

Nota Técnica

**CORRECCION DE DESEQUILIBRIOS CATIONICOS (Ca, Mg, K)
EN UN SUELO CAFETALERO DE COSTA RICA¹**

*Gilberto Cabalceta **

ABSTRACT

Correcting cationic unbalances (Ca, Mg, K) found in a Costa Rican coffee soil. A greenhouse experiment was conducted to determine the effect of the Mg/K relationship on foliar dry weight, root dry weight, plant height, and Ca, Mg and K concentration in the plant. The Mg/K relationship was changed positively 100% and 200% by adding Mg, and negatively with K applications. Foliar dry weight decreased with K and Mg applications to the soil and increased when Ca was added. Yield increased when Mg was applied together with 0.5 t/ha of CaCO₃, but decreased when 1 t/ha of CaCO₃ was used. Applications of K and Mg reduced plant height significantly. Root dry weight was also affected by the K x Mg x Ca relationships. When K was not applied and Ca was added in level 1, the root weight decreased significantly, but increased with level 2 of Ca. The addition of 288 kg/ha of Mg without Ca and also level 2 of Ca and Mg produced maximum root production. Applications of K and Mg to the soil reduced foliar concentration of Ca, and foliar K concentrations increased significantly and positively with increasing K applications to the soil.

INTRODUCCION

La disponibilidad de nutrientes en el suelo puede ser afectada por factores como antagonismos y sinergismos. Para los cationes Ca, Mg y K estos factores son especialmente importantes. De hecho, el equilibrio entre metales alcalinos y alcalinotérreos juega un papel determinante para la absorción de estos y otros elementos indispensables para las plantas (Briceño y Carvajal, 1973; Corella, 1980; Lainez, 1962).

Un estudio de la distribución de problemas de desequilibrios entre macronutrientes en Costa Rica, realizado por Bertsch (1986), señala desbalances de Mg con respecto a Ca y K en varios cantones, lo cual concuerda con lo encontrado por otros investigadores (Briceño y

Carvajal, 1973; Corella, 1980; Fassbender, 1972; Morelli *et al.*, 1971).

En relación a esto, índices como el porcentaje de saturación y las relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca/K y Ca+Mg/K, con valores establecidos en suelos cafetaleros por Briceño y Carvajal (1973), podrían constituir indicadores prácticos de los problemas con Mg y K, si se correlacionan con valores de crecimiento de las plantas.

El estudio de las relaciones entre cationes intercambiables del suelo y de los mismos en las hojas de las plantas, es de suma importancia ya que puede constituir un buen punto de referencia en la aplicación racional de fertilizantes. Varios investigadores citados por Lainez (1962), han encontrado correlación estadística significativa entre el contenido de Mg de las hojas y el Mg intercambiable del suelo (principalmente como porcentaje de saturación del complejo cambiante).

El K es un elemento antagonista del Mg y del Ca (Lainez, 1962; Piñeres, 1969) y su relación con el Mg es regida principalmente por la razón

1/ Recibido para publicación el 21 de mayo de 1991.
* Centro de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Mg/K de intercambio (Briceño y Carvajal, 1973; Lainez, 1962). A su vez, la aplicación de Ca como enmienda, ayuda a elevar el nivel de este y del Mg en el suelo (Fassbender, 1972; Morelli *et al.*, 1971), favorece el movimiento de ambos hacia otras partes del suelo y aumenta el pH (Morelli *et al.*, 1971), sin afectar mucho al K. En zonas de precipitación excesiva, se debe tener mucho cuidado por la posible lixiviación de estos tres nutrimentos (Lainez, 1962; Morelli *et al.*, 1971), hacia el interior del suelo o hacia las corrientes de agua.

