

COMPORTAMIENTO DE Ca, Mg Y K EN RESPUESTA A LA APLICACION DE FERTILIZANTE POTASICO Y DE CAL DOLOMITICA EN UN ANDISOL DE LA ZONA SUR DE COSTA RICA¹

Carlos Henríquez ²/*, Floria Bertsch*

RESUMEN

Con el objetivo de estudiar el estado y el comportamiento de Ca, Mg y K tanto en el suelo como en la planta, así como sus posibles interrelaciones, se sembró un ensayo sobre un Typic Hapludand de baja fertilidad, ubicado en el cantón de Coto Brus, zona sur de Costa Rica, a 1000 msnm y con 3800 mm de precipitación al año. Se utilizaron 2 ciclos sucesivos y alternos de maíz (cv. Tico V-7) y de frijol (cv. Talamanca) (4 cosechas) durante los 2 años que duró el estudio. Previo al experimento, la vegetación nativa fue quemada y el suelo fue encalado 22 días antes de la primera siembra, a razón de 0.85 t de dolomita/ha; la dosis de K fue de 120 kg de K₂O/ha, la cual se aplicó sólo al maíz, en 3 formas diferentes: a la siembra, en 2 aplicaciones (a la siembra y a los 21 días) y en 3 aplicaciones (a la siembra, a los 21 y 42 días), junto con un testigo con cero K. Se determinaron las cantidades de Ca, Mg y K disponibles en el suelo, además de las absorbidas por la planta al final de cada ciclo de cultivo, para un total de 4 muestreos. Se realizaron regresiones entre las diversas variables o índices relacionados a estos 3 nutrientes. Contrario al tradicional efecto antagónico que se presenta comúnmente entre el K en relación al Ca y Mg, se encontró una relación sinérgica entre la cantidad de K con las de Ca y Mg absorbidas. Al ser un suelo deficiente en K, los cultivos respondieron a su aplicación, lo que provocó un aumento proporcional de biomasa y por ende, en las cantidades de Ca y Mg absorbidas por los cultivos. Las modificaciones sufridas en el índice K/Ca+Mg, el cual fue calculado a partir de las cantidades absorbidas de estos elementos, fueron debidas principalmente a la fertilización

ABSTRACT

Behavior of Ca, Mg and K under potassic fertilizer and dolomitic liming in a Costa Rican Andisol. An experiment was established in a low fertility Typic Hapludand in Coto Brus, at the southern zone of Costa Rica, at 1000 masl and with 3800 mm of rain per year; the main goal was to study the condition and behavior of Ca, Mg and K in soil and plant, as well as the possible relationships between them. Two successive and alternate cycles of maize (cv. Tico V-7) and bean (cv. Talamanca) were used during the two study years. Before planting the experiment, the native vegetation was burnt and the soil was limed 22 days before the first sowing, with 0.85 dolomite ton/ha. The K dosage was 120 kg K₂O kg/ha, applied to maize alone, either all at planting time, split at planting and 21 days afterwards, or split at planting, 21 and 42 days afterwards; all these compared to a zero-K check. The amount of Ca, Mg and K available in the soil and absorbed by the plant at the end of each crop cycle was determined to complete four samplings. Regressions were calculated between the different variables or indexes related to these 3 elements. A synergistic relationship was found between the amount of K and that of Ca and Mg absorbed, this due to the K deficient soil, because the crops responded to its application with a proportional biomass increase, hence a Ca and Mg absorption increase. The modifications suffered in the K/Ca+Mg index were due mainly to the potassic fertilization, and not so much to the Ca and Mg applications; this index was little sen-

1/ Recibido para publicación el 13 de noviembre de 1996.

2/ Autor para correspondencia. e mail: carlosh@cariari.ucr.ac.cr

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica.

potásica, más que a la aplicación de Ca y Mg; se encontró que en un ámbito de 0.75 a 1.05 aproximadamente, este índice fue poco sensible para proyectar el efecto en el rendimiento relativo. La enmienda aplicada al suelo afectó principalmente las formas disponibles de Mg, en tanto que las de Ca fueron poco afectadas, debido principalmente a la baja dosis empleada y a la fuente utilizada (dolomítica) como enmienda.

INTRODUCCION

El potasio es un elemento ampliamente estudiado debido a su importancia fisiológica para las plantas. Como se sabe, las cantidades absorbidas son comparables, y en algunos casos superan a las del nitrógeno, lo que evidencia la importancia de su papel en el desarrollo y crecimiento de los cultivos (Coic y Lesaint 1971, Ali y Haque 1994).

Las prácticas de manejo tales como la fertilización, la reincorporación de residuos de cosecha, la aplicación de enmiendas y otras prácticas de cultivo, tienen efecto sobre el comportamiento del K no sólo en el suelo sino también en la planta (Ritchey 1979). La aplicación de fertilizantes en forma fraccionada, es una práctica usual para N pero poco común en el caso de K y por tal razón, ha sido poco estudiada. Bajo algunas condiciones tales como alta precipitación, suelos muy friables y baja cantidad de K disponible, esta práctica podría ser tomada en cuenta (Tandon y Sekhon 1988).

