

# Selección de abonos verdes para el manejo y rehabilitación de los suelos sulfatados ácidos de Boyacá (Colombia)

## Selecting green manure for managing and reclaiming acid sulphate soils of Boyacá (Colombia)

Dilsa M. Hernández<sup>1</sup> y Silvio E. Viteri<sup>2</sup>

**Resumen:** El valle de Tundama y Sugamuxi, en el departamento de Boyacá, cuenta con alrededor de 3.000 ha de terreno con suelos sulfatados ácidos (SSA), cuyo manejo requiere la aplicación de altas cantidades de gallinaza, práctica no viable desde el punto de vista ambiental y de costos de producción. La presente investigación se realizó entre mayo y diciembre de 2002, con el fin de identificar, por su comportamiento agronómico, especies de abono verde con un alto potencial como fuente alternativa de materia orgánica para el manejo y rehabilitación de SSA. Las especies evaluadas fueron avena 'Cajicá' y 'Cayuse' (*Avena sativa* L.), centeno (*Cecalecereale*), girasol (*Helianthus annuus* L.), maíz forrajero (*Zeamays*), nabo forrajero (*Raphanus sativus* L. var. *Oleiferus* Metzg), quinua (*Chenopodium quinoa* Wild), remolacha forrajera (*Beta vulgaris* L.), rábano forrajero (*Raphanus raphanistrum*) y vicia (*Vicia sativa* L.). El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar, con 10 tratamientos y 4 repeticiones. Las variables determinadas fueron: porcentaje de germinación de cobertura, altura de planta, desarrollo de raíces, número de plantas de las especies y de arvenses y producción de materia fresca y seca. Los resultados indicaron que las especies de mayor potencial para el manejo y rehabilitación de SSA fueron el nabo forrajero y el rábano forrajero, seguidas, en segundo lugar, por las avenas 'Cajicá' y 'Cayuse' y, en tercer lugar, por centeno, girasol y vicia. El maíz forrajero, la quinua y la remolacha forrajera no mostraron ningún potencial. Esta es una primera investigación respecto a la identificación de especies de abono verde con potencial para el manejo y recuperación de los SSA de Boyacá.

**Palabras claves adicionales:** materia orgánica, recuperación de suelos, nabo forrajero, rábano forrajero, *Raphanus*

**Abstract:** The Tundama and Sugamuxi valley in Boyacá covers around 3,000 hectares of land covered by acid sulphate soils whose management requires high quantities of chicken manure to be applied, a non-viable agronomic practice from the environmental and production cost point of view. The study was conducted with the aim of identifying species of green manure presenting potential as an alternative source of organic matter for the appropriate management and reclamation of acid sulphate soil. The species evaluated in this study were oats ('Cajica' and 'Cayuse') (*Avena sativa* L.), rye (*Cecalecereale*), sunflowers (Hybrid Hi-Doris) (*Helianthus annuus* L.), forage corn (*Zea mays*), forage turnips (var. *Oleiferus* Metzg) (*Raphanus sativus* L.), forage radishes (*Raphanus raphanistrum*), forage sugar beet (*Beta vulgaris* L.), quinua (*Chenopodium quinoa*), and vicia (*Vicia sativa* L.). A randomized complete block experimental design was used, having 10 treatments and four replications. Seed germination percentage, percentage of area covered, plant height, root development, number of plant species and weeds, and green and dry matter production variables were determined. The results indicated that forage turnips and forage radishes were the species having the highest potential for managing and reclaiming acid sulphate soils, followed by oats ('Cajica' and 'Cayuse') rye, sunflowers and vicia. Forage corn, quinua, and forage sugar beet species did not show any potential. This is the first research aimed at identifying green manure species having potential for managing and reclaiming Boyacá's acid sulphate soils.

**Additional key words:** organic matter sources, forage species, *Raphanus*

Fecha de recepción: 20 de octubre de 2005  
Aceptado para publicación: 11 de mayo de 2006

<sup>1</sup> Investigadora, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Grupo interinstitucional de investigación en suelos sulfatados ácidos tropicales (GISSAT). e-mail: dilherfo@hotmail.com

<sup>2</sup> Profesor titular, Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. e-mail: sviteri@tunja.uptc.edu.co

## Introducción

EN EL DISTRITO DE RIEGO del Alto Chicamocha se encuentran alrededor de 3.000 ha de terreno con suelos sulfatados ácidos (SSA), que, por sus características físicas, químicas y biológicas, son atípicos en la región (Bello y Gómez, 2001). Entre las recomendaciones para el manejo de estos suelos se incluye la aplicación de altas cantidades de gallinaza, práctica que desde el punto de vista ambiental y de costos de producción no es la más viable. En otras regiones de Boyacá, sin esta clase de suelos, determinadas especies de abono verde han demostrado excelente potencial como fuente alternativa de materia orgánica (Viteri y Méndez, 2003), por lo que existe la inquietud respecto al grado de expresión de dicho potencial bajo condiciones de SSA.