Mehlich (1967) propone, en relación al equilibrio Ca+Mg/K, el valor mínimo de 10; valores mayores indican contenidos insuficientes de K. Asimismo, ámbitos entre 0,20 y 0,40 cmol(+)/L (en acetato de amonio) con relaciones mayores de 10, también son considerados deficientes para el K (Fassbender, 1972). En otro estudio, Briceño y Carvajal (1973) mencionan una respuesta al K cuando el ámbito va de 44-53 en dicha relación. Para el cociente Mg/K, con valores mayores de 3 o muy cercanos a éste, la respuesta fue negativa para K, en tanto que con valores mayores a 16 ó 18 hubo respuesta. Con la relación Ca/K a valores mayores de 26,6 se presentó respuesta y el valor óptimo fue de 6. Para el porcentaje de saturación de K, se han definido valores de 2,5-10, de los cuales 10 se considera óptimo. Para la relación Ca/Mg los valores están entre 3 y 5.

Fassbender (1972) señala que la disponibilidad de los elementos nutritivos depende de su actividad iónica, la actividad asociada a la fase sólida del suelo (capacidad) y la velocidad de reposición en la parte de intercambio (cinética); a la vez, ofrece las ventajas del uso de los potenciales de Schofield para describir las relaciones entre los elementos en la solución del suelo, como un medio de estimar la potencialidad nutricional. La disponibilidad de K, N, Ca, Mg, está muy ligada a las características del complejo coloidal del suelo. La mayoría de estos cationes está absorbida en el complejo de las arcillas, hidróxidos y materia orgánica y tiene equilibrio con la solución del suelo.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la validez de utilizar las relaciones entre las bases, como parámetro de referencia para determinar y corregir problemas de Mg en el suelo, y medir el efecto en el crecimiento vegetal que tiene el hecho de acentuar el desequilibrio por

adición de uno de los cationes predominantes (Ca o K), en un suelo con aparentes desequilibrios de Mg.

MATERIALES Y METODOS

Las pruebas de invernadero, mediciones y análisis de laboratorio se realizaron en las instalaciones del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

Se trabajó con un suelo de una finca cafetalera ubicada en Santo Domingo de Heredia (Cafetalera Tournon), previamente seleccionado a partir de un amplio muestreo efectuado sobre los cantones con más alta probabilidad de presentar desequilibrios de Mg en el país (Bertsch, 1986). En la prueba de invernadero se usó sorgo como planta indicadora.

Tratamientos y diseño experimental

Se evaluó:

- 1) 3 niveles de Mg correspondientes a 0 y la cantidad necesaria para variar el cociente Mg/K en un 100 y 200%.
- 2) 3 niveles de K correspondientes a 0 y la cantidad necesaria para disminuir el cociente Mg/K a 40 y 80% del original.
- 3) 3 niveles de Ca (0, 0,5 y 1,0 cmol(+)/L), correspondientes a 0, 0,5 y 1 t CaCO₃/ha.

Los cálculos y las dosis de Mg y K para modificar la relación Mg/K, positiva y negativamente, se presentan en el Cuadro 1.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en un arreglo factorial 3x3x3, así como análisis de regresión y correlación.

Metodología

Cada unidad consistió de una maceta con 400 ml de suelo en la que se sembró 10 semillas de sorgo, dejando finalmente 5 plantas por pote. Se realizó un análisis del suelo antes de la siembra (Cuadro 2) y se hicieron curvas de sorción para determinar posibles deficiencias de los demás elementos que no estaban siendo evaluados, de manera que no constituyeran una limitante. El riego se realizó por capilaridad y se hizo una fertilización básica con N y P a todos los tratamientos. A las 6 semanas se midió la altura de las plantas, el peso seco de raíces y de la parte aérea. Se realizaron análisis foliares y de suelo después de la cosecha (Díaz-Romeu y Hunter, 1978).

Cuadro 1. Cálculo de dosis de Mg y K para modificar la relación Mg/K.

