

Gramíneas y Leguminosas Tropicales...Proyecto IP-5

Número 3, Diciembre de 1997

Avances en la Investigación de Atributos de Adaptación de Plantas Forrajeras a Suelos Ácidos de Baja Fertilidad

La siembra de especies forrajeras es una alternativa para el manejo de suelos ácidos de baja fertilidad en el trópico. La baja disponibilidad de nutrientes en el suelo es la principal limitante para la adaptación y producción de especies de gramíneas y leguminosas en esta región. Una estrategia de investigación es desarrollar cultivares de especies que tengan una alta eficiencia para obtener nutrientes del suelo y para utilizarlos en el crecimiento.

Las plantas adaptadas a suelos ácidos tienen atributos relacionados con su habilidad para obtener nutrientes en ambientes donde el pH es bajo y el contenido de aluminio es alto. El entendimiento de estos mecanismos es fundamental para desarrollar procedimientos de selección de plantas forrajeras más eficientes en uso de nutrientes limitantes en el suelo. El grado de variación interespecífica e intraespecífica en la capacidad para obtener y utilizar nutrientes debe estudiarse cuidadosamente para desarrollar plantas adaptadas a suelos ácidos de baja fertilidad o para mejorar la eficiencia que poseen para obtener y utilizar nutrientes. El mejoramiento de esta adaptación, sin pérdida de rendimiento de forraje o de su calidad, contribuirá a que disminuyan los requerimientos de insumos, los costos de producción animal y los problemas ambientales causados por la degradación de pasturas.

Antecedentes

Hasta la fecha se han realizado varios estudios sobre la adaptación de plantas forrajeras a suelos ácidos con los

resultados siguientes:

- ☐ Se identificaron varios atributos en *Brachiaria* que podrían ser útiles como índices de selección de genotipos por tolerancia a baja fertilidad en el suelo, entre ellos, la producción de área foliar, la longitud de la raíz y la eficiencia de absorción de fósforo (P) por unidad de longitud de la raíz.
- ☐ Se encontró que en *Brachiaria* la variación genotípica de algunos atributos de la planta era mayor que la variación debida a cambios en la disponibilidad de nutrientes.
- ☐ Se demostró que la adaptación de *B. ruziziensis* a Oxisoles de baja fertilidad es menor que en el caso de *B. decumbens*, debido a su capacidad limitada para alterar el fraccionamiento de materia seca entre las raíces y la parte aérea a medida que la disponibilidad de nutrientes disminuye en el suelo.
- ☐ Se observó que la variación genotípica en producción de área foliar y porcentaje de nitrógeno (N) en las hojas de las especies de *Brachiaria*, es mayor que la variación en absorción de este nutriente a partir del suelo.
- ☐ Se demostró que en *Brachiaria* existen atributos como la longitud y la ramificación de la raíz que afectan la absorción de P y calcio (Ca) de esta gramínea en los suelos de baja fertilidad.

Con base en los resultados anteriores, el interés actual dentro del Proyecto Gramíneas y Leguminosas Forrajeras del CIAT es: (1) Continuar con estudios sobre mecanismos bioquímicos y moleculares de tolerancia de *Brachiaria* al estrés debido a suelos ácidos; y (2) determinar las diferencias genotípicas en este género y en especies seleccionadas de leguminosas, asociadas con tolerancia a suelos de baja fertilidad y con la absorción y utilización de nutrientes.

Circular...

Gramíneas y Leguminosas Forrajeras Tropicales...Proyecto IP-5 es un medio de información del Proyecto Gramíneas y Leguminosas Tropicales: Optimización de la diversidad genética para usos múltiples (Proyecto IP-5 del CIAT). Se publica tres veces al año en abril, agosto y diciembre y su objetivo es mantener la comunicación con las personas e instituciones colaboradoras en la identificación y desarrollo de germoplasma de gramíneas y leguminosas con potencial en sistemas de producción en regiones húmedas y subhúmedas del trópico de América Latina.

Director: Carlos E. Lascano, Coordinador del Proyecto IP-5.
Tel. (57-2)445000 Ext. 3036
Fax: (57-2)4450073
E-mail: c.lascano @ CGNET.com

Edición: Alberto Ramírez P.