Con el fin de investigar el comportamiento agronómico de los abonos verdes bajo tales condiciones y seleccionar los que muestren el mayor potencial, se evaluaron 10 especies vegetales por su capacidad de crecimiento y desarrollo en un suelo sulfatado ácido, ubicado en la unidad de riego Pantano de Vargas. Se pone de relieve que el uso de abonos verdes está considerado dentro del marco de la implementación de tecnologías sostenibles y sustentables, encaminadas hacia la conservación de los recursos naturales indispensables para el éxito de cualquier empresa agrícola (Anaya et al., 1974). La búsqueda de especies de abonos verdes que bajo las condiciones de SSA muestren potencial como fuente alternativa de materia orgánica es crucial para que el agricultor pueda manejar dichos suelos con proyección sustentable, sin incurrir en los problemas de contaminación que generalmente ocasiona la gallinaza.

## Materiales y métodos

Esta investigación se realizó durante los meses de mayo a diciembre de 2002 en un suelo Thapto Histic Sulfaquent de la unidad de riego Pantano de Vargas, municipio de Paipa, departamento de Boyacá, ubicado a una latitud norte de 5°46' y longitud oeste de 73°0,2', a una altura de 2.550 msnm, temperatura promedio de 15,5 °C y humedad relativa de 76%. La textura y las propiedades químicas de este suelo se encuentran detalladas en la tabla 1. Las especies evaluadas fueron avena 'Cajicá' y 'Cayuse' (Avena sativa L.), centeno (Cecale cereale), girasol híbrido Hi-Doris (Helianthus annuus L.), maíz forrajero (Zeamays), nabo forrajero (Raphanus sativus L., var. Oleiferus Metzger), rábano forrajero (Raphanus raphanistrum), remolacha forrajera (Beta vulgaris L.), quinua (Chenopodium quinoa Wild.) y vicia

(Vicia sativa L.). El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con 10 tratamientos y 4 repeticiones (Gómez y Gómez, 1984). Los tratamientos se estuvieron representados por las especies utilizadas.

La parcela experimental fue de 5 m x 6 m, para un área total de 1.770 m<sup>2</sup>. De acuerdo con resultados de investigaciones anteriores, un mes antes de la siembra se incorporó en el área experimental cal viva de Nobsa (75% CaO), en una dosis de 12,5 t·ha<sup>-1</sup> (Bello y Gómez, 2001). La siembra se hizo al voleo, utilizando la densidad recomendada para cada especie (avena 100 kg·ha<sup>-1</sup>, centeno 50 kg·ha<sup>-1</sup>, girasol 50 kg·ha<sup>-1</sup>, maíz forrajero 30 kg·ha<sup>-1</sup>, nabo forrajero 20 kg·ha<sup>-1</sup>, rábano forrajero 40 kg·ha<sup>-1</sup>, remolacha forrajera 20 kg·ha<sup>-1</sup>, quinua 10 kg·ha<sup>-1</sup> y vicia 80 kg·ha<sup>-1</sup>). La fertilización se hizo también al voleo y, de acuerdo al análisis de suelo, se aplicó 1,25 kg de fertilizante 12:24:12:2CaO:2MgO:15S:0,04B:0,02Zn por unidad experimental, equivalente a 417 kg·ha<sup>-1</sup>.

Las variables determinadas fueron: porcentaje de germinación y cobertura, presencia de especies y arvenses, producción de fitomasa fresca y seca por especie, altura de planta y longitud de raíces. El porcentaje de germinación se evaluó cada 15 d hasta los 75 d después de la siembra (dds), relacionando el número de semillas que se sembró y el que germinó en un metro cuadrado. El porcentaje de cobertura se determinó a los 90 dds, tomando como el área de un metro cuadrado como el 100% de cobertura. La presencia de las especies y arvenses se calificó también a los 90 dds, contando el número respectivo de plantas en un metro cuadrado. La producción de fitomasa fresca y seca se determinó quincenalmente hasta los 120 dds; para el efecto, las plantas presentes en un metro cuadrado se cortaron a la altura del cuello de la raíz, se juntaron y pesaron; luego, 500 g de materia verde de plantas de cada especie seleccionadas al azar se sometieron a secado a 80 °C durante 24 h, con el fin de determinar la producción de fitomasa seca y realizar posteriormente su equivalencia en toneladas por hectárea. La altura de planta y la longitud de raíces se determinaron quincenalmente a partir de los 15 dds hasta los 120 dds, tomando al azar 10 plantas por unidad experimental.