		-80%	-40%	Mg/K 0	+100	+200
cmol (+) /L K original	1,20					
cmol (+) /L Mg original	0,52					
Mg/K original				2,31		
cmol (+)/L K aplicados		2,09	0,34			
Mg/K esperado		0,46	1,39		1,2	2,4
Mg/L K aplicados		815	133		4,62	6,93
Mg/L Mg aplicados					144	288
Kg/ha K aplicados		1630	266			
Kg/ha Mg aplicados					288	576

Para modificar la relación Mg/K un -40%:

Si 2,31 $\xrightarrow{100\%}$
 \times $\xrightarrow{40\%}$
 $x = 0,92$

Luego $2,31 - 0,92 = 1,39$ con un 40% de modificación
 Mg/K = 1,39 y Mg = 1,2 (constante en este tratamiento)
 $K = \frac{1,2}{1,39} = 0,86$ cmol (+) /L de K

Sin embargo en el suelo existe una cantidad de 0,52 cmol (+) /L de K.
 $K = 0,86 - 0,52 = 0,34$ cmol (+) /L de K que hay que aplicar.

Cuadro 2. Resultado del análisis químico de suelo.

pH Agua	Ac.Inter.	Ca cmol(+)/L	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn mg/L	Fe	S
5,4	2,0	7,8	1,2	0,52	156	18	4	9	500	107

RESULTADOS Y DISCUSION

Peso seco aéreo

Se encontraron diferencias altamente significativas en el peso seco aéreo debidas a las dosis de K y Mg utilizadas para modificar el cociente Mg/K. La Figura 1a muestra que el peso aéreo se mantuvo constante al modificar la relación a -40%, pero cuando se cambió la relación Mg/K en un -80%, ocurrió un efecto negativo y decreció la producción de peso seco. Esto puede deberse a que la aplicación tan grande de K que hubo que realizar para modificar el cociente, influyó sobre la absorción de los otros nutrimentos. Tendencias similares fueron encontradas por Henríquez *et al.*

(1989) los cuales encontraron que al disminuir la relación del cociente decrece el rendimiento.

Conforme se incrementó la relación Mg/K por aplicación de Mg, el rendimiento de materia seca disminuyó significativamente (Figura 1b). Lo anterior también se debió a las cantidades tan elevadas de Mg que se agregaron al suelo para corregir la relación Mg/K, que pudieron impedir la absorción de otros elementos. Henríquez *et al.* (1989), Bertsch *et al.* (1991) y Arguedas (1990) también encontraron una disminución en el peso seco conforme aumentaron los niveles de Mg.

Al agregar Ca al suelo, se observó un incremento significativo en el rendimiento de peso seco (Figura 1c). Esto pudo deberse a que el suelo

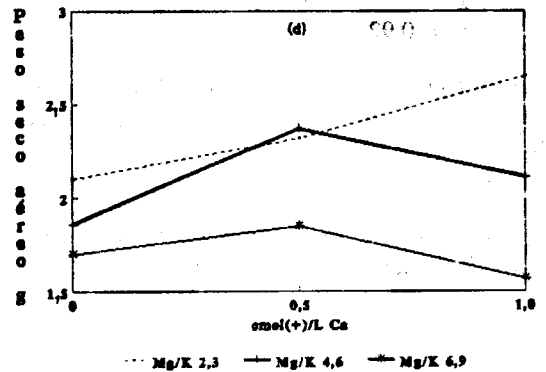
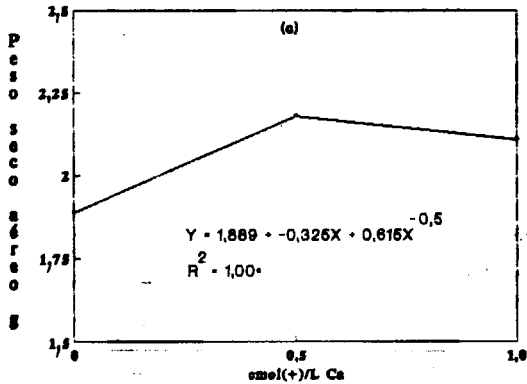
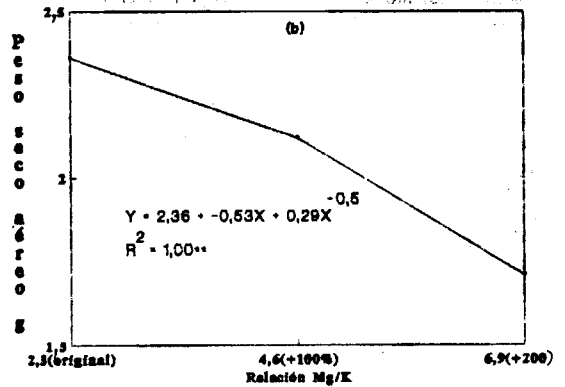
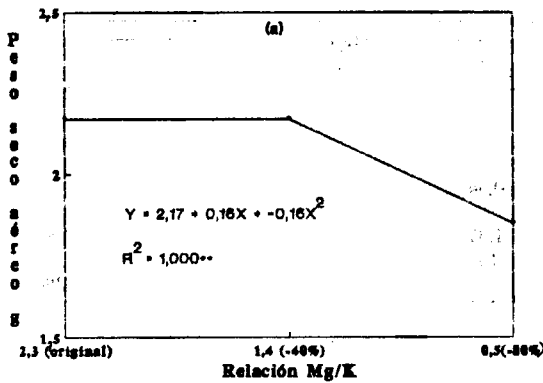


