea, esto ocurre en un rango mayor de 3 y menor de 6 meq de calcio/100 gramos de suelo y 1.04 meq de potasio/100 gramos de suelo, en una relación calcio-potasio 3:1 a 6:1.

Cuadro 9. Análisis de varianza para biomasa de la parte aérea expresada en gramos de materia seca, bajo condiciones de invernadero en suelos de la serie Retalhuleu.

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F
repeticiones	2	1.4916	0.7458	76.10	0.0001
Ca	2	0.0190	0.0095	0.97	0.3831
Mg	2	0.0547	0.0274	2.79	0.0668
K	4	0.1281	0.0320	3.27	0.0151
CaxMg	4	0.0592	0.0148	1.51	0.2059
CaxK	8	0.2276	0.0284	2.90	0.0064
MgxK	8	0.0340	0.0043	0.43	0.8977
CaxMgxK	16	0.1183	0.0074	0.75	0.7308
Error	88	0.8624	0.0098		
Total	134	2.9950			
C.V. = 9.4014					

Cuadro 10. Prueba múltiple de medias para biomasa de la parte aérea expresada en gramos de materia seca, bajo condiciones de invernadero en suelos de la serie Retalhuleu.

Interacción CaxK m.eq/100 ml			Rendimiento promedio de materia seca en gramos			
3	-	1.04	1.1301	a		
6	-	1.04	1.1285	a		
3	-	0.26	1.0835	a	b	
12	-	2.08	1.0826	a	b	
3	-	0.52	1.0766	a	b	
6	-	2.08	1.0750	a	b	
3	-	0.13	1.0735	a	b	
12	-	1.04	1.0713	a	b	
6	-	0.52	1.0549	a	b	
6	-	0.26	1.0457	a	b	
12	-	0.52	1.0302		b	
6	-	0.13	1.0256		b	
12	-	0.26	1.0195		b	c
12	-	0.13	0.9826			c d
3	-	2.08	0.9152			d

Como se observa, cuando los niveles de calcio y potasio son 12 meq de calcio/100 gramos de suelo y 0.13 meq de potasio/100 gramos de suelo, 3 meq de calcio/100 gramos de suelo y 2.08 meq de potasio/100 gramos de suelo se obtienen los rendimientos promedio más bajos, primero porque el potasio se encuentra deficiente y el alto nivel de calcio crea un antagonismo que afecta la absorción de potasio y segundo, porque existe desbalance en la relación cuando se aumenta el nivel de potasio y nivel de calcio disminuye, estando en una relación de 1:1 limitando la absorción del calcio y se obtiene el rendimiento más bajo.

La figura 5, muestra como se comportan las curvas de acumulación de biomasa de la parte aérea en función de los niveles de la interacción calcio-potasio.

La importancia del potasio es que participa del desarrollo completo del ciclo de vida de las plantas, durante el cual su absorción es paralela a la acumulación de materia seca (5), (20). Para Millan (22) la absorción del potasio se ve favorecida cuando existe balance en la interacción de otros nutrientes (nitrógeno-fósforo)

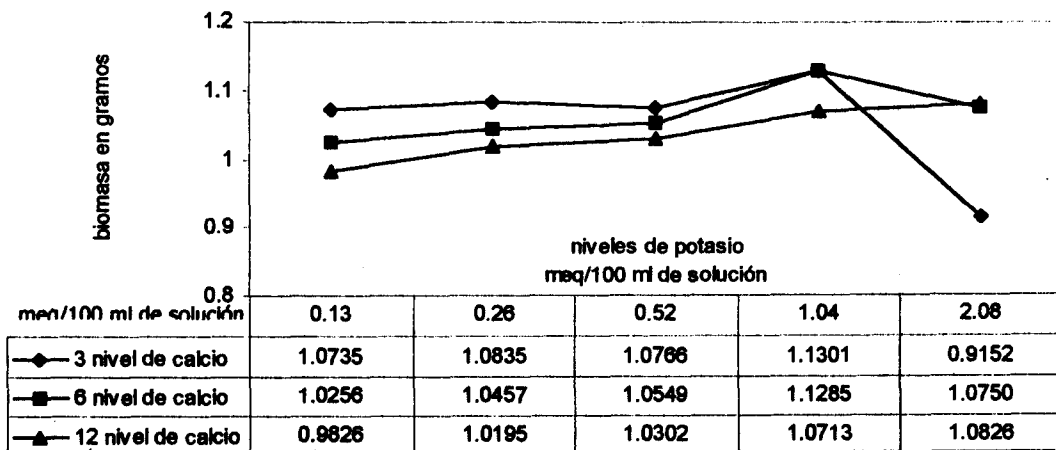


Figura 5. Comportamiento de acumulación de biomasa en materia seca en función de la interacción calcio-potasio

## 7.2 Efecto de los niveles de calcio, magnesio y potasio y sus interacciones sobre el peso de raíz expresado en gramos de materia seca.

El cuadro 11 muestra el análisis de varianza para peso de raíz, indica que el calcio presenta alta significancia, el magnesio significancia y la interacción es significativa en el desarrollo radical de la planta.

En el cuadro 12 se presenta la comparación múltiple de medias, la cual indica en que niveles de calcio y magnesio la planta obtuvo los promedios más altos en desarrollo radical. Se observa que con los niveles mayores (12 meq de calcio/100 gramos de suelo y 2.40 meq de magnesio/100 gramos de suelo) en una relación de 5:1 se obtuvo el mayor desarrollo radical y con los niveles menores (6 meq de calcio/100 gramos de suelo y 0.6 meq de



magnesio/100 gramos de suelo) en una relación de 10:1 se obtuvo el menor desarrollo radical en este caso el magnesio se encuentra deficiente y crea un desbalance de la relación.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el peso de raíces expresado en gramos de materia seca, bajo condiciones de invernadero en suelos de la serie Retalhuleu.

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F
repeticiones	2	0.1324	0.0662	18.47	0.0001
Ca	2	0.0892	0.0446	12.44	0.0001
Mg	2	0.0232	0.0116	3.24	0.0438
K	4	0.0135	0.0034	0.94	0.4443
CaxMg	4	0.0393	0.0098	2.74	0.0336
CaxK	8	0.0326	0.0041	1.14	0.3460
MgxK	8	0.0076	0.0009	0.27	0.9752
CaxMgxK	16	0.0460	0.0029	0.80	0.6802
Error	88	0.3154	0.0036		
Total	134	0.6992			
C.V.= 12.7690					

Cuadro 12. Prueba múltiple de medias para peso de raíz expresado en gramos de materia seca, bajo condiciones de invernadero en suelos de la serie Retalhuleu.

