

Referencias

- Pérez, R.; Rincón, A.; Cipagauta, M.; Schmidt, A.; y Lascano, C. 2002. Cultivar Maquenque –*Desmodium heterocarpon* (L.) DC. Subsp. *ovalifolium* (Prain.). Ohashi (accesión CIAT 13651): Leguminosa para usos múltiples en sistemas agropecuarios en Colombia. Villavicencio, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (ICA); Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. 31 p.
- Pérez, R. 1997. Adaptación, comportamiento agronómico y potencial productivo de *Desmodium ovalifolium* en la Orinoquia Colombiana. En: Schmidt, A. y Schultze-Kraft, R. (eds.). *Desmodium ovalifolium*. Memorias del primer taller de trabajo del proyecto La integración Genotipo con el Medio Ambiente en una Colección Seleccionada de la Leguminosa Forrajera Tropical *Desmodium ovalifolium*. CIAT, Cali, marzo de 1996. CIAT documento de trabajo no. 171. p. 43-49.
- Peters, M. y Plazas, C. 2000. Evaluation of legumes for cover crops in plantations in the Llanos. CIAT Annual Report Project IP-5, 2000. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 145-147.
- Plazas, C.; Peters, M.; Franco, L. H.; e Hincapié, B. 2001. Evaluation of legumes for cover for plantations in the Llanos of Colombia. CIAT Annual Report Project IP-5, 2001. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 163-165.
- Shelton, H. M. y Stür, W. W. (eds.). 1991. Forages for plantation crops. Proceedings of a workshop, Samur Beach, Bali, Indonesia, Indonesia, 27-29 June 1990. ACIAR Proceedings no. 32. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, Australia.

Selección de híbridos de *Brachiaria* con resistencia a aluminio

I. Rao, J. W. Miles, R. García y J. Ricaurte*

Introducción

Los suelos ácidos del trópico, altamente intemperizados, se caracterizan por una combinación de deficiencias nutricionales y toxicidad de minerales (Rao et al., 1993). La fitotoxicidad por aluminio (Al) es la principal limitación para la producción agrícola en estos suelos. Las especies del género *Brachiaria* son las gramíneas forrajeras tropicales más ampliamente sembradas en el mundo (Miles et al., 2004). Sólo en Brasil, más 70 millones de hectáreas están establecidas con pasturas de *Brachiaria*. En un programa de mejoramiento de *Brachiaria* en el CIAT se está buscando combinar la adaptación a suelos ácidos de *B. decumbens* cv. Basilisk (brachiaria amargo) con la resistencia a salivazo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. Igualmente, se han realizado investigaciones para esclarecer las bases fisiológicas de la adaptación a suelos ácidos de *Brachiaria*, con la finalidad de desarrollar un procedimiento de selección altamente confiable en la evaluación de recombinantes genéticos por su adaptación a suelos ácidos (Rao et al., 1996). Resultados de este trabajo indican que la adaptación a suelos ácidos del cv. Basilisk podría deberse a su alta resistencia a Al más una

*Investigadores del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Apdo. Aéreo 6713, Cali, Colombia.

habilidad para funcionar con deficiencias de fósforo y nitrógeno. El nivel de resistencia a Al en este cultivar es ampliamente superior al de variedades de cultivos tales como maíz, arroz de secano o trigo (Wenzl et al., 2001).

Evaluar la adaptación de *Brachiaria* a suelos ácidos resulta difícil, ya que ésta se manifiesta con la persistencia de la pastura a través de varias épocas de crecimiento. Se desarrolló y evaluó una técnica de cultivo en solución que usa plántulas enraizadas vegetativamente a partir de estolones (Wenzl et al., 2005). Utilizando esta técnica, durante los tres últimos años se han evaluado genotipos de *Brachiaria* preseleccionados por su resistencia a salivazo, para identificar híbridos resistentes a Al. En 2002 se habían identificado dos híbridos sexuales (SX01NO3178 y SX01NO7249) y un híbrido apomítico (BR99NO/4132) con un nivel de resistencia a Al mayor que el del padre sexual *B. ruziziensis* 44-02. En el 2003 se identificaron dos híbridos (BR02NO1372 y BR02NO1621) con un nivel de resistencia mayor a Al que el de la mayoría de los híbridos generados por el Programa de Mejoramiento de *Brachiaria*. En 2005 se evaluó para resistencia a Al una población sexual de 745 híbridos y 14 controles.