Fig. 1. Efecto de la modificación del cociente Mg/K (a y b), de la aplicación de Ca (c) y de la interacción Mg x (d), sobre el peso aéreo.

tenía un nivel medio de Ca y un nivel de 2,0 cmol(+)/L de acidez intercambiable. El cultivo respondió a la aplicación y el Ca(OH)₂ neutralizó parte del Al intercambiable.

La interacción Mg x Ca, afectó significativamente el peso seco aéreo (cuando no se aplicó K). La Figura 1d muestra como cuando se aplicó Mg además del Ca, los rendimientos aumentaron con la dosis de 0,5 cmol(+)/L de Ca (1/2 t CaCO₃/ha), pero disminuyeron al agregar 1,0 cmol(+)/L de Ca (1 t CaCO₃/ha). Se obtuvo una tendencia en rendimiento mayor cuando se varió la relación Mg/K +100% (288 kg Mg/ha) que cuando se modificó +200% (576 kg Mg/ha). Esta respuesta fue producto de la gran cantidad de Mg que se aplicó, que provocó una competencia con los otros nutrientes. Resultados similares han

sido reportados por otros autores (Arguedas, 1990; Henríquez *et al.*, 1989 y Bertsch, 1991).

Altura de planta

Se encontraron diferencias significativas en la altura de plantas cuando la relación Mg/K se disminuyó o se aumentó. En la Figura 2a se observa que cuando se modificó la relación en -40 y -80% disminuyó la altura de plantas con respecto al tratamiento sin K. También al variar la relación positivamente (+100 y 200%) provocó diferencias altamente significativas en la altura de las plantas. En la Figura 2b se nota el efecto negativo que tuvo el aumento del cociente en la altura de las plantas.

En ambos casos, el efecto negativo es producto de la alta aplicación que hubo que hacer del

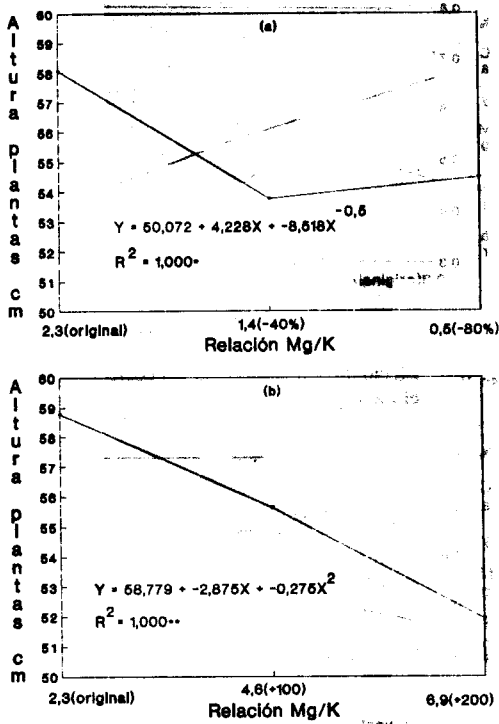


Fig. 2. Efecto de la modificación de la relación Mg/K sobre la altura de plantas.

