

Efectos de la aplicación de cal dolomítica y yeso agrícola en cafetales (*Coffea arabica*) afectados con Mal de Viñas en Guatemala

Mario Braeuner¹
Rodolfo Ortiz¹
Charles MacVean²

RESUMEN. Se investigó el efecto del encalamiento (cal y yeso) sobre la química del suelo y el desarrollo de síntomas del decaimiento letal del café, “Mal de Viñas”, en Guatemala. Una hipótesis sobre las causas del decaimiento propone toxicidad de aluminio en suelos ácidos, la cual se probó en el campo mediante manipulaciones de acidez y de aluminio intercambiable en dos fincas afectadas por Mal de Viñas en Santa Rosa, Guatemala. Se aplicó cal dolomítica y yeso agrícola en dosis de entre 5 y 15 t/ha en un diseño factorial, y dos años después se midió el pH, la saturación de Al, Ca y Mg, así como la producción de grano de café y el desarrollo de síntomas del decaimiento. El pH (en KCl) subió desde un valor pre-tratamiento de aproximadamente 4,0 hasta 4,8 – 5,2, sin diferencias entre dosis de 5 y 10 t/ha de cal. La saturación de Al bajó de 14% a 3-5% en función de la dosis de yeso. Estos efectos se manifestaron en todo el perfil de suelo muestreado hasta una profundidad de 28 cm, y la reducción de Al se obtuvo de igual manera por aplicación de cal dolomítica o por yeso agrícola, sin efectos aditivos. No obstante estos cambios significativos en la química del suelo, todos los tratamientos mostraron síntomas incipientes de Mal de Viñas y no hubo diferencias en la producción de grano. Estos resultados sugieren que la acidez del suelo no es un factor causal preponderante del síndrome de decaimiento, y que el encalamiento por sí solo no es una medida correctiva suficiente. Los resultados concuerdan con otros estudios sobre la naturaleza del Mal de Viñas y apuntan a la importancia de otros factores, principalmente la cobertura de sombra y una gama de consecuencias derivadas.

Palabras clave: aluminio, café, Mal de Viñas, pH del suelo, sombra.

ABSTRACT. Effects of field applications of lime and gypsum in coffee plantations (*Coffea arabica* L.) affected by “Mal de Viñas” lethal decline in Guatemala. We tested the effects of liming (lime and gypsum) on soil chemical parameters and the development of “Mal de Viñas” symptoms, a lethal decline of coffee in Guatemala. One of the various hypotheses of its causes involves aluminum toxicity in acid soils, which we field tested through manipulations of acidity and exchangeable aluminum on two coffee plantations affected by Mal de Viñas lethal decline in Santa Rosa, Guatemala. We applied lime and gypsum at rates of between 5 and 15 t/ha in a factorial design on both farms, and after two years measured changes in pH, Al, Ca and Mg saturation, as well as bean production and the development of decline symptoms. Soil pH (in KCl) increased from a pre-treatment value of about 4.0 to between 4.8 – 5.2, with no difference between 5 vs. 10 lime t/ha. Al saturation dropped from 14% to 3-5% as a function of the rate of gypsum application. These effects were manifest throughout the sampled soil profile to a depth of 28 cm, and reductions in Al were obtained equally from application of lime or gypsum, with no additive effects. Despite these significant changes in soil chemistry, all treatments showed symptoms of incipient Mal de Viñas decline and there were no differences in bean production. These results suggest that soil acidity is not the main cause of the decline and that liming by itself is not a sufficient corrective measure. The results agree with other studies on the nature of Mal de Viñas decline and point to the importance of other factors, primarily shade cover and all its derived effects, in the spread of the disease.

Key words: aluminum, coffee, shade, soil pH, Mal de Viñas.

¹ Consultores independientes. Durante el estudio, los autores laboraban en la Universidad del Valle de Guatemala, Instituto de Investigaciones. **Guatemala.** ortizr@solucionesanaliticas.com

² Decano, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, U. Rafael Landívar, **Guatemala.** cmacvean@url.edu.gt Durante el estudio, el autor laboraba en la Universidad del Valle de Guatemala, Instituto de Investigaciones.

Introducción

La caficultura del departamento de Santa Rosa y áreas colindantes en la región sudoriental de Guatemala ha sido afectada desde hace años por un decaimiento letal de cafetos conocido como “Mal de Viñas”, el cual ha sido responsable de mortandad masiva, severas pérdidas y la resiembra anual de miles de plantas (ANACAFE 1989, Riveiro 1989, MacVean et ál. 1992). El Mal de Viñas, conocido en Guatemala desde principios del siglo pasado, presenta síntomas de amarillamiento en el follaje, pobre desarrollo de raicillas y una defoliación progresiva e irreversible que culmina con la muerte de la planta. A pesar de sus efectos devastadores, su etiología y control han permanecido confusos (Gutiérrez et ál. 1988, Riveiro y Flores 1989) hasta que, recientemente, nuevos enfoques demostraron que sus causas son primordialmente abióticas (Morales et ál. 1996, Ortiz et ál. 1996).

