

DISTRIBUCIÓN RADICULAR, ABSORCIÓN DE NUTRIENTES Y EROSIÓN EDÁFICA EN SISTEMAS DE CULTIVOS Y FORRAJES EN LADERAS DEL CAUCA, COLOMBIA

Roots distribution, nutrient absorption and soils erosion in forage and crops systems in Cauca hillsiders (Colombia)

Ricaurte J.¹, Zhiping Q.², Filipe D.³, Rao I.¹ y Amezcua E.¹

RESUMEN

Los procesos erosivos en laderas Andinas (evidentes con la presencia de calvas, procesos de soliflucción, cárcavas, etc.) limitan el crecimiento de las plantas y, con ello, las posibilidades de sustentar una población humana creciente en la región. Los sistemas de producción tradicionales involucran la explotación agrícola y ganadera donde los cultivos alimenticios y de plantas forrajeras son elementos importantes. Las características radiculares de los componentes forrajeros y de cultivos en sistemas de producción en laderas podrían tener efectos importantes en la adquisición de nutrientes, el crecimiento de la planta, así como en la reducción de la pérdida de suelo.

Un experimento de investigación estratégica fue establecido durante 1994 en laderas del departamento del Cauca, Colombia, con el fin de generar principios basados en estrategias de enraizamiento para mejorar la producción agrícola y ganadera conservando el recurso natural base. Los suelos (Oxic Dystropepts) derivados de depósitos de cenizas volcánicas presentaban textura media a fina. Los tratamientos (sistemas de cultivo y forraje) fueron establecidos en pendientes fuertes (43 a 46%). Fueron seleccionados 6 tratamientos (monocultivo de yuca, yuca con cobertura de leguminosa, pasto elefante enano, pasto imperial, pastura introducida y pastura naturalizada) para determinar diferencias en la distribución de la materia seca, el índice de área foliar; la composición de nutrientes, la distribución radicular, la adquisición de nutrientes y la pérdida de suelo.

La biomasa de raíz del tratamiento yuca con cobertura de leguminosas fue superior en 44% al monocultivo de yuca. La presencia de cobertura de leguminosas no sólo redujo la erosión sino que además mejoró la

ABSTRACT

The extent of soil degradation in Andean hillsides limits plant productivity and therefore affects sustainable human development in the region. The traditional systems in these agroecosystems include agricultural and livestock exploitations where the crop and forage plants are important elements. Rooting characteristics of crop and forage components of production systems in hillsides could have important effects on nutrient acquisition and plant growth as well as reducing soil loss.

A strategic research experiment was established in 1994 in Cauca, Colombia, to generate principles based on rooting strategies for improving crop-livestock production while conserving the natural resource base. Soils at the site are medium to fine textured Oxic Dystropepts derived from volcanic-ash deposits. Treatments (crop and forage systems) were established on steep slopes (43-46%). Six treatments, cassava monocrop, cassava + cover legumes intercrop, elephant grass pasture, imperial grass pasture, introduced legume-based pasture and naturalized pasture were selected to determine differences in dry matter partitioning, leaf area index, nutrient composition, root distribution, nutrient acquisition and soil loss.

Root biomass of the cassava + cover legumes intercrop was 44% greater than that of the cassava monocrop. The presence of cover legumes not only reduced soil erosion but also improved potassium acquisition by cassava. Among the two pastures, elephant grass pasture had greater root biomass (9.3 t/ha) than the imperial grass (4.2 t/ha). The greater root length density (per unit soil volume) of the former contributed to superior acquisition of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium from soil. In

1. Centro Internacional de Agricultura (CIAT). AA 6713, Cali, Colombia.

2. Chinese Academy of Tropical Agricultural Science (CATAS). 571737, Haina, China.

3. Université Paria XIII, Val-de-Marne, France.g

adquisición de potasio por la yuca. Entre las dos posturas de gramínea, el elefante enano tuvo mayor biomasa de raíces (9.3 t/ha) que el imperial (4.2 t/ha). La mayor densidad de longitud de raíz (por unidad de volumen de suelo) del pasto elefante enano contribuyó a una mayor adquisición de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio del suelo. Además, la abundancia de raíces muy finas del pasto elefante enano en las primeras capas de suelo redujo la pérdida de suelo en estas fuertes pendientes.