elemento para alterar el valor de la relación Mg/K. Esto reafirma lo encontrado por Eckert y McLean (1981), Henríquez *et al.* (1989) y Arguedas (1990) del efecto negativo que tiene la corrección directa del cociente Mg/K en el suelo y la respuesta del cultivo, tanto cuando se adiciona K como cuando se corrigió el cociente aplicando Mg.

Peso seco de raíz

El peso seco de la raíz fue afectado significativamente por la interacción K x Mg x Ca. En la Figura 3a se observa que al adicionar 0,5 cmol(+)/L de Ca (1/2 t CaCO₃/ha), con la dosis 0 de K, disminuyó el peso seco de las raíces; el cual aumentó al agregar 1,0 cmol(+)/L de Ca (1 t CaCO₃/ha). Con respecto al Mg, se notó que el mayor peso seco de raíces, con la dosis 0 de Ca, se obtuvo al variar el cociente en +100% (288 kg/ha/Mg); sin embargo, cuando se agregó 1,0 cmol(+)/L de Ca, la máxima producción de raíces se produjo al variar simultáneamente el cociente en +200% (576 kg/ha/Mg).

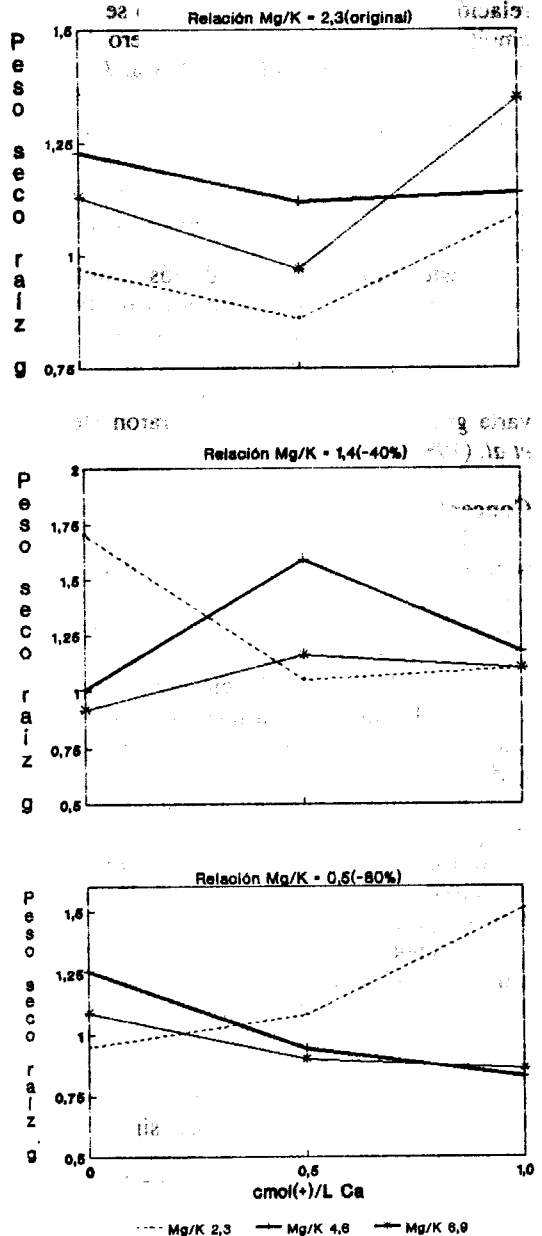


Fig. 3. Interacción K x Mg x Ca sobre el peso seco de raíz, al modificar el cociente Mg/K.