Aplicaciones crecientes de K en el suelo se reflejan, en la mayoría de las condiciones, en una mayor absorción por la planta, sin embargo, este comportamiento no siempre va acompañado de aumentos en el rendimiento. En algunos casos se ha observado un decrecimiento en peso seco por efecto de la aplicación de K, lo que demuestra un comportamiento ubicado entre límites bien definidos, condicionados por el estado del K en el suelo y su relación con otros nutrimentos (Henríquez et al. 1990).

Se sabe que la toma de K por las plantas y su posterior acumulación en los tejidos vegetales, es una función directa de la concentración en la solución del suelo así como de la interrelación

sitive in a range approximately from 0.75 to 1.05, to diagnose relative effect on yield. The amendment applied to the soil affected mainly the available Mg forms, while the available Ca forms were little affected, due mainly to the dosage and source used.

con la absorción de Ca y Mg (Novozamsky y Houba 1987, Bandyopadhyay y Goswami 1988). Coic y Lesaint (1971) añaden que la acumulación de los elementos en la planta, depende de los procesos de absorción a nivel radical, translocación y su posterior acumulación en los tejidos. De esta forma se espera que los factores que modifiquen el estado del K en el suelo, modificarán el comportamiento global del mismo dentro de los sistemas agrícolas.

El K mantiene interacciones con otros elementos tales como N, Ca, Mg, Na, Al y Zn principalmente; se define como interacción a toda aquella acción o influencia mutua o recíproca de uno o más iones sobre la función fisiológica de otro ión. Estas interacciones pueden ser definidas como sinérgicas o antagónicas. En particular la interacción de K con Ca, Mg la cual ha sido descrita en la mayoría de los casos como antagónica, ha sido estudiada tanto a nivel de suelo como a nivel de planta (Usherwood 1978, Ologunde y Sorensen 1982, Dibb y Thompson 1985). Usherwood (1982), menciona que la interacción K/Ca aparece en suelos deficientes en ambos nutrimentos y que al realizar una enmienda al suelo, se ve afectada. En este sentido la aplicación de enmiendas al suelo podría tener un efecto negativo sobre la absorción de K, en dependencia directa del estado del mismo en el suelo. Pese a lo anterior, Mengel y Kirby (1980) opinan que aunque la absorción de los otros cationes se ve reducida al aplicar un catión en particular, la suma total de todos ellos en la planta permanece constante.

De acuerdo a Schalsha y colaboradores (1975) las reacciones de intercambio catiónico en suelos derivados de cenizas volcánicas (en especial la interrelación que se establece entre

ellos), son poco comprendidas, si se compara con el conocimiento en suelos originados de otros materiales parentales.

Por otro lado, hay datos que demuestran que cuando el K es aplicado a los cultivos, el contenido de Mg en los tejidos de la planta, disminuye (Omar y El-Kobia 1966, Ologunde y Sorensen 1982, Usherwood 1982). De esta forma la fertilización con Mg en forma complementaria, podría evitar interacciones potenciales con éste, que provoquen deficiencias de Mg en los tejidos.

Bandyopadhyay y Goswami (1988), Tanaka (1980) y Sparks (1987) mencionan que la aplicación de Ca y Mg aumenta la concentración de K en la solución del suelo debido principalmente al reemplazo en los sitios de intercambio a nivel coloidal. Schalscha y colaboradores (1975) encontraron que para suelos volcánicos, si bien aumentos en el pH del suelo provocaron un aumento en la CIC, no se observaron aumentos en el K intercambiable del suelo; asimismo la afinidad de las arcillas con el K fue relativamente baja.

En Ultisoles y Oxisoles, el encalado en cantidades razonables podría reducir el potencial de pérdida de K por lixiviación, al aumentar la CIC y por lo tanto la capacidad de adsorción de las arcillas de carga variable (Ritchey 1979, Ritchey et al. 1979). Lo anterior sugiere que las prácticas agronómicas y sus posteriores consecuencias deben ser analizadas en forma particular tomando en cuenta las condiciones dominantes de clima, mineralogía del suelo y tipo de cultivo que se esté utilizando (Uribe y Cox 1988).

En general los trabajos de interacciones entre las bases del suelo (Ca, Mg y K), han desarrollado un mejor entendimiento de la naturaleza compleja de las relaciones entre los cationes y la importancia del balance de los nutrientes en la producción de los cultivos. Este tipo de estudios han sido realizados a través de diferentes técnicas como rendimiento, calidad de cultivos, análisis de suelos y plantas, pero pese a esto, su interpretación ha sido a veces dificultosa, debido al efecto de otros factores tales como estrés hídrico, aplicación de otros nutrimentos, etc. (Usherwood, 1982).

El objetivo de este trabajo fue evaluar las posibles interacciones que se establecen tanto a nivel foliar como de suelo, entre el K y el Ca y Mg, debido a la implementación de prácticas agrícolas tales como el encalado y la fertilización potásica en un suelo volcánico de la región sur de Costa Rica.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación

El ensayo fue sembrado en la localidad de La Libertad, cantón de Coto Brus, en la región sur de Costa Rica. El lugar está ubicado a 1000 msnm y tiene una precipitación promedio de 3800 mm al año. El suelo fue clasificado como un Typic Hapludand, originado de cenizas volcánicas del Volcán Barú (Panamá), las cuales fueron depositadas sobre un material de roca volcánica bastante meteorizado de color pardo (López 1978).