Materiales y métodos

Un total de 745 híbridos sexuales, generados de la población de 2003, y 14 controles que incluían los padres *B. decumbens* CIAT 606, *B. brizantha* CIAT 6294 y *B. ruziziensis* 44-02, fueron evaluados por su resistencia a Al. Todos los nuevos híbridos sexuales se habían seleccionado por resistencia a salivazo. Se seleccionaron los híbridos con buen desarrollo de raíces en un tratamiento con 200 μM de AlCl_3 para eliminar los híbridos sensibles a Al. De esta selección inicial, se escogió un total de 124 híbridos sexuales que se incluyeron en tratamientos con Al (seis experimentos) y sin Al (tres experimentos). De estos 124 híbridos sexuales en ambos tratamientos con Al se obtuvieron datos para 86.

Los estolones de híbridos y controles se enraizaron bajo invernadero en una solución nutritiva de baja fuerza iónica durante 9 días. Las plántulas enraizadas (con aproximadamente 5 cm de longitud) fueron transferidas luego a una solución con 200 μM CaCl_2 pH 4.2 (tratamiento sin Al) y a otra solución con 200 μM CaCl_2 + 200 μM AlCl_3 pH 4.2 (tratamiento con Al). Las soluciones se cambiaron cada segundo día para minimizar los cambios en el pH. Luego de 21 días (sin y con Al) se separaron las raíces de las plántulas, se tiñeron y escanearon. Las imágenes fueron analizadas con el programa WinRHIZO 2003b para determinar la longitud total y el diámetro promedio de la raíz.

Resultados y discusión

La mayor longitud total de raíz y el menor diámetro de raíz, después de 21 días de exposición a una solución con o sin niveles tóxicos de Al, confirmaron una vez más que el progenitor *B. decumbens* CIAT 606 (cv. Basilisk) tiene un alto nivel de resistencia a Al (Figuras 1 y 2).

Entre los 745 híbridos sexuales y controles evaluados, tres híbridos sexuales (SX03NO/0846, SX03NO/2367, SX03NO/0881) y tres híbridos apomíticos (cv. Mulato, BR02NO1372 y BR02NO1621) mostraron un alto nivel de resistencia a Al, con base en la longitud total de raíz por planta (Figura 1; Cuadro 1). Entre estos híbridos promisorios, el BR02NO1372 mostró un desarrollo del sistema de raíces más fino que *B. decumbens* CIAT 606 en ausencia de Al en la solución (Figura 1). La longitud total de raíz de los tres mejores híbridos sexuales, tanto en presencia como en ausencia de Al, fue notablemente superior al del padre sexual *B. ruziziensis* (Figura 1).

Entre los híbridos y los controles probados, *B. humidicola* (*dictyoneura*) CIAT 6133 mostró el diámetro promedio de raíz más bajo, con o sin Al en la solución (Cuadro 1; Figura 3). Este podría ser un atributo deseable de persistencia bajo las condiciones de suelos ácidos infértiles.

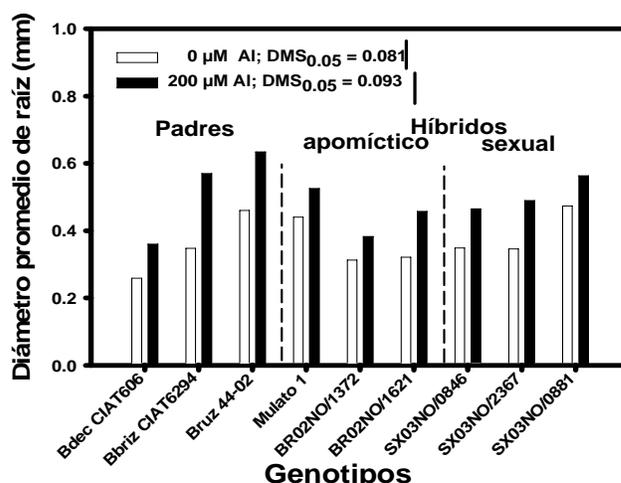
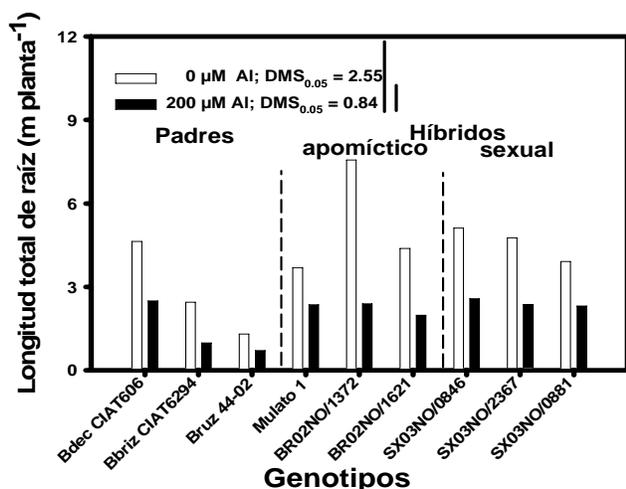


