

## RESPUESTA A LA VARIACION DE LOS COCIENTES CATIONICOS EN OCHO SUELOS CAFETALEROS DE COSTA RICA CON PROBLEMAS DE POTASIO<sup>1/\*</sup>

Carlos Henríquez \*\*  
Floria Bertsch \*\*  
Gilberto Cabalceta \*\*

### ABSTRACT

Response to the variation of cation ratios in eight Costa Rican coffee soils with problems in potassium availability. The validity of the "balance of bases" (expressed as Mg/K and Ca+Mg/K) as an effective criterium to estimate appropriate fertilizer doses, and to solve imbalances among bases, was tested. Eight different soils selected from different regions of Costa Rica were used. In these regions the probability of finding deficiencies in K and/or imbalances among predominant cations, was high. A greenhouse test, with tomato and sorghum as indicator plants, was conducted. The Mg/K ratio of each soil was modified by increasing it by 20, 40, 60 and 80% (with addition of K) and by decreasing the ratio by 10 and 20% (with the addition of Mg). The available K showed a logarithmic relationship with the Mg/K ratio; therefore, changes in available K (the denominator) caused greater variations in the absolute value of Mg/K than changes in the numerator (Mg). Potassium common crop doses modify Mg/K rate in 40%. A significant variation in available K among different samples was found, thus making the ratio Mg/K even more variable. The yield response to changes in Mg/K and Ca+Mg/K was not consistent with either of the two crops. In general, Mg/K modifications did not change the yield in more than 20%. It was not possible to establish strict Mg/K and Ca+Mg/K levels which modify yield, but values less than 23 and 100, respectively, are suggested as the acceptable "equilibrium". It is recommended that the Mg/K and Ca+Mg/K ratios be used mainly to identify extreme problems or imbalances in bases and not as criteria for the estimation of fertilizer rates.

### INTRODUCCION

Con frecuencia se señala que el "desequilibrio" o "desbalance" entre los cationes predomi-

nantes del suelo, Ca, Mg y K, es la causa de una absorción poco eficiente del K, por parte de las plantas, en muchos de los suelos de Costa Rica. Los estudios existentes, sin embargo, no suministran información que sea aplicable a las diferentes condiciones del país, especialmente en suelos tropicales no originados de cenizas volcánicas.

Muy ligado al concepto de porcentaje de saturación de bases, el balance entre bases (representado por los cocientes Ca/K, Ca/Mg, Ca+Mg/K y Mg/K), supone predecir bajo ciertos rangos, las cantidades más adecuadas de las bases relacionadas entre sí, que deben presentarse en los suelos para una buena nutrición (McLean, 1977).

1/ Recibido para publicación el 11 de octubre de 1989.

\* Parte de la tesis de Ingeniero Agronomo presentada por el primer autor a la Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. Proyecto financiado por el Instituto de la Potasa.

\*\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. La segunda autora es miembro del Programa de Apoyo Financiero a Investigadores Científicos del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT).

Varios autores opinan que estos cocientes constituyen un criterio importante de interpretación de las condiciones del complejo de intercambio (Fassbender, 1980; Briceño y Carvajal, 1973). Para Costa Rica, Briceño (1970), Briceño y Carvajal (1973) y Carvajal (1978), definieron los niveles óptimos para las relaciones Mg/K, Ca+Mg/K, Ca/K, por debajo de los cuales no se observó mayor respuesta al K (Cuadro 1).

Recientemente, se han identificado en Costa Rica zonas que han sido catalogadas como problemáticas con relación al elemento K, debido especialmente a niveles bajos de este elemento o a cantidades excesivas de Ca y Mg que provocan desequilibrios con respecto al K (Bertsch, 1986). Sin embargo, tales afirmaciones se fundamentan principalmente en la interpretación del análisis de suelo de esas zonas y no necesariamente tienen respaldo en resultados de cosecha o rendimiento.

Existe bastante evidencia que sugiere que el uso de las relaciones, como criterio de recomendación, no es una garantía de éxito y puede resultar más bien en una reducción en la cosecha, en aumentos en los costos de producción, o ambos (Bear y Toth, 1948; Foy y Barber, 1959; McLean y Carbonell, 1972; Liebhardt, 1981; Olson *et al.*, 1982; McLean *et al.*, 1983).

Debido a que en Costa Rica los estudios al respecto son escasos, se planteó este estudio con el objetivo de probar la validez del concepto "equilibrio entre bases", como un índice de referencia y de relevancia en términos de rendimiento, para determinar y corregir problemas de K en el suelo.

## MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con ocho suelos ubicados en los cantones de Hojancha, Nicoya, Turrialba, Siquirres, Turrubares y Coto Brus, que según análisis de suelo previos (Bertsch, 1986), poseen altas probabilidades de presentar problemas con K, ya

Cuadro 1. Valores de las relaciones catiónicas encontradas por Briceño y Carvajal (1973) para suelos de Costa Rica.

Relación	Ambito óptimo			Existe respuesta a K		
Mg/K	1	---	3	---	8	16,5 --- 18
Ca/K	2	---	6	---	17	26,5 --- 36
Ca+Mg/K	2,2	---	9	---	23,5	44,0 --- 53



Clave	Cantón	Ubicación	Altitud (mnm)	Precip. (mm)	Zona de vida	Text	Clasificación
1	Coto Brus 1	San Vito	1009	3000	bmh-p	Fa	Andept
2	Siquirres	Siquirres	100	3000	bmh-p	F	Tropept
3	Coto Brus 2	Sabalito	890	3500	bht	Fa	Andept
4	Hojancha	El Palmar	600	1500	bht	FAa	Tropept
5	Turrialba	Turrialba	602	4000	bmh-p	F	Tropept
6	Turrubares	Turrubares	250	2000	bmh-t	FAa	Tropept
7	Hojancha 2	San Gerardo	350	1500	bht	FAa	Tropept
8	Nicoya	Clarito	130	1500	bht	F	Tropept

Fig. 1. Ubicación, características y descripción de los sitios de muestreo.

sea por niveles bajos del elemento o por desequilibrios de éste con respecto a Ca y Mg (Figura 1).

Todos los sitios correspondieron a fincas con cafetales establecidos. Para el muestreo se definió una zona de 1 ha y se muestreó en forma representativa hasta recoger suficiente suelo para una prueba en invernadero.

Las muestras fueron procesadas de acuerdo a la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978).

Los tratamientos se establecieron con base en el cociente Mg/K encontrado en cada suelo. El valor de dicho índice se modificó en forma porcentual hacia arriba (+20%, +10%) aplicando Mg, y hacia abajo (-20%, -40%, -60%, -80%) aplicando K. Las cantidades de K y Mg adicionadas fueron diferentes para todos los suelos, ya que cada uno tenía un valor inicial de Mg/K diferente; sin embargo, los porcentajes de variación fueron constantes para todos los suelos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cálculo de las dosis de K y Mg para el ensayo en los ocho suelos muestreados.

	Tratamientos						
	4K -80%	3K -60%	2K -40%	1K -20%	0K	1Mg +10%	2Mg +20%
	Mg/K						
Coto Brus 1	0,5	0,9	1,4	1,8	2,3	2,5	2,7
Siquirres	1,6	3,2	4,9	6,5	8,1	8,9	9,7
Coto Brus 2	1,7	3,5	5,2	7,0	8,7	9,6	10,5
Hojancha 1	2,0	4,0	6,1	8,1	10,1	11,1	12,1
Turrialba	2,9	5,8	8,7	11,6	14,5	16,0	17,4
Turrubares	4,2	8,5	12,7	16,9	21,1	23,2	25,4
Hojancha 2	5,4	10,9	16,3	21,8	27,2	29,9	32,7
Nicoya	9,6	19,2	28,8	38,4	48,0	52,8	57,6
	cmol (+) K/L				cmol (+) Mg/L		
Coto Brus 1	1,40	0,52	0,23	0,09	0,08	0,16	
Siquirres	2,08	0,78	0,35	0,13	0,42	0,84	
Coto Brus 2	1,12	0,42	0,19	0,07	0,24	0,49	
Hojancha 1	4,16	1,56	0,69	0,26	1,05	2,10	
Turrialba	1,40	0,53	0,23	0,09	0,51	1,01	
Turrubares	2,16	0,81	0,36	0,13	1,14	2,28	
Hojancha 2	1,88	0,71	0,31	0,12	1,28	2,56	
Nicoya	0,92	0,35	0,15	0,06	1,10	2,21	
	kg K/ha				kg Mg/ha		
Coto Brus 1	1089	408	181	68	20	39	
Siquirres	1621	608	270	101	102	203	
Coto Brus 2	874	328	146	55	58	117	
Hojancha 1	3243	1216	540	202	253	505	
Turrialba	1092	410	182	68	122	243	
Turrubares	1685	632	281	105	274	548	
Hojancha 2	1467	550	244	92	207	614	
Nicoya	718	269	120	45	265	530	

\* Valores convertidos de cmol (+)/kg a cmol (+)/L utilizando densidad en invernadero.