Unidad experimental y material vegetal utilizado

Se utilizaron parcelas de 12 m², dispuestas en un diseño factorial (4 x 2) en Bloques Completos al Azar con 3 repeticiones. Se sembraron 2 ciclos sucesivos y alternos de maíz (cv. Tico V-7) y frijol (cv. Talamanca) por un período de 2 años, para un total de 4 cosechas.

Tratamientos

La dosis de K utilizada fue de 120 kg de K₂O/ha, calculada de acuerdo a los requerimientos del cultivo inicial (maíz). Los tratamientos consistieron en la aplicación de esta dosis en 3 formas: toda a la siembra (K-1); en 2 aplicaciones (K-2) a la siembra y 21 días después y en 3 aplicaciones (K-3), a la siembra y a los 21 y 42 días; también se incluyó un tratamiento sin K (K-0). El K fue aplicado siempre al maíz, por lo que el frijol no recibió fertilización potásica. Se utilizó para todos los ciclos de cultivo una fertilización base de 100 y de 150 kg/ha de N para el maíz y frijol, respectivamente, y de 180 kg de P₂O₅/ha para cada uno de los cultivos.

Otro tratamiento evaluado fue la aplicación de enmienda al suelo. Para ello se utilizó dolomita a una dosis de 0.85 t/ha, cantidad comúnmente usada para Andisoles en la zona de estudio. El material utilizado tenía 16.4% de Ca y 10.1% de Mg. La enmienda fue aplicada únicamente al inicio del experimento y 22 días antes de la siembra del primer ciclo de cultivo.

Análisis de suelos y tejidos vegetales

Las muestras de suelo fueron analizadas de acuerdo con la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978). El K fue extraído con la solución acetato de amonio 1M (pH 7); el Ca y Mg fueron extraídos con solución KCl 1M y determinados todos por absorción atómica.

Las muestras de tejido vegetal fueron analizadas de acuerdo con la metodología propuesta por Briceño y Pacheco (1984), a través de una digestión húmeda utilizando mezcla nítrico-perclórica en relación 5:1; las bases fueron determinadas por absorción atómica.

Estimación de la absorción de nutrimentos

Se estimó la absorción de nutrimentos como una herramienta comparativa entre los tratamientos, sin que fuera el objetivo de esta determinación saber en forma exacta y precisa las cantidades de K removidas por los cultivos ya que no se cuantificó la cantidad exportada en la cosecha.

Para cuantificar este valor se tomaron muestras de la biomasa aérea de plantas dentro de cada parcela, las cuales fueron secadas, molidas y analizadas para el total de sus elementos. Este muestreo se llevó a cabo al final del cada ciclo para evaluar absorción del elemento luego de la cosecha, por lo que no representa en forma absoluta la cantidad de elementos removidos por los cultivos.

Análisis de regresión de las variables utilizadas

Para este estudio se utilizaron datos de 4 muestreos de suelos y de planta, realizados inme-

diatamente después de la cosecha de cada uno de los cultivos. También se utilizaron los datos de rendimiento de grano seco al sol, obtenidos de 4 ciclos de cosecha de maíz y frijol, realizados durante los 2 años en forma alterna.

Se llevaron a cabo análisis de regresiones entre las diferentes variables en forma global para encontrar algún tipo de comportamiento o tendencia entre ellas, luego de lo cual se escogieron los modelos matemáticos con un mayor R^2 entre los modelos calculados.

Las variables de planta utilizadas fueron: % de Rendimiento relativo valor absoluto de K absorbido (kg/ha), cociente K/Ca+Mg de absorción foliar y contenidos de Ca, Mg y K foliar.

Las variables de suelos analizadas fueron: K intercambiable (cmol(+)/kg extraído con acetato de amonio 1M pH 7) y Ca+Mg intercambiables (cmol(+)/kg extraídos con KCl 1M).

RESULTADOS Y DISCUSION

Estado de Ca, Mg y K en el suelo

Con relación al estado de las bases en el suelo previamente al inicio del experimento (Cuadro 1), estos elementos mostraron un estado de deficiencia, lo que concuerda con estudios realizados anteriormente por otros autores con suelos de la zona (Bertsch et al. 1984, Molina et al. 1986). Esta condición varió significativamente luego de la quema de la vegetación existente, realizada previo al inicio del experimento, aspecto que ya fue discutido en otro artículo sobre este mismo estudio (Henríquez y Bertsch 1994).

Pese a este evidente enriquecimiento de los nutrimentos en el suelo, en particular de Ca, Mg y

Cuadro 1. Análisis de suelo del lugar del ensayo antes y después de efectuada la quema en un Typic Hapludand. Coto Brus, Costa Rica.

	Ca	Mg	K** cmol(+)/kg	Acidez	pH	P	Cu	Fe mg/L	Mn	Zn
Antes de la quema (diciembre-1990)	1.7	0.8	0.14	0.6	5.3	3	19	123	11	1
Después de la quema (mayo 1991)										
Bloque I	3.8	1.4	0.29	0.3	5.5	12	10	111	6	2
Bloque II	2.8	1.3	0.23	0.3	5.7	6	11	58	4	1
Bloque III	3.3	1.2	0.25	0.3	5.8	6	10	76	3	1

** Los datos de K corresponden a la extracción con acetato de amonio (pH 7) en cmol(+)/L.

K, el Ca no alcanzó el nivel de 4 cmol(+)/L que se considera como nivel crítico. El Mg y K sí lograron sobrepasar el nivel crítico correspondiente a cada uno (1 y 0.2 cmol(+)/L, respectivamente); la acidez disminuyó en un 50%, al tiempo que se observa un aumento promedio de 0.5 de unidad de pH entre los 2 muestreos, comportamiento que ha sido ampliamente documentado por otros autores ante una quema (Suárez de Castro 1957, Sánchez y Benites 1990, Smyth et al. 1990).