Interacciones Ca-Mg meq/100 ml	Peso promedio de raíces en gramos				
12 - 2.40	0.5246	a			
12 - 0.60	0.5153	a	b		
6 - 2.40	0.4883	a	b	c	
6 - 1.20	0.4730		b	c	d
12 - 1.20	0.4696			c	d
3 - 2.40	0.4480			c	d e
3 - 1.20	0.4465			c	d e
3 - 0.60	0.4296				d e
6 - 0.60	0.4244				e

En el figura 6 se puede observar que existe una relación directa entre los elementos calcio-magnesio, pues al incrementar el nivel de ambos la tendencia es ascendente; exceptuando la respuesta de la interacción (12 meq de calcio/100 gramos de suelo y con 1.2 meq de magnesio/100 gramos de suelo) la cual probablemente fue efectada por limitación de otro elemento.

Algunos autores (2) y (27) indican que el calcio influye en un mejor desarrollo radical y el magnesio ayuda a mejorar la asimilación del calcio en la planta.

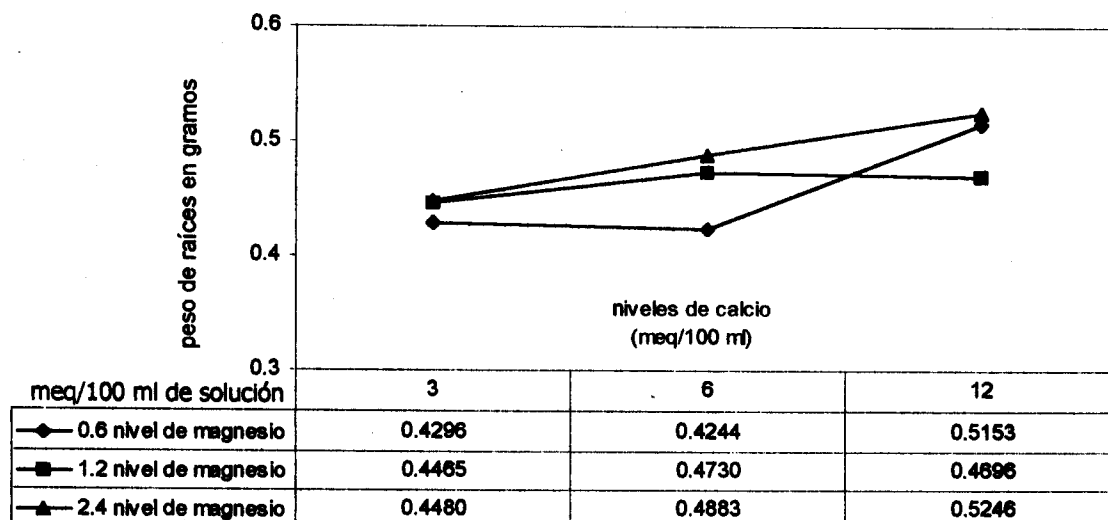


Figura 6. Comportamiento del peso de raíz expresado en gramos en función de la interacción de los niveles calcio-magnesio.

### 7.3 Efectos de los niveles de calcio, magnesio y potasio y sus interacciones sobre la altura de plantas expresada en centímetros.

El cuadro 13 presenta el análisis de la varianza para altura de planta expresada en centímetros, en el cual se puede observar que el magnesio presentó una alta significancia para esta variable.

Cuadro 13. Análisis de varianza para la altura de planta expresado en centímetros, bajo condiciones de invernadero en suelos de la serie Retalhuleu.

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F
repeticiones	2	2514.3444	1257.1722	76.86	0.0001
Ca	2	76.4778	38.2389	2.34	0.1025
Mg	2	164.3444	82.1722	5.02	0.0086
K	4	153.4741	38.3685	2.35	0.0607
CaxMg	4	133.0778	33.2694	2.03	0.0995
CaxK	8	143.1704	17.8963	1.09	0.3749
MgxK	8	144.5815	18.0727	1.10	0.3677
CaxMgxK	16	164.4407	10.2775	0.63	0.8528
Error	88	1439.3222	16.3559		
Total	134	4933.2333			
CV = 6.500844					

En el cuadro 14 se presenta la comparación múltiple de medias para el magnesio, en el cual puede observarse que con el nivel de 1.2 meq de magnesio/100 gramos de suelo se obtuvo la mayor altura promedio de planta.

En la figura 7 se puede observar que al utilizar el mayor nivel de magnesio la altura decrece drásticamente, posiblemente la acción de otros elementos sea limitante a la asimilación del magnesio y no exprese su efecto en la altura

Cuadro 14. Prueba múltiple de medias para altura de planta expresada en centímetros, bajo condiciones de invernadero en suelos de la serie Retalhuleu.

Nivel de Mg meq/100 ml	Altura de planta en centímetros	
1.2	63.6556	a
0.6	62.0000	a b
2.4	60.9778	b

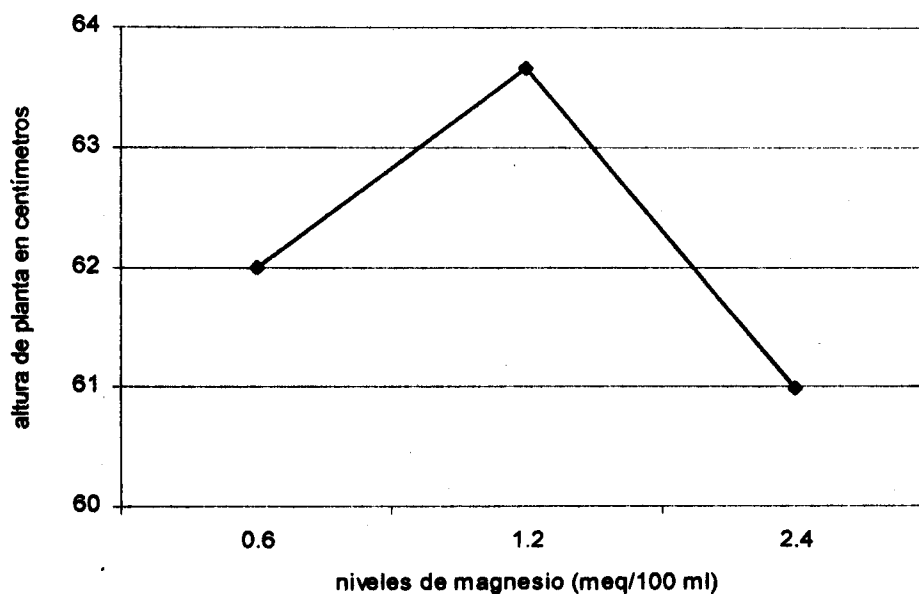


Figura 7. Comportamiento de la altura de planta expresada en centímetros en función de los niveles de magnesio evaluados

En los cuadros 15A, 16A y 17A se puede observar que para las interacciones Ca-Mg, Ca-K y Mg-K los máximos valores de expresión para las variables biomasa de la parte aérea y altura de planta coinciden bajo los mismos niveles lo cual indica que son variables que están muy relacionadas y para la variable raíz su valor máximo está expresado en los niveles más altos de los elementos evaluados.

