

01
7(84)
C.3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO**

LA DISPONIBILIDAD DE POTASIO EN SEIS SUELOS DE GUATEMALA

Tesis

Presentada a la Honorable Junta Directiva de la
Facultad de Agronomía de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por

LUIS ALBERTO PABLO ESTRADA LIGORRIA

En el acto de su investidura como

INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

Guatemala, julio de 1973

P. del. Guate, Julio 23. 1973

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Rector: Dr. Rafael Cuevas del Cid

FACULTAD DE AGRONOMIA

JUNTA DIRECTIVA

DECANO	:	Ing. Agr. Edgar L. Ibarra A.
Vocal 1o	:	Ing. Agr. Aníbal Palencia O.
Vocal 2o	:	
Vocal 3o	:	Ing. Agr. Marco A. Curley
Vocal 4o	:	P. Agr. Negli René Gallardo
Vocal 5o	:	P. Agr. Jaime Carrera
Secretario:		Ing. Agr. Oswaldo Porras G.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	:	Ing. Agr. René Castañeda Paz
Examinador:		Ing. Agr. Mario Molina Llardén
Examinador:		Lic. Fernando Tirado B.
Examinador:		Lic. Oscar Córdón
Secretario:		Ing. Agr. Fernando Luna O.



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto

Guatemala,
26 de Junio de 1973

Ing. Agr. Edgar L. Ibarra A.
Decano, Facultad Agronomía
Ciudad Universitaria

Señor Decano:

Tengo el honor de dirigirme a usted para hacer de su conocimiento, que atendiendo la designación que me hiciera la Facultad de Agronomía he procedido a revisar el trabajo de tesis intitulado "La disponibilidad de Potasio en seis suelos de Guatemala", el cual presenta el Universitario Luis Alberto Pablo Estrada Ligorria como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Agrónomo.

Al considerar que dicho trabajo reúne todos los requisitos para su aprobación, por este medio me complace comunicarlo al Señor Decano para los efectos consiguientes.

Sin otro particular, reitero al Señor Decano las muestras de toda mi consideración,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Agr. Rodolfo Perdomo M.

DEDICO ESTE ACTO

A DIOS

A LA MEMORIA DE MI ABUELO Alberto Fernández C.

A MIS PADRES Francisco Estrada
Blanca L. de EstradaA MIS HERMANOS Francisco
Lisette
Antonio
José Pablo
Ana Elisa
Fernando AlfonsoA MIS SOBRINOS Francisco
Roberto
María Elena

A LA FAMILIA Engelhardt

A MIS AMIGOS EN GENERAL

A MIS COMPAÑEROS DE PROMOCION

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA, U.S.C.

RECONOCIMIENTO

El autor desea dejar constancia de su Reconocimiento al DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA, Dirección de Investigación Agrícola, DIGESA, M.A. por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo.

Al Ingeniero Agrónomo, M.S. JULIO ANIBAL PALENCIA O., cuyas sugerencias y recomendaciones hicieron posible la finalización del presente estudio.

Al Dr. AL PLANT, por sus sugerencias en el trabajo de invernadero.

Al Dr. JAMES L. WALKER, Lic. JAIME WYLD e Ingeniero ROBERTO DIAZ-ROMEY, por sus acertadas opiniones al respecto.

Al personal de Secretaría, Laboratorio y a todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron durante el desarrollo del mismo.

EL AUTOR

Guatemala, Julio de 1973

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

De conformidad con lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter ante vuestra consideración el trabajo de tesis intitulado:

LA DISPONIBILIDAD DE POTASIO EN SEIS

SUELOS DE GUATEMALA

Al presentarlo como requisito parcial para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, confío en que será objeto de vuestra aprobación.

Muy agradecido por el favor de vuestra atención, me complace suscribirme de vosotros deferentemente,

LUIS ALBERTO PABLO ESTRADA LIGORRIA

CONTENIDO

	Hoja
DEDICATORIA.....	i
RECONOCIMIENTO.....	ii
PRESENTACION.....	iii
 1. INTRODUCCION.....	 1
 2. REVISION DE LITERATURA.....	 4
2.1 El Potasio en la Planta.....	4
2.2 El Potasio en el Suelo.....	5
 3. MATERIALES Y METODOS.....	 12
3.1 Selección de Suelos.....	12
3.2 Recolección y Preparación de las Muestras de Suelo.....	13
3.3 Descripción de los Suelos Estudia- dos.....	15
3.4 Características Químicas de los Suelos Estudiados.....	18
3.5 Estudio de Invernadero.....	21
3.5.1 Niveles de K y Mg Seleccio- nados.....	21
3.5.2 Diseño Experimental.....	22
3.5.3 Tratamientos Seleccionados	23
3.5.4 Manejo del Experimento.....	25
 4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	 29
4.1 Disponibilidad de Potasio en Rela- ción al Análisis de Laboratorio...	32
4.2 Disponibilidad de Potasio en Rela- ción a su Balance con el Catión Magnesio.....	38
 5. CONCLUSIONES.....	 42
 6. BIBLIOGRAFIA.....	 44

1. INTRODUCCION

El uso de fertilizantes como instrumento de tecnología aplicado a la producción de cosechas ha venido intensificándose en los últimos años; pero sigue prevaleciendo la costumbre de usar fórmulas con sólo Nitrógeno y Fósforo sin considerar el suelo a fertilizar, debido a que aún se mantiene la idea de que los suelos de Guatemala, son, en general, ricos en potasio.

Esto último, desafortunadamente, no es cierto, pues en estudios recientes realizados por el Departamento de Edafología del Ministerio de Agricultura (12), se ha comprobado que de un total de 38,874 muestras de suelo procedentes de todo el país y analizadas durante los últimos 4 años, el 42.2% mostraron deficiencia de Potasio en forma disponible en relación al nivel crítico de 125 partes por millón establecido para la metodología de análisis seguida (12). Debido a que tal porcentaje es un promedio general para toda la república, conviene hacer notar que la frecuencia de muestras de suelos deficientes en Potasio varía de acuerdo a la procedencia de las mismas, en un rango que va desde 16.6% en el Departamento de Sacatepéquez hasta el 88.8% en el Departamento de Izabal.

Esta variación parece estar relacionada con el material parental de los suelos, pues tal frecuencia tiende a ser menor en las muestras procedentes de localidades donde los suelos se han desarrollado sobre material volcánico o han recibido influencia de este tipo de material; y mayor, en las muestras procedentes de localidades donde el desarrollo de los suelos ha tomado lugar a partir de un material parental constituido por rocas sedimentarias o metamórficas regularmente pobres en este elemento. También tiene relación con el efecto de las causas que motivan el empobrecimiento de Potasio en los suelos, tales como la intensidad de cultivo, la precipitación pluvial, el pH del suelo y el tipo de arcilla prevaleciente.

Debido a que los programas de fertilización deben ser estructurados considerando tanto las necesidades del cultivo, como el nivel natural de fertilidad de los suelos, un mejor conocimiento de estos aspectos es decisivo para garantizar la eficacia de tales programas.

Con respecto al nivel natural de fertilidad, sin embargo, no es suficiente conocer simplemente la cifra que arroja un análisis cualquiera, pues ésta, para poder ser

utilizada, debe interpretarse en función de su valor como índice de disponibilidad para con la planta.