Luego de estos 2 muestreos iniciales previo al establecimiento del experimento, se realizaron 4 muestreos más de planta y suelo, justo al final de cada ciclo vegetativo. Los resultados parciales de estos muestreos referentes a Ca, Mg y K, se presentan en el Cuadro 2.

Efecto de las variables utilizadas sobre el porcentaje de rendimiento relativo

Al relacionar las variables de suelo con las de planta, se encontró que pese a su alta significancia ($p < 0.01$), los valores de R^2 encontrados fueron muy bajos (menores de 0.6). Lo anterior pudo deberse a que las determinaciones fueron realizadas a partir de datos obtenidos de 2 años de evaluaciones, al mismo tiempo que se utilizaron 2 tipos diferentes de planta indicadora (maíz y frijol) sembradas en forma alterna durante 4 ciclos. A pesar de lo anterior y como se verá más adelante, algunas de las tendencias obtenidas pudieron ser explicadas de acuerdo con los procesos ocurridos tanto en el suelo como en la planta.

En la Figura 1, se relacionan la variable K intercambiable (K-IN) con el % de Rendimiento Relativo, con datos de las 4 cosechas. Aplicando en forma aproximada el modelo gráfico de Cate y Nelson, y utilizando como referencia un 80% de RR, se logra obtener un nivel crítico aproximado de 0.23 cmol(+)/kg de K-IN. La mayoría de puntos arriba de este valor con % de RR menores de 80, corresponden a datos obtenidos de la primera cosecha de ambos cultivos, lo que sugiere la interferencia de otros factores, tales como condiciones de siembra tardía y alta precipitación. Lo anterior pudo incidir en forma importante sobre la desviación obtenida en los datos y por ende a este valor significativo pero tan bajo de R^2 .

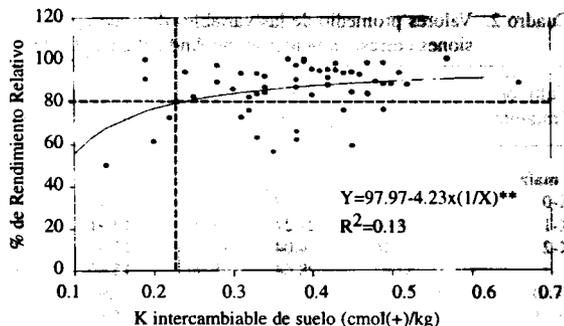


Fig. 1. Relación entre el K intercambiable y el % de Rendimiento Relativo en cuatro cosechas.

Al relacionar otras variables de suelo tales como el cociente Ca+Mg/K y la suma Ca+Mg, con el %RR, no se obtuvo ninguna tendencia definida, por lo que estos datos no son presentados en este estudio.

Se encontró por otro lado una relación directa entre el K-IN y el K absorbido ($R^2=0.34^{**}$), lo cual concuerda con Novozamsky y Houba (1987), quienes exponen que la acumulación de K en la planta está relacionada con la actividad o concentración del ión en las fracciones más disponibles del suelo.

Debido a que las cantidades absorbidas que fueron estimadas a partir de los tejidos vegetales fueron diferentes en cada cultivo (Cuadro 2), se procedió a estimar el índice “% Relativo de K absorbido”, el cual es un valor relativo de la cantidad de K absorbida en relación con el mayor valor obtenido en cada cosecha. Al relacionar dicha variable con el % de RR, se encontró una relación positiva y creciente entre ambas variables (Figura 2). Este comportamiento estuvo ligado en forma similar a la respuesta obtenida en rendimiento debido a la aplicación de K al suelo, datos que son discutidos posteriormente.

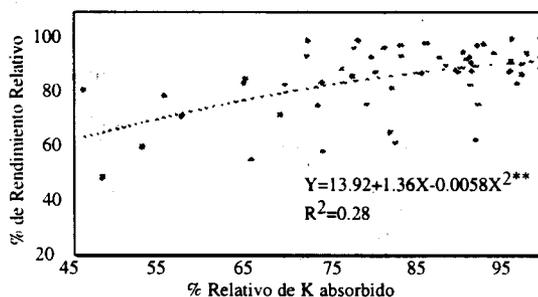


Fig. 2. Relación entre el % relativo del K absorbido y el % de Rendimiento Relativo en cuatro cosechas.

Cuadro 2. Valores promedio de las variables de planta y suelo al final de cada ciclo de cultivo, utilizadas para hacer las regresiones correspondientes en un Andisol de Coto Brus, Costa Rica.