La tolerancia a plagas y enfermedades se evaluó durante todo el ciclo del cultivo. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza y a la prueba Duncan. Al finalizar la experimentación se procedió a tomar una muestra de suelo representativa de toda el área y se llevó al laboratorio de suelos para su análisis respectivo.

## Resultados y discusión

### Suelo

Según el IGAC (1968) y trabajos recientes de descripción de perfiles realizados por el Grupo interinstitucional de investigación en suelos sulfatados ácidos tropicales (GISSAT), los suelos de la unidad de riego Pantano de Vargas, cuya pendiente fluctúa entre 3% y 7%, son aptos para pastos y cultivos de raíces poco profundas, debido a que poseen mal drenaje y su nivel freático es alto. Su primer horizonte es moderadamente profundo, de textura franco arenosa a franco arcillosa; color pardo grisáceo (10YR5/2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo; estructura en bloques subangulares; consistencia firme en húmedo, ligeramente plástica y no pegajosa en mojado; permeabilidad moderadamente rápida; buena retención de humedad y poca presencia de macroorganismos y raicillas. El segundo horizonte presenta textura arcillosa; color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en seco y negro (10YR2/1) en húmedo; estructura en bloques angulares; consistencia muy firme en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; permeabilidad lenta y retención de humedad alta.

Al comparar los resultados del análisis del suelo al inicio y al final del experimento (tabla 1), es claro que durante el tiempo correspondiente al desarrollo de las

Tabla 1. Resultados del análisis del suelo al inicio y final del experimento. Unidad de riego Pantano de Vargas (Boyacá).

Análisis	Lectura al inicio	Lectura al final
Textura	Franco arenosa	Franco arenosa
pH	4, 4	5, 07
Materia orgánica (%)	14, 3	12, 4
P - Bray II (ppm)	29, 5	50, 7
Al (meq·100g <sup>-1</sup> )	4, 6	1, 0
Ca (meq·100g <sup>-1</sup> )	6, 28	23, 6
Mg (meq·100g <sup>-1</sup> )	0, 81	9, 9
K (meq·100g <sup>-1</sup> )	0, 36	0, 89
Na (meq·100g <sup>-1</sup> )	0, 58	0, 95
CICE (meq·100g <sup>-1</sup> )	12, 63	36, 3
CE (dS·m <sup>-1</sup> )	1, 76	3, 4
Fe (ppm)	49, 0	60, 4
Mn (ppm)	3, 23	26, 0
Zn (ppm)	0, 68	10, 0

CICE: capacidad de intercambio catiónico efectiva; CE: conductividad eléctrica

especies se produjo un mejoramiento de las propiedades químicas del suelo, debido principalmente a la incorporación de la cal al inicio de la experimentación y posiblemente en cierto grado a efectos procedentes del desarrollo de las especies. Las mejoras se presentaron con relación al pH, la presencia de Al<sup>+3</sup> intercambiable al contenido de nutrientes disponibles en el suelo. Con la aplicación de las 12,5 t·ha<sup>-1</sup> de cal (75% CaO), el pH del suelo aumentó 0,67 unidades y, en consecuencia, el contenido de Al<sup>+3</sup> intercambiable disminuyó en 3,6 meq·100g<sup>-1</sup> y, tanto la disponibilidad de los elementos fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), como en la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), aumentaron notoriamente. Respecto a la materia orgánica, su contenido bajó levemente, lo que era de esperarse puesto que al momento de la toma de las muestras de suelo al final del experimento aún no se había efectuado la incorporación de la fitomasa procedente de las especies.

Aparte del muy apreciable aumento en la disponibilidad de cada uno de los nutrientes analizados en este estudio, que son esenciales para la buena nutrición de los cultivos, es importante resaltar la disminución de la acidez y del Al<sup>+3</sup> intercambiable en el suelo, factores que son muy limitantes para la producción de cultivos (Tisdale et al., 1993). Estos cambios indican que sí es factible mejorar las características químicas de los suelos sulfatados ácidos, lo que da margen para integrar otras alternativas, como el suministro de materia orgánica a través de los abonos verdes, con el fin de enfocar el manejo y la recuperación de los suelos sulfatados ácidos a través de un conjunto de medidas que, además de producir resultados favorables desde el punto de vista puramente químico, se enmarquen dentro los principios de las tendencias agroecológicas que hoy en día se deben tener en cuenta para el ejercicio de las actividades agrícolas (Altieri y Yurievic, 1991).