## 8. CONCLUSIONES

1. La mayor producción de biomasa de la parte aérea en materia seca se obtuvo en el rango de los niveles de 3 a 6 meq de calcio/100 gramos de suelo y 1.04 meq de potasio/100 gramos de suelo, en una relación de 3:1 a 6:1. Cuando se reduce la relación entre el calcio y el potasio 1:1 el rendimiento decrece por desbalance y antagonismo de los elementos, cuando la relación se amplía 92:1 el rendimiento decrece por que el potasio se vuelve deficiente y el nivel de calcio afecta la asimilación de este en la planta.
2. Para el desarrollo radical la Interacción de calcio-magnesio que mejor resultado reportó es la de 12 meq calcio/100 gramos de suelo y 2.4 meq de magnesio/100 gramos de suelo en una relación de 5:1, y el menor desarrollo promedio ocurre entre 3 y 6 meq de calcio/100 gramos de suelo y 0.60 meq de magnesio/100 gramos de suelo, siendo estos los niveles más bajos, probablemente influyó en los resultados la condición deficiente de ambos elementos.
3. Para la altura de planta solo el magnesio influyó en esta variable, con el nivel de 1.2 meq de magnesio/100 gramos de suelo. La altura promedio más baja reportada ocurre con el nivel más alto de este elemento posiblemente por el efecto limitante de los otros elementos.
4. En conclusión los niveles que mejor efecto tuvieron en sus interacciones en las variables evaluadas fueron: (1) 3 meq de calcio, 2.4 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio; (2) 3 meq de calcio, 1.2 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio; (3) 6 meq de calcio, 2.4 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio; (4) 6 meq de calcio, 1.2 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio; (5) 12 meq de calcio, 2.4 meq de magnesio y 1.04 meq potasio y (6) 12 meq de calcio, 1.2 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio.

## 9. RECOMENDACIONES:

### 1. Validar en campo las seis mejores interacciones obtenidas de los niveles evaluados

- 3 meq de calcio, 2.4 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio;
- 3 meq de calcio, 1.2 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio;
- 6 meq de calcio, 2.4 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio;
- 6 meq de calcio, 1.2 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio;
- 12 meq de calcio, 2.4 meq de magnesio y 1.04 meq potasio y
- 12 meq de calcio, 1.2 meq de magnesio y 1.04 meq de potasio.

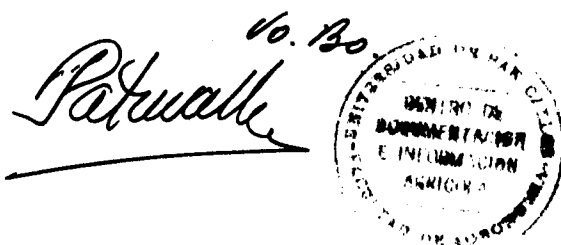
Y se recomienda que la validación se lleve a cabo en las misma comunidad de muestreo o en su defecto en otro lugar con la misma serie de suelo.

### 2. Con base en los resultados obtenidos de los niveles evaluados recomienda reducir el rango de exploración de niveles de calcio, magnesio y potasio para futuros ensayos bajo condiciones de invernadero, recomendándose los rangos siguientes: Para calcio de 4 a 8 meq/100 gramos de suelo tomando como base 6 meq de calcio/100 gramos de suelo; para magnesio de 0.9 a 1.5 meq/100 gramos de suelo, tomando como base 1.2 meq de magnesio/100 gramos de suelo y para potasio de 0.80 a 1.2 meq/100 gramos de suelo, tomando como base 1.04 meq de potasio/100 gramos de suelo.

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. BARRIOS CIFUENTES, W.M. 1998. Evaluación de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el rendimiento de frutos y acumulación de N-P-K-Ca y Mg en cuatro etapas de desarrollo del miltomate (*Physalis philadelphica* Lam.), en el centro experimental docente de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 53 p.
2. BERTSCH HERNANDEZ, F. 1995 La fertilidad de los suelos y su manejo. San Jose C.R., Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
3. BUCKMAN, H.O.; BRADY, N. 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. por Salord Barceló. Barcelona, España, Montaner y Simón. 590 p.
4. CAN CHOY, S. 1986. Efecto de niveles y relaciones de calcio y magnesio sobre el crecimiento del plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). Tesis Ing, Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 41 p.
5. CRISTIANI BURKARD, J.A. 1995. Cultivo de sorgo; instructivo, Guatemala, Semillas Cristiani Burkard, Departamento de Investigación y Producción de Semillas. 46 p.
6. DIAZ ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelo y tejido vegetal y de investigación de invernadero. Turrialba, C.R., CATIE. 62 p.
7. DONAHUE, R.L. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Colombia, Prentice Hall International. 661 p.
8. ESTRADA LIGORRIA, L. A.; VALLE, R. DEL. 1986. Muestreo de suelos e interpretación de resultado de análisis. Guatemala., Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. 49 p.
9. FASS BENDER, H.W. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, C. R., IICA. 396 p.
10. FREY, C.A. 1982. Interpretación de la disponibilidad de potasio en suelos alodoneros, mediante la relación  $K/\sqrt{(Ca+Mg/2)}$ . Suelos Ecuatoriales (Ec). 12(1):216-225
11. GAUCHER, G. 1971. El suelo y sus características agronómicas. Barcelona, Omega. 647 p.
12. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1962. Atlas geográfico nacional. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
13. -----. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METERELOGIA E HIDROLOGIA. Registros climáticos de aldea San Gerónimo  
  
sin publicar
14. -----. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL. 1983. Mapa de clasificación de zonas de Vida. Guatemala, Instituto Geográfico Militar. Esc, 1:60,000
15. GUERRERO, R.R. 1979. El diagnostico de la fertilidad del suelo. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. p. 141 - 199
16. INGENIERIA DEL CAMPO LTADA (GUA). 1996. Estudio semidetallado de los suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala, Guatemala, CENGICANA. 216p.