CIAT
Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

Estudios con *Brachiaria*: Mecanismos bioquímicos y moleculares de tolerancia al estrés debido a suelos ácidos

Simulación del síndrome de suelos ácidos. Al comparar el efecto tóxico del aluminio (Al) sobre dos especies de *Brachiaria* cultivadas bajo condiciones adecuadas de nutrición (solución nutritiva completa) y en condiciones limitantes (solución nutritiva incompleta) se encontró que *B. ruziziensis*, que no se adapta bien a suelos ácidos, fue significativamente menos tolerante a Al en condiciones limitantes que *B. decumbens*, que sí está adaptado (Figura 1). En consecuencia, se investigaron mecanismos que podrían estar relacionados con la tolerancia de *Brachiaria* a este elemento.

Interacción del aluminio y el fósforo en los ápices radiculares de la planta. Cuando las plantas de las especies anteriores crecieron en presencia de Al, las raíces de *B. decumbens* tendieron a aumentar su contenido de P, incluso cuando crecieron en una solución que contenía bajas concentraciones de nutrimentos (ver Figura 2).

Recientemente se ha sugerido que la exudación de fosfato por los ápices de la raíz actúa como un mecanismo de exclusión del Al en el trigo y el maíz. Por lo tanto, existe interés en determinar si la acumulación de P, que es estimulada por el Al, está localizada en los ápices radiculares, de donde podría ser exudada como fosfato inorgánico, si fuera necesario. Para tal efecto, se empleó la emisión de rayos X inducida por protones (PIXE) para ubicar la distribución de nutrimentos en los ápices radiculares.

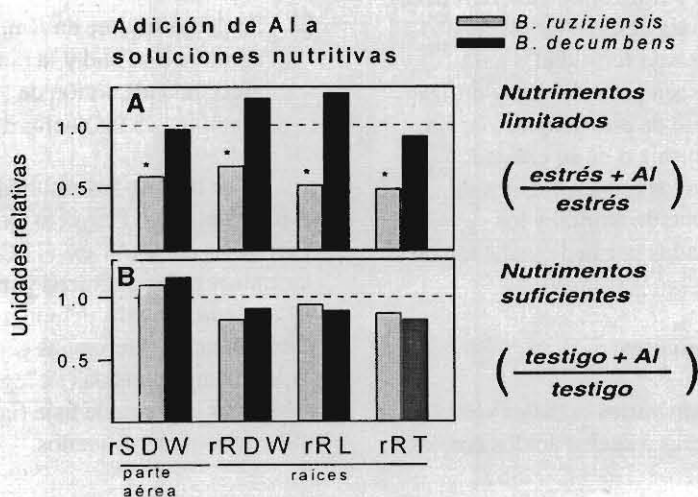


Figura 1. Diferencias en la tolerancia a Al en condiciones de oferta limitada de nutrimentos (A) y el comportamiento similar de dos especies de *Brachiaria* en condiciones de nutrición adecuada (B). Abreviaturas: rSDW = peso seco relativo de la parte aérea; rRDW = peso seco relativo de la raíz; rRL = longitud relativa del sistema radicular; rRT = número relativo de ápices radiculares

Los resultados preliminares indican que, al parecer, ese fenómeno ocurre, por lo menos, en *B. decumbens* (ver Figura 2, B). Actualmente se están realizando experimentos para determinar la intensidad de la exudación de fósforo en función de la distancia medida desde el ápice de la raíz.

Aislamiento de genes inducidos por el estrés de suelos ácidos. Cuando se conozcan mejor las bases fisiológicas de los mecanismos de adaptación de gramíneas y leguminosas a suelos ácidos, sería de gran utilidad aislar los genes involucrados en este fenómeno, por dos razones importantes. En primer lugar, partiendo de las secuencias de los genes o de los promotores, sería posible diseñar marcadores moleculares con el fin de facilitar la selección de genotipos por adaptación a suelos ácidos. En segundo lugar, se podrían emplear genes específicos de interés para hacer transferencia directa de genes entre los cultivares de *Brachiaria*, evitando así el obstáculo de la propagación apomítica. Para aplicar esta estrategia, se preparó una genoteca sustractiva de ADNc enriquecida con genes inducidos por estrés de suelos ácidos en el

cultivar de buena adaptación (*B. decumbens*), pero no en el cultivar con adaptación deficiente (*B. ruziziensis*).