De otra parte, la pastura naturalizada (*Melinis minutiflora*) desarrolló un sistema radicular más fino que la pastura introducida más leguminosa (*Brachiaria humidicola* + *Arachis pintoio* + *Centrosema macrocarpum* + *Stylosanthes guianensis*), pero el reciclaje de potasio y calcio a través de las raíces fue mayor con la postura introducida basada en leguminosas que con la postura naturalizada.

Estos resultados indican que (i) la presencia de cobertura de leguminosas permite mejorar la adquisición de potasio por la yuca y del potasio y calcio por las pasturas introducidas; y (ii) la gramínea elefante enano puede ser usado como una barrera efectiva para reducir la erosión del suelo en laderas Andinas.

Palabras claves: coberturas, erosión, leguminosas, nutrientes, pasto de corte, pasturas, raíces, yuca.

addition, the abundance of very fine roots in elephant grass pastures in the top soil layers reduced the loss of soil from the steep slopes.

Naturalized pasture (*Melinis minutiflora*) developed finer root system than the introduced legume-based pasture (*Brachiaria humidicola* + *Arachis pintoio* + *Centrosema macrocarpum* + *Stylosanthes guianensis*) but recycling of potassium and calcium via roots was greater with the introduced legume-based pasture than that of the naturalized pasture.

These results indicate that (i) the presence of cover legumes can improve potassium acquisition by cassava and potassium and calcium cycling by introduced pastures; and (ii) elephant grass can be used as an effective grass barrier to reduce soil erosion in Andean hillsides.

Key words: cassava, cover legumes, fodder grass, nutrients, pasture, roots.

INTRODUCCIÓN

En la zona Andina Colombiana, la agricultura es practicada por productores de escasos recursos, en fincas situadas en las laderas con fuertes pendientes, caracterizadas por suelos ácidos, ricos en alofanos, con alta capacidad de fijación de fósforo y propensos a erosión severa (Ashby, 1985; Reining, 1992). Los procesos erosivos en ambientes de laderas Andinas limitan el crecimiento de las plantas y, con ello, las posibilidades de sustentar una población humana creciente en la región.

La alta erosión potencial de estos suelos puede ser atribuida más a la alta erosividad de la lluvia (alta intensidad, con granizo en algunas ocasiones) que a la erodabilidad del suelo (Rupenthal et al., 1996; Suárez, F. M.). La yuca, por ser un cultivo limpio, no protege al suelo contra el golpeteo de la gota de lluvia ni contra la escorrentía (Suárez, F. M.), pudiendo ocurrir alta erosión en laderas Andinas Colombianas

con pendientes entre 40 y 50% (Howeler, 1985). Intercalando leguminosas forrajeras herbáceas con la yuca podría reducirse el grado de erosión (Reining, 1992). La adopción de esta tecnología sólo es posible si no hay reducción de la producción de yuca o si existen ingresos, vía forraje o otro intercultivo, que la compensen (Muhr et al., 1995a). El intercultivo con las leguminosas herbáceas *Centrosema acutifolium* y *Zornia glabra* disminuyeron la producción de materia seca y de raíces de yuca (Muhr et al., 1995b). De otro lado, las barreras vivas de gramíneas forrajeras (Tscherning et al., 1996) pueden reducir la erosión del suelo y contribuir con la alimentación animal, especialmente durante la época seca.

Características de enraizamiento y de competencia de raíces entre los componentes de sistemas de cultivo y forrajes en zonas de ladera pueden afectar significativamente la absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas, así como la pérdida del suelo. En 1994, en el Departamento del Cauca, Colombia, se establecieron ensayos de investigación estratégica para generar

información sobre patrones de enraizamiento con el fin de mejorar la producción y sostenibilidad de los sistemas agrícolas y ganaderos, a la vez que se conservan los recursos naturales. Como parte de estos ensayos, se inició el presente estudio para determinar los efectos de la distribución de raíces en la absorción de nutrientes y en la erosión del suelo en sistemas de cultivos y forrajes en laderas del Cauca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental (4.5 ha) está ubicado en la vereda Pescador, del municipio de Caldoño, Cauca-Colombia. Presenta suelos Oxic Dystropepts de textura media a fina derivados de depósitos de cenizas volcánicas, ricos en alofanos, con pH muy bajo (3.6 a 4.9 entre 0 y 80 cm de profundidad y alta capacidad para fijar P.