17. JACKSON, M.L. 1,976. Análisis químico de suelo. Trad. José Beltran M. 3ed. Barcelona, España, Omega. 661 p.
18. JORDAN PORTILLO, H.R. 1,994. Evaluación de dos metodológicas y cuatro relaciones Ca/Mg. en la estimación de Cal para los suelos ácidos serie Cristina en condiciones de invernadero en arroz (*Oryza sativa* L.) Como planta indicadora. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 43 p.
19. LOPEZ GALINDO, H.A. 1,984. Respuesta del arroz (*Oryza sativa* L.) a la aplicación de 4 niveles de calcio, y 3 dosis de fósforo en suelos ácidos serie Cristina. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 85 p.
20. MALAVOLTA, E. 1,982. O Potasio e a planta. Piracicaba, Sp Brasil. Institutos de Potassa Boletín técnico no.1. 60 p.
21. MALAVOLTA, E. 1,982. O Potasio no solo. Piracicaba, Sp Brasil. Institutos de Potassa. Boletín técnico no.2. 79 p.
22. MILIAN RAMIREZ, H.L. 1994. Evaluación de niveles de N y K aplicados al suelo, sobre la acumulación de N-P-K, Ca y Mg, al inicio de la floración y madurez fisiológica del fruto del guicoy (*Cucurbita* sp), en el Centro Experimental Docente de La Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 47 p.
23. PERDOMO, R.; HAMPTON, H.E. 1,970. Ciencia y tecnología del suelo. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 366 p.
24. SCHARRER, K. 1,960. Química agrícola nutricional de las plantas, suelos y fertilizantes. México, UTEHA. v.1, 173 p.
25. SIMMONS, Ch.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1,959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
26. SUAREZ, A. 1,968. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., IICA. 305 p.
27. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1,982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. México, UTEHA. 760 p.
28. TOBIAS VASQUEZ, H.A. 1,978. Efecto del encalado en suelos ácidos de Izabal. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.


  
 vo. 130

## **11. APENDICE**



Cuadro 1A. Resultado de análisis químico de la muestra de suelo

Numero de identificación	ELEMENTOS DISPONIBLES								
	pH	µg/ml.		meq/100ml		ppm			
		P	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu
1	4.9	14.2	75	1.24	0.41	1.5	15	7.5	2.5

FUENTE: Laboratorio de análisis de Suelo, Planta y Agua "Ing. Agr. Salvador Castillo".  
Facultad de Agronomía, USAC.

Cuadro 2A. Niveles críticos de la fracción disponible extraída con Mehlich I (Carolina del Norte).

NUTRIMENTO	CATEGORIAS			DIMENSIONAL
	BAJO	MEDIO	ALTO	
Fósforo	< 12	12 - 16	> 16	Ug/ml (ppm)
Potasio	< 120	120 - 150	> 150	Ug/ml (ppm)
Calcio	< 6.0	6.0 - 8.0	> 8.0	meq/100 ml
Magnesio	< 0.50	0.50 - 2.5	> 2.5	meq/100 ml
Cobre	< 2.0	2.0 - 4.0	> 4.0	Ug/ml (ppm)
Hierro	< 10	10 - 15	> 15	Ug/ml (ppm)
Manganeso	< 10	10 - 15	> 15	Ug/ml (ppm)
Zinc	< 10	10 - 15	> 15	Ug/ml (ppm)
Ca/Mg	< 2:1	2:1 - 6:1	> 6:1	
Mg/K	< 2:1	2:1 - 4:1	> 4:1	
(Ca+Mg)/K	< 9:1	9:1 - 13:1	> 13:1	

Fuente: datos de laboratorio de análisis de suelo, planta y agua, "Ing. Agr. Salvador Castillo"  
Facultad de Agronomía, USAC.

Cuadro 3A. Combinación de tratamientos, niveles e interacciones de elementos.

Tratamiento.	NIVELES DE ELEMENTOS			RELACIONES		
	meq /100 ml			Ca/Mg	Ca + Mg/K	Mg/K.
	Ca	Mg	K			
1	3	0.6	0.13	5/1	28/1	4.6/1
2	3	0.6	0.26	5/1	14/1	2.3/1
3	3	0.6	0.52	5/1	7/1	1.1/1
4	3	0.6	1.04	5/1	3/1	0.6/1
5	3	0.6	2.08	5/1	2/1	0.3/1
6	3	1.2	0.13	2.5/1	32/1	9.2/1
7	3	1.2	0.26	2.5/1	16/1	4.6/1
8	3	1.2	0.52	2.5/1	8/1	2.3/1
9	3	1.2	1.04	2.5/1	4/1	1.2/1
10	3	1.2	2.08	2.5/1	2/1	0.6/1
11	3	2.4	0.13	1.25/1	41/1	18.5/1
12	3	2.4	0.26	1.25/1	21/1	9.2/1
13	3	2.4	0.52	1.25/1	10/1	4.6/1
14	3	2.4	1.04	1.25/1	5/1	2.3/1
15	3	2.4	2.08	1.25/1	2/1	1.2/1
16	6	0.6	0.13	10/1	51/1	4.6/1
17	6	0.6	0.26	10/1	25/1	2.3/1
18	6	0.6	0.52	10/1	13/1	1.2/1
19	6	0.6	1.04	10/1	6/1	0.6/1
20	6	0.6	2.08	10/1	3/1	0.3/1
21	6	1.2	0.13	5/1	55/1	9.2/1
22	6	1.2	0.26	5/1	28/1	4.6/1
23	6	1.2	0.52	5/1	14/1	2.3/1
24	6	1.2	1.04	5/1	7/1	1.2/1
25	6	1.2	2.08	5/1	3/1	0.6/1
26	6	2.4	0.13	2.5/1	65/1	19.5/1
27	6	2.4	0.26	2.5/1	32/1	9.2/1
28	6	2.4	0.52	2.5/1	16/1	4.6/1
29	6	2.4	1.04	2.5/1	8/1	2.3/1
30	6	2.4	2.08	2.5/1	4/1	1.2/1
31	12	0.6	0.13	20/1	97/1	4.6/1
32	12	0.6	0.26	20/1	48/1	2.3/1
33	12	0.6	0.52	20/1	24/1	1.2/1
34	12	0.6	1.04	20/1	12/1	0.6/1
35	12	0.6	2.08	20/1	6/1	0.3/1
36	12	1.2	0.13	10/1	101/1	9.2/1
37	12	1.2	0.26	10/1	51/1	4.6/1
38	12	1.2	0.52	10/1	25/1	2.3/1
39	12	1.2	1.04	10/1	13/1	1.2/1
40	12	1.2	2.08	10/1	6/1	0.6/1
41	12	2.4	0.13	5/1	110/1	18.5/1
42	12	2.4	0.26	5/1	55/1	9.2/1
43	12	2.4	0.52	5/1	28/1	4.6/1
44	12	2.4	1.04	5/1	14/1	2.3/1
45	12	2.4	2.08	5/1	7/1	1.2/1