Figura 1. Híbridos apomicticos y sexuales de *Brachiaría* resistentes a Al, con base en la longitud total y el diámetro promedio de raíz. La longitud total de raíz y el diámetro promedio de raíz se midieron después de 21 días de exposición a 0 ó 200 μM AlCl₃, con 200 μM CaCl₂ (pH 4.2).

La relación entre la longitud de raíz y el diámetro promedio de raíz con Al en solución mostró que varios híbridos sexuales de *Brachiaría* fueron superiores al padre sexual, *B. ruziziensis* 44-02 (Figura 2). La exposición a Al disminuyó el valor promedio, en la longitud total de raíz de los 78 genotipos, de 352 a 120 cm/planta (Figura 3).

La relación entre la longitud total de la raíz sin Al y con Al en solución mostró híbridos apomicticos y sexuales superiores al padre resistente *B. decumbens* CIAT 606, cuando no había Al en la solución (Figura 3). El mayor vigor de la raíz de estos híbridos podría contribuir a una alta respuesta a la aplicación de fertilizantes.

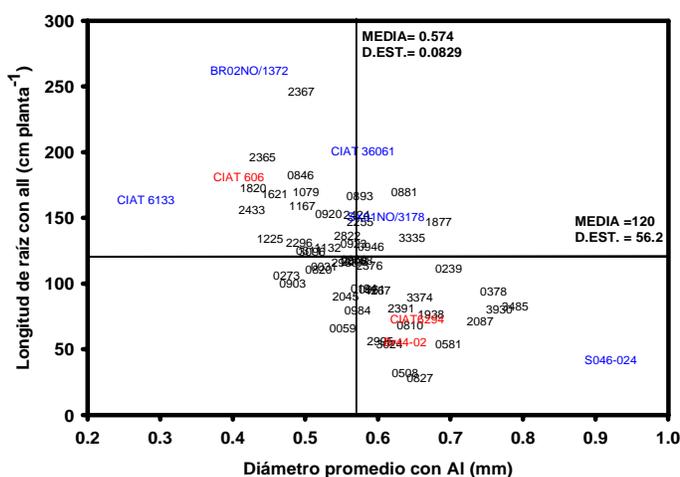


Figura 2. Relación entre la longitud total de la raíz y el diámetro promedio de la raíz de 78 genotipos de *Brachiaría* con presencia o ausencia de aluminio en solución. Se identificaron genotipos que desarrollan un sistema de raíz más fino en el cuadrante superior del lado izquierdo.