La amplificación del ADNc que permanece después de la sustracción reveló varios genes inducidos por estrés, los cuales emergen como bandas diferenciadas del fondo difuso de ADNc no sustraído (Figura 3). Inicialmente, se escogerán cuatro genes que correspondan a bandas claramente visibles, para el análisis de secuencias. Sin embargo, cuando se concluyan los experimentos que tienen objetivos fisiológicos, será posible diseñar estrategias más específicas para seleccionar genes de esta genoteca.

En general, los estudios antes descritos sobre mecanismos de adaptación a los suelos ácidos indican que la buena adaptación de *B. decumbens* a estos suelos de baja fertilidad se puede atribuir a su capacidad de acumular fósforo en las zonas meristemáticas de los ápices radiculares, con el fin de minimizar la toxicidad que causa el aluminio.

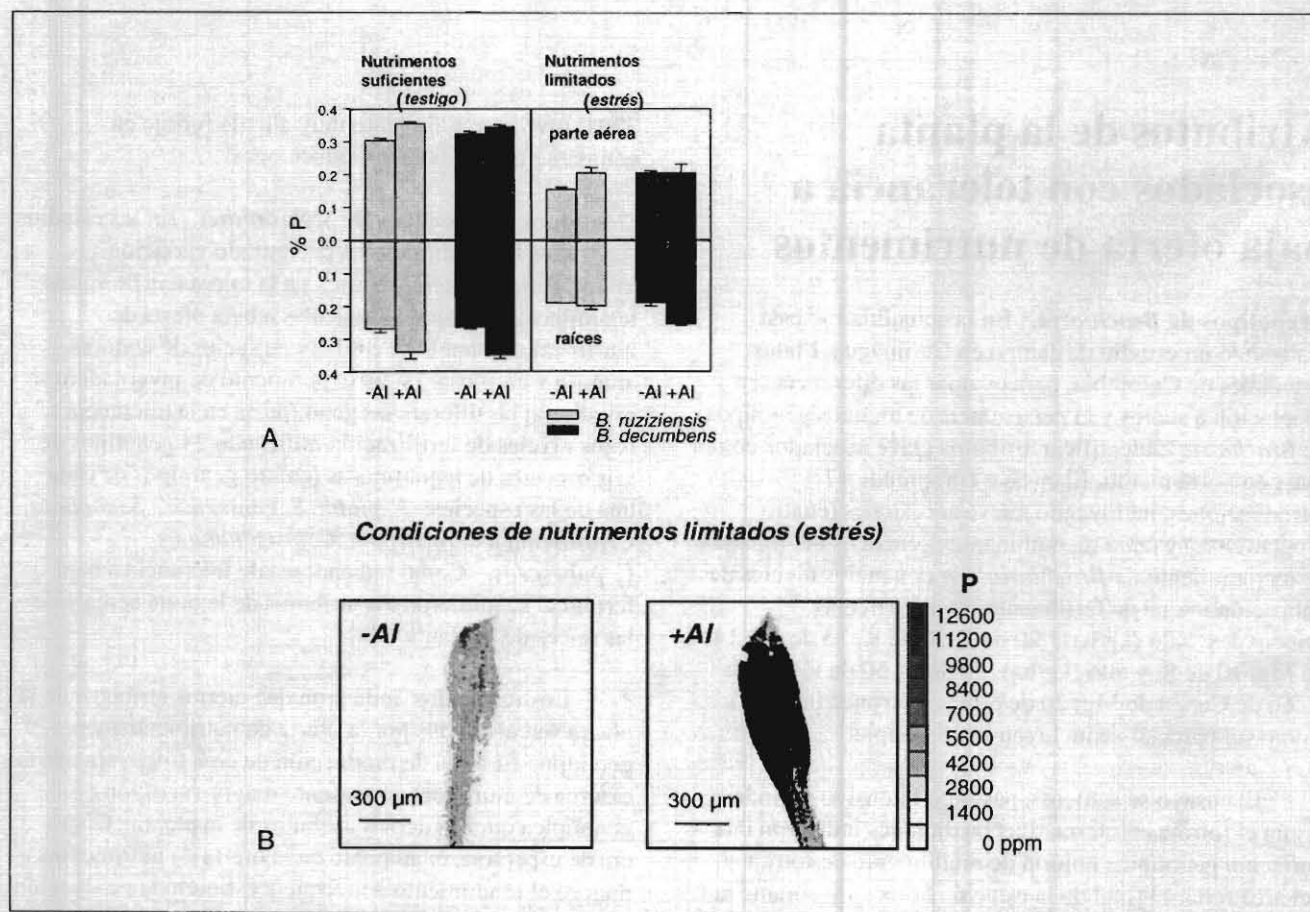


Figura 2. A: Contenido de P en las raíces y en la parte aérea de dos genotipos de *Brachiaria* contrastantes, cultivados en condiciones adecuadas y limitantes de nutrición, con y sin Al. B: Distribución de P (según tono de gris, ver escala) en los ápices radiculares de *B. decumbens* cultivada en condiciones limitantes de nutrición, con y sin Al, visualizada mediante PIXE.

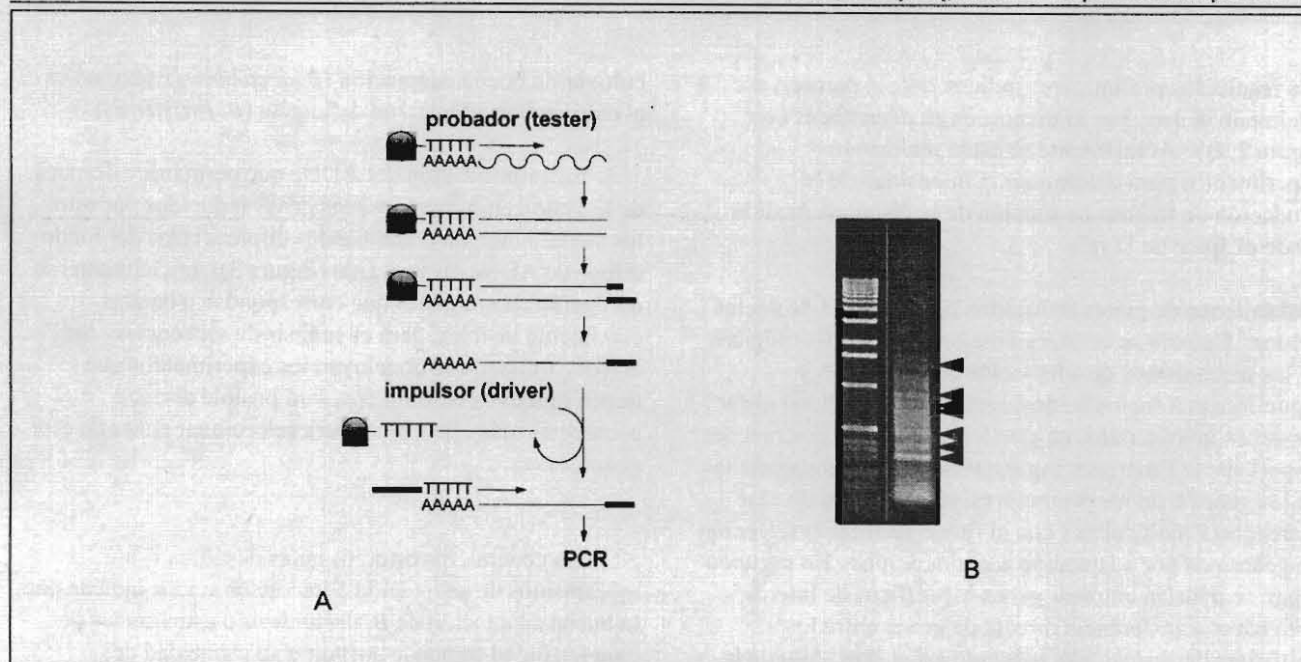


Figura 3. A: Hibridación sustractiva basada en PCR (reacción en cadena de la polimerasa), que se emplea para enriquecer genes inducidos por el estrés causado por los suelos ácidos. B: Cadenas de ADNc sustractivo amplificado por PCR y separado en gel de agarosa. Las flechas señalan genes individuales enriquecidos que se expresan bajo condiciones de estrés de suelos ácidos.