Cultivo/ Tratamiento	% R.R.	K	Ca	Mg	Ca+Mg	K/Ca+Mg foliar	Ca	Mg	K	Ca+Mg
		kg/ha absorbidos					intercambiables cmol(+)/kg			
I maíz										
K-0	59.08	22.19	15.92	13.17	29.09	0.76	4.16	1.24	0.45	5.40
K-1	93.40	27.27	18.02	13.91	31.93	0.85	3.81	1.17	0.51	4.98
K-2	88.16	24.04	17.08	13.50	30.58	0.79	3.42	0.96	0.49	4.38
K-3	87.93	28.64	18.90	15.60	34.50	0.83	3.95	1.12	0.52	5.07
Do-0	76.09	23.73	16.05	12.95	29.00	0.82	3.56	0.94	0.49	4.50
Do-1	88.20	27.34	18.90	15.13	34.03	0.80	3.77	1.14	0.50	4.91
K-0 / Do-0	56.18	19.70	14.31	11.19	25.50	0.77	3.33	0.90	0.35	4.23
K-0 / Do-1	61.99	24.68	17.53	15.15	32.68	0.76	4.60	1.54	0.38	6.14
K-1 / Do-0	88.68	26.78	15.63	12.87	28.50	0.94	3.30	0.97	0.66	4.27
K-1 / Do-1	98.11	27.75	20.40	14.95	35.35	0.79	4.04	1.34	0.49	5.38
K-2 / Do-0	83.62	20.90	14.14	11.89	26.03	0.80	3.71	0.75	0.47	4.46
K-2 / Do-1	92.70	27.18	20.02	15.11	35.13	0.77	3.60	1.17	0.46	4.77
K-3 / Do-0	75.86	27.54	20.13	15.85	35.98	0.77	3.93	0.96	0.44	4.89
K-3 / Do-1	100.00	29.73	17.67	15.35	33.02	0.90	3.71	1.16	0.57	4.87
I frijol										
K-0	75.87	37.95	29.45	10.26	39.71	0.96	2.85	0.74	0.32	3.59
K-1	91.19	47.06	30.96	9.75	40.71	1.16	2.94	0.72	0.42	3.66
K-2	94.84	48.41	31.21	9.55	40.76	1.19	3.14	0.74	0.42	3.88
K-3	94.73	50.33	36.00	11.16	47.16	1.07	2.73	0.72	0.43	3.45
Do-0	87.96	46.33	33.05	10.21	43.26	1.07	3.15	0.74	0.42	3.89
Do-1	90.35	45.55	30.75	10.14	40.89	1.11	2.66	0.67	0.38	3.33
K-0 / Do-0	65.82	42.25	33.57	10.96	44.53	0.95	3.90	1.00	0.38	4.90
K-0 / Do-1	85.92	33.65	25.33	9.57	34.90	0.96	2.76	0.78	0.30	3.54
K-1 / Do-0	98.80	44.40	33.65	9.85	43.50	1.02	3.41	0.76	0.39	4.17
K-1 / Do-1	83.59	49.72	28.27	9.65	37.92	1.31	2.42	0.69	0.33	3.11
K-2 / Do-0	97.78	47.45	29.32	9.42	38.74	1.22	4.05	0.89	0.43	4.94
K-2 / Do-1	91.91	49.37	33.10	9.68	42.78	1.15	2.58	0.62	0.34	3.20
K-3 / Do-0	89.46	51.20	35.68	10.64	46.32	1.11	3.22	0.78	0.48	4.00
K-3 / Do-1	100.00	49.47	36.32	11.68	48.00	1.03	2.87	0.83	0.39	3.70
II maíz										
K-0	72.63	35.95	35.16	20.84	56.00	0.64	4.31	1.85	0.31	6.16
K-1	93.73	41.46	22.16	17.49	39.65	1.05	4.91	1.96	0.45	6.87
K-2	95.11	46.90	15.15	14.96	30.11	1.56	4.00	1.57	0.40	5.57
K-3	93.38	45.53	22.48	18.91	41.39	1.10	4.04	1.76	0.44	5.80
Do-0	83.05	47.33	28.16	18.78	46.94	1.01	4.19	1.57	0.40	5.76
Do-1	94.37	37.59	19.32	17.31	36.63	1.03	3.62	1.63	0.41	5.25
K-0 / Do-0	62.88	47.65	25.00	21.39	46.39	1.03	4.11	1.70	0.33	5.81
K-0 / Do-1	82.38	24.25	20.31	20.29	40.60	0.60	4.31	2.07	0.25	6.38
K-1 / Do-0	89.37	39.70	16.45	15.67	32.12	1.24	5.01	1.56	0.28	6.57
K-1 / Do-1	98.08	43.21	27.87	19.30	47.17	0.92	3.66	1.87	0.47	5.53
K-2 / Do-0	93.18	51.57	16.40	13.92	30.32	1.70	5.01	1.55	0.33	6.56
K-2 / Do-1	97.03	42.23	13.90	16.00	29.90	1.41	2.82	1.45	0.28	4.27
K-3 / Do-0	86.76	50.38	29.77	24.15	53.92	0.93	5.03	1.84	0.38	6.87
K-3 / Do-1	100.00	40.68	15.20	13.67	28.87	1.41	3.85	1.75	0.37	5.60
II frijol										
K-0	61.31	17.14	15.39	6.44	21.83	0.79	4.10	1.55	0.20	5.65
K-1	97.04	25.02	18.22	7.02	25.24	0.99	4.49	1.68	0.38	6.17
K-2	87.61	27.50	16.90	5.77	22.67	1.21	3.00	1.20	0.42	4.20
K-3	86.73	24.94	16.75	6.03	22.78	1.09	3.97	1.52	0.34	5.49
Do-0	84.27	20.92	15.38	5.31	20.69	1.01	3.86	1.36	0.34	5.22
Do-1	82.07	26.38	18.25	7.33	25.58	1.03	3.79	1.47	0.32	5.26
K-0 / Do-0	72.53	18.61	14.66	5.30	19.96	0.93	3.66	1.40	0.22	5.06
K-0 / Do-1	50.09	15.66	16.13	7.60	23.73	0.66	4.69	1.94	0.14	6.63
K-1 / Do-0	100.00	23.30	18.40	6.48	24.88	0.94	4.96	1.77	0.19	6.73
K-1 / Do-1	94.08	26.74	18.04	7.57	25.61	1.04	4.63	2.14	0.24	6.77
K-2 / Do-0	84.40	23.79	13.51	4.11	17.62	1.35	3.10	1.07	0.45	4.17
K-2 / Do-1	90.82	31.20	20.30	7.44	27.74	1.12	3.03	1.39	0.19	4.42
K-3 / Do-0	80.16	17.98	14.95	5.34	20.29	0.89	4.31	1.57	0.23	5.88
K-3 / Do-1	93.29	31.90	18.54	6.72	25.26	1.26	3.12	1.26	0.31	4.38