Cuadro 6A. Rendimiento de materia seca por repetición y promedio por tratamiento.

Tratam. No.	NIVELES DE ELEMENTOS			RENDIMIENTO DE MATERIA SECA (Gr.)			
	m.eq /100 ml			REPETICIONES			promedio
	Ca	Mg	K	1	2	3	
1	3	0.6	0.13	1.2394	1.0894	0.9590	1.0959
2	3	0.6	0.26	1.1482	1.1335	1.0096	1.0971
3	3	0.6	0.52	1.1729	0.9928	1.0148	1.0602
4	3	0.6	1.04	1.2987	0.9850	0.9414	1.0750
5	3	0.6	2.08	0.8114	0.9188	0.7259	0.8187
6	3	1.2	0.13	1.2462	1.0832	0.9033	1.0776
7	3	1.2	0.26	1.1338	1.1331	0.9918	1.0862
8	3	1.2	0.52	1.0582	1.2194	1.0949	1.1242
9	3	1.2	1.04	1.1603	1.3921	1.0084	1.2169
10	3	1.2	2.08	0.9317	1.1205	0.7490	0.9337
11	3	2.4	0.13	1.2034	1.0545	0.8835	1.0471
12	3	2.4	0.26	1.0672	1.1390	0.9951	1.0671
13	3	2.4	0.52	1.0462	1.1133	0.9765	1.0453
14	3	2.4	1.04	1.1956	1.2058	0.9833	1.1249
15	3	2.4	2.08	1.0002	1.1003	0.8789	0.9931
16	6	0.6	0.13	1.1254	0.9396	0.8642	0.9764
17	6	0.6	0.26	1.2518	0.8586	0.8424	0.9843
18	6	0.6	0.52	1.1356	1.0658	0.8719	1.0244
19	6	0.6	1.04	1.2312	1.2490	1.1060	1.2244
20	6	0.6	2.08	1.2267	0.9574	1.0030	1.0624
21	6	1.2	0.13	1.0877	1.0843	1.0254	1.0592
22	6	1.2	0.26	1.2005	1.0973	0.9084	1.0687
23	6	1.2	0.52	1.3222	1.1833	0.9221	1.1725
24	6	1.2	1.04	1.4172	1.0971	0.9722	1.1922
25	6	1.2	2.08	1.2862	1.0610	1.0171	1.1214
26	6	2.4	0.13	1.2412	1.0924	0.7699	1.0345
27	6	2.4	0.26	1.2557	1.0701	0.9265	1.0841
28	6	2.4	0.52	1.1487	0.9756	0.8688	0.9977
29	6	2.4	1.04	1.1462	1.0390	0.8984	1.0279
30	6	2.4	2.08	1.1423	0.9401	1.0412	1.0412
31	12	0.6	0.13	1.0467	0.8503	0.8746	0.9239
32	12	0.6	0.26	1.2035	0.9602	0.8040	0.9892
33	12	0.6	0.52	1.2334	0.9810	0.7226	0.9790
34	12	0.6	1.04	1.3088	0.9080	0.9405	1.0524
35	12	0.6	2.08	1.2870	1.0153	0.8886	1.0636
36	12	1.2	0.13	1.1256	0.8670	0.9177	0.9701
37	12	1.2	0.26	1.2260	1.0155	0.7816	1.0077
38	12	1.2	0.52	1.2077	0.9358	0.8884	1.0106
39	12	1.2	1.04	1.0489	1.2740	0.9220	1.0816
40	12	1.2	2.08	1.3373	1.0582	0.8762	1.0906
41	12	2.4	0.13	1.2122	0.9712	0.9782	1.0539
42	12	2.4	0.26	1.2122	1.0093	0.9634	1.0616
43	12	2.4	0.52	1.2601	0.9993	1.0434	1.1009
44	12	2.4	1.04	1.2762	1.0175	0.9462	1.0800
45	12	2.4	2.08	1.3548	0.9357	0.9907	1.0937

Cuadro 7A. Peso de raíces por repetición y promedio por tratamiento.