Un experimento de sistemas de cultivos fue establecido entre octubre 25 y noviembre 15 de 1994 sobre pendientes fuertes (25% a 46%) en parcelas de 400 m² con tres repeticiones. El experimento compara prototipos de un rango de sistemas de producción de cultivos y pasturas (maíz-fríjol; maíz + cobertura de leguminosas; yuca; yuca + leguminosas de cobertura; rotación de yuca-maíz-fríjol; pastura mejorada; pastos de corte), algunos de los cuales pueden disminuir el recurso suelo y otros restaurar los nutrientes removidos. Sólo se fertilizó con 6 t/ha de gallinaza en el primer ciclo de cultivo y con 3 t/ha en el segundo, de acuerdo a la práctica del agricultor de la región.

Se seleccionaron 6 tratamientos, yuca (*Manihot esculenta* cv Algodona) en monocultivo, yuca + leguminosa de cobertura (*Centrosema acutifolium* CIAT 5277 y *Arachis pintoii* CIAT 17434) asociadas, pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum* cv. Mott), pasto imperial (*Axonopus scoparius* cv. Imperial), pastura introducida asociada con leguminosas (*Brachiaria dictyoneura* CIAT 6133 + *A. pintoii* CIAT 17434 + *Centrosema macrocarpum* CIAT 5713 + *Stylosanthes guianensis* CIAT 184) y pastura naturalizada de gordura (*Melinis minutiflora*). La yuca fue sembrada en mayo de 1996 en surcos a través de la pendiente distanciados 90 cm, con igual espacio entre plantas. Simultáneamente fueron sembradas las leguminosas de cobertura. Los pastos de corte (elefante imperial) fueron sembrados en noviembre de 1994 en surcos a través de la pendiente espaciados 100 cm, con 20 cm entre las plantas. La pastura introducida asociada con leguminosas fue establecida en octubre de 1994, sembrando a 40 cm entre plantas de material vegetativo

de *B. dictyoneura* y 4 kg/ha de semilla sexual de cada una de las leguminosas. La pastura naturalizada había sido establecida con anterioridad por el productor del lugar.

Las evaluaciones de campo para los tratamientos de yuca y pastos de corte se realizaron en enero de 1997, y los de pasturas (introducida y naturalizada) al final de mayo e inicio de junio de 1997. Las características de la parte aérea y de raíz en yuca y leguminosas de cobertura, así como de la hojarasca y arvanceses, se evaluaron sobre dos plantas de yuca (área de 0.9 m x 1.8 m) en cada repetición. El área de muestreo en los pastos de corte y las pasturas fue de 1 m x 1 m. El área foliar fue determinada usando un medidor de área foliar (LI 3000; LI-COR Inc., Lincoln, NE). La distribución de raíces fue realizada mediante muestreo con barreno (Rao et al., 1998) y calicata (Tscherning et al., 1995). Se tomaron 5 barrenos a diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-40, 40-80 cm) distanciados 10 cm de la planta (a través del surco de yuca y perpendicular a éste en los pastos de corte). Igual número de barrenos, distribuidos en el marco de 1m x 1m, se tomaron en las pasturas introducida y naturalizada. Después de lavadas las raíces, usando un tamiz de 1 mm, se separaron manualmente las raíces vivas para medirles la longitud, usando un "Scanner Comair para Longitud de Raíz" (Rao et al., 1996).

La distribución de la materia seca entre las partes de las plantas fue determinada mediante el secado de las muestras en horno a 60 °C durante tres días. Posteriormente estas muestras fueron molidas (pasando por tamiz de 1 mm) para realizar el análisis de nutrientes, (Rao et al., 1995). La tasa de mineralización de N en suelo fue determinada de acuerdo al método descrito por Rao et al., 1995, y las pérdidas o ganancias de suelo mediante el método del "relievímetro" (Amézquita et al., 1997). Se realizó análisis de varianza utilizando el modelo de bloques completos al azar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del suelo