### Germinación y cobertura de las especies

Los resultados de la capacidad de germinación y cobertura por parte de las especies bajo las condiciones de suelo escogidas se presentan en la tabla 2. En cuanto a germinación, la avena 'Cayuse', el nabo forrajero y la vicia superaron significativamente a las demás especies. El centeno y la avena 'Cajicá' figuraron en segundo lugar. Los porcentajes más bajos correspondieron al rábano forrajero, al maíz forrajero, la remolacha y la quinua.

Tabla 2. Germinación y capacidad de cobertura de las especies. Unidad de riego Pantano de Vargas (Boyacá).

Tratamiento	Especie	Germinación (%)	Cobertura* (%)
1	Maíz forrajero	38 de	10 c
2	Girasol	57 c	59 b
3	Avena 'Cayuse'	87 a	93 a
4	Remolacha forrajera	34 ef	21 c
5	Vicia	83 a	97 a
6	Avena 'Cajicá'	64 b	95 a
7	Rábano forrajero	45 d	64 b
8	Quinua	28 f	9 c
9	Centeno	73 b	68 b
10	Nabo forrajero	84 a	98 a
Significancia		5%	5%

\*90 días después de la siembra

En términos de cobertura del suelo, la avena 'Cayuse', el nabo forrajero y la vicia fueron las mejores, lo que coincide con los resultados de germinación. La avena 'Cajicá', que en la variable germinación figuró en segundo lugar en cobertura, clasificó en el primer grupo, con 94%. El centeno, el rábano forrajero y el girasol conformaron un grupo intermedio, y la remolacha forrajera, el maíz forrajero y la quinua, el grupo más bajo.

#### Presencia de especies y arvenses

La figura 1 indica que las especies de abono verde que permitieron la mayor presencia de plantas arvenses fueron la quinua ( $\tau_8$ ) y el maíz forrajero ( $\tau_1$ ), seguidas de la

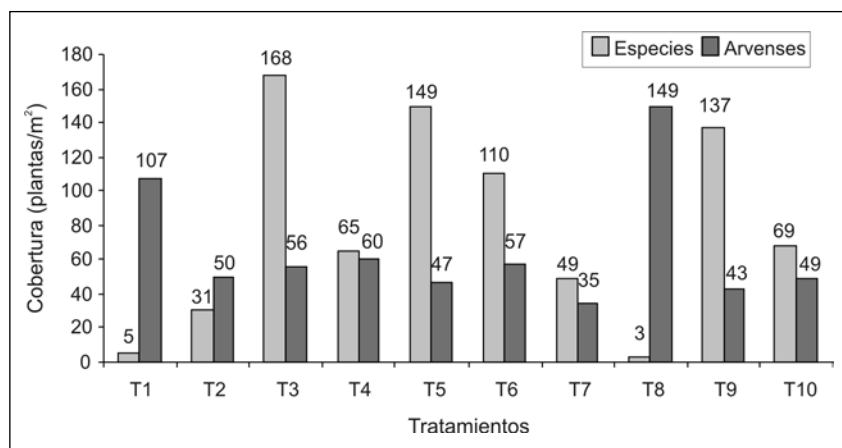


Figura 1. Presencia de las especies y arvenses, 90 días después de la siembra. Unidad de riego Pantano de Vargas (Boyacá).  $\tau_1$ , maíz forrajero;  $\tau_2$ , girasol;  $\tau_3$ , avena 'Cayuse';  $\tau_4$ , remolacha forrajera;  $\tau_5$ , vicia;  $\tau_6$ , avena 'Cajicá';  $\tau_7$ , rábano forrajero;  $\tau_8$ , quinua;  $\tau_9$ , centeno;  $\tau_{10}$ , nabo forrajero.

remolacha forrajera ( $\tau_4$ ), el girasol ( $\tau_2$ ) y el centeno ( $\tau_9$ ). Estas especies fueron las más bajas en germinación y cobertura del suelo (tabla 2) y por lo tanto, dieron mayor oportunidad para el establecimiento de las arvenses. En contraste, el nabo forrajero ( $\tau_{10}$ ), la vicia ( $\tau_5$ ) y las avenas 'Cajicá' ( $\tau_6$ ) y 'Cayuse' ( $\tau_3$ ), gracias a su mayor porcentaje de germinación y cobertura del suelo, demostraron también una mayor capacidad en el control de arvenses. Esta capacidad constituye una característica muy importante desde el punto de vista agronómico, ya que la mayoría de arvenses son plantas agresivas con raíces profundas que compiten muy eficientemente con los cultivos agronómicos por todos los factores de crecimiento y desarrollo, por lo que la actitud del agricultor es en general la de eliminarlas, pese a que esto le implica una inversión considerable, tanto en tiempo como en dinero.