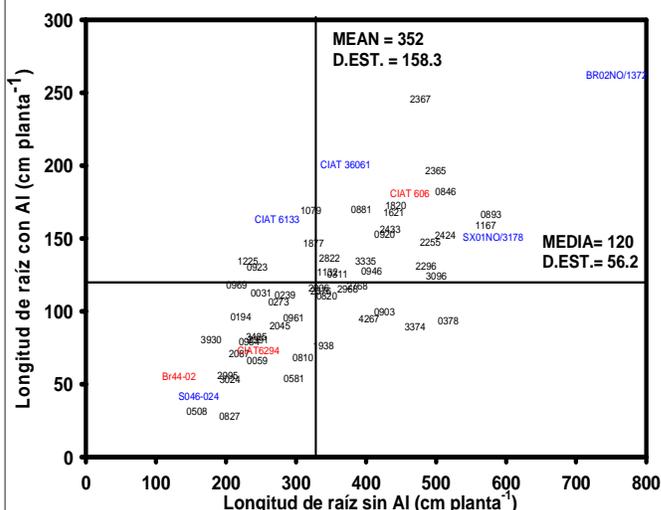


Figura 3. Relación entre la longitud total de raíz con Al y la longitud total de raíz sin Al de 78 genotipos de *Brachiaría*, con presencia o ausencia de aluminio en solución. Los genotipos con mayor vigor de raíz se localizan en el cuadrante superior derecho.

Cuadro 1. Longitud total de raíz y diámetro promedio de raíz de híbridos sexuales de *Brachiaria* evaluados sin Al (0 µM Al) y con Al (200 µM AlCl₃) en solución, comparados con sus progenitores y otros controles.

Genotipos	Longitud de la raíz		Diámetro promedio de la raíz		Genotipos	Longitud de la raíz		Diámetro de la raíz	
	(m/planta)		(mm)			(m/planta)		(mm)	
	Sin Al	Con Al	Sin Al	Con Al		Sin Al	Con Al	Sin Al	Con Al
Híbridos sexuales					Híbridos sexuales				
SX03NO/0846	5.115	2.575	0.349	0.465	SX03NO/2087	2.168	1.337	0.505	0.658
SX03NO/2367	4.756	2.365	0.346	0.490	SX03NO/0969	2.135	1.294	0.399	0.561
SX03NO/0881	3.912	2.314	0.474	0.564	SX03NO/0194	2.191	1.292	0.420	0.555
SX03NO/2433	4.323	2.170	0.314	0.448	SX03NO/1225	2.294	1.292	0.430	0.476
SX03NO/2365	4.976	2.170	0.332	0.456	SX03NO/2376	3.337	1.286	0.397	0.590
SX03NO/1167	5.685	2.069	0.349	0.505	SX03NO/3374	4.679	1.263	0.367	0.609
SX03NO/1079	3.192	1.992	0.351	0.479	SX03NO/1877	3.231	1.249	0.480	0.692
SX03NO/0311	3.573	1.969	0.350	0.483	SX03NO/0031	2.481	1.237	0.463	0.535
SX03NO/2968	3.718	1.966	0.397	0.578	SX03NO/0239	2.825	1.185	0.443	0.664
SX03NO/2424	5.109	1.855	0.389	0.521	SX03NO/2822	3.459	1.181	0.393	0.576
SX03NO/0893	5.765	1.804	0.373	0.555	SX03NO/4267	4.026	1.180	0.404	0.543
SX03NO/2255	4.896	1.797	0.390	0.584	SX03NO/0820	3.418	1.108	0.393	0.516
SX03NO/1820	4.404	1.734	0.341	0.419	SX03NO/0508	1.565	1.096	0.454	0.550
SX03NO/0273	2.731	1.726	0.394	0.502	SX03NO/1938	3.371	1.065	0.417	0.649
SX03NO/0903	4.241	1.703	0.473	0.457	SX03NO/3485	2.415	1.025	0.478	0.698
SX03NO/2296	4.839	1.634	0.317	0.532	SX03NO/3024	2.034	1.009	0.400	0.575
SX03NO/1132	3.429	1.634	0.378	0.494	SX03NO/0581	2.953	0.977	0.390	0.636
SX03NO/0961	2.946	1.593	0.386	0.554	SX03NO/0984	2.308	0.944	0.419	0.548
SX03NO/2995	2.005	1.578	0.426	0.636	SX03NO/0827	2.033	0.764	0.446	0.656
SX03NO/3096	4.983	1.535	0.320	0.475	Padres				
SX03NO/2391	2.441	1.509	0.454	0.580	<i>B. decumbens</i> CIAT606	4.625	2.496	0.259	0.360
SX03NO/2006	3.305	1.486	0.375	0.532	<i>B. brizantha</i> CIAT6294	2.444	0.979	0.348	0.570
SX03NO/2768	3.855	1.480	0.404	0.562	<i>B. ruziziensis</i> 44-02	1.310	0.705	0.461	0.634
SX03NO/0946	4.060	1.454	0.405	0.549	Controles				
SX03NO/0059	2.428	1.450	0.357	0.528	BR02NO/1372	7.557	2.395	0.313	0.383
SX03NO/2045	2.749	1.449	0.360	0.539	Mulato	3.688	2.361	0.441	0.525
SX03NO/0378	5.153	1.440	0.396	0.702	BR02NO/1621	4.377	1.980	0.321	0.458
SX03NO/0920	4.249	1.400	0.357	0.554	<i>B. humidicola (dictyoneura)</i> CIAT6133	2.732	1.922	0.221	0.287
SX03NO/3930	1.770	1.399	0.555	0.724	SX01NO/3178	5.794	1.341	0.394	0.653
SX03NO/0810	3.079	1.398	0.371	0.610	FM9503-S046-024(CIAT36087)	1.609	0.934	0.512	0.765
SX03NO/0923	2.426	1.356	0.436	0.579	Promedio	3.519	1.537	0.395	0.553
SX03NO/3335	3.973	1.338	0.426	0.625	LSD (P< 0.05)	2.548	1.077	0.081	0.093