Una de las hipótesis sobre las causas abióticas del Mal de Viñas es la de niveles tóxicos de metales solubles en el suelo (Lemus 1989). Esta hipótesis se fundamenta en la aplicación a largo plazo de ciertos fertilizantes nitrogenados (particularmente sulfato de amonio) sin aplicaciones de cal, lo cual provoca una disminución gradual del pH. A su vez, aumenta el grado de solubilización de Al^{3+} y Mn^{2+} en los suelos y se puede ver perjudicado el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas (Foy et ál. 1978, Fassbender y Bornemisza 1987, Galindo 1989). Morales et ál. (1996) demostraron que el decaimiento se debe primordialmente a causas abióticas y no a agentes infecciosos y Ortiz et ál. (1996) lograron reducir parcialmente el problema con acidificación del suelo en invernadero. Datos epidemiológicos muestran niveles significativamente más altos de Al y Mn (Sumner y Hylton 1994), así como menos sombra (MacVean et ál. 1992), en plantaciones donde se presenta el Mal de Viñas que en fincas donde no hay enfermedad. La evidencia experimental reciente de estudios multidisciplinarios indica que, efectivamente, el decaimiento se debe a la acción combinada de falta de sombra y acidez del suelo. De estos factores, es más importante la sombra que la acidez del suelo, ya que la reducción experimental de la sombra en el campo desencadena el decaimiento (MacVean et ál. 1992, 1997 y datos sin publicar).

En condiciones de alta acidez en los suelos, se aplican generalmente compuestos de cal como

enmienda (Nuñez 1985, Fassbender y Bornemisza 1987). Se definen como materiales para encalado agrícola aquellas sustancias cuyos compuestos de calcio y magnesio son capaces de neutralizar la acidez de los suelos (Barber 1984). Entre los materiales más usados en Guatemala están la cal dolomítica — $CaMg(CO_3)_2$ —, debido a su alto valor de neutralización (Perdomo y Hampton 1970), que tiene un 60% de carbonato de calcio y 40% de carbonato de magnesio (datos sin publicar del Laboratorio Agrilab 1993) y el yeso agrícola — $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ —, con fines de desplazar Al intercambiable y reemplazarlo por Ca (Fassbender 1975, Lemus 1989).

Los suelos del área más afectada por Mal de Viñas (Depto. de Santa Rosa) forman parte del grupo de suelos del declive del Pacífico, y entre estos predomina la serie Barberena, que consiste de andosoles de origen volcánico (sistema de clasificación USDA Soil Taxonomy) con textura franco-arcillo-limosa, de naturaleza ácida y con altos niveles de Al disponible (Simmons et ál. 1959, Lemus 1989). Por tanto, el uso de enmiendas de cal y yeso ha sido común en esta región, sobre todo con el propósito de combatir el Mal de Viñas. La zona afectada de Santa Rosa se encuentra aproximadamente a 1200 m de elevación, con ca. 1500 mm de precipitación anual, distribuida de manera muy estacional, con un período muy seco (verano) y de cielos soleados de 5-6 meses entre noviembre y mayo. Esto equivale a una propensión hacia la sequía, mayor riesgo de daños por Al en las raicillas (Sumner y Hylton 1994) y excesos de luz y temperatura en un cultivo sensible a estos parámetros, como lo es *Coffea arabica* (Cannell 1987).

El presente trabajo se realizó para determinar en el campo los efectos de distintas dosis de cal y yeso sobre pH, Al, Ca, y Mg del suelo, el rendimiento de cosecha de café y sobre la aparición del Mal de Viñas en plantaciones jóvenes de café. El mismo es un complemento a la manipulación de pH en invernadero realizada por Ortiz et ál. (1996).

Materiales y métodos

Se recorrió toda el área afectada por el Mal de Viñas, con el propósito de ubicar fincas representativas del conjunto de plantaciones afectado por el decaimiento con base en tamaño, manejo, y mortandad de cafetos. Se seleccionaron dos localidades, Finca Naranjito y Finca Los Pocitos, con un largo historial de Mal de Viñas (mortandad masiva y repetida en resiembras),

ambas ubicadas en el municipio de Barberena, Santa Rosa. El pH inicial (KCl) en el área experimental de cada finca era de 4,2 en Naranjito y 3,9 en Pocitos, mientras que los valores de saturación de Al eran de 14,5% en ambas fincas (Cuadro 1). Otros parámetros químicos de los suelos sin tratamiento en el área de estudio se pueden consultar en Ortiz et ál. (1996). Los análisis químicos post-tratamiento dependen, lógicamente, de los tratamientos específicos y se presentan como los resultados del presente estudio.

El diseño del experimento fue igual en cada finca, consistiendo en un arreglo factorial en parcelas divididas (*split-plot*, Snedecor y Cochran 1967, Gómez y Gómez 1984). Las parcelas principales se asignaron a tres niveles del factor *cal* (0, 5 y 10 t/ha) y cuatro niveles niveles del factor *yeso* (0, 5, 10 y 15 t/ha), con tres repeticiones de cada uno de los doce tratamientos distribuidos en tres bloques completos al azar. Además, se incluyó el factor *profundidad*, con 7 niveles (4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 cm) asignados a subparcelas dentro de las parcelas principales definidas por niveles de cal y yeso. En la finca Naranjito el área de cada parcela principal fue de 24,58 m² y en la finca Pocitos de 36,27 m². Debido a limitaciones en el número de muestras que se pudieron procesar en el análisis químico, los datos que aquí se presentan corresponden a sólo uno de los tres bloques en cada localidad. Se evaluó la validez de un análisis de varianza utilizando cada una de las dos fincas como bloques de un mismo experimento, lo cual daría un diseño completo con dos repeticiones (fincas). Sin

embargo, debido a que la interacción “bloque x tratamiento” (finca x tratamiento) resultó significativa, este enfoque se descartó y se realizó un análisis dentro de cada bloque usando como término de error la interacción triple “cal x yeso x profundidad”. Por estas razones, el análisis de varianza multifactorial (SPSS 1999) y la interpretación se restringen a efectos principales de factores y algunas de las interacciones. Sin embargo, los datos de cosecha e índices de Mal de Viñas se registraron y analizaron para todas las repeticiones.