#### Altura de planta

La figura 2 muestra que el nabo forrajero fue la especie que alcanzó la mayor altura a los 75 dds, diferenciándose significativamente de las demás especies. El girasol, la avena 'Cajicá', la avena 'Cayuse', la vicia, el maíz y el centeno conformaron un grupo intermedio, y el rábano forrajero, la quinua y la remolacha forrajera, el grupo con la altura más baja. Cabe resaltar el vigor de crecimiento del nabo forrajero bajo las condiciones de los SSA, al igual que bajo otras condiciones agroecológicas de Boyacá (Viteri y Méndez, 2003). La altura alcanzada por la avena 'Cayuse', la avena 'Cajicá', la vicia y el centeno también merece atención, ya que es un indicador de su buen grado de adaptación a diferentes condiciones agroecológicas, coincidiendo con lo reportado por Derpsch et al., 1992; Valdivieso et al., 1995; Roncancio, 2000; Orjuela, 2000 y Tamayo, 2001.

#### Desarrollo de raíces

Según observaciones realizadas por el GISSAT (2004-2005), estos suelos se caracterizan por niveles freáticos cercanos a la superficie y horizontes sulfúricos que pueden ocurrir a partir de los 10 cm de profundidad, que se distinguen por pH menores a 3,5 y estar moteados de jarosita  $[(KFe)_3(SO_4)_2(OH)_2]$ . El suelo utilizado en este estudio presenta este tipo de horizontes y, por lo tanto, el desarrollo de raíces por las especies analizadas no superó los 20 cm.

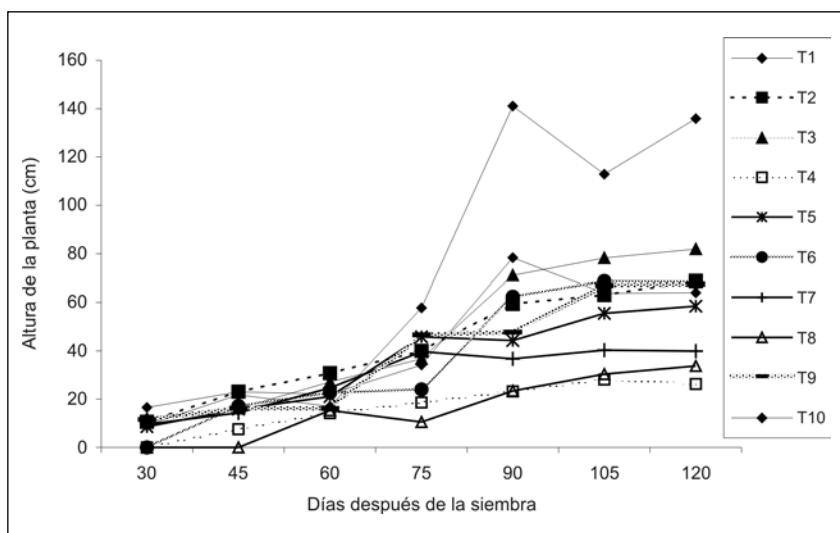


Figura 2. Altura alcanzada por las especies durante los 120 días después de la siembra. Unidad de riego Pantano de Vargas (Boyacá). T1, maíz forrajero; T2, girasol; T3, avena 'Cayuse'; T4, remolacha forrajera; T5, vicia; T6, avena 'Cajicá'; T7, rábano forrajero; T8, quinua; T9, centeno; T10, nabo forrajero.