En la Figura 3b se presenta la interacción K x Mg x Ca, cuando se aplicó o cuando se modificó el cociente en -40% (K1) en todos los tratamientos. Se observó que con la dosis 0 de Ca, el peso seco de la raíz disminuyó al variar la

relación en +100 y +200%. Cuando se aplicó 0,5 cmol(+)/L de Ca el peso aumentó, pero disminuyó con la dosis de 1,0 cmol(+)/L de Ca. Al variar el cociente en -80% (Figura 3c), se encontró que al agregar Ca, hubo una tendencia a disminuir el peso seco de raíz cuando se cambió la relación en +100 y +200%. Lo contrario ocurrió al no agregar Mg, donde existió un incremento en el peso seco de raíz cuando se adicionó Ca.

Este comportamiento de los resultados de las interacciones se debió en gran medida a los antagonismos y sinergismos presentes entre los nutrientes estudiados, existiendo la tendencia a disminuir el rendimiento cuando el cociente se varía grandemente, como encontraron Henríquez *et al.* (1989) y Arguedas (1990).

Concentraciones foliares

El Ca y Mg foliar tuvieron una respuesta significativa y negativa cuando se disminuyó la relación Mg/K. Se observa (Figura 4) como los contenidos de Ca y Mg foliar disminuyen a medida que la relación se hace menor por aumento de la dosis de K. Esa tendencia obedeció en gran medida a la competencia que sobre los sitios de absorción se produjo entre el K con respecto al Ca y Mg (Carvajal, 1985).

El modificar la relación positivamente afectó significativamente el Ca foliar (Figura 5), de modo que éste último disminuyó cuando se incrementaron las dosis de Mg en el suelo. Igual tendencia reportó Arguedas (1990).

Se encontró una respuesta altamente significativa entre el Mg foliar y el aumento del cociente. Cuando se incrementó el Mg en el suelo la planta absorbió mayor cantidad, existiendo una correlación positiva y creciente (Figura 5). Arguedas (1990) observó un comportamiento similar, con una curva casi lineal sin tendencia a comportarse como cuadrática.

También el K foliar y las variaciones del cociente Mg/K (-40 y -80%) tuvieron una respuesta altamente significativa. La Figura 4 muestra como se incrementó el K foliar al aumentar la dosis de K en el suelo, pero estos aumentos no son proporcionales a la cantidad adicionada del elemento, como también lo comprobaron Henríquez *et al.* (1990) quienes encontraron que la absorción de K tuvo un efecto cuadrático con respecto al K disponible en el suelo, con un aumento casi lineal al principio de la curva que demuestra la relación directa que existe entre la

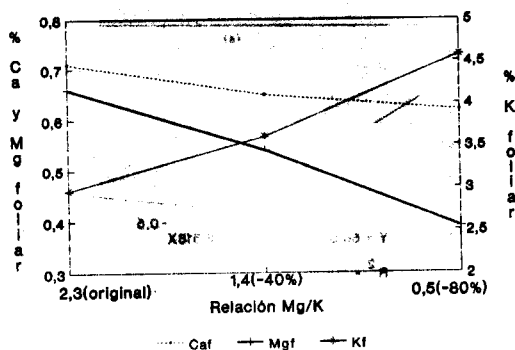


Fig. 4. Efecto de la modificación del cociente Mg/K sobre el Ca, Mg y K foliar.