El terreno se preparó para la siembra con un ahoyado (aprox. 40 cm profundidad y 30 cm de diámetro) en marzo de 1990; en esta etapa se adicionaron cal y yeso al fondo de los hoyos a razón de 0,227 kg/hoyo (1/2 libra), excepto en los testigos (0 cal y 0 yeso). Al inicio del invierno, a mediados de mayo, se sembraron los cafetos en 3 filas de 7 plantillas cada una, aproximadamente a una distancia de 1,25 m entre planta y planta. Al mes de la siembra se hizo la primera aplicación de cal y yeso, de 2,5 t/ha. Las aplicaciones subsiguientes se hicieron en la época lluviosa, dos veces por año, en dosis de 2,5 t/ha, hasta llegar a 10 t/ha de cal y 15 t/ha de yeso en los respectivos tratamientos. Las aplicaciones se hicieron al voleo sobre toda el área de la parcela, seguido de su incorporación manual al suelo para facilitar su penetración. Se efectuaron fertilizaciones con urea, roca fosfórica y muriato de potasio como fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, a razón de 0,028 kg (1 onza) por planta. La primera

Cuadro 1. Características químicas iniciales (febrero-marzo 1990) de las áreas experimentales (0-30 cm de profundidad) pre-tratamiento con cal y yeso en Guatemala (los valores indicados corresponden a la media +/- el error estándar)

Características químicas pre-tratamiento	Finca	
	Naranjito	Pocitos
pH (KCl)	4,17 ± 0,034	3,94 ± 0,039
Concentración de nutrientes (mg/kg)		
P	28,6 ± 2,806	12,3 ± 2,911
K	373,6 ± 27,634	301,2 ± 34,428
Ca	1617,4 ± 23,880	1539,5 ± 103,725
Mg	151,6 ± 1,631	215,2 ± 20,158
Al	155,0 ± 9,539	150,8 ± 18,929
% de saturación del complejo de intercambio catiónico		
K	8,0 ± 0,589	6,4 ± 0,584
Ca	67,0 ± 0,826	64,2 ± 2,178
Mg	10,3 ± 0,169	14,9 ± 1,340
Al	14,6 ± 0,746	14,5 ± 2,303
CICE (meq/100 g)	19,1 ± 1,10	15,9 ± 1,340

CICE = capacidad de intercambio catiónico efectivo del suelo; en Naranjito $n = 7$, excepto para CICE ($n = 47$), y en Pocitos $n = 6$, excepto para pH ($n = 7$) y CICE ($n = 28$).

fertilización se hizo en el momento de la siembra. Luego, al finalizar el invierno, se aplicó urea en igual dosis y esta combinación se efectuó de igual manera en los años siguientes.

A los dos años de establecidos los cafetales, se realizaron los muestreos de suelo en distintas profundidades, en intervalos de 4 cm hasta llegar a 28 cm. En cada parcela se tomaron 4 submuestras al azar, que se combinaron en muestras compuestas a cada profundidad. Se determinó en todas las muestras el pH en agua y en cloruro de potasio, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu y Al intercambiable. Además, se hizo un análisis de textura por el método de Bouyucos (Díaz-Romeu y Hunter 1978, Salinas y García 1979).

La condición de salud de las plantas y la aparición de síntomas de Mal de Viñas se midieron con las escalas de índices de defoliación y clorosis (estimaciones visuales en campo) desarrolladas para este propósito (Morales et ál. 1996). Índices de defoliación de 0 o 2 (pérdida de follaje del 30% o menos) sin clorosis corresponden a plantas claramente sanas, mientras que índices de defoliación de 4 o mayores (60% o más de pérdida de follaje) combinados con clorosis corresponden a plantas enfermas. Los casos intermedios (0 a 2 de defoliación, con clorosis, o 4 a 6 sin clorosis) son ambiguos y generalmente corresponden a etapas temporales en la fenología de una planta que, en cuestión de unos 4-6 meses, recobra su follaje como planta sana o bien empeora en defoliación y clorosis, manifestando síntomas de una planta enferma (MacVean, datos sin publicar; Morales et ál. 1996).

Aunque las parcelas experimentales tenían una siembra uniforme de árboles de sombra (*Casuarina* sp. en Naranjito e *Inga* sp. en Los Pocitos), la cobertura del follaje era heterogénea. El grado de cobertura física se midió con un densitómetro esférico (Lemmon 1957, USDA 1987) y los datos fueron utilizados en análisis de covarianza para comparar la producción de grano entre los distintos tratamientos. Este enfoque se basa en que el grado de cobertura o dosel tiene un efecto marcado sobre el desarrollo de yemas florales (Cannell 1987) y, por tanto, sobre la producción de grano. Además, sabemos que el nivel de cobertura (específicamente la falta de sombra, con coberturas del 50% o menos) está estrechamente asociado a la aparición del Mal de Viñas (MacVean et ál. 1992 y datos sin publicar). La producción de grano se midió al final del segundo año del experimento, cuando las plantas tenían 3 años de edad.