La variable $K/Ca+Mg$, (que fue obtenida a partir de los valores absolutos de absorción de los elementos involucrados), se relacionó en forma directa con el % de RR (Figura 3). Para este estudio se encontró que a valores del cociente $K/Ca+Mg$, mayores de 1.05, los rendimientos se mantuvieron constantes. Valores para este índice comprendidos entre 0.75 y 1.05 mostraron una amplia variación en el %RR, por lo que se puede deducir que en este ámbito, este índice no es útil ni confiable para definir efectos directos en el rendimiento.

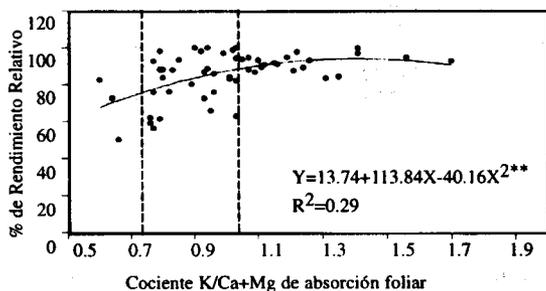


Fig. 3. Relación entre el cociente $K/Ca+Mg$ de absorción foliar y el % de Rendimiento Relativo en cuatro cosechas.

Interacción entre Ca, Mg y K

Debido a la condición de deficiencia de las bases en el suelo (Cuadro 1 y 2), se encontró una relación positiva entre la variable K con relación al $Ca+Mg$ absorbido (ambos en kg/ha), lo cual concuerda con lo expuesto por Bandyopadhyay y Goswani (1988).

De acuerdo a estos autores, la nutrición de K no es un factor independiente, ya que está en función de la abundancia relativa del Ca y Mg, así como de la calidad y cantidad de los minerales arcillosos que regulan la dinámica de K entre la fase sólida y en solución.

El comportamiento mostrado en la Figura 4, se explica a través del efecto positivo que tuvo el K sobre el rendimiento y en consecuencia sobre el crecimiento vegetal total; el K al favorecer un mejor crecimiento de las plantas, favoreció también la producción de mayor biomasa y por ende una mayor absorción de Ca y Mg, convirtiendo entonces la interacción antagónica clásica entre estos 3 elementos en un factor secundario. Por otro lado es posible que al aplicar dosis crecientes de alguno de los elementos de interés

(Ca, Mg o K), el comportamiento hubiese sido diferente, como lo encontrado por otros autores (Terman et al. 1975, Henríquez et al. 1990).

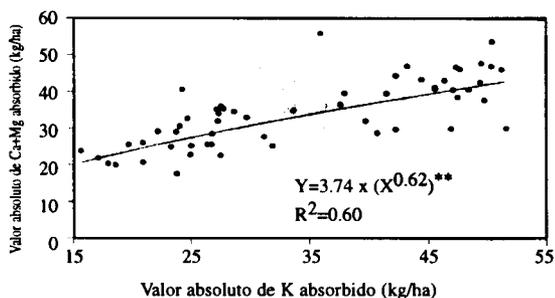


Fig. 4. Relación entre el K y el $Ca+Mg$ absorbido en kg/ha en cuatro cosechas.

Lo anterior permite concluir que la dirección de las interacciones entre Ca, Mg y K, está en función directa del estado de deficiencia o suficiencia de los elementos en el suelo, lo que condiciona necesariamente la cantidad de los elementos que son absorbidos finalmente. De esta forma, es un hecho que el carácter antagónico o sinérgico de las relaciones entre estos elementos está en función de su estado en el suelo y del tipo de manejo que se realice en los sistemas productivos.

No se encontró interacción alguna entre el contenido de K intercambiable y la suma de Ca y Mg intercambiables a nivel de suelo, por lo que no fue posible concluir nada al respecto. Una posible explicación a este comportamiento es que la dosis de dolomita utilizada fue baja, por lo que su efecto no tuvo el impacto esperado en estas variables.