Tratamiento NO.	NIVELES DE ELEMENTOS			PESO DE RAICES (Gr)			
	m.eq /100 ml			REPETICIONES			promedio
	Ca	Mg	K	1	2	3	
1	3	0.6	0.13	0.3732	0.4064	0.5444	0.4413
2	3	0.6	0.26	0.5066	0.4418	0.4170	0.4551
3	3	0.6	0.52	0.4007	0.3763	0.4453	0.4078
4	3	0.6	1.04	0.4652	0.3605	0.4415	0.4224
5	3	0.6	2.08	0.3450	0.4776	0.4417	0.4214
6	3	1.2	0.13	0.4819	0.4759	0.4321	0.4633
7	3	1.2	0.26	0.3935	0.3734	0.4174	0.3948
8	3	1.2	0.52	0.3766	0.4204	0.4942	0.4304
9	3	1.2	1.04	0.4865	0.5165	0.4182	0.4737
10	3	1.2	2.08	0.5283	0.5115	0.3707	0.4702
11	3	2.4	0.13	0.4768	0.4125	0.4206	0.4366
12	3	2.4	0.26	0.3903	0.5100	0.4587	0.4530
13	3	2.4	0.52	0.3349	0.4260	0.4260	0.3956
14	3	2.4	1.04	0.5042	0.4590	0.4847	0.4826
15	3	2.4	2.08	0.4440	0.5449	0.4281	0.4723
16	6	0.6	0.13	0.3933	0.4337	0.4385	0.4218
17	6	0.6	0.26	0.3649	0.3610	0.4109	0.3789
18	6	0.6	0.52	0.3417	0.4352	0.5590	0.4453
19	6	0.6	1.04	0.3793	0.4449	0.4546	0.4263
20	6	0.6	2.08	0.3589	0.4339	0.5567	0.4498
21	6	1.2	0.13	0.4024	0.4674	0.4986	0.4561
22	6	1.2	0.26	0.3959	0.5218	0.5521	0.4899
23	6	1.2	0.52	0.3987	0.4876	0.5629	0.4831
24	6	1.2	1.04	0.4582	0.4587	0.5945	0.5038
25	6	1.2	2.08	0.3480	0.4438	0.5040	0.4319
26	6	2.4	0.13	0.4828	0.5299	0.5409	0.5179
27	6	2.4	0.26	0.3922	0.4740	0.5784	0.4815
28	6	2.4	0.52	0.4271	0.5607	0.5103	0.4994
29	6	2.4	1.04	0.3926	0.5184	0.4866	0.4659
30	6	2.4	2.08	0.4158	0.5508	0.4633	0.3222
31	12	0.6	0.13	0.4056	0.4542	0.5590	0.4729
32	12	0.6	0.26	0.3957	0.6133	0.4963	0.5018
33	12	0.6	0.52	0.4287	0.6784	0.6005	0.5692
34	12	0.6	1.04	0.4306	0.5048	0.6500	0.5285
35	12	0.6	2.08	0.4304	0.5445	0.5380	0.5043
36	12	1.2	0.13	0.3782	0.5226	0.5199	0.4736
37	12	1.2	0.26	0.4275	0.4307	0.4000	0.4194
38	12	1.2	0.52	0.4304	0.4884	0.5032	0.4740
39	12	1.2	1.04	0.4713	0.4749	0.4906	0.4789
40	12	1.2	2.08	0.5233	0.5717	0.4110	0.5020
41	12	2.4	0.13	0.4311	0.4396	0.6467	0.5058
42	12	2.4	0.26	0.4725	0.4457	0.5240	0.4807
43	12	2.4	0.52	0.4863	0.5265	0.7005	0.5711
44	12	2.4	1.04	0.4560	0.5519	0.5215	0.5098
45	12	2.4	2.08	0.5223	0.6184	0.5260	0.5556

Cuadro 8A. Altura de planta por repetición y promedio por tratamiento.

Tratamiento NO.	NIVELES DE ELEMENTOS m.eq /100 ml			ALTURA DE PLANTA (cm)			promedio
	Ca	Mg	K	REPETICIONES			
				1	2	3	
1	3	0.6	0.13	63.00	64.00	58.50	61.83
2	3	0.6	0.26	59.00	70.00	55.50	61.50
3	3	0.6	0.52	67.00	59.00	60.00	62.00
4	3	0.6	1.04	72.50	69.00	58.00	66.50
5	3	0.6	2.08	63.50	61.50	53.50	59.50
6	3	1.2	0.13	68.50	63.00	57.00	62.83
7	3	1.2	0.26	66.50	62.00	61.00	63.17
8	3	1.2	0.52	64.50	65.00	58.50	62.67
9	3	1.2	1.04	65.00	70.00	63.50	66.17
10	3	1.2	2.08	58.00	62.00	61.00	60.33
11	3	2.4	0.13	62.00	62.50	56.00	60.17
12	3	2.4	0.26	62.00	67.00	58.00	62.33
13	3	2.4	0.52	67.50	64.00	55.50	62.33
14	3	2.4	1.04	64.00	62.00	59.00	61.67
15	3	2.4	2.08	56.00	60.00	49.00	55.00
16	6	0.6	0.13	68.00	60.00	55.50	61.17
17	6	0.6	0.26	67.50	65.00	52.00	61.50
18	6	0.6	0.52	68.00	68.00	56.00	64.00
19	6	0.6	1.04	74.00	70.00	63.00	69.00
20	6	0.6	2.08	69.00	57.00	63.00	63.00
21	6	1.2	0.13	70.00	68.00	56.00	64.67
22	6	1.2	0.26	72.00	68.00	57.00	65.67
23	6	1.2	0.52	79.00	68.00	57.00	68.00
24	6	1.2	1.04	71.00	66.00	56.00	64.33
25	6	1.2	2.08	70.00	63.00	61.00	64.67
26	6	2.4	0.13	67.00	64.00	49.00	60.00
27	6	2.4	0.26	74.00	64.00	56.00	64.67
28	6	2.4	0.52	65.50	57.00	55.00	59.17
29	6	2.4	1.04	64.50	62.00	55.00	60.50
30	6	2.4	2.08	66.50	62.00	47.00	42.83
31	12	0.6	0.13	62.00	53.00	52.00	55.67
32	12	0.6	0.26	71.00	59.00	54.50	61.50
33	12	0.6	0.52	67.00	60.00	54.50	60.50
34	12	0.6	1.04	68.00	54.00	55.00	59.00
35	12	0.6	2.08	79.00	58.00	53.00	63.33
36	12	1.2	0.13	71.00	57.00	57.00	61.67
37	12	1.2	0.26	70.00	58.50	54.00	60.83
38	12	1.2	0.52	69.00	63.00	64.00	65.33
39	12	1.2	1.04	63.00	69.00	55.00	62.33
40	12	1.2	2.08	70.00	62.00	55.00	62.33
41	12	2.4	0.13	65.00	63.00	57.00	61.67
42	12	2.4	0.26	67.00	62.00	59.00	62.67
43	12	2.4	0.52	66.00	60.00	61.00	62.33
44	12	2.4	1.04	68.00	63.00	57.00	62.67
45	12	2.4	2.08	66.00	55.00	62.00	61.00

**Cuadro 15A. Medias de las tres variables en la interacción de calcio-magnesio**

		biomasa promedio	peso de raíz promedio	altura promedio
Ca	Mg			
3	0.6	1.0294	0.4295	62.2667
3	1.2	1.0817	0.4465	63.0333
3	2.4	1.0562	0.4480	60.3000
6	0.6	1.0486	0.4244	63.7333
6	1.2	1.1121	0.4730	65.4667
6	2.4	1.0371	0.4883	60.5667
12	0.6	1.0016	0.5153	60.0000
12	1.2	1.0321	0.4696	62.4667
12	2.4	1.0780	0.5246	60.0667