La figura 3 indica que la especie que alcanzó significativamente el mayor desarrollo de raíces fue la remolacha forrajera (T4), seguida por el nabo forrajero (T10) y el rábano forrajero (T7). La tolerancia del nabo forrajero a la acidez del suelo ya fue destacada en los reportes de experimentos realizados en otros municipios de Boyacá (Viteri, 2002; Viteri y Méndez, 2003). Esta característica resulta de suma importancia, no solamente para los suelos sulfatados, sino también para el resto de suelos ácidos de Boyacá y de otras regiones frías

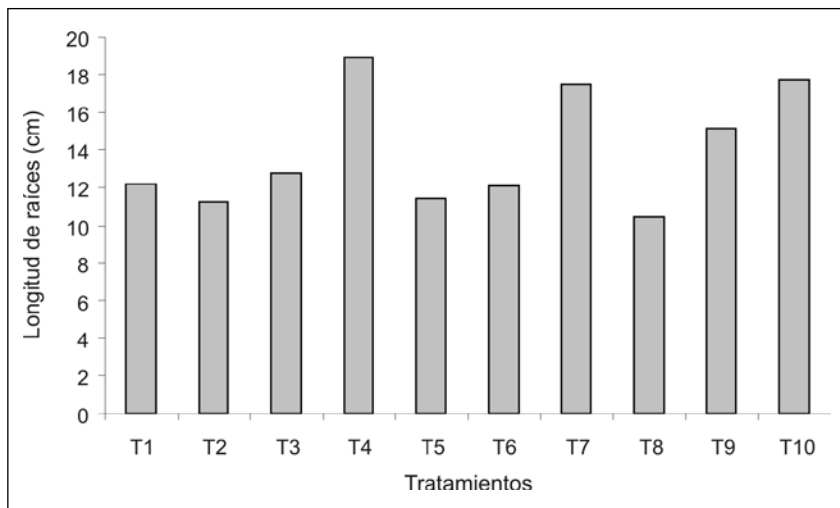


Figura 3. Longitud de raíces de las especies a los 120 días después de la siembra. Unidad de riego Pantano de Vargas (Boyacá). T1, maíz forrajero; T2, girasol; T3, avena 'Cayuse'; T4, remolacha forrajera; T5, vicia; T6, avena 'Cajicá'; T7, rábano forrajero; T8, quinua; T9, centeno; T10, nabo forrajero.

del país, en especial, porque la gran mayoría de agricultores no le aplica correctivos al suelo.

#### Producción de fitomasa fresca

Según la figura 4, el nabo y el rábano forrajero acumularon significativamente las mayores cantidades de materia fresca a lo largo del desarrollo del experimento. El rábano superó al nabo hasta los 75 dds, alcanzó su producción máxima a los 105 dds ( $50,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) y luego mostró un descenso gradual hasta los 120 dds, debido a un fuerte ataque de áfidos. Después de los 75 dds, el nabo forrajero fue el mejor, su mayor producción la alcanzó a los 120 dds ( $65,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). En tercer lugar figuraron las avenas 'Cajicá' y 'Cayuse', con una producción promedio de  $27 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , y

en cuarto lugar, la vicia, el girasol y el centeno, con una producción promedio de  $23 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Si se tiene en cuenta las condiciones críticas del suelo sulfatado ácido bajo las cuales se desarrolló el experimento (tabla 1), los resultados obtenidos son muy promisorios.

Las cantidades producidas por el nabo forrajero son comparables a las reportadas para Uruguay (Calegari y Peñalva, 1994), Tunja y Turmequé (Orjuela, 2000) y Ventaquemada (Tamayo, 2001) en Boyacá, excepto para el valle de Samacá, donde, debido a la alta fertilidad del suelo y la disponibilidad de riego, las cantidades producidas pueden llegar hasta  $210 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con un promedio de  $115 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Viteri, 2002; Viteri y Méndez, 2003). El maíz forrajero, la quinua y la remolacha fueron las especies que produjeron la menor cantidad de fitomasa fresca.

#### Producción de fitomasa seca

La tendencia en la acumulación de materia seca por las especies durante el desarrollo de su período vegetativo se presenta en la figura 5. La acumulación fue gradual hasta los 120 dds, excepto en el rábano forrajero y las avenas, especies en las cuales la mayor acumulación se presentó a los 105 y 90 dds, respectiva-