También se encontró un grado de relación muy bajo entre el K de suelo y el cociente $K/Ca+Mg$ de absorción foliar, por lo que estos valores no son discutidos.

De acuerdo con los Cuadros 2 y 3, se observó un efecto antagónico de la aplicación de dolomita sobre la absorción de K sólo cuando no se aplicó K.

Con base en los valores del Cuadro 3, y en los valores del cociente $K/Ca+Mg$, la aplicación de dolomita afectó negativamente la absorción de K cuando no se complementó con la fertilización potásica (el tratamiento K-0/D-0 absorbió 128.2 kg/ha de K comparado con los 98.2 kg/ha de K absorbidos por el tratamiento K-0/D-1), en cambio en todos los tratamientos donde sí se aplicó K, se encontró más bien un efecto sinérgico.

Cuadro 3. Valores totales de Ca, Mg y K absorbidos en 4 cosechas a partir de un Andisol de Costa Rica fertilizado con K en forma fraccionada y encalado con dolomita.

Tratamiento	Ca	Mg	K	K/Ca+Mg
	kg/ha			
K-0	95.92	50.71	113.23	0.77
K-1	89.36	48.17	140.80	1.02
K-2	80.34	43.78	146.85	1.18
K-3	94.13	51.70	149.44	1.03
Do-0	92.64	47.25	138.31	0.99
Do-1	87.22	49.91	136.86	1.00
K-0 / Do-0	112.56	48.84	128.21	0.79
K-0 / Do-1	79.30	52.61	98.25	0.74
K-1 / Do-0	83.13	44.87	134.18	1.05
K-1 / Do-1	94.58	51.47	147.42	1.01
K-2 / Do-0	73.37	39.34	143.71	1.28
K-2 / Do-1	87.32	48.28	149.98	1.10
K-3 / Do-0	100.53	55.98	147.10	0.94
K-3 / Do-1	87.73	47.42	151.78	1.12

K-0 = sin K; K-1, 2 y 3 = fracciones de aplicación potásica; D = dolomita

Lo anterior comprueba que la naturaleza de la relación entre las diferentes bases debe ser enfocada como un aspecto integral con la nutrición y el estado de todos los elementos involucrados, como lo establecen Munn y McLean (1975) y Bandyopadhyay y Goswami (1988).

De acuerdo con los datos aportados en el Cuadro 3, el índice o cociente K/Ca+Mg fue afectado principalmente por la aplicación de K más que por la aplicación de enmienda al suelo (Ca y Mg), comportamiento que puede ser observado en la Figura 5.

No se encontró evidencia de que la aplicación de dolomita afectara en forma evidente el K intercambiable (Cuadro 2). Una de las posibles causas a estos 2 fenómenos, es que la dosis

de dolomita utilizada (0.85 t/ha) fue baja, aunque no deja de comprobarse la importancia del elemento K con relación a Ca y Mg.

En cuanto al fraccionamiento del K, la aplicación en 2 épocas (K-2) fue la que más aumentó el cociente K/Ca+Mg de absorción foliar (Figura 6). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las cantidades absorbidas de K con relación a la aplicación fraccionada del fertilizante potásico, principalmente cuando dicha variable fue analizada en cada ciclo de cultivo en forma independiente. Pese a esto, cuando se analiza la sumatoria total de esta variable, se observa una clara tendencia a incrementar la cantidad absorbida conforme se fraccionó a 2 y 3 aplicaciones del fertilizante potásico (Cuadro 3).

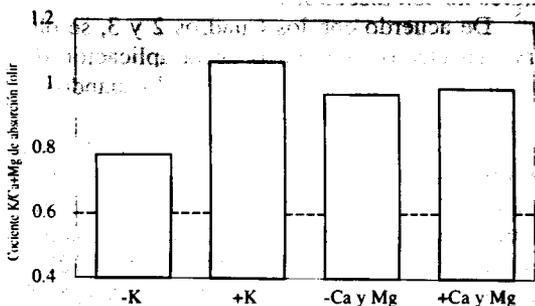


Fig. 5. Efecto de la aplicación de K y dolomita sobre el cociente K/Ca+Mg de absorción foliar en un Andisol de Costa Rica.

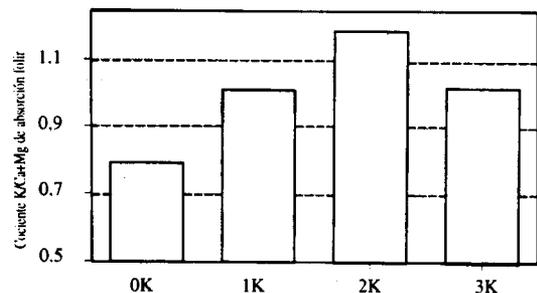


Fig. 6. Efecto de la aplicación fraccionada de K sobre el cociente K/Ca+Mg de absorción foliar en un Andisol de Costa Rica.