La tasa neta de mineralización de N en el suelo (en Kg/ha/día) entre los 0 y 20 cm de profundidad fue mayor en el cultivo asociado de yuca (2.0 a 2.5) que el de yuca en monocultivo (1.4 a 2.1). El pasto elefante también presentó mayores tasas de mineralización de N en la capa arable (2.9 a 3.1 kg/ha/día) que el pasto imperial (2.3 a 2.9). La disponibilidad de K y P

(Bray II) en la capa arable fue mayor en la yuca asociada que en la yuca en monocultivo. La disponibilidad de K en las parcelas de pasto elefante fue mayor que en las de pasto imperial. La disponibilidad de P en la pastura introducida fue superior a la de la pastura naturalizada. La densidad aparente del suelo (g/cm^3) entre 0 y 80 cm de profundidad aumentó en el cultivo de yuca asociada (0.91 a 0.99) comparada con el de yuca en monocultivo (0.76 a 0.85); fue similar entre los dos pastos de corte (0.81 a 0.94) y entre las dos posturas (0.49 a 0.95).

Características de raíz

La distribución de la biomasa radicular, entre los 0 y 80 cm de profundidad del suelo, fue 44% mayor en los primeros 10 cm en la yuca asociada con leguminosa de cobertura que en la yuca en monocultivo (Figura 1A). Sin embargo, los valores de densidad de longitud de raíz fueron similares en ambos sistemas de cultivo (Figura 1B), lo que indica que las raíces de las leguminosas de cobertura fueron más gruesas que las de la yuca. El pasto elefante superó significativamente (0.05 de probabilidad) al imperial en producción de biomasa y en densidad de longitud de raíz. Entre 0 y 80 cm de profundidad, la biomasa de raíces total del pasto elefante fue 2.2 veces mayor, y el promedio de la densidad de longitud de raíz en el perfil del suelo fue 3.8 veces mayor, que los respectivos valores en pasto imperial. La pastura naturalizada (*M. minutiflora*) desarrolló un sistema radicular más fino que el de pastura introducida asociada con leguminosas (*B. dictyoneura* + *A. pintoii* + *C. macrocarpum* + *S. guianensis*), pero el reciclaje de K y Ca por las raíces fue mayor en este último sistema (Tabla 2).

Pérdidas de suelo

Los resultados de la distribución de raíces indican que el pasto elefante desarrolla un sistema de raíces finas más abundante y extensa que el pasto imperial, lo que ayudaría a reducir la erosión en suelos de ladera. En efecto, las mediciones de la pérdida o recuperación del suelo en diferentes sistemas mostraron pérdidas de suelo en los sistemas de cultivo de yuca y recuperación de suelos en los sistemas de gramíneas de corte (Tabla 1). No obstante, la presencia de leguminosas de cobertura asociadas con la yuca redujo en forma marcada la pérdida del suelo. La recuperación del suelo en el pasto elefante fue mayor que en el pasto imperial.

Atributos de la planta

Las diferencias en atributos de la parte aérea, de la raíz y la absorción de nutrientes entre sistemas de cultivos y forrajes se presenta en las tablas 2 y 3. Los rendimientos de yuca (peso seco) no fueron afectados por la presencia de leguminosas de cobertura, debido principalmente a que se mantuvo la biomasa de hojas y el índice de área foliar cuando la yuca se asoció con las leguminosas. Entre las dos gramíneas, el pasto elefante presentó la mayor biomasa foliar y la relación hoja: tallo más alta, lo que puede relacionarse con una mayor producción de biomasa radicular de esta gramínea (figura 1). La mayor biomasa de raíces en el sistema yuca + leguminosa de cobertura se asoció con la reducción en el crecimiento de malezas, comparado con la yuca en monocultivo.

