

Acidez del suelo como causa del "Mal de Viñas" del café (*Coffea arabica* L.) en Guatemala: un estudio de invernadero

Rodolfo Ortiz , Mario Braeuner y Charles MacVean ¹

Resumen. El objetivo del trabajo fue determinar si la manipulación del pH del suelo induce los síntomas del decaimiento letal del café, conocido como "Mal de Viñas" en Guatemala. Se utilizó suelo de la región afectada por Mal de Viñas. Se usó como testigo suelo con pH inicial de 4.4. Se utilizó ácido clorhídrico al 10%, o enmiendas con cal dolomítica al 10%, 25% y 50% (peso/peso) para dar una gama de tratamientos de pH desde 3.5 hasta 7.5. Se sembraron plántulas sanas de café en cada tratamiento y se evaluaron durante 648 días, midiendo el crecimiento del tallo, número de hojas producidas por planta, longitud y diámetro del sistema radicular y producción de frutos. Los tratamientos acidificados y el testigo desarrollaron síntomas claros del Mal de Viñas (clorosis, defoliación, pocas raicillas). El encalamiento al 10% lo evitó por completo. Hubo diferencias significativas entre tratamientos, principalmente entre los suelos acidificados (pH 3.5 y 4.1) y los encalados al 10% (pH 7.0). El análisis químico mostró que los suelos acidificados tenían mayores concentraciones y saturación de aluminio y manganeso en relación al testigo y los encalados. La acidificación del suelo produjo síntomas similares al decaimiento de campo, lo que apoya la hipótesis de que el Mal de Viñas es en parte causado por niveles tóxicos de aluminio y manganeso.

Palabras claves: cafeto, pH del suelo, Al, Mn.

Abstract. The objective of the study was to determine whether experimental soil pH manipulation in the greenhouse could induce symptoms of the coffee (*Coffea arabica* L.) lethal decline known as "Mal de Viñas" in Guatemala. Soil was obtained from an endemic Mal de Viñas area, with an initial pH of 4.4, which was used as a control. Soil was either acidified with 10% hydrochloric acid or limed with dolomitic limestone at 10%, 25%, 50% (weight/weight), resulting in six treatments with a range of pH from 3.5 to 7.5. Healthy coffee seedlings were planted in each treatment and evaluated during 648 days, measuring stem growth, berry yield, foliage production and length and diameter of the root system. Plants in the control and acidified treatments developed clear symptoms of Mal de Viñas (discoloration, defoliation, lack of fine root growth), whereas 10% liming prevented them entirely. Analysis of variance revealed significant differences among treatments, particularly between the 10% liming (pH 7.0) and the acidified soils (pH 3.5 and 4.1). Chemical analysis showed high concentrations and saturation of aluminum and manganese in acidified soil relative to controls and limed treatments. Overall, the evidence from greenhouse trials indicates that soil acidification produces symptoms similar to the decline in the field, and supports the hypothesis that Mal de Viñas is in part caused by toxic levels of aluminum and manganese.

Key words: coffee plants, soil pH, Al, Mn.

INTRODUCCION

Acidez del suelo y el Mal de Viñas del cafeto

Uno de los grandes problemas en el trópico son los suelos en proceso de acidificación, que poseen elementos tóxicos como aluminio (Al), manganeso (Mn) y hierro

(Fe), en concentraciones que pueden perjudicar el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas (Fassbender y Bornemisza, 1987; Foy *et al.*, 1978; Galindo, 1989). El "Mal de Viñas", enfermedad del café conocida en Guatemala desde principios de siglo, presenta síntomas de amarillamiento en el follaje y una defoliación progresiva e irreversible que culmina con la muerte de la