Resultados y discusión

pH

En ambas fincas, el efecto de la cal sobre el pH fue altamente significativo ($P < 0,001$), con un alza de pH que se manifestó en todo el perfil de profundidad en ambas fincas (Fig. 1). Esto indica que la cal aplicada a la superficie penetró por lo menos a una profundidad de 28 cm. No obstante, no hubo mucha diferencia entre los niveles de 5 y 10 t/ha de cal. El yeso, tal como se esperaba, no produjo cambios estadísticamente significativos en pH, y por tanto no se grafican ($P = 0,672$). La penetración de la cal y el efecto sobre pH mostrado en la Fig. 1 fue independiente de las aplicaciones de yeso. Las tendencias de las curvas y la significancia estadística de la cal se mantienen constantes, sea que se incluyan o excluyan los tratamientos de yeso en el análisis. No se presentaron interacciones significativas entre los factores cal, yeso, finca o profundidad, con excepción del componente profundidad x finca ($P = 0,012$). La Fig. 2 muestra ligeros ascensos en pH a mayor profundidad en la Finca Naranjito, contrastado con un descenso correspondiente en la Finca Pocitos, independiente de los tratamientos (promediando tratamientos). Es decir, los perfiles de pH frente a profundidad son distintos en las dos fincas, lo cual es lógico esperar por la variación geográfica y las condiciones químicas iniciales del suelo; no obstante, en ambas fincas el efecto del encalamiento fue elevar el pH relativo a las parcelas testigo (Fig. 1).

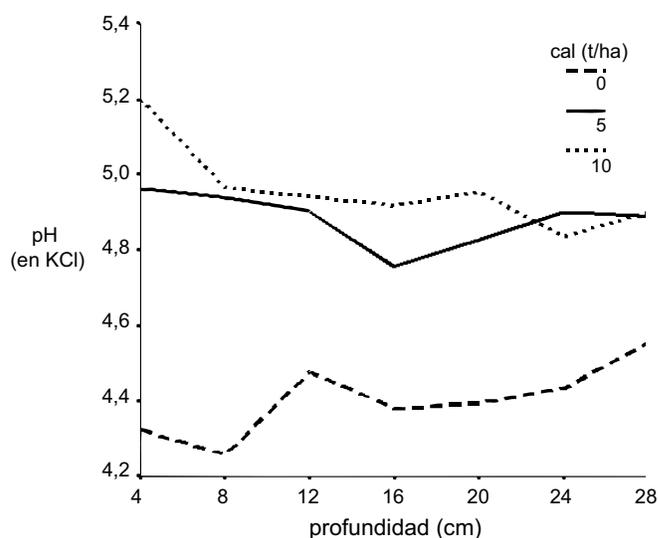


Figura 1. Valores de pH (medidos en KCl) 2 años después del encalamiento de parcelas de cafetos en Santa Rosa, Guatemala. Cada punto de las curvas representa el promedio de 4 repeticiones (parcelas) en cada una de las dos fincas (Naranjito y Pocitos) donde se estableció el experimento ($n = 168$).

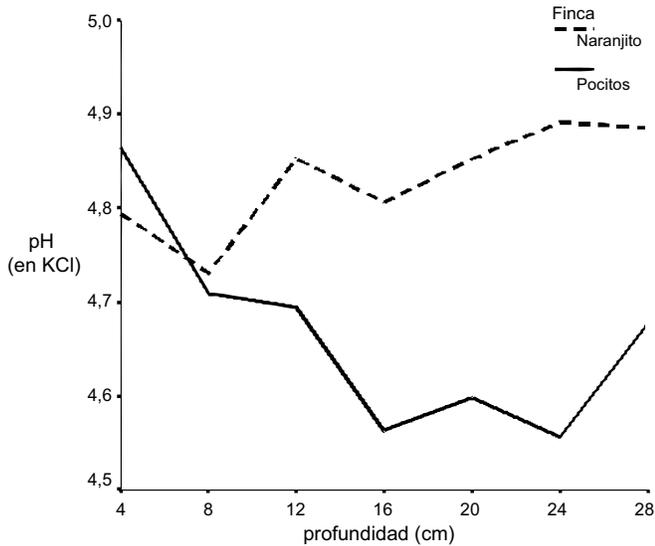


Figura 2. Valores de pH (KCl) a distintas profundidades en parcelas de cafetos enladas en dos fincas de Santa Rosa, Guatemala, dos años post tratamiento. Las curvas ilustran la interacción significativa “profundidad x finca” del análisis de varianza ($P = 0,012$). Cada punto de las curvas representa el promedio de los tratamientos de cal y yeso en 12 repeticiones (parcelas) ($n = 168$).

Saturación de aluminio

En ambas fincas, el enlamiento produjo descensos significativos en la saturación de Al en el suelo ($P < 0,001$) a todas las profundidades muestreadas. Similar a los resultados de pH, se obtuvo poca diferencia entre los niveles de 5 y 10 t/ha (Fig. 3).