Para cada uno de los 8 suelos se estableció un diseño de bloques completos al azar con 7 tratamientos y 4 repeticiones; cada unidad experimental consistió de una maceta de 400 ml de volumen y 8 plantas.

A todos los tratamientos, excepto al testigo, se les aplicó una fertilización de N y P, de acuerdo a la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978). Como plantas indicadoras se utilizó tomate, en un primer ciclo de 50 días, y sorgo en una segunda siembra, con otro período de crecimiento de 50 días. En ambos casos, se evaluó el peso seco como componente de rendimiento.

Se realizaron análisis de varianza para peso seco en ambas cosechas y se hicieron correlacio-

nes y regresiones entre las variables peso seco, Mg/K y K disponible.

Los cálculos de rendimiento relativo, (peso seco del tratamiento/peso seco máximo)x100, se realizaron independientemente para cada suelo, considerando únicamente las medias de los 5 tratamientos en los que se aplicó K.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Como se puede observar en el Cuadro 2, los suelos y dosis utilizadas permitieron evaluar un rango del cociente Mg/K que osciló desde menos de 1 hasta más de 50. Aunque los valores reales

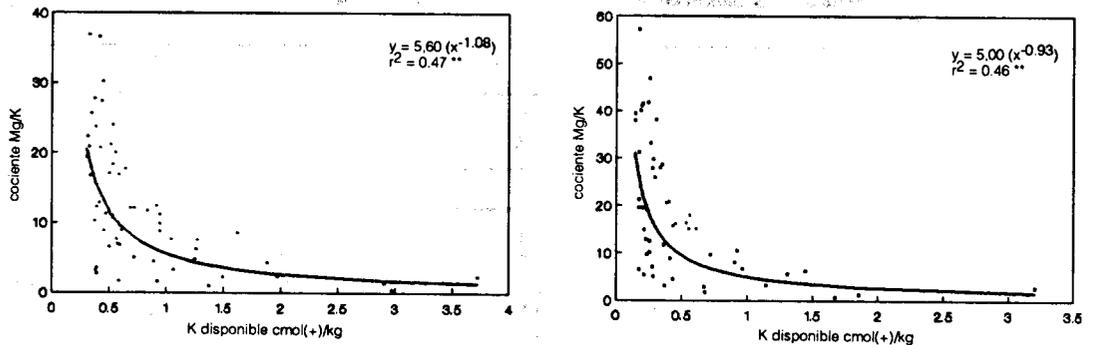


Fig. 2. Relación entre el K disponible y el cociente Mg/K en dos épocas de muestreo.

del cociente Mg/K que se obtuvieron después de aplicar los tratamientos no llegaron a ser exactamente iguales a los esperados, la tendencia que se logró fue bastante aproximada.

Para conseguir dicha gama de cocientes fue necesario realizar adiciones de K o Mg muy superiores a las dosis comerciales. Nótese en el Cuadro 2 que para lograr un 80% de disminución del cociente en la mayoría de los suelos, fue necesario aplicar más de 1 t/ha de K como elemento puro. En términos generales, se puede concluir que las dosis comerciales de K comúnmente usadas (100-250 kg K/ha, 120-300 kg  $K_2O$ /ha) difícilmente modifican el cociente Mg/K en más de un 40%.

### Relación entre el K disponible y el cociente Mg/K

Se encontró que el K disponible en el suelo guarda una relación logarítmica con el cociente Mg/K (Figura 2). Los resultados sugieren que cuando el K en el suelo es mayor a 1 cmol(+)/kg, no se espera encontrar valores de Mg/K mayores a 10; para que ello ocurra, el suelo debería poseer valores de Mg mayores o iguales a 10 cmol(+)/kg, situación poco frecuente en la gran mayoría de los suelos de Costa Rica.

Por otro lado, variaciones en el denominador cuando éste es menor que 1, provocarán variaciones más significativas que las que ocasionaría el numerador en el valor final del cociente, por lo que el K tiene un efecto más grande que el Mg en las variaciones que el cociente Mg/K puede sufrir.

Al mismo tiempo, el K disponible mostró una variación significativa de su valor a través de

Cuadro 3. Variación en los contenidos de bases en el suelo a través de cuatro muestreos, en el tratamiento testigo.