¹ Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala, Apartado. Postal 82, Guatemala, Guatemala, 01901. Correspondencia a C. MacVean; e-mail: CMACVEAN@UVG.EDU.GT

planta. Este decaimiento ha causado pérdidas cuantiosas en la cafcultura nacional (Riveiro, 1989), pero su etiología y control han permanecido confusos (Gutiérrez *et al.*, 1988; Riveiro y Flores, 1989). La evidencia preliminar de estudios multidisciplinarios indica que el decaimiento se debe primordialmente a falta de sombra y acidez del suelo, con efectos secundarios de ataques de nematodos en la raíz (MacVean, 1992). Morales *et al.* (1996) demuestran que el decaimiento se debe primordialmente a causas abióticas y no a agentes infecciosos. Datos epidemiológicos muestran niveles significativamente más altos de Al y Mn, así como menos sombra, en plantaciones donde se presenta el Mal de Viñas, que en fincas donde no hay enfermedad (MacVean, 1992). Sumner y Hylton (1994) han señalado un vínculo entre la cantidad de Al y el Mal de Viñas, pero se basan en evidencia circunstancial de un laboratorio comercial de análisis de suelos que no evalúa cuantitativamente otros factores como la sombra. La manipulación experimental de la sombra indica que el factor primordial que desencadena el decaimiento es la falta de sombra y que es más importante que la acidez del suelo (MacVean, datos no publicados).

Problemas de aluminio y enmiendas con cal dolomítica

Generalmente el Al es un elemento que en suelos con pH inferior a 5.0 se encuentra en concentraciones tóxicas para las plantas (Fassbender y Bornemisza, 1987; Foy *et al.*, 1978). La toxicidad del Al limita la degradación microbiana de la materia orgánica. El pH en que el Al ejerce efectos perjudiciales depende de la tolerancia de la planta y de otros factores del suelo, como la mineralogía de las arcillas, la materia orgánica presente, y otros cationes y aniones (Alexander, 1980). Comúnmente, la acidez del suelo indica que existen niveles bajos de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) y niveles altos de Al y Mn que disminuyen la adsorción de otros cationes. Sin embargo, niveles altos de Ca pueden reducir los efectos "dañosos" del Al (Fassbender y Bornemisza, 1987).

En condiciones de alta acidez en los suelos tropicales, se aplican compuestos de cal como enmienda (Nuñez, 1985). Los materiales para encalado agrícola tienen compuestos de Ca y Mg que neutralizan la acidez de los suelos (Barber, 1984). La cal da beneficios directos e

indirectos a las plantas, por ejemplo: mejora las condiciones físicas y químicas del suelo, al corregir problemas de toxicidad del Al soluble; favorece una mayor disponibilidad de los nutrientes y su absorción por las plantas (Sánchez, 1981) y hace disponible el fósforo (P), ya que en suelos ácidos el P es fijado por el Al soluble (Tamhane *et al.*, 1979).

El material más usado para encalar es la calcita (CaCO_3), que es piedra caliza molida; también se usa la cal dolomítica [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], que contiene un 60% de calcio y 40% de magnesio. En Guatemala la dolomita es la más usada como material de enmienda debido a su alto poder de neutralización.

El presente estudio se realizó para determinar, bajo condiciones controladas de invernadero, el efecto de la acidez del suelo en el desarrollo de plantas de café. El objetivo fue probar la hipótesis que el "Mal de Viñas" se puede inducir con la disminución del pH y aumento de las concentraciones de metales tóxicos, y que el desarrollo del decaimiento se puede contrarrestar por enmiendas con cal dolomítica.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó entre octubre de 1990 y septiembre de 1992, en los invernaderos de la Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala. El suelo usado para este estudio provino de la Finca Los Pocitos, en Barberena, Santa Rosa, región afectada por el Mal de Viñas. El suelo tenía un pH inicial de 4.4, textura arcillosa, y fue excavado a una profundidad de entre 0 - 50 cm, correspondiente a la rizósfera de un cafetal típico en esta zona. La Finca Los Pocitos ha sufrido muerte de las de resiembras, al cabo de 3-4 años de la siembra de plantillas de café, en un mismo lugar. Las plantillas utilizadas en el invernadero, de un año de edad y sanas variedad Catuaí, provenían de la misma finca.