En la mayoría de los suelos este índice se logra con el análisis de correlación estadística practicado para decidir la adopción de un método analítico de laboratorio; pero existen suelos cuya correlación no se logra, debido a características que le son específicas. Entre estas características, con respecto al potasio, aparentemente una de las más importantes, es el balance necesario que debe existir entre el potasio y el magnesio debido a su efecto antagónico.

Para lograr mayor información sobre el particular, se decidió llevar a cabo el presente trabajo, con el cual se pretende evaluar la disponibilidad de Potasio en Seis Suelos de Guatemala, en términos de su nivel natural y del efecto antagónico esperado entre este elemento y el magnesio.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 El Potasio en la Planta

El potasio, al igual que otros nutrimentos minerales, se considera un elemento esencial aún cuando todavía no se conoce con exactitud la función que desempeña (5,18,21).

Sin embargo varios autores (5,15,21,22,23,27, 34) concuerdan con atribuirle una acción de carácter catalítico en la síntesis de azúcares, almidones y proteínas, en el traslado de carbohidratos, en la reducción de nitratos, en la formación de clorofila y en la división normal de las células; además se le atribuye intervención en el aumento de la resistencia a las enfermedades, en el mejor desarrollo de las raíces y del grano de los cereales formando semillas duras y voluminosas y, finalmente, en la absorción y retención del agua confiriendo a la planta resistencia a las heladas y sequías.

La dinámica del potasio en la planta indica que se trata de un elemento altamente translocable, por

lo que los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas viejas que inicialmente toman una coloración amarillenta en el ápice y en los bordes, para luego tornarse parduzca, finalizando con la muerte de la misma cuando la deficiencia es grave (23,34).

2.2 El Potasio en el Suelo

El contenido total de potasio natural en el suelo varía, fundamentalmente, de acuerdo con el tipo de mineral primario presente en el material parental.

Los minerales que constituyen la fuente principal de potasio en el suelo son las micas y los feldespatos potásicos (2,18,35,36), los cuales durante el proceso de meteorización, liberan el potasio que habrá de ser utilizado por las plantas en su nutrición.

De acuerdo con Tisdale y Nelson (36) el potasio del suelo se encuentra en las formas no disponible, lentamente disponible y disponible. Estas formas de potasio mantienen un equilibrio dinámico (31,36) de modo que un cambio en cualquier componente del sis-

tema tiende a ser compensado por cambios apropiados para mantener dicho equilibrio.

De estas formas, la fácilmente disponible corresponde al Potasio que se encuentra en la solución del suelo y adsorbido en el complejo coloidal del mismo, de donde la planta lo toma (5,18,36).

Esta forma de potasio, al formar parte del complejo de adsorción del suelo, se encuentra relacionada estrechamente con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el porcentaje de saturación de bases (% SB), pues a medida que aumenta la CIC y el % SB se incrementa la disponibilidad de cationes básicos en la solución del suelo, entre ellos el potasio (5, 21,22).

Existen otros factores que pueden afectar la disponibilidad del potasio en el suelo, tales como el balance de cationes, la capacidad de fijación, el tipo de arcilla, la capacidad de restitución, la humedad y el pH del suelo. En relación con el balance de cationes, Pierre y colaboradores (29) trabajando con maíz encontraron que la disponibilidad del potasio era adecuada cuando la relación $Ca+Mg: K$ se en-

contraba en un rango comprendido entre 3.5:1 y 11:1 en suelos de alto contenido de Ca y de 3.5:1 ó menos en suelos con un contenido de Ca normal. Los mismos autores (29) observaron un incremento o decremento en la concentración de potasio soluble en el suelo en relación a la presencia de otros cationes que afectan la capacidad de la planta para absorber potasio presente en la solución del suelo.

Munson (26) trabajando con trigo en un suelo calcáreo con alto contenido de Mg, observó que al incrementar el contenido de K en la solución del suelo, era disminuído el efecto antagónico del Mg para producir cosechas que resultaban ser el doble de lo común.

Lloyd y colaboradores (17), en un suelo franco arenoso fino, observaron que el contenido del mismo se incrementaba en el suelo, pero con una tendencia a decrecer cuando también se aplicaba magnesio.

De acuerdo con Hardy (14) una relación Mg: K de 8:1 es adecuada para evitar el antagonismo existente entre estos dos elementos (1).

Respecto a la capacidad de fijación como factor que afecta la disponibilidad de K, Suárez (35) la de-

fine como el proceso mediante el cual el potasio lentamente aprovechable pasa a la forma no aprovechable debido a que los iones de potasio pasan a formar parte de los cristales de minerales arcillosos parecidos a las micas (ilita, vermiculita), así como de otros minerales arcillosos del tipo 2:1 (grupo de la Montmorillonita) (5,8) y del tipo 1:1 (grupo de la Caolinita) (28,36).

Cook M.G. y Hutchenson Jr. T.B. (7) comprobaron que las arcillas del tipo 2:1 tenían alto poder de fijación, no encontrándose este problema en los minerales de arcilla tipo 1:1. Al respecto, Morthand et al (25) observaron que el potasio fijado por la Vermiculita y la Montmorillonita podía ser tomado directamente por la planta para su desarrollo y que el K de la Biotita era más disponible a las plantas que el K de la Ilita y Muscovita.

Sin embargo, la humedad del suelo es otro factor que interviene de manera directa en la fijación de K, pues Hanway y colaboradores (13) trabajando con muestras de suelos de Iowa concluyeron que al efectuar la extracción del potasio, el contenido de humedad de éstos influía grandemente en la correla-

ción de disponibilidad del elemento estudiado y el método de análisis. Es así que secamientos y humedecimientos alternos sobre un suelo con arcilla del tipo 2:1, provoquen una tendencia a fijar potasio intercambiable, no obstante que el mismo suelo en condiciones de humedad de campo presente un alto contenido de potasio disponible (7). Sobre el particular, Bornemisza(3) trabajando con suelos desarrollados sobre ceniza volcánica, comprobó que al secarlos al aire o al horno mostraban una marcada tendencia a fijar potasio, pero al humedecerlos, liberaban el potasio fijado aunque en pocas cantidades.

Lo descrito anteriormente indica que aunque un suelo tiene la capacidad de fijar potasio, también tiene la capacidad de suplirlo a las plantas en función de su contenido de humedad.

En relación a la capacidad de los suelos para restituir potasio, Martini (20) trabajando con seis suelos de Panamá sometidos a extracciones sucesivas de K con HCl, 0.01N, encontró que el abastecimiento de K estaba estrechamente relacionado con las cantidades de potasio lentamente disponible, las cuales a su vez, dependían del material primario existente y de su grado de meteorización.

Sin embargo, cuando es alto el nivel de K lentamente aprovechable, puede suceder que durante los primeros cultivos baje este nivel bruscamente debido a lo que se conoce como "consumo de lujo" por las plantas, para después mantener un nivel constante donde el suelo continúa proporcionándolo a la planta aunque en menores cantidades (19).

Garman (10) observó este consumo de lujo durante el primer cultivo, pues trabajando con 25 suelos de New York y Ohio notó que el K fácilmente disponible era movido en grandes cantidades y que el segundo y tercer cultivos lo hacían pero en pequeñas proporciones, por lo que concluyó que estos suelos tenían el poder de suplir potasio durante 3 cosechas sucesivas.