La presencia de leguminosas de cobertura no redujo la absorción de nutrientes por layuca. En efecto, la

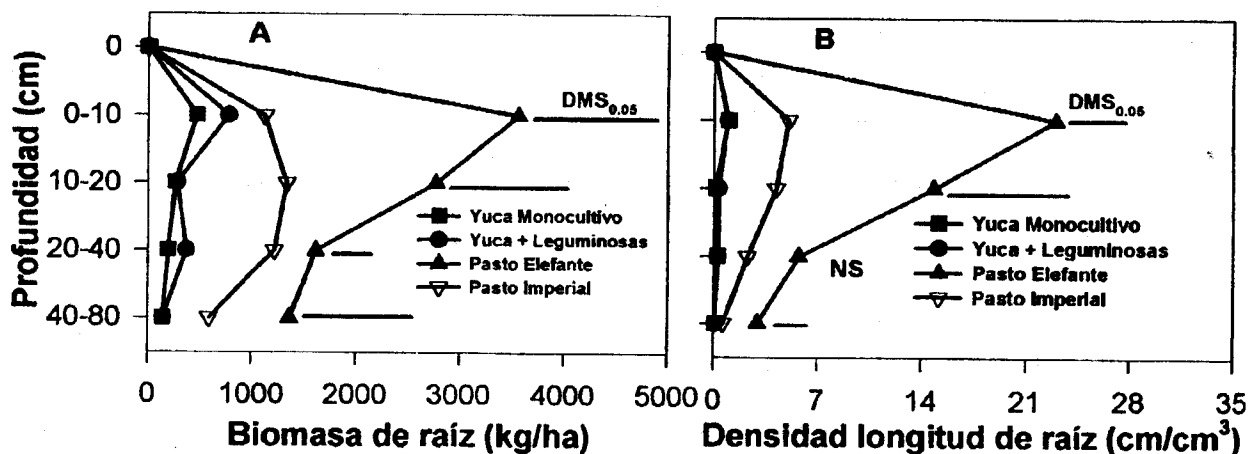


Figura 1. Distribución de la biomasa de raíz y densidad de longitud de raíz en sistemas de cultivos y forrajes, en un suelo de ladera derivado de cenizas volcánicas del Cauca, Colombia.

Tabla 1. Pérdidas o ganancias de suelo bajo sistemas de cultivos-forrajes en un suelo derivado de cenizas volcánicas en laderas del Cauca, Colombia.

Sistemas cultivos-forrajes	Pérdidas(-) ¹ o ganancias(+) (t/ha/6 meses)	Pendiente (%)
Yuca	-193±27	46
Yuca + Leguminosas	-50±24	43
Pasto elefante	+96±31	43
Pasto imperial	+60±30	43

1. Medias y desviaciones estándar de tres repeticiones.

absorción de K fue mayor, aunque no en forma significativa, cuando la yuca se asoció con leguminosas de cobertura que cuando se cultivo sola (tabla 3). Esto puede atribuirse al reciclaje de K a través de los residuos de la leguminosa. La absorción de Mg en la parte aérea fue similar en ambos sistemas de cultivo de yuca. El pasto elefante, con su abundante y extenso sistema radicular, absorbió cantidades significativas mayores de N, P y K del suelo, aunque la absorción de Ca y Mg en la parte aérea fue similar en ambas gramíneas forrajeras. La pastura naturalizada desarrolló un sistema radicular más fino que el de la pastura introducida, pero el reciclaje de K y Ca por las raíces fue mayor en este último sistema (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de atributos de la planta en pasturas naturalizada e introducida asociada con leguminosas, en un suelo derivado de cenizas volcánicas del Cauca, Colombia.

Atributos de la planta	Pastura Naturalizada	Pastura Introducida
Biomasa de la parte aérea (t/ha)	9.14±1.69*	7.44±1.43
Índice de área foliar (m ² /m ²)	2.63±0.64	2.93±1.19
Biomasa de raíz (t/ha)	3.00±0.43	4.94±2.52
Longitud total de raíz (km/m ²)	24.6±0.7	17.4±5.7
Longitud específica de raíz (m/g)	71.8±20	31.6±1.7
Absorción de K en raíz (kg/ha)	4.1±2.7	15.1±6.9
Absorción de Ca en raíz (kg/ha)	5.7±0.7	15.5±5.8

*Promedios y desviaciones estándar de tres repeticiones.

CONCLUSIONES

Una apreciación de los atributos de la planta (en los elementos individuales que benefician componentes asociados) relacionados con la absorción de nutrientes en suelos ácidos de baja fertilidad, es sumamente importante para diseñar sistemas compatibles que contribuyan a mejorar la productividad y la eficiencia de uso de los recursos en sistemas de cultivos y forrajes.