Suelos	Bases	cmol(+)/kg		
		MPS	MIS	MFS*
Coto Brus 1	Ca	5,6	6,0	7,0
	Mg	0,6	1,0	1,4
	K	0,27	0,38	0,25
Siquirres	Ca	9,3	11,6	11,3
	Mg	2,6	4,3	3,9
	K	0,30	0,38	0,17
Coto Brus 2	Ca	10,8	7,9	7,0
	Mg	2,1	3,2	2,2
	K	0,24	0,52	0,25
Hojancha 1	Ca	18,2	17,2	15,5
	Mg	7,2	7,7	7,5
	K	0,71	0,90	0,56
Turrialba	Ca	8,9	11,4	13,3
	Mg	3,4	5,3	4,7
	K	0,23	0,32	0,17
Turubares	Ca	18,0	21,1	20,2
	Mg	7,2	10,8	8,9
	K	0,31	0,44	0,30
Hojancha 2	Ca	24,5	27,8	23,3
	Mg	8,4	9,5	8,9
	K	0,31	0,53	0,31
Nicoya	Ca	32,2	11,5	31,2
	Mg	7,7	8,0	7,8
	K	0,16	0,32	0,21

\*Las disminuciones aquí observadas son debidas principalmente a la absorción de la planta indicadora en la primera cosecha.

MPS= Muestreo preliminar de suelos  
MIS= Muestreo intermedio de suelos  
MFS= Muestreo final de suelos

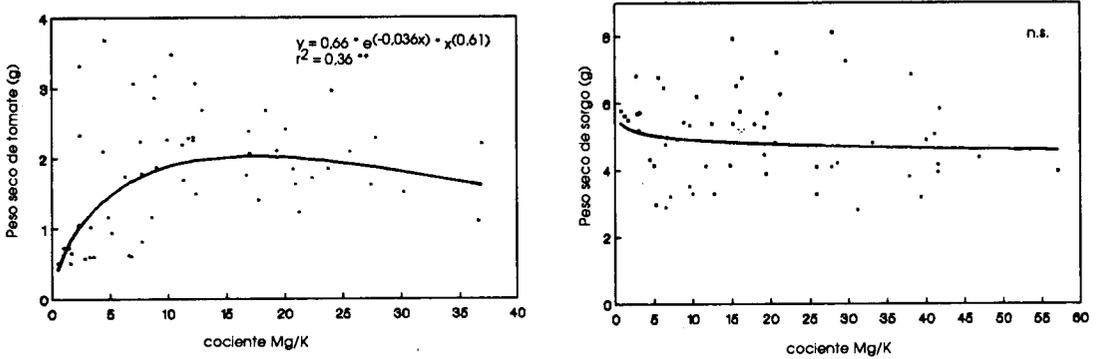


Fig. 3. Relación entre el rendimiento promedio del tomate y del sorgo con el cociente Mg/K para ocho suelos.

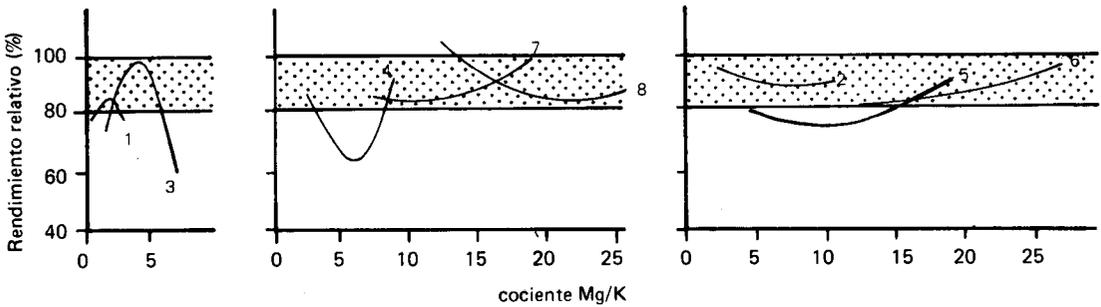


Fig. 4. Variaciones del rendimiento relativo de cada suelo ocasionadas por los cambios en el cociente Mg/K. El número permite ubicar cada suelo en el mapa de la Figura 1.

varios muestreos (Cuadro 3), lo que convierte a los cocientes o relaciones, en índices igualmente variables y por lo tanto, menos confiables que los mismos valores absolutos para caracterizar en forma definitiva un suelo.