Se estudiaron respuestas a un espectro amplio de pH, sin establecer niveles considerados como "óptimos" desde el punto de vista de producción agronómica. Para alcalinizar a tres niveles, el suelo seco y molido se mezcló con cal dolomítica en proporciones peso a peso (P/P) de 10%, 25% y 50%, mientras que para los dos niveles de acidificación se agregaron 750 ml y 1200 ml de ácido clorhídrico al 10%/8.4 kg suelo, respectivamente. Luego de 2 a 3 semanas de estabilización, se obtuvieron suelos

con pH 3.5, 4.1, 5.0 (testigo), 7.0, 7.2 y 7.5. Las plantillas se sembraron individualmente en macetas plásticas (25 cm diámetro x 26 cm altura) con 8.4 kg del suelo seco. El diseño fue completamente aleatorio, con 10 repeticiones para cada nivel de encalamiento y seis repeticiones en cada nivel de acidificación. Las plantas se fertilizaron a la siembra con urea, roca fosfórica y muriato de potasio, en una sola dosis de 28 g por planta, y con una dosis similar de "triple 15" (N-P-K) cuatro veces durante el experimento. El riego se efectuó dos veces por semana, con 500 ml/maceta de agua desmineralizada.

El experimento duró 648 días en los tratamientos de encalamiento y 592 en los de acidificación. Se midió mensualmente el pH y altura de la planta, observando deficiencias nutricionales, plagas y enfermedades. En noviembre de 1991, se calculó el rendimiento de la cosecha. Al final del experimento (septiembre, 1992) se efectuó un análisis químico del suelo (Díaz-Romeu y Hunter, 1978; Salinas y García, 1979), tomando al azar tres macetas de los tratamientos acidificados y siete macetas de cada tratamiento encalado. En cada planta se determinó el número de hojas, longitud (profundidad) de raíz y diámetro del sistema radical. Con estos datos se cuantificaron las variables del Mal de Viñas: defoliación, crecimiento pobre de raíces y follaje (MacVean, 1992). Las comparaciones entre tratamientos se realizaron mediante análisis de varianza de los datos finales con separación de medias por la prueba de Tukey (SPSS/PC, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSION

El pH de los suelos enmendados con altas cantidades de cal dolomítica no cambió considerablemente, lo que sugiere suelos con alto poder de tamponización. En cambio, el efecto de la acidificación sobre los niveles de Al y Mn fue marcado, ya que las concentraciones de estos dos elementos se elevaron hasta diez veces arriba del suelo testigo, y muy arriba de los límites adecuados propuestos por Ramírez (1980)(Cuadro 1). El porcentaje de saturación de Al para los tratamientos acidificados fue entre 5 y 10 veces mayor que el del suelo testigo; el encalamiento produjo cambios de magnitud similar, pero en sentido opuesto.

El encalado de un suelo ácido con pH de 5.5 y 6.0, puede disminuir la fijación del P pero no la elimina

(Sánchez, 1981). A pesar del encalamiento, los niveles de P fueron muy bajos en relación a niveles considerados adecuados (Galindo, 1989; Ramírez, 1980) (Cuadro 1). El K, que también fue agregado, se presentó en niveles muy arriba del nivel mínimo adecuado (Carvajal, 1972; Galindo, 1989; Ramírez, 1980), lo que también se refleja en su porcentaje de saturación. En cambio el Ca, de acuerdo a sus porcentajes de saturación, fue bajo en los suelos acidificados y adecuado en los encalados. El Mg fue adecuado en el testigo y los acidificados, y alto en los encalados.

Los cocientes entre concentraciones de nutrientes (Ca+Mg/K, y Mg/K, basados en meq/100 g) son interesantes ya que permiten vincular y caracterizar la expresión de síntomas de Mal de Viñas con patrones conocidos de balances entre los nutrientes del suelo. Por ejemplo, los datos de Ramírez (1980) dan un cociente (Ca+Mg)/K cerca de 24, si los nutrientes se encuentran en proporciones dadas por sus niveles críticos (Cuadro 1). Los valores obtenidos en el experimento fueron bajos para todos los tratamientos (entre 7-11), y es evidente que los altos niveles de K, producto de la fertilización, contribuyeron a los bajos cocientes. No obstante, el hecho que el cociente tendió a subir en los tratamientos de encalado sugiere que el desbalance se corrigió en alguna medida por el encalamiento. Los porcentajes de saturación de Ca y Mg aumentaron con el encalamiento, lo cual contribuyó a rectificar el desbalance en relación a los tratamientos acidificados. El tratamiento que mostró mejor crecimiento de plantas y que suprimió el desarrollo de síntomas de Mal de Viñas fue el encalado de pH 7.0. Asimismo, los valores del cociente Mg/K para los encalados de pH 7.0 y 7.2 se acercan más al balance de 4.8, sugerido por datos de Ramírez (1980), que el testigo o los tratamientos acidificados. Carvajal (1972) situa valores adecuados de este cociente entre 2.1 y 3.7, intervalo en que caen los cocientes de los encalamientos; el testigo y los tratamientos acidificados caen por debajo del intervalo.