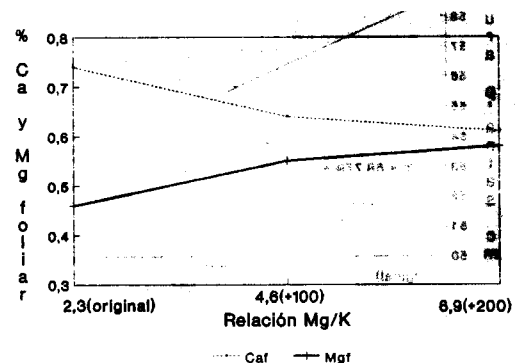


Fig. 5. Efecto de la modificación del cociente Mg/K sobre el Ca y el Mg foliar.

concentración iónica externa y la concentración foliar, y otra zona en la cual grandes aumentos de K disponible en el suelo no provocan cambios lineales en la concentración del elemento. Al respecto Carvajal (1985) señala que entre un 70 y 80% del K de la planta es absorbido por procesos de difusión, los cuales pueden bloquearse por la abundancia del ión en el medio y reducir el flujo.

Correlaciones

La relación Mg/K se elevó cuando se incrementó la dosis de Mg y disminuyó con dosis mayores de K, pero no influyó en el peso seco de la raíz ni de la parte aérea. El comportamiento de la relación Mg/K en el suelo y en la planta fue similar; valores mayores en el suelo concordaron con valores mayores en la planta. Esta alta correlación podría servir para detectar la relación a nivel foliar (que son datos más estables) y sería una forma de estimar el valor de la relación que debe existir en los suelos, después de haberla calibrado.

A nivel foliar se encontró que aumentos en el cociente Mg/K disminuyeron el K. Cuando se aumentó el Ca, el Mg se incrementó y no se afectó el K. A mayor cantidad de K disminuyó la concentración de Mg, mientras que no se afectó el Ca.

Al aumentar el Ca en el suelo, no se afectó el Ca foliar, pero disminuyó el Mg foliar y aumentó el K foliar. Aumento en la relación Mg/K en el suelo provocaron un aumento en el Mg foliar, el Ca foliar disminuyó y no se afectó el K foliar. Disminuciones de la relación en el suelo, aumentaron el K foliar pero disminuyeron el Ca y Mg foliar.

Los resultados indican que el uso de los cocientes como criterio fundamental para detectar problemas nutricionales de bases y calcular dosificaciones en los suelos, no garantiza el éxito y puede al contrario, reducir los rendimientos. Se demostró que para equilibrar los cocientes a niveles óptimos, se requiere aplicar grandes cantidades de Mg y K, muy superiores a las dosis comerciales. Para el K, por ejemplo, por ser denominador, provoca mayores cambios en el cociente, por lo tanto, fue necesario aplicar más de 1,5 t/ha de K, muy por encima de las dosis usadas comúnmente de K (100-250 kg/ha/Ca) para ocasionar una modificación. Por esta razón se recomienda continuar con el uso de los niveles críticos de cada elemento por separado, para realizar una buena interpretación del análisis de suelos. Lo anterior también lo ha encontrado la mayoría de los autores que han realizado experimentos tanto a nivel de invernadero como de campo con estos cocientes catiónicos (Eckert y McLean, 1981; Henríquez *et al.* 1989; Bertsch, 1991 y Arguedas, 1990).

RESUMEN

Se investigó en invernadero el efecto de modificar las relaciones entre bases sobre el peso seco foliar, peso seco de las raíces, altura de las plantas y la concentración del Ca, Mg y K foliar. La relación Mg/K se varió positivamente (+100% y +200%) adicionando Mg y negativamente (-80% y -40%) aplicando K al suelo. También se utilizó sorgo como planta indicadora.

El peso seco aéreo disminuyó al incrementar las aplicaciones de K y Mg al suelo y aumentó cuando se agregó Ca.

La interacción Mg x Ca obtuvo resultados significativos en peso seco. Cuando se aplicó Mg aumentó el rendimiento con la dosis de 0,5 t CaCO₃/ha y disminuyó con la dosis de 1 t CaCO₃/ha, siendo esta tendencia mayor en la dosis 1 (288 kg Mg/ha) que con la dosis 2 (576 kg/ha) de Mg.

La altura de plantas disminuyó con la dosis 1 y 2 de K (266 y 1630 kg de K/ha). El Mg provocó una disminución significativa en la altura de las plantas.