#### Relación entre el cociente Mg/K y la respuesta de la planta indicadora

Los rendimientos en los 8 suelos (peso seco de tomate y sorgo) respondieron a los cambios observados en el Mg/K en el suelo, de acuerdo a la Figura 3. La curva de mejor ajuste ( $r^2=0,36$ ) para la primera cosecha (tomate), presentó tres etapas: una de visible aumento en rendimiento que se mantuvo hasta un valor de Mg/K de aproximadamente 10; otra, arriba de este valor, en la que no hubo cambios significativos en rendimiento hasta alcanzar un valor aproximado de 20; y una tercera, a partir de este valor, en la que se observaron disminuciones en rendimiento (Figura 3a). En la se-

gunda cosecha no se encontró una asociación significativa entre el cociente Mg/K y el peso seco, sin embargo, como se observa en la Figura 3b, el mayor porcentaje de muestras con rendimientos comparativamente altos, se encuentra a valores de Mg/K menores de 20.

Los resultados obtenidos no concuerdan con lo señalado por Rosolen (1984), Hossner y Doil (1970) y McLean *et al.* (1983), quienes no encontraron respuesta significativa cuando el valor de Mg/K fue mayor de 0,6 ó 0,8 y sólo observaron marcadas disminuciones en rendimiento si los valores del cociente eran más pequeños que los planteados. De hecho, Hossner y Doil (1970) mencionan que el cociente Mg/K podría ser un mejor estimador para Mg que para K.

En términos de rendimiento relativo (Figura 4) es importante notar que para la mayoría de los suelos, las variaciones ocasionadas por cualquier modificación del cociente no alteraron el rendi-

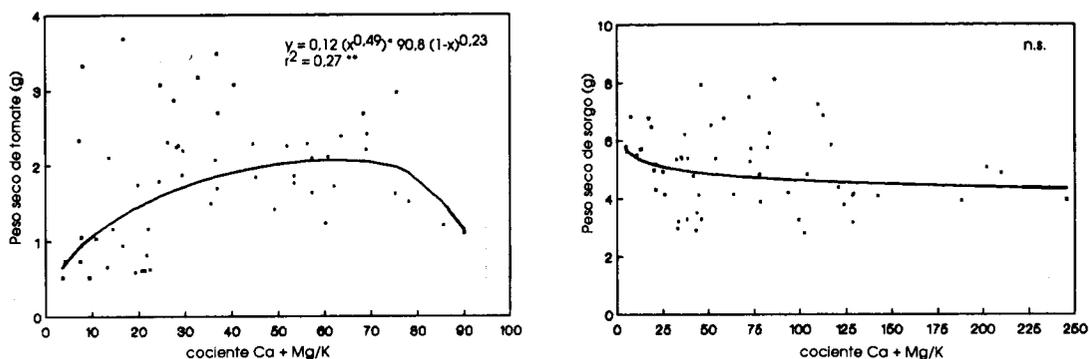


Fig. 5. Rendimiento promedio del tomate y de sorgo con relación al cociente Ca+Mg/K para los ocho suelos

miento en más de un 20%. Analizadas individualmente las respuestas de cada suelo a la disminución del cociente, se comprobó el poco éxito que se obtiene sobre el rendimiento al establecer recomendaciones de dosificación de K con base en ese criterio.

#### Relación entre el cociente Ca+Mg/K y la respuesta de la planta indicadora

Con respecto al cociente Ca+Mg/K, el comportamiento en rendimiento tuvo una gran variación entre las dos cosechas. En la Figura 5 se observa que en la primera cosecha los rendimientos más altos y sin cambios significativos entre sí se dieron dentro de un rango de 55 a 75, mientras que en la segunda cosecha, la correlación no fue significativa entre los índices evaluados, y los mejores rendimientos se encontraron a valores menores de 100 para este cociente.

De los resultados obtenidos se sugiere que el uso principal de los cocientes debe ser enfocado a identificar suelos con problemas extremos entre bases y no para motivar una metodología de recomendación que implique deducir dosis de fertilizantes a partir de estos índices.

Al mismo tiempo, es importante realizar investigación sobre el grado de variación estacional que presenta el K disponible en el suelo en condiciones de campo a través del año y los factores que la afectan, en especial, la mineralogía dominante, el grado de hidratación de las micelas del suelo y las cantidades de K disponible a mediano plazo.

#### RESUMEN

Se realizó un estudio para probar la validez del concepto "equilibrio entre bases", expresado a través de los cocientes Mg/K y Ca+Mg/K, como un criterio eficaz para tomar decisiones de fertilización y resolver problemas entre bases. Se eligieron ocho suelos de diferentes zonas de Costa Rica, que tenían altas probabilidades de presentar problemas con K debido a niveles bajos del elemento o por desequilibrios entre los cationes predominantes.