Entre los híbridos sexuales con mayor resistencia a aluminio, los híbridos SX03NO/846 y SX03NO/0881 fueron resistentes al salivazo y SX03NO/0311 fue resistente a *Rhizoctonia solani*. Se encontró además que dos híbridos sexuales resistentes al salivazo, SX03/2483 y SX03/1820, fueron medianamente resistentes a niveles tóxicos de Al.

Otro híbrido sexual resistente al salivazo, SX03/2694, fue más sensible a Al que el padre sexual *B. ruziziensis* 44-02. En la actualidad se están usando híbridos sexuales que combinan la resistencia a salivazo con resistencia a Al y otros atributos deseables, en procesos de selección recurrente para generar mejores híbridos apomicticos de *Brachiaria*.

Conclusiones

- Se encontró una metodología confiable, rápida y sencilla para la evaluación y selección de genotipos de *Brachiaria* con mejor resistencia a Al.
- Esta metodología facilita el logro de avances en el mejoramiento hacia atributos adicionales.
- Es necesario desarrollar metodologías confiables, rápidas y sencillas para identificar más y mejores genotipos con adaptabilidad a la baja disponibilidad de fósforo y nitrógeno, dos nutrientes muy limitantes para la producción agrícola en los suelos tropicales.

Resumen

La evaluación de adaptación de *Brachiaria* a suelos ácidos en el campo resulta difícil porque la adaptación se manifiesta con la persistencia de la pastura sólo a través de varias estaciones de crecimiento. En el CIAT se desarrolló y evaluó una técnica de cultivo en solución que usa pequeñas plantas (un solo tallo) obtenidas a partir de estolones enraizados. Genotipos de *Brachiaria*, preseleccionados por su resistencia a salivazo (*Homoptera:Cercopidae*) han sido evaluados durante los últimos tres años utilizando esta técnica para identificar híbridos resistentes a Al. Un total de 745 híbridos sexuales, generados de la población sexual en 2003, y 14 controles que incluyeron los padres *B. decumbens* CIAT 606, *B. brizantha* CIAT 6294 y *B. ruziziensis* 44-02, fueron evaluados por su resistencia a Al. Los estolones de híbridos y controles se enraizaron en una solución nutritiva de baja fuerza iónica durante 9 días en invernadero. Las plántulas enraizadas (con aproximadamente 5 cm de longitud) se transfirieron luego a una solución con 200 μM CaCl_2 con pH 4.2 (tratamiento sin Al) o a otra solución con 200 μM CaCl_2 + 200 μM AlCl_3 con pH 4.2 (tratamiento con Al). Las soluciones se cambiaron cada segundo día para minimizar los cambios en el pH. Luego de 21 días de crecimiento, con o sin Al, se separaron las raíces de las plántulas, se tiñeron y

escanearon. Las imágenes fueron analizadas con el programa WinRHIZO para determinar la longitud total y el diámetro promedio de la raíz.