Los elementos menores (excluyendo el cobre), tendieron a aumentar con la acidificación, como era de esperarse; sin embargo, el cobre presentó niveles bajos, lo cual es común en todos los análisis que se efectúan en dicha zona (registros Laboratorio Agrilab, Guatemala); se recomienda prestarle mayor atención, ya que el pH del suelo puede reducir su disponibilidad (Sánchez, 1981).

Cuadro 1. Análisis químico de los suelos acidificados y encalados (valores promedio) al final del experimento (648 días en calados y testigo, n= 7; 592 días en acidificados, n=3). La parte superior de la tabla indica concentraciones de nutrientes en el suelo (mg/kg); la parte inferior muestra los valores como porcentajes de saturación del complejo de intercambio catiónico.

Elemento	Valor crítico ^a	Tratamientos (pH)					
		Acidificados		Testigo	Encalados		
		3.5	4.1	5.0	7.0	7.2	7.5
(mg/kg suelo)							
P	10	4.7	5.8	2.7	3.3	0.3	2.8
K	80	423.0	400.0	431.0	401.0	345.0	384.0
Ca	800	1458.0	1350.0	1212.0	1385.0	1363.0	1577.0
Mg	120	262.0	218.0	205.0	402.0	365.0	354.0
Cu	1	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3
Zn	3	5.0	4.3	1.5	0.5	0.4	0.2
Fe	10	0.9	0.7	0.6	0.6	0.3	0.6
Mn	5	269.0	190.0	41.7	1.9	1.6	1.3
Al	27	254.0	155.0	22.6	4.1	3.4	3.0
(Ca+Mg)/K ^b	24.31	8.7	8.3	7.0	10.0	11.1	11.0
Mg/K ²	4.8	2.0	1.8	1.5	3.2	3.4	3.0
Porcentajes de saturación							
K	2-9	8.2	9.0	12.1	9.1	8.2	83
Ca	65-80	54.7	59.8	65.9	61.1	63.4	66.7
Mg	15-32	16.2	15.9	18.7	29.3	28.0	24.7
Al	20 ^c	21.1	15.3	3.3	0.4	0.4	0.3
CICE ^d (meq/100g)	4	13.3	11.3	9.1	11.3	10.7	11.8

^a Concentraciones mínimas adecuadas, excepto para Al, para el cual se indica concentración máxima adecuada (Ramírez, 1980)

^b Proporciones de meq/100 g

^c Valor máximo adecuado según laboratorio de diagnóstico, Agrilab, Guatemala (M. Wade, comunicación personal)

^d Capacidad de intercambio catiónica efectiva

Relación entre acidificación y el Mal de Viñas

Las primeras respuestas a los tratamientos se obtuvieron cuatro meses después de la siembra. Las plantas a pH 3.5 empezaron a mostrar un amarillamiento de las hojas, defoliación y un crecimiento retrasado con respecto a las plantas en un pH superior. Hacia finales del experimento, las plantas a pH 4.1 y 5.0 (testigo) también mostraron defoliación y poco crecimiento de la raíz (Figura 1). Estos síntomas son similares a los presentados por el Mal de Viñas en el campo y constituyen evidencia del daño causado por suelo ácido: el daño en raíces concuerda con la toxicidad típica de Al mientras que los síntomas foliares sugieren efectos tóxicos del Mn (Foy *et*