Para cada uno se realizó una prueba en invernadero con dos cosechas, utilizando tomate y sorgo como plantas indicadoras. Se aplicaron tratamientos que modificaron el valor de cociente Mg/K hacia abajo, en un 20, 40, 60 y 80% mediante adiciones de K, y en un 10 y 20% hacia arriba, por medio de aplicaciones de Mg.

Se encontró que el K disponible guarda una relación logarítmica con el cociente Mg/K, y que por esta razón las variaciones en el K disponible (denominador) provocan mayores variaciones en el valor del cociente Mg/K, que las que causan los cambios en el numerador (Mg). Dosis de K comúnmente usadas en cultivos, modifican el cociente Mg/K en un 40% a lo sumo.

Se observó una variación significativa del K disponible a través de varios muestreos lo que convierte al cociente Mg/K en un índice aún más variable, y por lo tanto menos confiable que el mismo K disponible.

La respuesta en rendimiento a las variaciones de Mg/K y de Ca+Mg/K, no fue constante ni con-

sistente a través de las dos cosechas y en general las modificaciones del cociente Mg/K no ocasionaron cambios mayores a un 20% del rendimiento. No fue posible establecer niveles estrictos para estos cocientes a partir de los cuales se mejorara el rendimiento aunque se sugieren valores menores de 20 y de 100, en los cocientes Mg/K y Ca+Mg/K, respectivamente, para obtener un aceptable "equilibrio".

Se recomienda que el uso principal de los cocientes, debe ser para identificar problemas extremos entre bases, y no como una metodología para calcular dosis de fertilización.

### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Potash and Phosphate Institute a través del Dr. A. Ludwick, sin cuyo aporte económico hubiese sido imposible la realización de este proyecto.

### LITERATURA CITADA

- BEAR, F.E.; TOTH, S. J. 1948. Influence of Ca on availability of other soil cation. *Soil Science* 65:69-74.
- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. 76 p.
- BRICEÑO, J.A. 1970. Equilibrio del potasio en algunos suelos cafetaleros de Costa Rica. Tesis Lic. Quim. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias. 71 p.
- BRICEÑO, J.A.; CARVAJAL, J.F. 1973. El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos en el suelo, asociado con la respuesta del café al potasio. *Turrialba* 23(1):56-71.
- CARVAJAL, J.F. 1978. El diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos. *Agronomía Costarricense* 2(2):175-183.
- DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 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. 1980. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. San José, IICA. 398 p.
- FOY, C.P.; BARBER, S.A. 1958. Magnesium deficiency and corn yield on two acid Indiana soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 22:145-148.
- HOSSNER, L.R.; DOIL, E.C. 1970. Magnesium fertilization of potatoes as related to liming and potassium. *Soil Science Society of America Proceedings* 43:772-774.
- LIEBHARDT, W.C. 1981. The basic cation saturation ratio concept and lime and potassium recommendations on Delaware's Coastal plain soil. *Soil Science Society of America Journal* 45:544-549.
- McLEAN, E.O.; CARBONELL, M.D. 1972. Calcium, magnesium and potassium saturation ratios in two soils and their effects upon yields and nutrient contents of German millet and alfalfa. *Soil Science Society of America Proceedings* 36:927-930.
- McLEAN, E.O.; ADAMS, J.L.; HARTWIG, R.C. 1982. Improved corrective fertilizer recommendations based on a two-step alternative usage of soil test: II. Recovery of soil-equilibrated potassium. *Soil Science Society of America Journal* 46:1198-1201.
- McLEAN, E.O. 1977. Contrasting concepts in soil test interpretation: sufficiency levels of available nutrients versus basic cation saturation ratios. In *Soil Testing: correlating and interpreting the analytical results*. Ed. by T.R. Peck. Madison, Wis., ASA. p. 39-24. (Spec. Publ. no. 29)
- McLEAN, E.O. et al. 1983. Basic cation saturation ratios as a basis for fertilizing and liming agronomic crops. II. Field studies. *Agronomy Journal* 25:635-639.
- OLSON, R.A. *et al.* 1982. Economic and agronomic impacts of varied philosophies of soil testing. *Agronomy Journal* 74:492-499.
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R.; BINHOLI, O. 1984. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. *Pesq. Agropec. Brasi.* 19(12):1443-1448.