Hubo diferencias significativas en la interacción K x Mg x Ca sobre el peso seco de la raíz. Al adicionar Ca en la dosis 1 y sin aplicar K, disminuyó el peso seco de las raíces, pero aumentó con la dosis 2 de Ca. El Mg en esta interacción mostró su máxima producción de peso seco de raíces con la dosis 1 cuando no se aplicó Ca, pero cuando se adicionó la dosis 2 de Ca la máxima producción de raíces fue con la dosis 2 de Mg. La dosis 1 de K y 0 de Ca provocó una disminución en el peso seco de la raíz, cuando se agregó las dosis 1 y 2 de Mg; al emplear la dosis 1 de Ca aumentó el peso seco de las raíces pero disminuyó con la dosis 2.

Las aplicaciones de K al suelo disminuyeron significativamente el Ca foliar. Esta misma respuesta se observó cuando se agregó Mg al suelo. El Mg foliar se redujo significativamente al incrementar el K en el suelo, sin embargo, con el aumento del Mg en el suelo se produjo una respuesta positiva y creciente. El contenido de K en las hojas aumentó conforme se incrementó el contenido de K en el suelo.

LITERATURA CITADA

- ARGUEDAS, A. 1990. Respuesta al Mg en invernadero en siete suelos cafetaleros de Costa Rica con desequilibrios catiónicos. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnía. 106 p.
- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica, Oficina de Publicaciones. 76 p.
- BERTSCH, F. (1991). Respuesta del café a la modificación de los cocientes catiónicos en el suelo en dos zonas cafetaleras de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 15(1-2):
- BRICEÑO, J.A.; CARVAJAL, J. F. 1973. El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos en el suelo,

asociado con la respuesta del cafeto al potasio. Turrialba 23(1):56-71.

CARVAJAL, J.F. 1985. Potassium nutrition of coffee. In Potassium in Agriculture. Ed. by R.D. Munson. Madison, Wis., American Society of Agronomy. p. 955-975.

CORELLA, J.F. 1980. Respuesta del cafeto (*Coffea arabica* var. caturra) a la fertilización magnésica. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 68 p.

DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p.

ECKERT, D.J.; McLEAN, E.O. 1981. Basic cation saturation ratios as a basis for fertilizing and liming agronomic crops. I. Growth chamber studies. Agronomy Journal 73:795-798.

FASSBENDER, H.W. 1972. Equilibrios catiónicos y disponibilidad de potasio en suelos de América Central. Turrialba 22(4):388-397.

HENRIQUEZ, C.R.; BERTSCH, F.; CABALCETA, G. 1989. Respuesta a la variación de los cocientes catiónicos

en ocho suelos cafetaleros de Costa Rica con problemas de potasio. Agronomía Costarricense 13(2):211-218.

HENRIQUEZ, C.R.; BERTSCH, F.; CABALCETA, G. 1990. Efecto de la variación del potasio disponible en el suelo sobre la absorción de Ca, Mg y K y sus interacciones foliares. Agronomía Costarricense 14(2):223-230.

LAINEZ CASTRO, J. 1962. Relaciones entre los contenidos de cationes en el suelo y en las hojas de plantas de café deficientes en magnesio. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Programa Universidad de Costa Rica/IICA. 88 p.

MEHLICH, A. 1967. Coffee soils in Kenya and their characteristics in relation to the mineral nutrition of arabica coffee. Research Foundation. Kenya, Annual Report 1966-67. p. 5-17.

MORELLI, M.; IGUE, K.; FUENTES, R. 1971. Efecto del encalado en el complejo de cambio y movimiento de Ca y Mg. Turrialba 21(3):317-322.

PIÑERES, E. 1969. Efecto del encalado sobre el pH, las bases cambiables y el aluminio extraíble en seis suelos de Costa Rica. Tesis Lic. Quím. San José, Universidad de Costa Rica. Facultad de Química. 33 p.