La capacidad de los suelos para suplir potasio también es afectada por el pH, pues disminuye cuando éste baja debido a la presencia de Al libre o bien a los efectos de una alta precipitación pluvial.

Sobre el particular, Scott et al (32) encontraron que suelos ácidos con alto contenido de $AlCl_3$ fijaban más K debido a la formación de fosfatos de

aluminio y potasio insolubles.

En relación a los efectos de alta pluviosidad, varios autores (5,36) señalan que las pérdidas de K por lixiviación son mayores en suelos de pH bajo.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Selección de Suelos

La selección de los suelos estudiados se hizo en base a su nivel natural de potasio disponible, tratando de incluir suelos tanto con niveles adecuados como con niveles deficientes de este elemento.

Para el efecto se utilizó inicialmente, la caracterización química de los suelos de Guatemala (33), en la cual se consigna el contenido de potasio intercambiable extraído con Acetato de Amonio 1N, pH 7. Este criterio de selección inicial tuvo un fundamento en los resultados de Suárez (35), quien encontró un alto grado de correlación entre el K disponible y el K intercambiable determinado después de extraerlo con la solución aludida.

Esta información permitió seleccionar, preliminarmente, los suelos de las series Chixocol y Chacalté con un bajo contenido de K intercambiable y los de las series Chacón, Quiriguá y Tecpán, así como suelos aluviales no diferenciados, con un alto contenido de K intercambiable.

La selección se hizo a través de un análisis

de potasio disponible, empleando la solución extractora de Mehlich (HCl , $0.05\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4$ 0.025N) (30) y un fotómetro de llama Perkin Elmer modelo 146. De acuerdo al nivel crítico de 125 partes por millón de K disponible establecido para este método analítico (12), se determinó que los suelos de las series Chixocol y Chacalté podían ser considerados como deficientes en K y el resto como adecuados.

3.2 Recolección y Preparación de las Muestras de Suelo

Una vez seleccionados los suelos, se procedió a recolectar las muestras correspondientes y luego a la preparación de las mismas para los análisis de laboratorio y el estudio de invernadero requerido.

Tanto para la recolección, como para la preparación de estas muestras, se siguió la técnica propuesta por Fitts y Waugh (9) la cual consiste en lo siguiente:

- a. Usando una pala, se cortaron trozos verticales de suelo de tres centímetros de espesor y a la profundidad de aradura (15-20 cm),

sin incluir porción alguna del subsuelo en el caso de los suelos poco profundos.

Esta operación se hizo en varios sitios al azar, hasta completar el volumen deseado que en este caso fue de 100 Kg por suelo seleccionado.

- b. Para el estudio de invernadero, la muestra obtenida se mezcló cuidadosamente hasta lograr su homogeneización completa. Luego fue pasada por un tamiz a 8 mm y dispersada sobre una tela de material plástico para secarla al aire.

Una vez seca la muestra, se homogeneizó nuevamente rodándola hacia adelante y atrás al elevar alternativamente los extremos del plástico; y

- c. Para los análisis químicos de laboratorio, se tomó una submuestra representativa de cada muestra ya seca y homogeneizada; cada submuestra de .5 Kg fue tamizada a 2 mm, homogeneizada una vez más y luego ingresada al laboratorio.

3.3 Descripción de los Suelos Estudiados

Suelo Chixocol: Los suelos de la serie Chixocol se caracterizan por ser poco profundos, mal drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica pomacea cementada.

A la profundidad de aradura (15 a 20 cm) son franco limosos, friables, de color gris oscuro a café grisáceo y con moteaduras de color café de óxido férrico a lo largo de los antiguos canales de las raíces. La estructura varía de cúbica poco desarrollada a laminar.

Están distribuidos en el sureste del país, ocupando una área de 165,419 hectáreas, equivalentes al 1.519% del área total de la república (33).

Suelo Quiriguá: Los suelos de la serie Quiriguá se caracterizan por ser poco profundos, imperfectamente drenados, desarrollados sobre depósito aluviales. A una profundidad de 10 centímetros son franco limosos, friables, de color café y con estructura granular.

Se encuentran en la parte sur del Departamento

de Izabal, ocupando 24,962 hectáreas equivalentes al 0.229% del área de la república (33).

Suelo Chacón: Los suelos de la serie Chacón se caracterizan por ser profundos, bien drenados y desarrollados sobre depósitos aluviales antiguos. A la profundidad de aradura (15-20 cm) presentan una textura franco limosa; son friables, de color café a café grisáceo oscuro con una estructura que varía de granular fina a granular. Se encuentran en la parte norte del Departamento de Izabal, ocupando una área de 41,714 hectáreas, equivalentes al 0.383% del área de la república (33).

Suelo Chacalté: Los suelos de la serie Chacalté se caracterizan por ser poco profundos, bien drenados, desarrollados sobre roca caliza. A una profundidad de 15 cm su textura es arcillosa y su color café muy oscuro; son friables bajo condiciones óptimas de humedad y plásticos cuando están muy húmedos. La estructura varía de granular fina a granular gruesa.

Se encuentran en la parte noreste del país, ocu-

pando una área de 829,160 hectáreas equivalente al 7.615% del área de la república (33).

Suelos Aluviales no Diferenciados: En este grupo se incluyen suelos aluviales jóvenes de características diferentes. En algunos lugares son bien drenados, arenosos y moderadamente oscuros. Se encuentran distribuidos en todo el país, ocupando una área de 75,466 hectáreas equivalentes al 0.693% del área de la república (33).

Suelo Tecpán: Los suelos de la serie Tecpán se caracterizan por ser profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca porosa. A la profundidad de aradura (15 a 20 cm) su textura es franco arcillo arenosa; son sueltos, friables y de color café a café oscuro.

Se encuentran en los Departamentos de Chimalteango y Sacatepéquez, ocupando una área de 23,907 hectáreas, equivalente al 0.22% del área de la república (33).

3.4 Características Químicas de los Suelos Estudiados

En el Cuadro 1 se anotan algunas características químicas que se juzgó necesario determinar a los suelos bajo estudio, para tener suficientes elementos de juicio que permitieran su mejor manejo en los ensayos de invernadero y una más adecuada interpretación de los resultados obtenidos.

Las determinaciones analíticas para la caracterización química aludida, se llevaron a cabo de acuerdo a la siguiente metodología:

El pH fue determinado en una relación agua-suelo 2:1, obteniéndose la lectura en un potenciómetro marca Fisher modelo 210, con electrodos de vidrio.

El nitrógeno (NO_3) se determinó en el extracto obtenido con la solución de Mehlich (30), por colorimetría con ácido fenol disulfónico.

El fósforo disponible fue extraído con la solución de Mehlich (30) y la lectura se obtuvo en un colorímetro marca Cenco, con filtro de 415 milimicrones.

El calcio y el magnesio extraíbles, fueron determinados en el extracto para fósforo por medio de

titulación con ácido etilendiamino tetraacético (EDTA).

El aluminio intercambiable se terminó en los suelos cuyo pH era menor a 5.5, en un extracto con KCl 1 N, por titulación con NaOH 0.025 N.

La capacidad total de intercambio fue determinada de acuerdo al método descrito por Bower et al (4).

La capacidad de fijación de P fue determinada siguiendo la técnica propuesta por González (11) y la lectura se hizo en un colorímetro marca Cenco con filtro de 415 milimicrones.