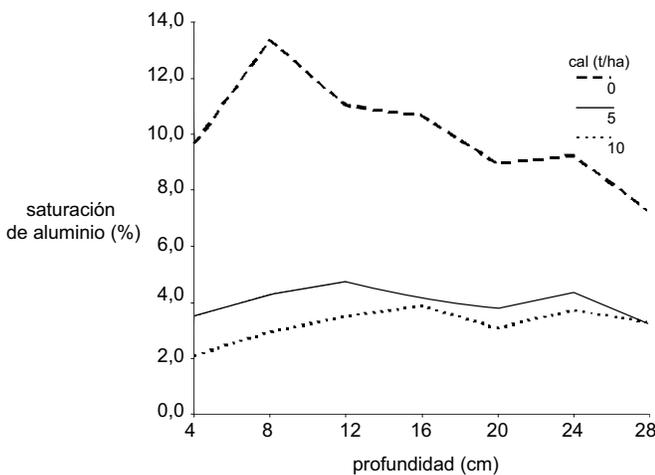


Figura 3. Valores de saturación de Al como función de dosis de cal, dos años después del enlamiento de parcelas de cafetos en dos fincas de Santa Rosa, Guatemala (Naranjito y Pocitos). Cada punto de las curvas representa el promedio de cuatro parcelas (promediando los valores correspondientes a los distintos niveles de yeso) en cada una de las dos fincas donde se estableció el experimento ($n = 168$).

Los efectos del yeso también fueron significativos en reducir niveles de Al ($P = 0,021$), pero a la vez más variables (Fig. 4). También fue interesante la interacción entre cal y yeso ($P = 0,003$, Fig. 5), la cual demuestra que la cal redujo los niveles de Al cuando el yeso era bajo (< 5 t/ha), pero no cuando el yeso se

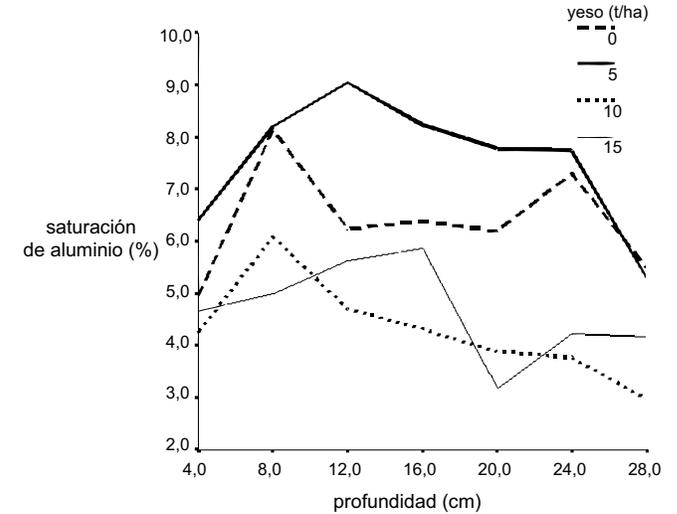


Figura 4. Valores de saturación de Al como función de la dosis de yeso, dos años después del enlamiento de parcelas de cafetos en dos fincas de Santa Rosa, Guatemala (Naranjito y Pocitos). Cada punto de las curvas representa el promedio de tres parcelas (agrupando los distintos niveles de cal) en cada una de las dos fincas donde se estableció el experimento ($n = 168$).

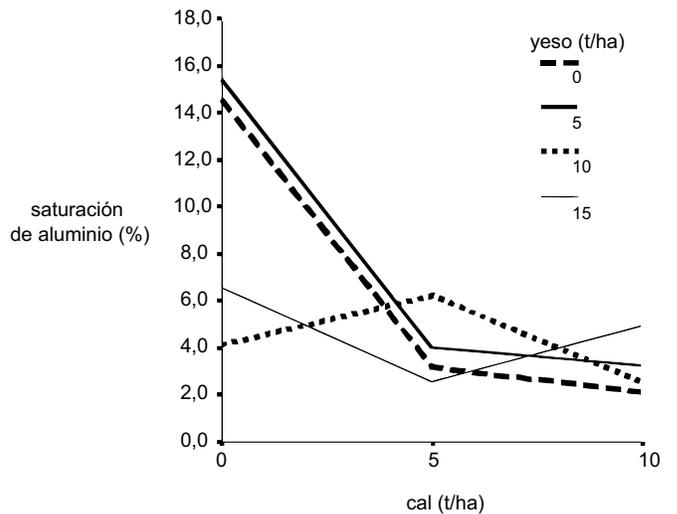


Figura 5. Interacción entre aplicaciones de cal y yeso con respecto a valores de saturación de Al, dos años después del enlamiento de parcelas de cafetos en dos fincas de Santa Rosa, Guatemala (Naranjito y Pocitos). Cada punto de las curvas representa el promedio de dos parcelas, una en cada finca, donde se estableció el experimento, agrupando valores de las distintas profundidades de muestreo en cada parcela ($n = 168$).

aplicó a 10 o 15 ton/ha. Es decir, que la saturación de Al se redujo a 3-6% similarmente por yeso o por cal, y no hubo efectos aditivos entre cal y yeso que redujeran más la saturación del Al.