Entre los 745 híbridos sexuales y los controles evaluados, 3 híbridos sexuales (SX03NO/0846, SX03NO/2367, SX03NO/0881) y 3 híbridos apomicticos (Mulato [CIAT 36061], BR02NO1372 y BR02NO1621) mostraron un alto nivel de resistencia a Al, con base en la longitud total de raíces. Entre los híbridos sexuales con mayor resistencia a aluminio, los híbridos SX03NO/846 y SX03NO/0881 también mostraron resistencia a salivazo y SX03NO/0311 fue resistente a *Rhizoctonia solani*. En la actualidad se están usando híbridos sexuales que combinan la resistencia al salivazo con resistencia a Al y otros atributos deseables, en procesos de selección recurrente para generar mejores híbridos apomicticos de *Brachiaria*.

Summary

The adaptation evaluation of *Brachiaria* to acid soils in the field is difficult because the adaptation becomes apparent with the persistence of the pasture only after several growth stages. An in-solution cultivation technique using small plants (a single stem) obtained from rooted stolons was developed and evaluated at CIAT. Genotypes of *Brachiaria*, preselected for their resistance to the spittlebug (*Homoptera:Cercopidae*), have been evaluated during the last three years using this technique to identify Al-resistant hybrids. A total of 745 sexual hybrids, generated from the sexual population in 2003, and 14 checks including the parents *B. decumbens* CIAT 606, *B. brizantha* CIAT 6294 and *B. ruziziensis* 44-02, were evaluated for Al-resistance. The hybrid and check stolons were rooted in a nutritious solution of low ionic strength during 9 days in the greenhouse. The rooted seedlings (5 cm long approximately) were transferred to a solution with 200 μM CaCl_2 with pH 4.2 (treatment without Al) or to another solution with 200 μM CaCl_2 + 200 μM AlCl_3 with pH 4.2 (treatment with Al). The solutions were changed every second day to minimize the changes in the pH. After 21 days of growth, with or without Al, the roots of the seedlings were separated, dyed and scanned. The images were analyzed using

the WinRHIZO software to determine the total longitude and the average diameter of the root.

From the 745 sexual hybrids and checks evaluated, 3 sexual hybrids (SX03NO/0846, SX03NO/2367, SX03NO/0881) and 3 apomictic hybrids (Mulatto [CIAT 36061], BR02NO1372 and BR02NO1621) presented a high resistance level to Al, based on the total root length. From the sexual hybrids with more resistance to aluminum, the hybrids SX03NO/846 and SX03NO/0881 also showed resistance to spittlebug, and SX03NO/0311 was resistant to *Rhizoctonia solani*. At present, we are using sexual hybrids combining resistance to the spittlebug and to Al, and other attributes.

Referencias

- Miles, J. W.; do Valle, C. B.; Rao, I. M.; y Euclides, V. P. 2004. Brachiariagrasses. En: L. E. Sollenberger, L. Moser and B. Burson (eds.). Warm-season grasses. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, E.U. p. 745-783.
- Rao, I. M. 2001. Adapting tropical forages to low-fertility soils. En: J. A. Gomide, W. R. S. Mattos and S. C. da Silva (eds.). Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Brazilian Society of Animal Husbandry, Piracicaba, Brazil. p. 247-254.
- Rao, I.M.; Zeigler, R. S.; Vera, R. y Sarkarung, S. 1993. Selection and breeding for acid-soil tolerance in crops: Upland rice and tropical forages as case studies. *BioScience* 43:454-465.
- _____; Kerridge, P. C.; y Macedo, M. 1996. Adaptation to low fertility acid soils and nutritional requirements of *Brachiaria*. En: J. W. Miles, B. L. Maass and C. B. do Valle (eds.). The Biology, Agronomy, and Improvement of *Brachiaria*. CIAT, Cali, Colombia. p. 53-71.
- Wenzl, P.; Patiño, G. M.; Chaves, A. L.; Mayer, J. E.; y Rao, I. M. 2001. The high level of aluminum resistance in signalgrass is not associated with known mechanisms of external detoxification in root apices. *Plant Physiology* 125:1473-1484.
- _____; Arango, A. Chaves, A. L.; Buitrago, M. E.; Patiño, G. M.; Miles, J.; y Rao, I. M. 2005. A greenhouse method to screen brachiariagrass genotypes for aluminum resistance and root vigor. *Crop Sci.* (in press).