CUADRO 1. Características Químicas de los Suelos Estudiados

Características	Quiriguá	Chixocol	Chacón	Chacalté	Aluvial	Tecpán
pH	5.1	6.1	4.7	4.9	7.4	6.8
N (ppm)	16	16	16	16	16	16
P (ppm)	5.5	3.5	23.9	7.1	69.0	9.2
K (ppm)	136	70	170	110	160	300
Ca (meq/100 g)	4.93	7.53	2.95	2.85	6.63	10.34
Mg (meq/100 g)	2.77	2.26	1.69	2.00	2.15	2.21
Al (meq/100 g)	0	0	1.84	2.64	0	0
C.T.I. (meq/100 g)	17.30	23.11	22.01	18.50	9.09	25.52
% Sat. de Bases	46.44	51.27	6.14	25.41	100.0	50.65

3.5 Estudio de Invernadero

Para evaluar la disponibilidad de potasio de los suelos objeto de estudio, en términos de su contenido natural y de su balance con el magnesio, se llevó a cabo un experimento bajo condiciones de invernadero, para cada suelo.

En los experimentos se utilizó Girasol (Helianthus anus L.) como planta indicadora, el cual se hizo crecer en macetas con un contenido de suelo que varió entre 1700 y 2000 g de acuerdo con su densidad aparente.

3.5.1 Niveles de K y Mg Seleccionados

Los suelos Quiriguá, Chacalté, Chacón y Aluvial fueron tratados con 5 niveles de K y 2 niveles de Mg. El suelo Chixocol, por escasez de material, fue tratado con 4 niveles de K y 2 de Mg.

Finalmente, el suelo Tecpán fue tratado con 2 niveles de K y 5 niveles de Mg debido a su contenido muy alto de potasio. Los niveles aludidos fueron aplicados en miliequi-

valentes por 100 g de suelo, tal como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Niveles de K y Mg Seleccionados

Suelo	Niveles de Aplicación en meq/100 g de suelo							
	P o t a s i o				M a g n e s i o			
Quiriguá	0	.25	.30	.35	.40	0	2.23	
Chixocol	0	.20	.30	.40		0	1.74	
Chacón	0.	.30	.35	.40	.45	0	3.31	
Chacalté	0	.25	.30	.35	.40	0	3.00	
Aluvial	0	.25	.30	.35	.40	0	4.85	
Tecpán	0	1.33					1.00	2.0 3.0 4.0

3.5.2 Diseño Experimental

Los niveles de aplicación de potasio y magnesio fueron evaluados en cada suelo, mediante un arreglo factorial $5 \times 2 \times 4 \times 2$, según el caso, utilizando un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con 3 repeticiones. La unidad experimental la consti-

tuyó una maceta donde se hicieron crecer 3 plantas de girasol durante 4 semanas, al final de las cuales fueron cosechadas para medir su crecimiento en términos de peso en gramos de materia seca producida.

3.5.3 Tratamientos Seleccionados

En el Cuadro 3 se consignan los tratamientos seleccionados para cada suelo. Tales tratamientos se identifican con el contenido final de K y Mg después de haber recibido su correspondiente nivel de aplicación.

Como fuente de K se usó carbonato de potasio ($K_2CO_3 \cdot 1.5H_2O$); y como fuente de Mg, carbonato de Magnesio ($Mg CO_3$).

CUADRO 3. TRATAMIENTOS SELECCIONADOS (Contenido final de K y Mg después de haber recibido su correspondiente nivel de aplicación, expresado en meq/100 g de suelo)

Tratamiento	Elemento	Quiriguá	Chixocol	Chacón	Chacalté	Aluvial	Tecpán
I	K ⁺	.34	.17	.43	.28	.40	.76
	Mg ⁺⁺	2.77	2.26	1.69	2.00	2.15	2.21
II	K ⁺	.59	.37	.73	.53	.65	.76
	Mg ⁺⁺	2.77	2.26	1.69	2.00	2.15	3.21
III	K ⁺	.64	.47	.78	.58	.70	.72
	Mg ⁺⁺	2.77	2.26	1.69	2.00	2.15	4.21
IV	K ⁺	.69	.57	.83	.63	.75	.76
	Mg ⁺⁺	2.77	2.26	1.69	2.00	2.15	5.21
V	K ⁺	.74	.17	.68	.68	.80	.76
	Mg ⁺⁺	2.77	4.00	1.69	2.00	2.15	6.21
VI	K ⁺	.34	.37	.43	.28	.40	2.09
	Mg ⁺⁺	5.00	4.00	5.00	5.00	7.00	2.21
VII	K ⁺	.59	.47	.73	.53	.65	2.09
	Mg ⁺⁺	5.00	4.00	5.00	5.00	7.00	3.21
VIII	K ⁺	.64	.57	.78	.58	.70	2.09
	Mg ⁺⁺	5.00	4.00	5.00	5.00	7.00	4.21
IX	K ⁺	.69		.83	.63	.75	2.09
	Mg ⁺⁺	5.00		5.00	5.00	7.00	5.21
X	K ⁺	.74		.88	.68	.80	2.09
	Mg ⁺⁺	5.00		5.00	5.00	7.00	6.21

3.5.4 Manejo del Experimento

Debido al contenido alto de aluminio de los suelos Chacalté y Chacón, previo al inicio del experimento se procedió a su neutralización con hidróxido de calcio de acuerdo a la siguiente ecuación propuesta por Fitts y Waugh (9):



Una vez preparadas las muestras de cada suelo, se procedió a llenar macetas de plástico con capacidad para dos litros.

De acuerdo al tratamiento de K y Mg seleccionado, se procedió a calcular la cantidad a aplicar por maceta según la fuente utilizada. La aplicación se hizo al suelo contenido en cada 3 macetas, adicionando las cantidades de K y Mg calculadas, para luego homogeneizar el suelo y dividir el total en 3 partes iguales que constituyeron las repeticiones de cada tratamiento.

A todos los suelos estudiados se les aplicó el resto de elementos esenciales, en canti-

dades óptimas para que no fueran factores limitantes durante el crecimiento de la planta usada como indicadora.

Así fue como, simultáneamente con la aplicación de K y Mg, se hizo la aplicación de fósforo, que consistió en una cantidad tal que fuese suficiente para subir el contenido inicial del suelo a 40 partes por millón, considerado como óptimo para eliminar efecto limitante de este elemento en los estudios de invernadero. Esta aplicación se hizo de acuerdo a la capacidad de fijar fósforo de cada uno de los suelos estudiados, con las cantidades que pueden observarse en el cuadro siguiente:

Suelo	ppm P Inicial	% Fij.	ppm P Aplic.
Quiriguá	5.5	81.9	200
Chixocol	3.5	85.4	250
Chacón	23.9	84.0	100
Chacalté	7.1	81.3	200
Aluvial	69.0	79.0	50
Tecpán	9.2	91.6	450

Una vez tratados los suelos con K, Mg y P, se dejaron reaccionar durante 4 días para luego sembrar 8 semillas de Girasol (Helianthus annuus L.) que previamente habían sido desprovistas de la cubierta exterior y puestas a germinar durante 24 horas. A los 8 días fueron raleadas las macetas dejando 3 plantas por cada unidad experimental. Luego se procedió a efectuar la aplicación general del resto de los elementos esenciales, utilizando 40 ml de la solución nutritiva siguiente:

Nutrimiento	Fuente	ppm	Kg/Ha Aprox.
Ca	Ca (OH) ₂	600	1 200
S	De los Comps.	50	100
Mn	MnSO ₄ H ₂ O	25	50
B	H ₃ BO ₃	2.5	5
Cu	CuSO ₄ 5H ₂ O	10	20
Zn	ZnSO ₄ 7H ₂ O	10	20
Mo		Trazas	Trazas
Fe	FeCl 4.H ₂ O	40	80
Cl		50	100

Posteriormente, cada 8 días, fueron aplicados a cada maceta 40 ml de esta solución nutritiva.