Saturación de calcio y magnesio

Los niveles de saturación de Ca aumentaron ligera pero significativamente como función de la dosis de yeso ($P < 0,001$; Fig. 6), pero no mostraron tendencias consistentes en función del encalamiento o profundidad. Aunque el Al aparentemente fue desplazado por el Ca, éste último también pareció lixiviar en el suelo en vez de acumularse en el complejo de intercambio. Con respecto al Mg disponible, el encalamiento incrementó sus niveles ($P = 0,001$) mientras que el yeso los redujo ligeramente ($P = 0,014$; Fig. 7). Los materiales calizos puros (como el yeso) pueden provocar desplazamientos de elementos como el Mg (Worthen y Aldrich 1967). Por lo tanto, en suelos deficientes en Mg se recomienda el uso de cal dolomítica, evitando las aplicaciones de yeso agrícola (sulfato de calcio puro). Una forma de monitorear los efectos de la cal dolomítica podría ser estudiando los niveles de magnesio, ya que muestran una respuesta más lineal respecto a la concentración de cal que los niveles de Ca. En general, estos resultados fortalecen la recomendación de aplicar yeso en programas de encalado para aprovechar su movilidad en el suelo.

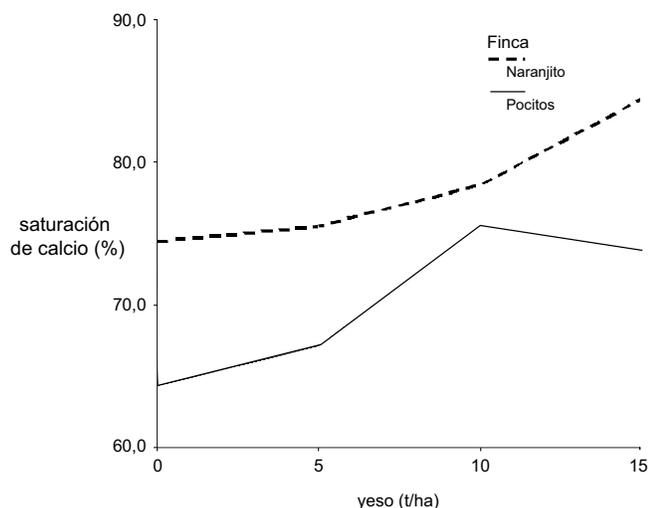


Figura 6. Valores de saturación de Ca como función de la dosis de yeso, dos años después del encalamiento de parcelas de cafetos en dos fincas de Santa Rosa, Guatemala (Naranjito y Pocitos). Cada punto de las curvas representa el promedio de tres parcelas (agrupando los distintos niveles de cal) en cada una de las dos fincas donde se estableció el experimento ($n = 168$).

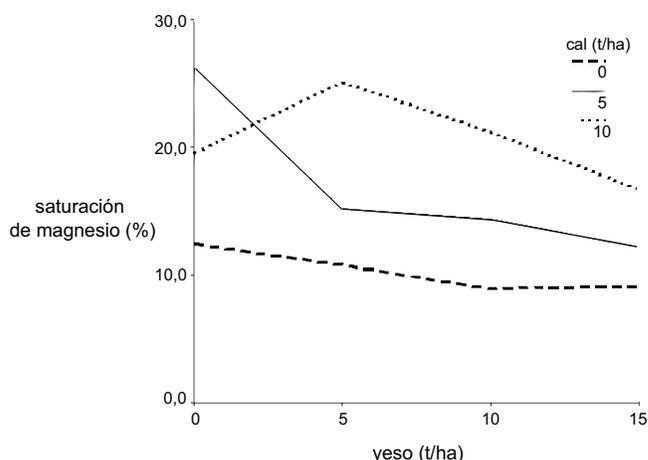


Figura 7. Valores de saturación de Mg como función de las dosis de cal y yeso, dos años después del encalamiento de parcelas de cafetos en dos fincas de Santa Rosa, Guatemala (Naranjito y Pocitos). Cada punto de las curvas representa el promedio de dos parcelas, una en cada finca, donde se estableció el experimento, agrupando valores de las distintas profundidades de muestreo en cada parcela ($n = 168$).

Aparición de síntomas de Mal de Viñas y producción de grano

No se obtuvieron diferencias significativas en la cosecha de grano ni en los índices foliares entre los distintos tratamientos. El índice de defoliación (el más indicativo de la presencia del Mal de Viñas) mostró un valor promedio de 4,4, correspondiendo a plantas con 30-60% de defoliación. Este nivel de defoliación es a menudo indicativo del inicio de Mal de Viñas si se presenta de manera irreversible y acompañado de clorosis y marchitez generalizadas (MacVean et ál. 1992, Morales et ál. 1996). Sin embargo, se puede tener defoliación como ésta en plantaciones sanas cuando se combina con poca clorosis y marchitez, y es reversible, es decir, el follaje se repone en época lluviosa. En nuestras parcelas de encalamiento, el índice de clorosis promedio fue de 0,29, indicando que alrededor de 30% de las plantas mostraban algún grado de clorosis; menos del 1% de las plantas mostraron marchitez. Es decir, que en ningún tratamiento se vio prevenido o corregido completamente el desarrollo de Mal de Viñas típico, incluyendo las parcelas testigo, y en todos la defoliación, marchitez y decoloración fueron similares. Los valores de cosecha tampoco difirieron entre tratamientos y promediaron 4246 y 4801 kg/ha (15,4 y 11,8 kg por parcela de 21 plantas cada una) en las fincas Pocitos y Naranjito, respectivamente. Esto