al., 1978). Durante los primeros 15 meses, las plantas en pH de 5.0, 7.0, 7.2 y 7.5 se mostraron en buen estado, pero luego las plantas en pH alcalinos comenzaron a mostrar amarillamiento y defoliación (Figura 1). Esto probablemente se debió a la indisponibilidad de los nutrientes (por ejemplo, P) que típicamente ocurre con pH alto en condiciones de "sobreenalado" (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Un año y dos meses después de siembra, se dio la primera cosecha (Figura 2 A). Los tratamientos de encalado, especialmente los tratamientos de 10% y 25% de cal (pH 7.0 y 7.2), tuvieron mayor rendimiento. Las plantas testigo (pH 5.0) rindieron significativamente ($P < 0.05$) menos que las demás, y los tratamientos de

acidez no dieron cosecha alguna. La acidez afectó marcadamente la producción, lo que podría explicarse por el aumento de Al, el cual obstaculiza el desarrollo y rendimiento de la planta (Reeve y Sumner, 1970), en mayor grado que el Mn (Foy *et al.*, 1978). El rendimiento bajo que tuvo el testigo sugiere que la acidez y niveles de Al y Mn existentes en el campo juegan un papel en las mermas de producción observadas en fincas con Mal de Viñas.

El conteo de hojas mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 2 B), con una marcada defoliación en el testigo y en los tratamientos acidificados. El tratamiento de enmienda con 10% de cal presentó una

abundancia significativamente mayor que los demás tratamientos, mientras que los de 25% y 50% cal no difirieron significativamente del testigo. El patrón fue similar para los datos de crecimiento total de la planta (altura) durante el experimento (Figura 2 C), y sugiere nuevamente que la acidez y niveles elevados de Al y Mn disponibles están involucrados en el desarrollo de Mal de Viñas. La clorosis y defoliación son similares a la toxicidad de Mn, que se manifiesta principalmente en la parte aérea de la planta, y que se ha asociado con destrucción de auxina (ácido indol acético) así como acción mutagénica en ADN mitocondrial e inhibición de la síntesis de ADN nuclear (Foy *et al.*, 1978).