**Cuadro 16A. Medias de las tres variables en la interacción de calcio-potasio**

		biomasa promedio	peso de raíz promedio	altura promedio
Ca	K			
3	0.13	1.0735	0.4471	61.6111
3	0.26	1.0835	0.4343	62.3333
3	0.52	1.0766	0.4112	62.3333
3	1.04	1.1301	0.4596	64.7778
3	2.08	0.9152	0.4546	58.2778
6	0.13	1.0256	0.4653	61.9444
6	0.26	1.0457	0.4501	63.9444
6	0.52	1.0549	0.4759	63.7222
6	1.04	1.1285	0.4653	64.6111
6	2.08	1.0750	0.4528	62.0556
12	0.13	0.9826	0.4841	59.6667
12	0.26	1.0195	0.4673	61.6111
12	0.52	1.0302	0.5381	62.7222
12	1.04	1.0713	0.5057	61.3333
12	2.08	1.0826	0.5206	62.2222

**Cuadro 17A. Medias de las tres variables en la interacción de magnesio-potasio.**

		biomasa promedio	peso de raíz promedio	altura promedio
Mg	K			
0.6	0.13	0.9987	0.4454	59.5556
0.6	0.26	1.0235	0.4453	61.5000
0.6	0.52	1.0212	0.4740	62.1667
0.6	1.04	1.1076	0.4590	64.8333
0.6	2.08	0.9882	0.4585	61.9444
1.2	0.13	1.0378	0.4643	63.0556
1.2	0.26	1.0542	0.4347	63.1667
1.2	0.52	1.0924	0.4625	65.3333
1.2	1.04	1.1436	0.4855	64.2778
1.2	2.08	1.0486	0.4680	62.4444
2.4	0.13	1.0452	0.4868	60.6111
2.4	0.26	1.0709	0.4718	63.2222
2.4	0.52	1.0480	0.4887	61.2778
2.4	1.04	1.0787	0.4861	61.6111
2.4	2.08	1.0427	0.5015	58.1667