LITERATURA CITADA

- ALI, M.I.; HAQUE, M.Q. 1994. Potassium in soils and crops of Bangladesh. In Transactions of World Congress of Soil Science. Mexico, July 10-16, 1994. Vol 5b, 54-55.
- BANDYOPADHYAY, B.K.; GOSWAMI, N.N. 1988. Dynamics of potassium in soil as influenced by levels of added potassium, calcium and magnesium. *J. Indian Soc. Sci.* 36:471-475.
- BERTSCH, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A. 1984. Fertilidad de Typic Dystrandeps de Costa Rica. I. Metodología, acidez y cationes (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn y Cu). *Turrialba* 34(2):187-197.
- BRICEÑO, J.; PACHECO, R. 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas. San José, Oficina de Publicaciones, Universidad de Costa Rica. 137 p.
- COIC, Y.; LESAIN, C. 1971. The equilibrium between potassium and other cations in the organs of higer plants. In Potassium in biochemistry and physiology. *Proc. Colloq. Int. Potash Institute* 8:93-103.
- 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.
- DIBB, D.E.; THOMPSON, W.R. 1985. Interaction of potassium with other nutrient. In Potassium in Agriculture. Ed. by R.D. Munson. Madison, Wis., American Society of Agronomy. p. 515-531.
- HENRIQUEZ, C.; BERTSCH, F.; CABALCETA, G. 1990. Efecto de la variación del K disponible en el suelo sobre la absorción de Ca, Mg y K y sus interacciones foliares. *Agronomía Costarricense* 14(2):223-230.
- HENRIQUEZ, C.; BERTSCH, F. 1994. Efecto de la aplicación fraccionada del fertilizante potásico en un Andisol bajo cultivo de maíz y frijol en Coto Brus, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18(1):53-59.
- LOPEZ, R.H. 1978. Caracterización de la fracción mineral en cinco Andeps de los cantones de Corredores y Coto Brus. Tesis Ing. Agr. San José, Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 51 p.
- MENGEL, K.; KIRBY, E.A. 1980. Potassium in crop production. *Advances in Agronomy* 33:59-110.
- MOLINA, E.; CORDERO, A.; BERTSCH, F. 1986. Potasio en Andeps de Costa Rica. II. Respuesta a la fertilización con P y K en invernadero. *Turrialba* 36(3):289-298.
- MUNN, D.A.; McLEAN, E.U. 1975. Soil potassium relationships as indicated by solution equilibration and plant uptake. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39:1072-1076.
- NOVOZAMSKY, I.; HOUBA, V.J.G. 1987. Critical evaluation of soil testing methods for K. In *Proc. 20th Colloq. Int. Potash Institute*. p. 177-197.
- OLOGUNDE, O.; SORENSEN, R. 1982. Influence of concentrations of K and Mg in nutrient solutions on sorghum. *Agronomy Journal* 74:41-46.
- OMAR, M.; EL-KOBIA, T. 1966. Some observations in the interrelationships of K and Mg. *Soil Science* 101:437-440.
- RITCHEY K.D. 1979. Potassium fertility in Oxisols and Ultisols of the humid tropics. *Cornell Int. Agr. Bull.* 37. Cornell Univ., Ithaca, N.Y. p. 45.
- RITCHEY, K.D.; DE SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. 1979. Potasio em solo de cerrado. I. Resposta a adubacao potassica. *R. Bras. Ci. Solo* 3:29-32.
- SANCHEZ, P.; BENITES, J.R. 1990. Cultivos de bajos insumos para suelos ácidos de los trópicos húmedos. In *Memorias del II Taller Latinoamericano de manejo de suelos tropicales en Latinoamérica*. Ed. por T.J. Smith, W.R. Raun y F. Bertsch. San José, Costa Rica, NCSU. 1990. p. 48-57.
- SCHALSCHA, E.B.; PRATT, P.F.; ANDRADE, L. 1975. Potassium-calcium exchange equilibria in volcanic-ash soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39:1069-1072.
- SMYTH, T.J.; ALEGRE, J.C.; PALM, C.A. 1990. Dinámica de nutrientes del suelo durante 3 años de cultivos de bajos insumos en un Ultisol de la amazonía peruana. In *Memorias del II Taller Latinoamericano de manejo de suelos tropicales en Latinoamérica*. Ed. por T.J. Smith, W.R. Raun y F. Bertsch. San José, Costa Rica, NCSU. 1990. p. 39-47.
- SPARKS, D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Advances in Soil Science* 7:1-63
- SUAREZ DE CASTRO, F. 1957. Las quemas como práctica agrícola y sus efectos. *Fed. Nac. de cafetaleros de Colombia. Boletín técnico* 2(18):34.
- TANAKA, A. 1980. Problemas nutricionales y el uso de fertilizantes. In *Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón*. Ed. por Y. Ishizuka y C. Black. México, CIMMYT. p. 89-106.
- TANDON, H.L.S.; SEKHON, G.S. 1988. Twenty years of research on soil and fertilizer potassium in India. Some highlights. *Fertiliser News* 33(10):21-31.
- TERMAN, G.L.; ALLEN, S.E.; BRADFORD, B.N. 1975. Nutrient dilution-antagonism effects in corn and snap beans in relation to rate and source of applied potassium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39:680-685.

URIBE, E.; COX, F.R. 1988. Soil properties affecting the availability of potassium in highly weathered soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 52(1):148-152.

USHERWOOD, N. 1978. The interaction of potassium with other ions in soils and plants. Suelos Ecuatoriales 9(2):29-38.

USHERWOOD, N. 1982. Interaco do potssio com outros ions. In Potssio na Agricultura Brasileira. Ed. Instituto da Potassa and Fosfato. Instituto Internacional da Potassa. p. 227-247.

1981

ARADO A 1984

de Costa Rica

de Costa Rica