El nutrimento nitrógeno fue aplicado separadamente, cada 8 días, a razón de 100 partes por millón (ppm) de N por maceta en forma de nitrato de amonio (NH_4NO_3).

Debido a que 15 días después de efectuada la siembra se observó una deficiencia de azufre, ésta y las necesidades de N fueron controladas mediante aplicaciones de sulfato de amonio ($\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

Cuatro semanas después de la siembra, se observó una marcada diferencia entre el efecto de los tratamientos, se efectuó la cosecha cortando las plantas a nivel de la superficie del suelo.

Las plantas cosechadas fueron secadas al horno, durante 24 horas, a una temperatura de 60°C y luego pesadas para obtener así el peso de materia seca producida.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en el proceso seguido para medir el efecto de los tratamientos en función de la materia seca producida, se consignan en el Cuadro 4.

Al ser sometidos estos resultados al análisis de varianza correspondiente (Cuadro 5) se encontró que únicamente los suelos Quiriguá y Chixocol mostraron una respuesta significativa a las dosis de potasio aplicadas; y así mismo que solamente los suelos Chacón, Chacalté y Aluvial respondieron significativamente a la aplicación de las dosis de magnesio.

El análisis estadístico reveló también que el suelo Tecpán no respondió independientemente a las dosis de K y Mg, pero sí al efecto de la interacción de dichos nutrientes. Para una mejor interpretación, los resultados obtenidos se discuten considerando la disponibilidad del potasio en relación al análisis de laboratorio y en relación al balance de este elemento con el catión magnesio.

CUADRO 4. Rendimiento Promedio de Materia Seca Producida por Maceta, Expresado en Gramos.

Tratamiento	S U E L O					
	Quiriguá	Chixocol	Chacón	Chacalté	Aluvial	Tecpán
I	12.7	10.0	3.3	10.0	13.7	15.7
II	12.7	13.1	4.6	12.0	12.4	18.7
III	13.3	15.6	3.3	12.5	11.0	16.7
IV	14.0	15.6	4.0	12.7	13.2	15.7
V	15.3	10.5	3.9	12.3	14.6	14.7
VI	7.6	14.2	5.5	4.9	2.1	17.6
VII	10.4	12.3	5.9	7.4	2.3	16.3
VIII	15.3	14.5	5.3	8.0	3.6	16.2
IX	13.7		5.4	9.6	2.3	17.6
X	15.9		6.8	9.4	2.0	19.3

CUADRO 5. Componentes de Variancia de la Materia Seca Producida en cada uno de los Suelos Estudiados

Fuentes de Variación	<u>Quiriguá</u>		<u>Chixocol</u>		<u>Chacón</u>		<u>Chacalté</u>		<u>Aluvial</u>		<u>Tecpán</u>	
	Gl	CM	Gl	CM	Gl	CM	Gl	CM	Gl	CM	Gl	CM
Total	29		23		29		29		29		29	
Repeticiones	2	10.66	2	0.26	2	1.39	2	7.39	2	1.81	2	4.26
Tratamientos	9	18.98**	7	10.04**	9	4.05**	9	19.90**	9	91.29**	9	6.18*
K	4	37.29**	3	25.78**	4	1.40NS	4	2.95NS	4	1.34NS	1	9.19NS
Mg	1	3.34NS	1	3.15NS	1	28.22*	1	121.60**	1	777.24**	4	1.03NS
KMg	4	4.59NS	3	5.92NS	4	0.66NS	4	1.43NS	4	2.25NS	4	10.58**
Error	18	7.42	14	3.32	18	0.56	18	4.83	18	2.92	18	2.52

NS = No significativo

* = Significativo al 0.05 de probabilidad

** = Significativo al 0.01 de probabilidad

4.1 Disponibilidad de Potasio en Relación al Análisis de Laboratorio

El nivel crítico para medir la disponibilidad de potasio en los suelos de Guatemala con la solución extractora de Mehlich, ha sido fijado en 125 ppm (12). Con este nivel crítico se sustenta el criterio de que los suelos con un contenido de K disponible inferior son deficientes y por lo tanto con alta probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio; y los suelos con un contenido de K disponible superior son adecuados y consecuentemente con una baja probabilidad de respuesta a la aplicación de este elemento.

Al aplicar este criterio a los suelos estudiados se advierte que el análisis de varianza reveló concordancia con lo esperado en el caso de todos los suelos excepto el Quiriguá y el Chacalté, pues el suelo Quiriguá con 136 ppm de K disponible (Cuadro 1) no debió haber mostrado respuesta y sí, por el contrario, el Chacalté con 110 ppm de K (Cuadro 1).

Para encontrar explicación a este comportamiento errático y para confirmar o desechar el criterio de interpretación en base al nivel crítico de 125

ppm de K disponible se llevó a cabo un análisis de correlación entre el porcentaje de rendimiento determinado en cada suelo mediante la fórmula $\% Y = (Y \text{ sin } K/Y \text{ con } K)100$ y el análisis de K disponible determinado en el laboratorio utilizando la solución extractora de Mehlich (30). Para el efecto se siguió el método gráfico de correlación propuesto por Cate y Nelson (6), cuya interpretación se basa en dos familias de puntos, agrupados en los cuadrantes positivos de un sistema de coordenadas superpuesto a otro donde han sido ploteados los valores $\%Y$ y de K disponible correspondientes a cada suelo bajo estudio. De esta manera, los puntos agrupados en el cuadrante positivo inferior identifican a los suelos con alta probabilidad de respuesta a la aplicación de K (deficientes en K) y los agrupados en el cuadrante positivo superior, a los suelos con baja probabilidad de respuesta a la aplicación del elemento aludido (adecuados en K). La ordenada que delimita ambos cuadrantes, señala entonces el nivel crítico de la disponibilidad de K.