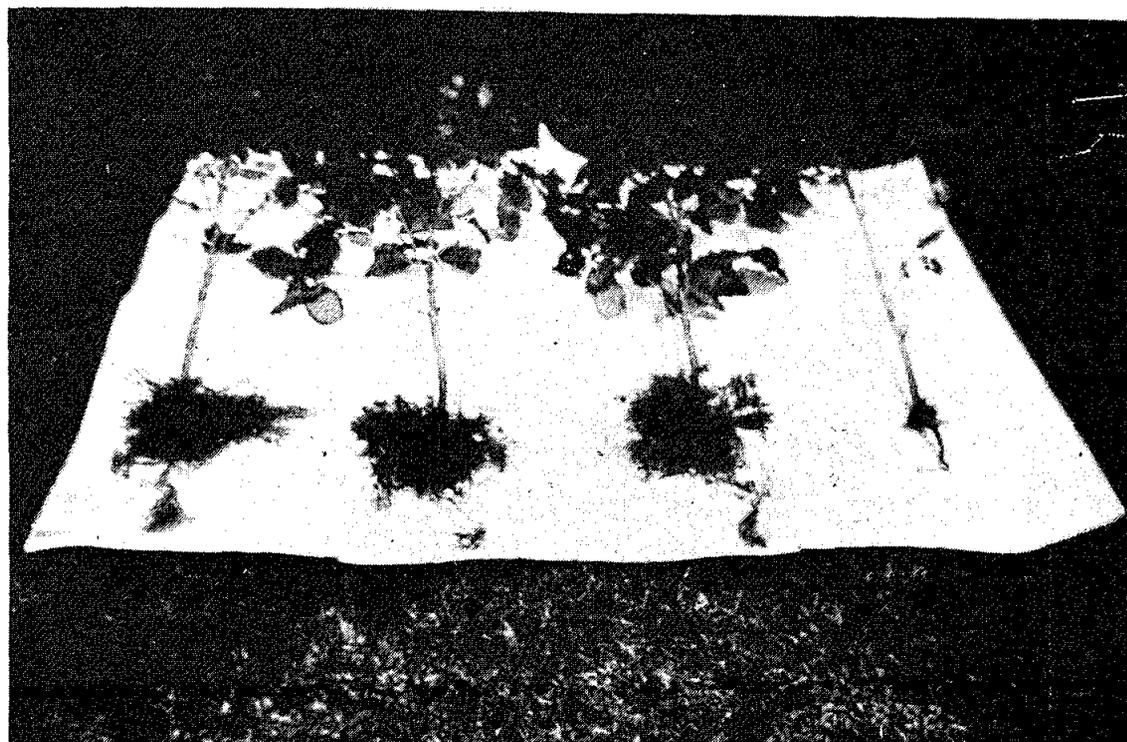


Figura 1. Desarrollo de raíces y follaje por efecto del tratamiento (de izquierda a derecha): cal 50% (pH 7.5), cal 25% (pH 7.2), cal 10% (pH 7.0) y testigo (pH 5.0).

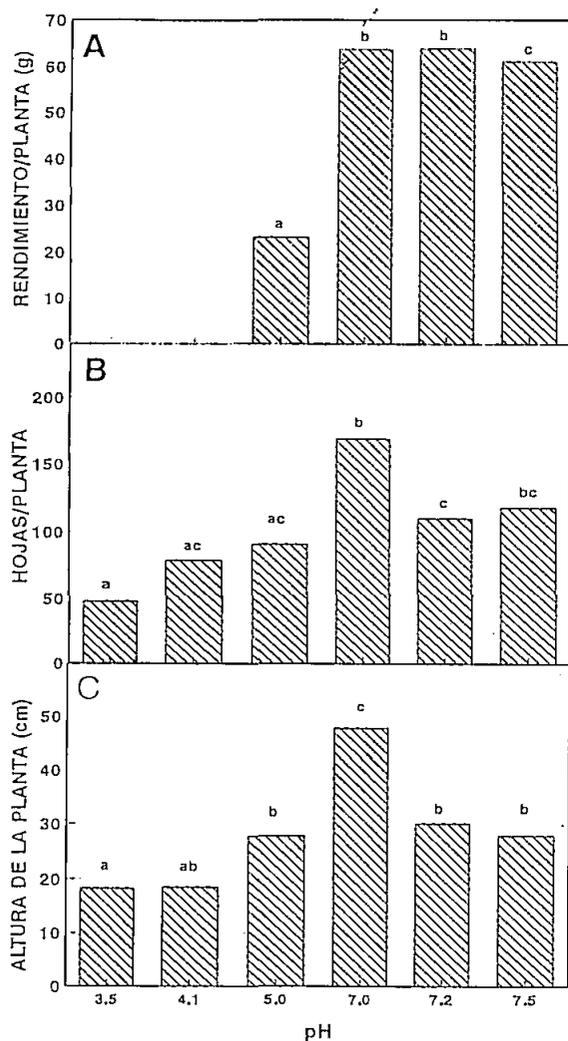


Figura 2. A. Rendimiento de café cereza (g, peso fresco) en plantillas individuales de café en invernadero, 14 meses después de la siembra en suelo acidificado y encalado. B. Número de hojas/planta en plantillas individuales de café en invernadero, aproximadamente 20 meses después de la siembra en suelo acidificado y encalado. C. (cm) altura de plantillas de café individuales en invernadero durante aproximadamente 20 meses en suelo acidificado y encalado. Los datos son promedios de seis repeticiones (plantas) en los tratamientos de acidificación (pH 3.5 y 4.1), y 10 repeticiones en el testigo (pH 5.0) y encalamientos (pH 7.0, 7.2 y 7.5). Medias con la misma letra no difieren significativamente ($P > 0.05$, Tukey).

La longitud del eje principal (pivotante) de la raíz y del diámetro de la masa de raíces produjeron patrones de respuesta similares a las variables anteriores, y no se presentan en detalle. Las diferencias entre grupos fueron menos marcadas, pero persistió el patrón de desarrollo pobre en condiciones ácidas, contrastado con un desarrollo máximo con encalamiento al 10%. Las plantas de suelos testigo o acidificados casi no tuvieron raicillas finas (Figura 1), lo cual es un síntoma común en plantas afectadas por el Mal de Viñas. En contraste, las plantas con encalamiento, particularmente el de 10%, mostraron abundante crecimiento de raicillas y follaje (Figura 1).