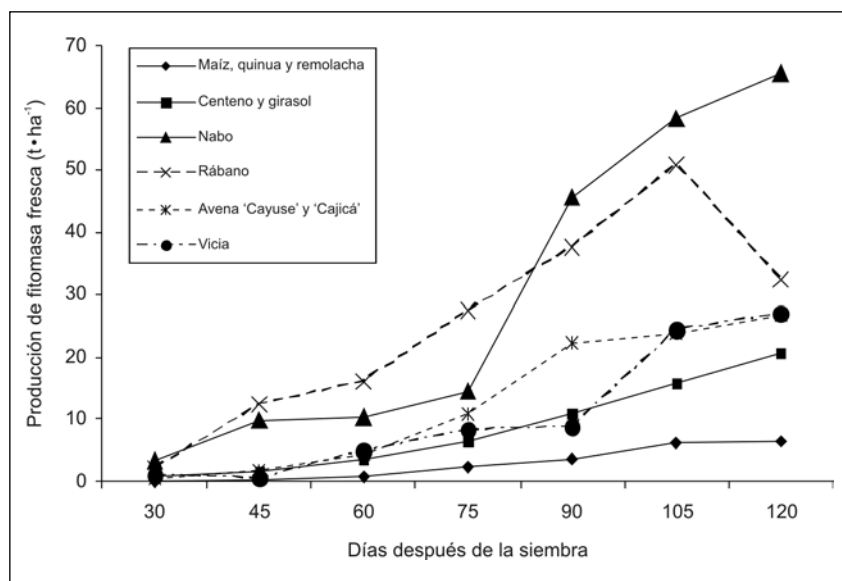


Figura 4. Producción de fitomasa fresca por las especies durante el desarrollo de su período vegetativo. Unidad de riego Pantano de Vargas (Boyacá).

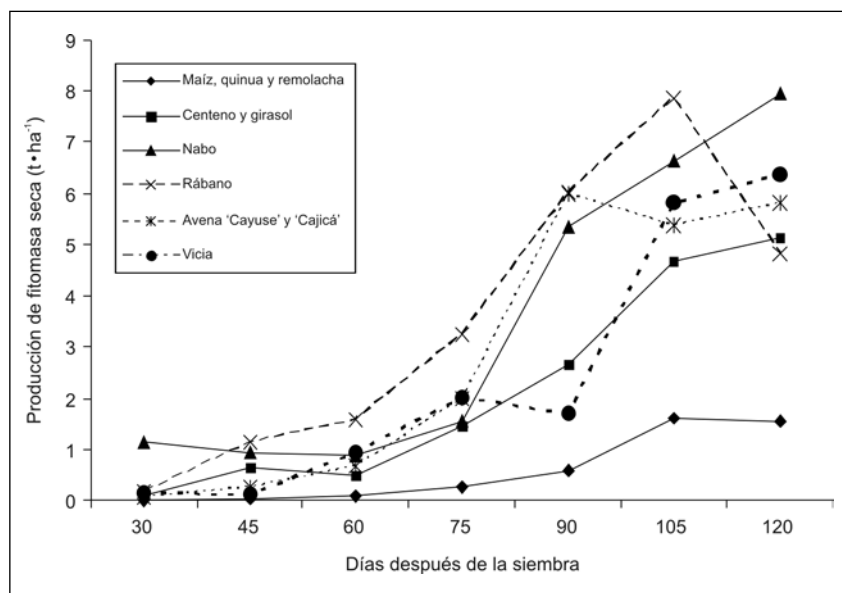


Figura 5. Fitomasa seca producida por las especies durante el desarrollo de su período vegetativo. Unidad de riego Pantano de Vargas (Boyacá).

mente. A los 105 dds, la acumulación de materia seca del rábano forrajero fue significativamente superior a las demás especies, con una producción máxima de  $7,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , acumulación que fue descontinuada por el ataque por áfidos. A los 120 dds, la acumulación del nabo forrajero fue la mejor, con una producción de  $8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , seguido en segundo lugar por las avenas y en tercer lugar por la vicia, el girasol y el centeno, con una producción promedio de  $6,4$  y  $5,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , respectivamente. Los resultados correspondientes al nabo

forrajero concuerdan con los reportados por Derpsch y Calegari (1992), Orjuela (2000) y Tamayo (2001). Respecto al rábano forrajero, en la literatura no se encuentran reportes sobre esta especie, por lo tanto se considera éste como el primer reporte sobre su potencial como fuente alternativa de materia orgánica para el manejo agronómico de suelos sulfatados ácidos. Aunque las cantidades de materia seca producidas por el centeno y la vicia fueron muy modestas, ellas también son importantes, especialmente si, de acuerdo con el concepto de 'cóctel de abonos verdes' (Piamonte, 1993), la idea no es trabajar con una sola especie sino con varias especies al mismo tiempo, para favorecer especialmente el reciclaje de nutrientes en el suelo. Al igual que para materia verde, las cantidades de materia seca producidas por el maíz forrajero, la remolacha forrajera y la quinua fueron insignificantes.

Las especies evaluadas no presentaron ningún síntoma de importancia relacionado con el ataque de plagas o enfermedades, a excepción del ataque de áfidos, que redujo considerablemente la producción de materia verde y materia seca en el rábano forrajero a los 105 dds.