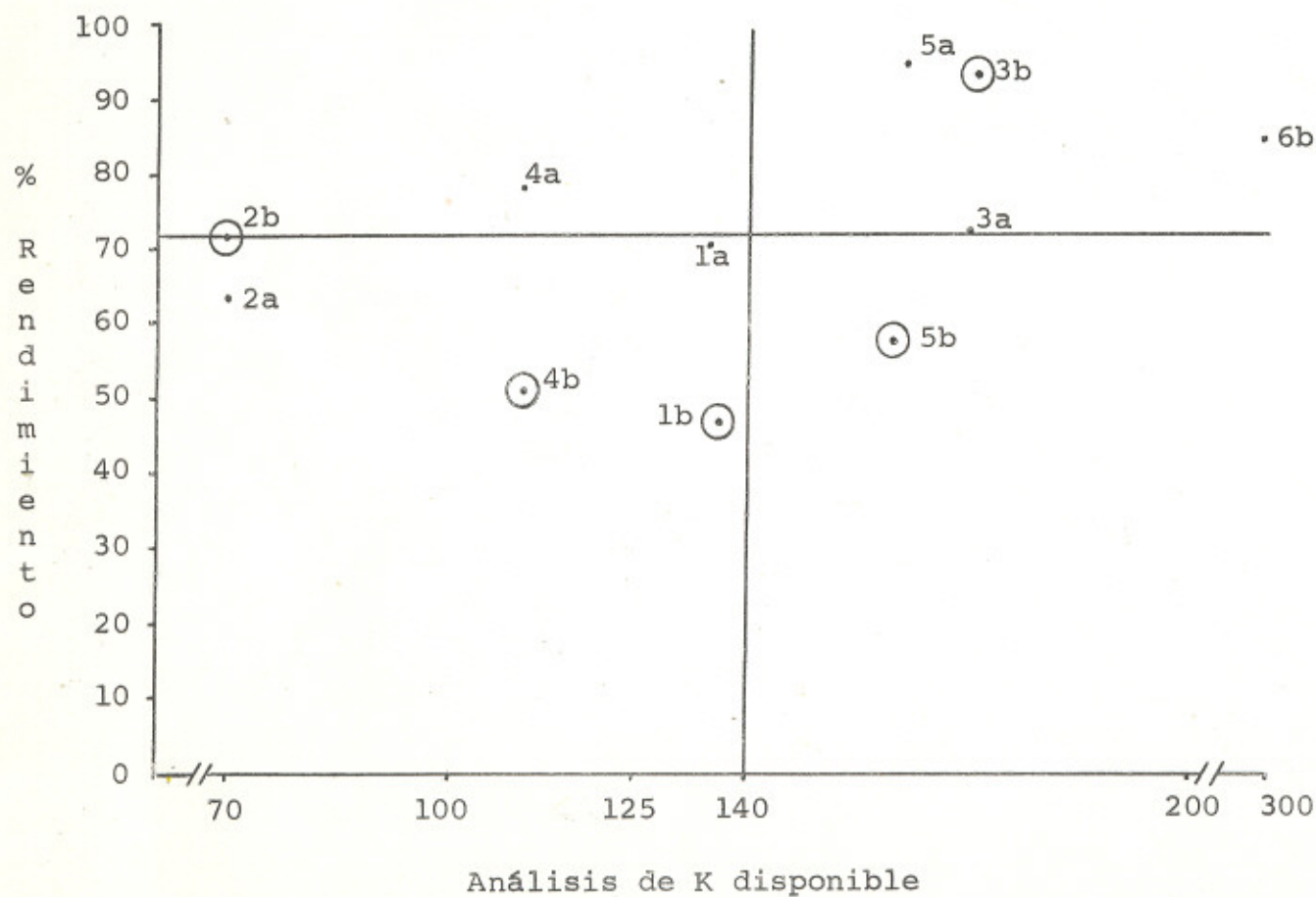
En el Cuadro 6 se consignan los porcentajes de rendimiento y los valores de K disponible determinados en cada suelo.

Con estos valores se realizó el análisis de correlación tal como se muestra en el Gráfico 1, donde puede observarse que los suelos Quiriguá y Chixocol, tanto sin adición de Mg (1a y 2a) como con adición de Mg (1b y 2b), y el suelo Chacalté con Mg adicional (4b) integran el grupo de suelos con alta probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio. Asimismo es notable que en el caso de los suelos Quiriguá y Chacalté con Magnesio modificado (1b y 4b respectivamente) se produjo un efecto antagónico entre este elemento y el potasio indicado por Bear (1), que hace mayor la tendencia de estos suelos a responder a dosis de K pues su contenido inicial de K disponible, se ve reducido en esta condición, tal como lo observado por Lloyd y colaboradores (17). Los suelos Chacón sin y con Mg adicional (3a y 3b), Aluvial y Tecpán sin Mg adicional (5a y 6a), el grupo de suelos con baja probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio.

CUADRO 6. Porcentajes de Rendimiento y Valores de K Disponible Determinados en cada uno de los Suelos Estudiados

Suelo	Identificación	% Rendimiento	meq/100 g		(K/Mg) 100
			K Inicial	Mg Inic.	
Quiriguá	1a	71	.34 (136 ppm)	2.77	12
	1b	48	.34 (136 ppm)	5.00	6
Chixocol	2a	64	.17 (.70 ppm)	2.26	7
	2b	42	.17 (.70 ppm)	4.00	4
Chacón	3a	72	.43 (160 ppm)	1.69	25
	3b	93	.43 (160 ppm)	5.00	8
Chacalté	4a	78	.28 (110 ppm)	2.00	14
	4b	51	.28 (110 ppm)	5.00	5
Aluvial	5a	94	.40 (.170 ppm)	2.15	18
	5b	58	.40 (.170 ppm)	7.00	5
Tecpán	6a	84	.76 (300 ppm)	2.21	34

GRAFICO 1. Análisis de Correlación entre Valores de K Disponible (Sol. Ext. Mehlich) y % de Rendimiento de los Suelos Estudiados



a = Sin Mg
b = Con Mg

También señala que el nivel crítico de K disponible es 140 ppm y que los suelos Chacalté sin Mg adicional (4a) y Aluvial con Mg adicional (5b) aparecen en los cuadrantes negativos, donde este comportamiento errático al igual que el mero valor de nivel crítico es atribuible al efecto de otros factores que inciden sobre la disponibilidad del K, tales como el balance de cationes, lo cual ha sido señalado por Pierre et al y Hardy (14,29).