Estos resultados son relevantes ya que la acidez de un suelo y el Al, afectan principalmente a las raíces. Los mecanismos de acción tóxica del Al son variados, incluyendo interferencia en la división celular en raíces, fijación de P en el suelo o en las raíces, interferencia con la absorción y utilización de otros elementos como de enzimas involucradas en la deposición de polisacáridos en las paredes celulares (Foy *et al.*, 1978). McCray y Sumner (1990) encontraron una merma en la elongación del sorgo al aumentar la concentración de Al. En cambio, el Ca ayuda al desarrollo de la raíz, siempre que exista un balance de nutrientes (McCray y Sumner 1990). El daño causado por el Al incluye la reducción del eje central de la raíz, y a la vez una inhibición de raíces laterales, haciendo más corto el diámetro total y restringiendo la absorción de nutrientes (Flemming y Foy, 1968). La toxicidad de Al y la deficiencia de Ca están muy ligados, ya que existe antagonismo entre ellos en su participación en el complejo de intercambio, y de hecho los altos niveles de Al pueden inducir la falta de Ca y ser indistinguibles uno del otro (Foy *et al.*, 1978).

Los síntomas observados en los tratamientos con pH inferior a 7.0 son semejantes a los que se observan en plantaciones afectadas por el Mal de Viñas. Aunque se ha publicado mucha información especulativa sobre la importancia del pH y su efecto sobre disponibilidad y toxicidad de Al y Mn (Riveiro y Flores, 1989; Sumner y Hylton, 1994), los datos aquí presentados constituyen la primera evidencia experimental controlada que vincula estas variables con el Mal de Viñas. No obstante, ni este trabajo ni los anteriormente citados incluyen una evaluación de la interacción entre acidez del suelo y otros factores vinculados con la enfermedad, principalmente la sombra. En experimentos de campo, hemos constatado

que el factor causal determinante del Mal de Viñas es la falta de sombra y que el enclamiento superficial del suelo tiene relativamente poco efecto sobre la salud de las plantas. En términos estadísticos, el efecto principal de la sombra es mucho mayor que el de enclamiento; los datos también sugieren una interacción significativa de que el quitar la sombra de una plantación con suelos muy ácidos produce un mayor desarrollo de Mal de Viñas que en una plantación con acidez moderada.

La falta de suficiente sombra reduce la tasa de fotosíntesis de la planta por exceso de luz y daño en los cloroplastos, ya que el cafeto es una especie adaptada a bajos niveles de luz típicos del sotobosque (Cannell, 1987). Al mismo tiempo, el desombre favorece la erosión del suelo y la pérdida de la materia orgánica (Rice, 1991). También contribuye a la acumulación anormal de carbohidratos solubles en diversos tejidos de la planta que sugieren un metabolismo desbalanceado (Tay de Pérez, 1993; MacVean y Ponciano, datos no publicados). Por lo tanto, los efectos de la acidez de suelo en invernadero deben interpretarse con cautela porque resultan de un solo factor experimental. Tampoco puede compararse directamente un enclamiento homogéneo de un volumen finito de suelo en maceta con un enclamiento aplicado a la superficie de un cafetal en el campo. Carvajal (1972) señala que en general, los enclamientos de campo surten poco efecto para corregir acidez y mejorar la producción del cafeto. Hemos realizado tales pruebas de enclamiento de campo en relación a Mal de Viñas, y los resultados se presentan en el trabajo acompañante de este volumen.

CONCLUSIONES

1. La acidificación experimental del suelo causa el desarrollo de los síntomas típicos del decaimiento Mal de Viñas del café: clorosis, defoliación, falta de raicillas y rendimiento pobre. Este comportamiento se dio en condiciones de pH 5.0 y menor.

2. El daño sufrido por las plantas en condiciones ácidas concuerda con los efectos tóxicos conocidos del Al, las concentraciones en el suelo se elevaron hasta un orden de magnitud sobre el testigo (pH 5.0) por la acidificación a pH 4.1 y 3.5.