significa que, a pesar de ejercer efectos significativos en los parámetros químicos, el encalamiento no produjo mayores cambios a nivel de la planta o parcela. Esto podría deberse a no haber transcurrido suficiente tiempo para observar la repercusión de factores del suelo o a la tolerancia del cafeto al aluminio intercambiable y acidez del suelo. Sin embargo, en el historial de las fincas Pocitos y Naranjito, la aparición del Mal de Viñas se ha dado durante los primeros tres años después de la resiembra, así que la duración del experimento (3 años) parecería ser adecuada. Más bien sugiere que hay otros factores involucrados, como se discute a continuación.

Es importante notar que el encalamiento no produjo ninguna mejora en la condición de las plantas en relación con los testigos sin encalamiento, como se hubiera esperado con base en resultados de estudios de invernadero (Ortiz et ál. 1996). En condiciones de acidez inducida experimentalmente, Ortiz et ál. (1996) reprodujeron algunos síntomas del Mal de Viñas y los previnieron mediante el encalamiento. El presente estudio sugiere que los niveles de acidez y aluminio de campo (más moderados que los de invernadero) no ocasionan por sí solos el Mal de Viñas, y por lo tanto el encalamiento tampoco es la medida que por sí sola lo prevendrá. A la luz de los datos del presente estudio, los síntomas obtenidos en el invernadero más bien se deben considerar como una toxicidad simple por Al y Mn (prevenible con encalamiento), y no como el síndrome Mal de Viñas en su misma expresión de campo. Esto es consistente con los hallazgos de estudios paralelos (MacVean et ál. 1992, MacVean 1997, Tay 1993) en los que se señala la importancia de factores adicionales, principalmente el papel de la cobertura de sombra. Experimentos con niveles controlados de sombra (realizados en las mismas fincas que el presente estudio) demuestran que la eliminación del dosel de sombra y sus efectos derivados son fundamentales para desencadenar el Mal de Viñas (MacVean, datos sin publicar). Estos incluyen daños por exceso de luz, pérdida del suelo y nutrientes por erosión, pérdida de humedad en el suelo, temperaturas elevadas y otros que conllevan a desbalances metabólicos (Tay 1993), defoliación y mala formación de grano (MacVean et ál. 1992, MacVean 1997).

El valor crítico de cobertura de sombra parece estar cerca del 50% en las regiones afectadas por el Mal de Viñas en Guatemala. Cuando el porcentaje del área sombreada por encima del cafetal es menor del 50%, es mucho más común observar el decaimiento

que con valores arriba del 50% (MacVean et ál. 1992, y datos sin publicar). Esto concuerda con las tasas netas de fotosíntesis mostradas por Cannell (1987), donde se observa un descenso en fijación fotosintética con coberturas de sombra menores del 50% (por exceso de luz). En las parcelas de encalamiento, los valores de cobertura de sombra oscilaban entre 45 y 55%, lo cual ayuda a explicar el estado incipiente de decaimiento observado.

En conclusión, los resultados muestran claramente que la aplicación de cal y yeso producen cambios significativos en la química del suelo, pero no ofrecen evidencia de estar estrechamente vinculados con la prevención del Mal de Viñas. Varios de los cambios en el suelo son beneficiosos para el café. Por ejemplo, la elevación del pH (en KCl) desde un valor testigo de aproximadamente 4,0 al intervalo de 4,8 a 5,2 crea condiciones adecuadas para el cultivo de café, según los valores recomendados por Valencia y Archila (1977) de 5,5 a 6,5 (pH en agua). Acompañando la elevación del pH, se obtuvo una reducción en la saturación de aluminio de entre 12-14% a 3-5% que también es interesante. Aun más importante es el hecho de que estos efectos se manifestaron en todo el perfil de suelo muestreado hasta una profundidad de 28 cm, concordando con Malavolta (1992) y evidenciando mayor penetración de la cal y el yeso de la esperada con base en trabajos como los de Reeve y Sumner (1972) y Soares et ál. (1975) que predicen una penetración máxima de 20 cm. El papel del yeso en la eliminación de Al intercambiable también se ha reportado en otros estudios (Toma et ál. 1999), por lo que se considera una buena opción para reducir el problema del Al³⁺ en el subsuelo de suelos ácidos. No obstante los beneficios que esto representa, la condición de las plantas encaladas no fue mejor que en los testigos, y todos los tratamientos mostraron un grado de deterioro incipiente de Mal de Viñas, sugiriendo que el encalamiento por sí sólo no es una medida correctiva o preventiva suficiente. Estos resultados concuerdan con estudios que enfatizan la importancia de otros factores, primordialmente la cobertura de sombra y la gama de efectos que se derivan de ella (Tay 1993, MacVean 1997).

Agradecimientos

Agradecemos a Odette de Bocaletti, Helda Morales y Ronaldo Pérez por su ayuda en la realización de este trabajo, y a Rolando Cifuentes por sus valiosos comentarios en la revisión del manuscrito.