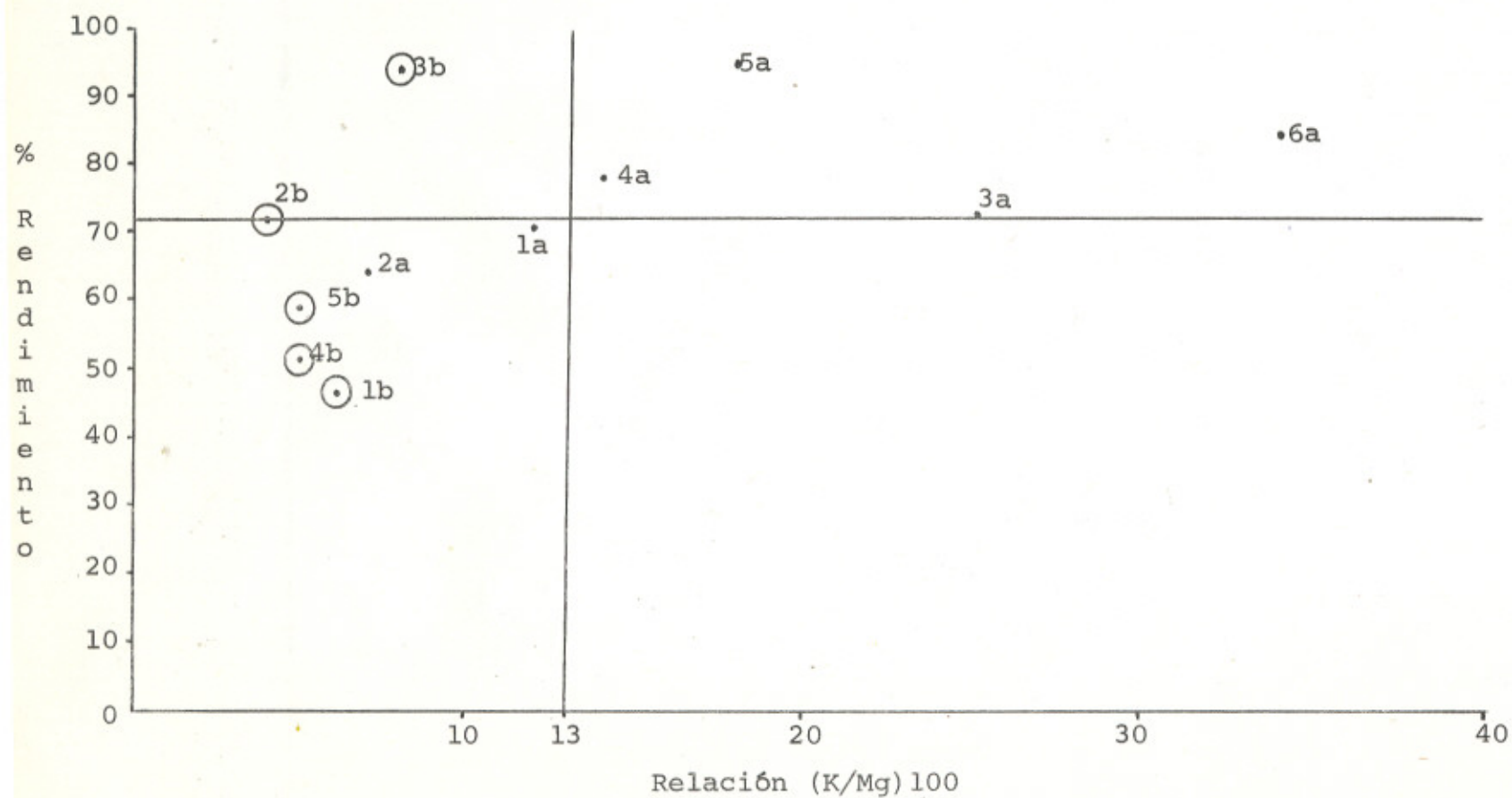
Este análisis de correlación da resultados que concuerdan con los obtenidos en el análisis de varianza, con excepción del suelo Chacalté con Mg adicional (4b), que aparece en el cuadrante de alta probabilidad de respuesta. Explicaría a la vez, en función del mero nivel crítico encontrado, el porqué de que el suelo Quiriguá con 136 ppm de K, haya respondido significativamente a la aplicación de este nutrimento, no obstante que tal comportamiento podría ser mejor explicado en términos del balance entre el K y el Mg.

4.2 Disponibilidad de Potasio en Relación a su Balance con el Cation Magnesio

Debido a que el conocido efecto antagónico de los cationes K y Mg (1), el cual se produce como consecuencia del imbalance de su contenido en el suelo, puede explicar el comportamiento de la disponibilidad del K en los suelos estudiados, se consideró este aspecto mediante un análisis de correlación entre el porcentaje de rendimiento y la relación $(K/Mg)100$, con el método propuesto por Cate y Nelson (6). Dicho análisis se llevó a cabo utilizando la correspondiente información consignada en el Cuadro 6 tal como se ilustra en el Gráfico 2.

Con este análisis se establece una relación $(K/Mg)100$ crítica, de 13, equivalente a una relación inversa de Mg/K de 8:1, como la encontrada por Hardy como adecuada (14). De manera que valores de dicha relación inferiores a la crítica, son indicativos de un balance no adecuado entre tales cationes provocado por falta de K o exceso de Mg, el cual induce a esperar respuesta a la adición de K. Por el contrario, los valores superiores a dicha relación crítica, son indicativos de un balance adecuado.

GRAFICO 2. Análisis de Correlación entre la Relación
(K/Mg)100 y el % de Rendimiento de los
Suelos Estudiados



a = Sin Mg
b = Con Mg

Se observa entonces que pertenecen, al primer grupo, los suelos Quiriguá (1a y 1b) y Chixocol (2a y 2b) ambos con y sin Mg adicional y los suelos Chacalté (4b) y Aluvial (5b) con Mg adicional; y al segundo grupo, los suelos Chacón (3a), Chacalté (4a), Aluvial (5a) y Tecpán (6a), todos sin Mg adicional.

Consecuentemente, puede inferirse lo siguiente:

- a. Que el suelo Quiriguá, aún con 136 ppm de K, un nivel arriba del crítico de 125 ppm, manifiesta alta probabilidad de responder a las aplicaciones de K por guardar un balance inadecuado con el Mg (1a), el cual se hace mas inadecuado cuando se adiciona este último catión (1b), resultado similar al encontrado por Lloyd y colaboradores (17).

Esta falta de balance parece ser la causa de que el análisis de correlación desplace el nivel crítico de 125 ppm a 140 ppm de K;

- b. Que el suelo Chixocol mantuvo su falta de balance adecuado tanto con, como sin Mg adicional, reflejando siempre su estado de deficiencia en K; y

- c. Que los suelos Chacón, Chacalté, Aluvial y Tecpán muestran un balance adecuado en su estado original (sin Mg adicional), pero inadecuado cuando recibieron la adición de magnesio para crear una situación de deficiencia en potasio, por el efecto antagónico producido al adicionar este último elemento (1,17).

Estas inferencias evidencian, claramente, la importancia de considerar la relación que deben guardar los cationes K y Mg para calificar debidamente la disponibilidad del primero.

5. CONCLUSIONES

En base a la discusión de los resultados experimentales presentada en el capítulo anterior, pueden considerarse las siguientes conclusiones:

- 5.1 De acuerdo a lo encontrado por varios investigadores (14,17,26,29) y los resultados obtenidos en el presente trabajo, puede inferirse que la disponibilidad del potasio en los suelos estudiados depende no solamente de su contenido en sí, sino de su balance adecuado con el catión magnesio.
- 5.2 La solución extractora de Mehlich resultó ser razonablemente adecuada para medir la disponibilidad de K bajo condiciones de invernadero, aún cuando el nivel crítico de 125 ppm fue modificado a 140 ppm tal como se observa en la correlación Cate y Nelson (6) presentada en el Gráfico 1. Sin embargo, este nuevo nivel crítico no puede considerarse como adecuado ya que se encuentra condicionado a una situación de imbalance de cationes presente en el suelo Quiriguá.

5.3 La relación $(K/Mg)100=13$ obtenida en la correlación presentada en el Gráfico 2, es equivalente a la condición de 2.77 meq de Mg/100 g de suelo y 0.35 meq de K/100 g de suelo que al relacionarlo a la inversa $-(Mg/K)-$ se obtiene una relación de 8:1 coincidente con la considerada por Hardy como adecuada (14). De tal manera que esta relación $(K/Mg)100$ de 13 puede ser aceptada como valor crítico, ya que en este estudio permitió discriminar suelos de alta y baja probabilidad de respuesta a la aplicación de K.

5.4 Para una mejor interpretación del análisis de K disponible en los suelos, resulta indispensable considerar además de su valor absoluto, su balance con el catión Magnesio.