Los resultados obtenidos indican que, en el cultivo asociado de yuca, las leguminosas de cobertura *Arachis pintoi* y *Centrosema acutifolium* pueden mejorar la ab

Tabla 3. Comparación de atributos de la planta entre sistemas cultivo-forrajes en un suelo derivado de cenizas volcánicas de laderas del Cauca, Colombia.

Atributos de la planta ¹	Sistemas con yuca				Pastos de corte		
	Yuca monocultivo	Yuca asociada			Pasto Elefante	Pasto Imperial	DMS ²
		Yuca	Leguminosas	Total			
Biomasa de hojas	1240	1360	610	1970	1930	1320	NS
Índice de área foliar	2.78	2.70	1.66	4.36	3.38	3.48	NS
Biomasa aérea	6390	6230	1420	7660	3370	3430	2900
Peso seco yuca	2570	2300	---	---	---	---	NS
Absorción aérea de N	98	95	36	130	49	28	46
Absorción aérea de P	9.3	9.7	2.8	12	12	6	5.8
Absorción aérea de K	56	69	26	94	83	29	59
Absorción aérea de Ca	38	37	12	50	20	19	17
Absorción aérea de Mg	18	16	4.2	20	13	13	NS

1. Todos los atributos en kg/ha excepto índice de área foliar que está en m²/m².

2. DMS = diferencia mínima significativa (probabilidad 0.05); NS = no significativo.

sorción de K por la yuca y contribuir a reducir la erosión del suelo en zonas de laderas.

La comparación de los atributos de raíz y de la parte aérea en los pastos elefante e imperial sugirió que el primero puede ser utilizado como barrera viva eficaz para reducir la erosión del suelo en laderas de la zona Andina Colombiana.

El contraste de los atributos de la planta, entre la pastura naturalizada y la pastura introducida asociada con leguminosas, indicó que además de la fijación biológica del nitrógeno por las leguminosas, éstas tienen un efecto benéfico en el reciclaje de K y Ca a través de las raíces.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMÉZQUITA, E., L.F. CHÁVEZ and A. ALVAREZ, 1997, *Suelos Ecuatoriales*, 27, 145-150.
- ASHBY, J. 1985, *Rural Sociology*, 50, 377-396.
- HOWELER, R.H., 1985, In: *Manejo y Conservación de Suelos de Ladera. Memorias del Primer Seminario sobre Manejo y Conservación de Suelos*. 14-16 June, 1984, Cali, Colombia, pp. 77-92.
- MUHR, L., D.E. LEIHNER, T.H. HILGER and K.M. Müller-Semann, 1995a, *Angew. Bot.*, 69, 17-21.
- MUHR, L., D.E. LEIHNER, T.H. HILGER and K.M. Müller-Semann, 1995b, *Angew. Bot.*, 69, 22-26.
- RAO, I.M., M.A. AYARZA and R.J. THOMAS, 1994, *Plant and Soil*, 162, 177-182.
- RAO, I.M., M.A. AYARZA AND R. GARCÍA, 1995, *Plant Nutr.*, 18: 2135-2155.
- RAO, I.M., V. BORRERO, J. RICAURTE, R. GARCÍA, y M.A. AYARZA, 1996, *J. Plant Nutr.*, 19: 323-352.
- RAO, I.M., M.A. AYARZA and P. HERRERA, 1998, In: *Proceedings of the 5th Symposium of the International Society of Root Research*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- REINING, L., 1992, In: D. E. Leihner (Ed.). *Hohenheim Tropical Agricultural series No. 1*, Margraf Scientific Books, Weikersheim.
- RUPENTHAL, M., D.E. LEIHNER, T.H. HILGER and J.A. CASTILLO F., 1996, *Exp. Agric.*, 32: 91-101.
- SUÁREZ V., F. M. Informe técnico sobre causas y control de erosión en el área del corregimiento de Mondomo. Informe CVC No. 81-17. CVC, Subdirección de Desarrollo, División de Asistencia Técnica, Sección Suelos. 19 p.
- TSCHERNING, K., D. E. LEIHNER, T.H. HILGER, K.M. Müller-Semann and M.A. El-Sharkawy, 1995, *Field Crops Res.*, 43: 131-140.

Reprinted with permission from Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Originally published in *Suelos Ecuatoriales* 30(2): 157-162, Copyright 2000.