## Conclusiones

De acuerdo con el análisis e interpretación de los resultados de esta investigación se concluye:

1. Las especies que ofrecen el mejor potencial como fuente alternativa de materia orgánica para el manejo y rehabilitación de los suelos sulfatados ácidos del Distrito de riego del Alto Chicamocha en Boyacá son el nabo forrajero, en primer lugar, las avenas 'Cajicá' y 'Cayuse', en segundo lugar, y el centeno, el girasol y la vicia, en último lugar.
2. El rábano forrajero demostró ser la mejor especie en cuanto a producción de fitomasa fresca y seca hasta los 75 dds; después de este tiempo, su poten-

cial disminuyó considerablemente por un ataque severo de ácidos.

3. El maíz forrajero, la quinua y la remolacha forrajera no ofrecen ningún potencial para el manejo y rehabilitación de estos suelos, pues no se adaptaron a sus condiciones.
4. El éxito de las especies de abono verde que ofrecen el mejor potencial como fuente alternativa de materia orgánica para suelos sulfatados ácidos depende en alto grado de la corrección de la acidez; por lo tanto, para su establecimiento se debe hacer al suelo aplicaciones de enmiendas calcáreas, tales como calles, dolomitas o rocas fosfóricas.

## Agradecimientos

Los autores expresan su sentimiento de gratitud y reconocimiento a: Misael Lizarazo, por haber facilitado el lote para el estudio; a Hugo Castro Franco, coordinador del GISSAT, por su incondicional apoyo, al igual que a los demás integrantes del GISSAT y a la familia Hernández Fonseca, por su participación en el desarrollo de la investigación.

## Literatura citada

- Altieri, M y A. Yurievic. 1991. La agroecología y el desarrollo rural sostenible en América Latina. *Agroecología y Desarrollo* 3(25),12-19.
- Anaya M., M. Martínez, A. Trueba, B. Figueroa y O. Fernández. 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de Postgraduados, Chapingo (México).
- Bello, F. y M. Gómez. 2001. Recuperación de suelos sulfatados ácidos del área del Distrito de riego del Alto Chicamocha. Trabajo de grado. Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. 189 p.
- Calegari, A. y M. Peñalva. 1994. Abonos verdes: importancia agroecológica y especies con potencial de uso en Uruguay. Canelones: Convenio Junta Nacional Agraria - GTZ. Asunción. 172 p.
- Derpsch, R. y A. Calegari. 1992. Plantas para adubacao verde de inverno. Circular 73. IAPAR, Londrina. [www.tierrafertil.com.pq/averdeinvierno.htm](http://www.tierrafertil.com.pq/averdeinvierno.htm). Consulta: mayo 2003.
- Gómez, K.A. y A.A Gómez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2nd edition. John Wiley & Sons, New York. 680 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. 1968. Estudio detallado de suelos de la parte plana y general del sector quebrado de los municipios de Duitama y Paipa, para fines agrícolas. Bogotá. 238 p.
- Orjuela, I. 2000. Evaluación de seis especies vegetales por su potencial como cultivo de cobertura o abonos verdes en regiones de clima frío. Trabajo de grado. Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. 121 p.
- Roncancio, E. 2000. Cultivar sin arar: labranza mínima y siembra directa en los Andes. El arte de producir conservando suelo y agua. Proyecto Checua. 8 p.
- Tamayo, P. 2001. Evaluación de doce especies vegetales con potencial de cobertura o abono verde para las zonas de clima frío en Ventaquemada - Boyacá. Trabajo de grado. Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. 105 p.
- Tisdale, S., L. Werner, J. Beaton y J. Halvin. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5th edition. Macmillan Publishing Co., New York. 634 p.
- Valdivieso, C. y A. Espinoza. Utilización de la vicia y arveja como abono verde en la producción de maíz, poroto y zapallo. En: *Agroecología y desarrollo*. Santiago de Chile. [www.abcargo.com/fertilizantes/abonos\\_verdes.asp](http://www.abcargo.com/fertilizantes/abonos_verdes.asp); consulta: mayo 2003.
- Viteri, S. 2002. Selección de cultivos de cobertura con potencial para el desarrollo agrícola sostenible en el municipio de Samacá, Boyacá. Trabajo de grado. Programa de maestría en desarrollo rural, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. 150 p.
- Viteri, S. y M. Méndez, M. 2003. Abonos verdes: selección e introducción de abonos verdes para la sostenibilidad de los sistemas de producción en los municipios de Samacá, Turmequé, Tunja y Paipa (Boyacá). Cartilla técnica divulgativa. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. 36 p.