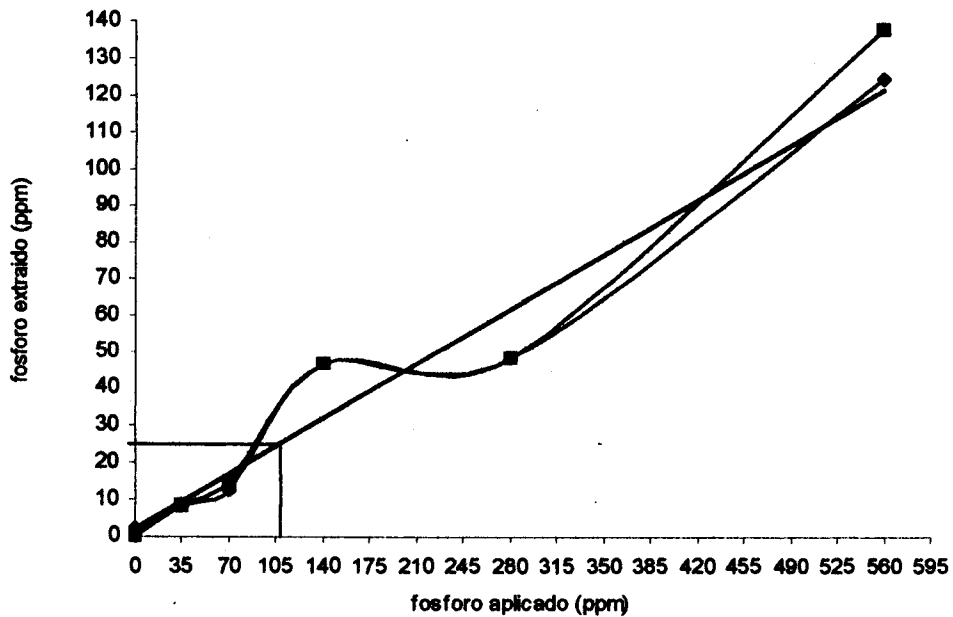


Figura 8A. Determinación del nivel crítico para fósforo

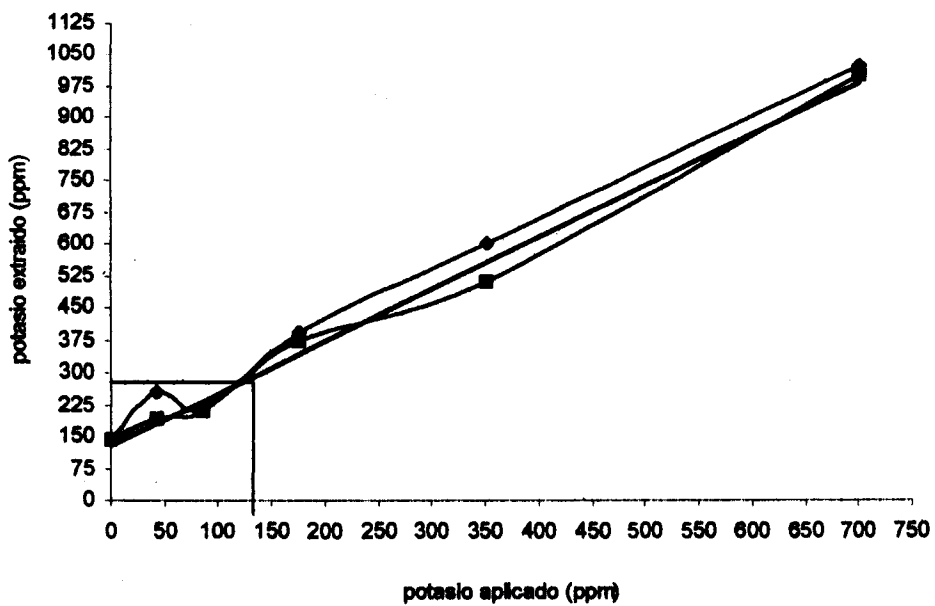


Figura 9A. Determinación del nivel crítico para potasio

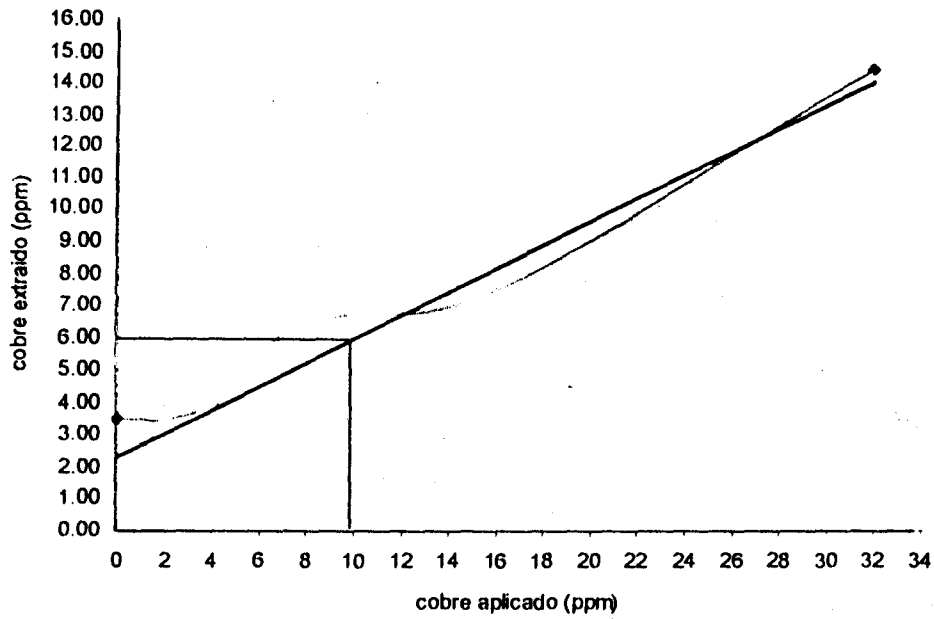


Figura 10A. Determinación del nivel crítico para cobre

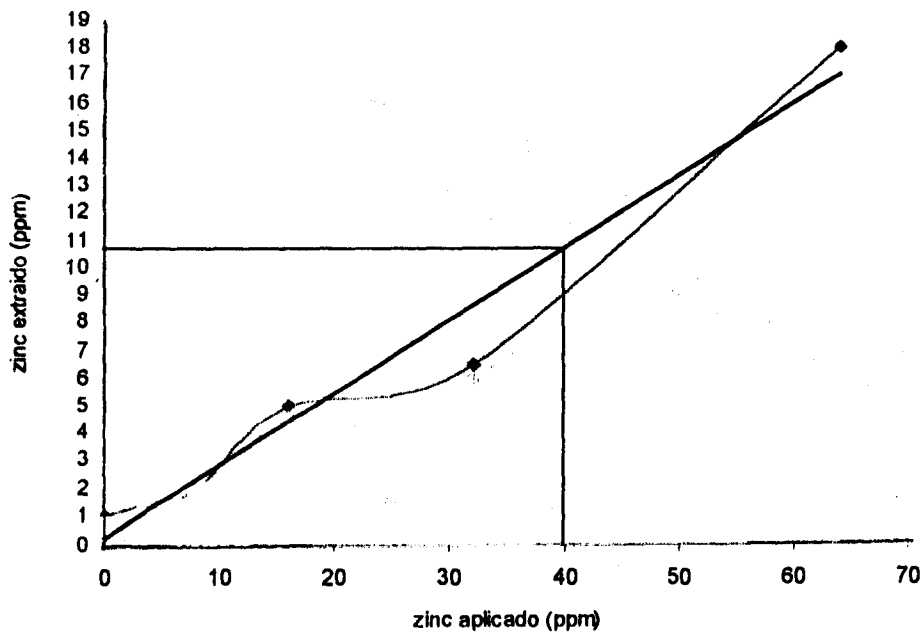


Figura 11A. Determinación del nivel crítico para zinc



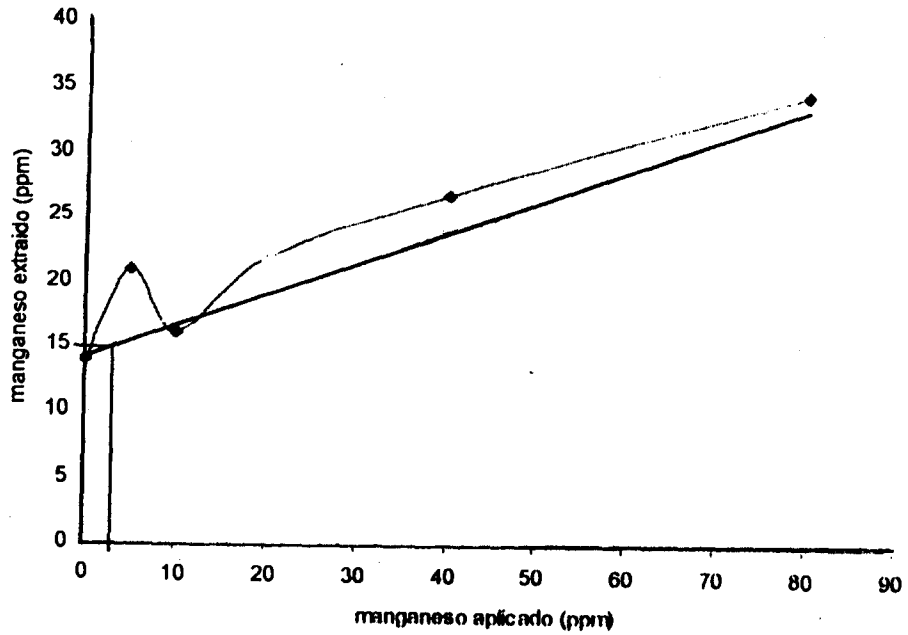


Figura 12A. Determinación del nivel crítico para manganeso

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central



FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE TRES NIVELES DE CALCIO Y MAGNECIO CON CINCO NIVELES DE POTASIO, EN SUELOS DE LA SERIE RETALHULEU, UTILIZANDO SORGO (Sorghum vulgare L.) COMO PLANTA INDICADORA EN INVERNADERO".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: WALTER ENRIQUE BOLAÑOS AMPUDIA

CARNET No: 8210053

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Hugo Antonio Tobías Vásquez  
Ing. Agr. Ervin Maxdelio Herrera de León  
Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

  
Ing. Agr. M.Sc. José Jesús Chonay Pantzay  
A S E S O R

  
Dr. Ariel Abderramán Ortiz López  
DIRECTOR DEL IIA.

I M P R I M A S E

  
Ing. Agr. M.Sc. Edgar Oswaldo Franco  
D E C A N O



cc:Control Académico  
IIA.  
Archivo  
AO/prr.

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.

TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: llusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>