Literatura citada

- ANACAFE. 1989. Primer seminario taller sobre estudios del "Mal de Viñas". Asociación Nacional del Café (ANACAFE), Departamento de Investigaciones en Café. 87 p.
- Barber, S. 1984. Liming materials and practices. In Adams, F. ed. Soil acidity and liming. 2 ed. Madison, Wisconsin, US. p 171-209. (Agronomy Monograph no.12).
- Cannell, MGR. 1987. Physiology of the coffee crop. In Clifford, MN; Wilson, KC. eds. Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. Croom Helm, UK. p. 108-133.
- Díaz-Romeu, R; Hunter, A. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 68 p.
- Fassbender, H. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, CR, IICA. 398 p.
- _____; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. San José, CR, IICA. 420 p.
- Foy, CD; Chaney, RL; White, MC. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. Annual Review of Plant Physiology 29:511-566.
- Galindo, J. 1989. Determinación preliminar de la relación de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de la plantación de café con el "Mal de Viñas" en Barberena, Santa Rosa. Tesis de Licenciatura. Guatemala, Universidad de San Carlos. 52 p.
- Gómez, KA; Gómez, AA. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2 ed. Nueva York, US, Wiley & Sons. 680 p.
- Gutiérrez, A; Rodríguez, E; García, A. 1988. Importancia y etiología del Mal de Viñas del café. Annual Meeting of the American Phytopathological Society, Caribbean Division (1987, Guatemala). Abstracts. Phytopathology 78:857.
- Lemmon, PE. 1957. A new instrument for measuring forest overstory density. Journal of Forestry 55:667-668.
- Lemus, F. 1989. ¿Síndrome de toxicidad de aluminio, manganeso y hierro en el café, o "Mal de Viñas"? Laboratorio de análisis de suelos y plantas, AGROSA (nombre actual: Soluciones Analíticas), Guatemala.
- MacVean, CM. 1997. Coffee growing: sun or shade? Science 275:1552.
- _____; Arjona, O; Braeuner, M; Dix, M; Krigsvold, M. 1992. Causas y naturaleza del Mal de Viñas en cafetos de Guatemala. Guatemala, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala. 13 p.
- Morales, H; Palmieri, M; Dix, MW. 1996. Mal de Viñas del café: ¿biótico o abiótico? Ceiba 37:281-290.
- Malavolta, E. 1992. Reacción del suelo del café. In Seminario de fertilización y nutrición del café. (Guatemala). Memorias. Guatemala, ANACAFE-INPOFOS. p. 76.
- Núñez, J. 1985. Fundamentos de edafología. 2 ed. San José, CR, UNED. 185 p.
- Ortiz, R; Braeuner, M; MacVean, C. 1996. Acidez del suelo como causa del "Mal de Viñas" del café (*Coffea arabica* L.) en Guatemala: un estudio de invernadero. Ceiba 37:291-298.
- Perdomo, R; Hampton, H. 1970. Ciencia y tecnología del suelo. Centro de Producción de Materiales. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Reeve, R; Sumner, M. 1972. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface applied amendments. Agrochemophysics 4:1-5.
- Riveiro, R. 1989. Caracterización, distribución, incidencia y severidad del Mal de Viñas o Fiebre Amarilla del Cafeto (*Coffea arabica* L.) en la zona cafetalera centro-surorientada de Guatemala. In Memoria técnica de las investigaciones en café 1986 a 1989. Guatemala, Asociación Nacional del Café. p. 8-17.
- _____; Flores, MA. 1989. Factores limitantes de algunas prácticas culturales y su relación en áreas donde existe Mal de Viñas. Revista Cafetalera (Guatemala) 300:13-21.
- Salinas, J; García, R. 1979. Métodos analíticos para suelos ácidos y plantas. Cali, CO, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 54 p.
- Simmons, C; Tarano, J; Pinto, J. 1959. Clasificación y reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Ed. José Pineda Ibarra, Guatemala. 1000 p.
- Snedecor, GW; Cochran, WG. 1967. Statistical methods. 6th ed. Iowa, US, Iowa State University Press. 593 p.
- Soares, W; Lobato, E; Gonzalez, E; Waermann, G. 1975. Calagem dos solos cerrados brasileiros. In Bornemisza. E. ed. Manejo de suelos en la América tropical. Raleigh, NC, US, North Carolina State University. p. 283-303.
- SPSS, Inc. 1999. SPSS version 9 for Windows. Chicago, IL, US, SPSS.
- Sumner, ME; Hylton, K. 1994. A diagnostic approach to solving soil fertility problems in the tropics. In Syers, JK; Rimmer, DL. eds.. Soil science and sustainable land management in the tropics. Londres, UK, CAB International. p. 215-234.
- Tay de Pérez, K. 1993. Cuantificación de carbohidratos no estructurales y su relación con el Mal de Viñas del café. Tesis de Licenciatura. Guatemala, Universidad del Valle. 206 p.
- Toma, M; Sumner, ME; Weeks, G; Saigusa, M. 1999. Long-term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 39:891-895.
- USDA. 1987. Methods for evaluating riparian habitats with applications to management. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. General Technical Report INT-221.
- Valencia, G; Archila, J. 1977. Efecto de la fertilización con N,P,K, a tres niveles de la composición de las hojas del café. Colombia, CENICAFE. 4 p.
- Worthen, E; Aldrich, S. 1967. Suelos agrícolas. 2 ed. Distrito Federal, MX, UTHEA.