5.5 A los suelos Quiriguá y Chixocol se hace necesario aplicar potasio para mejorar el balance con el Mg para el primero y por su contenido inicial deficiente en el caso del segundo.

Los suelos Chacón, Chacalté, Aluvial y Tecpán, de acuerdo a su nivel de K disponible determinado por análisis y su relación con el magnesio, no es necesario aplicarles el elemento aludido, excepto cuando se altera la relación K/Mg por adiciones de Mg que inducen a un imbalance entre ambos elementos.

6. BIBLIOGRAFIA

1. BEAR, FIRMAN E. Suelos y Fertilizantes. 4a. Ed. traducción al español por Jorge Bozal. Barcelona, Ediciones Omega S.A., 458 p, 1958.
2. BLACK, E.A. Soil Plant Relationships. 2a. Ed. New York, John Wiley & Sons Inc. 792 p, 1968.
3. BORNEMISZA, E. La Solución Extractora y la Humedad en Relación con el Potasio Intercambiable. Experiencias en un Suelo Aluvional de Costa Rica. Turrialba (Costa Rica) 10(1):35-38, 1960.
4. BOWER, C.A. et al. Exchangeable Cation Analysis of Saline and Alkaline Soils. Soil Science 73:251-261, 1952.
5. BUCKMAN, H.O y BRADY, N.C. Naturaleza y Propiedades de los Suelos, traducción al español por R. Salord Barceló, Barcelona UTEHA, 566 p., 1966.
5. CATE Jr., R.B. and NELSON, L.A. Un Método Rápido para Correlación de Análisis de Suelo con Ensayos de Fertilizantes, Boletín Técnico No. 1, Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, N.C. 5-8 p., 1965.
7. COOK, M.G. and HUTCHENSON Jr., T.B. Soil Potassium Reactions as Related to Clay Mineralogy of Selected Kentucky Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24(4):252-256, 1960.
8. DEMUMBRUM, L.E. K Fixation as Affected by Mineralogy in Some Soils Derived from Argillaceous Chalk. Soil Sci. 86:276-281, 1958.
9. FITTS, J.W. and WAUGH, D.L. Estudios de interpretación de Análisis de Suelo: Laboratorio y Macetas. Boletín Técnico No. 3, Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, N.C. 36 p., 1966.

10. GARMAN, W.L. Potassium Released Characteristics of Several Soils from Ohio and New York. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21:52-58, 1957.
11. GONZALEZ SPILLARI, JORGE A. Evaluación de la Fijación y Disponibilidad del Fósforo en 14 series de Suelos de Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía 31 p., 1970 (Tesis Ing. Agr.)
12. GUATEMALA. Sumario de Análisis de Fertilidad de Suelos Agrícolas por Departamentos y Municipios (Muestras Analizadas en 1968, 69, 70 y 71). Guatemala, Ministerio de Agricultura, DIA, DIGESA, 23 p., 1972.
13. HANWAY, J.J. and SCOTT, A.D. Profile Distribution of Exchangeable K in Iowa Soils as Influenced by Drying and Rewetting. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21(5):501-505, 1957.
14. HARDY, F. The Soils of the I.A.I.A.S. Area. Turrialba, Costa Rica. Cacao Center I.A.I.A.S. 76 p., mimeografiado, 1961.
15. LIEBHARDT, W.C. Effect of Potassium on Carbohydrate Metabolism and Translocation. In Role of Potassium in Agriculture. Ed. Richard C. Dinaver, Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. 147-164 p, 1968.
16. LITTLE, THOMAS M. Correlation and Regression. A supplement to "Experimental Methods for Extension Workers". University of California Agricultural Extension Service. 62 p., 1966.
17. LLOYD, F.S., GILMORE, T.R. and PETERSON, G.A. Effects of Potassium, Magnesium and Micronutrient Fertilization on Snap Bean Yields and Plant Composition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22(2)137-139, 1958.

18. MALAVOLTA, E. et al. La Nutrición Mineral de Algunas Cosechas Tropicales. Sao Paulo, Brasil, Universidad. Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Berna (Suiza) Ed. por Instituto Internacional de la Potasa. 163 p., 1964.
19. MARIN, M.G. Mc CLUNG, A. y LUENGA, V.A. La Capacidad de Varios Suelos Colombianos para Suministrar Potasio, Palmira, Colombia, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 20 p., 1964.
20. MARTINI, JOSE A. Caracterización del Estado del Potasio en Seis Suelos de Panamá. Fitotecnica Latinoamericana (Venezuela) 3(1 y 2) 163-186, 1966.
21. MEIA MEIA, PEDRO. Edafología. Madrid, Editorial Dossar, S. A., 567 p., 1954.
22. MILLAR, C.E., TURK, L.M., FORTH, H.D. Edafología, Fundamentos de la Ciencia del Suelo, México, UTHEA 332 p., 1967.
23. MILLER, ERSTON V. Fisiología Vegetal. Traducido al español por Dr. Francisco Latorre. México, UTHEA 332 p., 1967.
24. MOLINA LLARDEN, MARIO. Agronomía y Agricultura. Guatemala, Editorial Universitaria, Universidad de San Carlos. 412 p., 1957.
25. MORTHAND, M.M., LAWTON, K. and UEHARA, G. Fixation and Release of Potassium by Some Clay Minerals. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21: 381-384, 1957.
26. MUNSON, ROBERT D. Interaction of Potassium and Other Ions: In Role of Potassium in Agriculture. Ed. Richard C. Dinaver, Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 321-354, 1968.

27. NIGHTINGALE, G.T. Physiological-Chemical Functions of Potassium in Crop Growth. Soil Sci. 55 (1):73-78, 1943.
28. PEARSON, R.W. Potassium-Supplying Power of Eight Alabama Soil, Soil Sci. 14(4):301-310, 1952.
29. PIERRE, W.H. and BOWER, C.A. Potassium Absorption by Plantas as Affected by Cationic Relationships. Soil Sci. 55(1):23-36, 1943.
30. Procedures used by STATE SOIL-TESTING LABORATORIES in the Southern Region of the Unite States, Bulletin No. 102. Southern Cooperative Series, Compiled by N.R. Pags, 49, 1965.
31. REITEMEIER, R.F. The Chemistry of Soil Potassium. Advances of Agronomy 3: 384-390, 1964.
32. SCOTT, A.D., AHLRICHS, J.L. and STANFORD, G. Aluminum Effect on Potassium Fixation by Wyoming Bentonite. Soil Sci. 84(5): 377-388, 1957.
33. SIMMONS, C.S., TARANO, J.M., PINTO, J.H. Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional, y Ministerio de Educación Pública "Editorial José de Pineda Ibarra", 1000 p., 1959.
34. SPRAGUE, HOWARD B. Why do Plantas Starve? in Hunger Signs in Crops. Ed. Howard B. Sprague, New York, N.Y. David McKay Company 450 p., 1964.
35. SUAREZ HERNANDEZ, ARTURO. Caracterización del Estado del Potasio en Tres Grandes Grupos de Suelos de Costa Rica. Costa Rica, Turrialba, Centro de Enseñanza e Investigación, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 305 p., 1968 (Tesis Magister Scientiae).
36. TISDALE, S.L., NELSON, L.W. Soil Fertility and Fertilizers. 2a. Ed. New York, The McMillan Co. 694 p., 1967.

Imprimase:

Ing. Agr. Edgar Leonel Ibarra A.
Decano