3. La aplicación de cal elevó el pH del suelo y disminuyó los niveles de metales disponibles, evitando daños a raíces y previniendo el decaimiento de las plantas

(principalmente el tratamiento de pH 7.0).

4. Plantas en suelo con pH 7.2 y 7.5 mostraron pobre crecimiento y producción en comparación con plantas creciendo a pH 7.0, lo cual concuerda con desbalances nutricionales causados por un sobreencalado.

5. Los resultados de pruebas en invernadero demostraron la asociación de la acidez del suelo y la expresión del Mal de Viñas, pero no son directamente extrapolables al campo porque no reflejan el efecto de otros factores críticos que actúan simultáneamente en el campo, principalmente la sombra.

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

LITERATURA CITADA

- Alexander, M. 1980. Effects of acidity on microorganisms and microbial processes in soils. Plenum, New York. 364 p.
- Barber, S. 1984. Liming materials and practices. Pag. 171-209. *En:* Adams F. (ed.) Soil acidity and liming. 2d. ed. Agronomy Monograph no.12. Madison, Wisconsin.
- Cannell, M. G. R. 1987. Physiology of the coffee crop. Pag. 108-133. *En:* Clifford, M. N. y K. C. Wilson (eds.) Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. Croom Helm, Great Britain.
- Díaz-Romeu, R. y A. Hunter, 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- Fassbender, W. y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2a. Ed. IICA. San José, Costa Rica. 398 p.
- Flemming, A. y D. Foy. 1968. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. *Agronomy Journal* 60: 172-175.
- Foy, C. D., R. L. Chaney, y M. C. White. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 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, Ing. Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. 52 p.

- Gutiérrez, A., E. Rodríguez y A. García. 1988. Importancia y etiología del Mal de Viñas del cafeto. Abstracts of Presentations at the 1987 Annual Meeting, American Phytopathological Society, Caribbean Division, Guatemala. *Phytopathology* 78:857.
- McCray, J. M. y M. E. Sumner. 1990. Assessing and modifying Ca and Al levels in acid subsoils. Pag. 45-75 *En: Advances in Soil Science*, Vol. 14. Springer Verlag, New York.
- MacVean, C. 1992 Causas y naturaleza del mal de Viñas en cafetos de Guatemala. Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala. 13 p.
- Morales, H., M. Palmieri y M. W. Dix. 1996. Mal de Viñas del café: ¿biótico o abiótico? *Ceiba* 37(2): 281-290.
- Núñez, J. 1985. Fundamentos de edafología. Segunda Edición. UNED. Costa Rica. 75 p.
- Ramírez, G. 1980. Análisis químico del suelo como guía para la fertilización del cafeto. *Noticiero del Café* 6 (187): 1-4. Costa Rica.
- Reeve, G. y M. Sumner. 1970. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on crop growth on oxisols in Natal. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34: 263-267.
- Rice, R. 1991. Observaciones sobre la transición en el sector cafetalero en Centroamérica. *Agroecología Neotropical* 2: 1-6.
- 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-suroriente de Guatemala. Pag. 8-17. *En: Memoria técnica de las investigaciones en café 1986 a 1989*. Asociación Nacional del Café, Guatemala.
- Riveiro, R. y M. A. Flores. 1989. Factores limitantes de algunas prácticas culturales y su relación en áreas donde existe Mal de Viñas. *Revista Cafetalera* 300:13-21.
- Salinas, J. y R. García. 1979. Métodos analíticos para suelos ácidos y plantas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 54 p.
- Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. IICA. San José de Costa Rica. 634 p.
- Sumner, M. E. y K. Hylton. 1994. A diagnostic approach to solving soil fertility problems in the tropics. Pag. 215-234. *En: Syers, J. K. y D. L. Rimmer (eds.). Soil science and sustainable land management in the tropics*. CAB International, London.
- Tamhane, R., P. Motiramani y P. Bali. 1979. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. 2a. Edición. Diana. México. 482 p.
- Tay de Pérez, K. 1993. Cuantificación de carbohidratos no estructurales y su relación con el Mal de Viñas del café. Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala. 206 p.