Atributos de la planta asociados con tolerancia a baja oferta de nutrimentos

Genotipos de *Brachiaria*. En la actualidad se está realizando un estudio de campo en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, para evaluar las diferencias en adaptación a suelos y la persistencia de algunos genotipos de *Brachiaria* e identificar atributos clave asociados con este comportamiento. El ensayo comprende 17 introducciones, incluyendo nueve accesiones (cuatro progenitores) y ocho recombinantes genéticos del trabajo de mejoramiento de *Brachiaria*. Se tienen dos niveles de aplicación inicial de fertilizantes como parcelas principales: bajo (kg/ha): 20 de P, 20 de K, 33 de Ca, 14 de Mg, 10 de S; y alto (kg/ha): 80 de N, 50 de P, 100 de K, 66 de Ca, 28 de Mg, 20 de S más micronutrimentos). Como subparcelas se incluyen los genotipos.

El ensayo se somete a pastoreo intensivo periódico, según el forraje en oferta. Las mediciones indicaron una variación genotípica notoria de rendimiento de forraje y del área foliar al final de la estación húmeda y durante la fase de establecimiento. En el nivel bajo de aplicación inicial de fertilizantes, uno de los recombinantes genéticos del Programa de Mejoramiento de *Brachiaria* (BRN093/

3204) tuvo un rendimiento muy alto de forraje en comparación con otras introducciones.

Genotipos de *Arachis* y de *Stylosanthes*. En los estudios realizados hasta ahora se ha encontrado variación intergenérica e interespecífica en la tolerancia de varias leguminosas forrajeras tropicales a baja oferta de nutrimentos, cuando se cultivan en suelos de texturas arenosa y arcillosa. En un experimento de invernadero se estudiaron las diferencias genotípicas en la tolerancia a bajos niveles de fertilización utilizando 24 genotipos de seis especies de leguminosas (cuatro genotipos de cada una de las especies: *A. pintoi*, *S. guianensis*, *S. capitata*, *Centrosema macrocarpum*, *C. brasilianum* y *C. pubescens*). Como indicadores de tolerancia a baja fertilidad se midieron los atributos de la parte aérea y de las raíces de la planta.

Los resultados indicaron que ciertos atributos de la planta son afectados por la oferta de nutrimentos y por el genotipo. El nivel de producción de área foliar, sin oferta externa de nutrimentos, presentó mayor variación genotípica que los demás atributos de la planta. Como era de esperarse, el aumento en la oferta de nutrimentos mejoró el rendimiento de forraje y estimuló la producción del área foliar. Sin embargo, la variación genotípica en varios atributos de la planta fue mayor que la variación inducida por el nivel de oferta de nutrimentos.

En el Cuadro 1 se presenta la variación genotípica en los atributos de plantas de *A. pintoi* y *S. guianensis* cultivadas con baja oferta de nutrientes. Entre los genotipos de *Arachis*, *A. pintoi* CIAT 18748 fue el que mantuvo la mayor concentración de P inorgánico en las hojas y distribuyó la mayor parte, proporcionalmente, de nitrógeno a las hojas. De las accesiones de *Stylosanthes*, *S. guianensis* CIAT 11844 presentó la mayor concentración de P inorgánico en las hojas.

Estos resultados indican que la adaptación de *A. pintoi* CIAT 18748, en comparación con el cultivar comercial CIAT 17434, a la baja oferta de nutrientes en el suelo fue sobresaliente, tal como lo indicó el nivel de distribución de N en las hojas y el mantenimiento de una concentración adecuada de P inorgánico en ellas.

Diferencias genotípicas entre leguminosas en el desarrollo de la raíz y la parte aérea. Se realizaron dos experimentos de invernadero para comparar el crecimiento y el desarrollo de las raíces y para estudiar la relación entre el crecimiento radicular y la parte aérea durante el establecimiento de los genotipos *A. pintoi* CIAT 17434 y 22160, *S. guianensis* CIAT 184 y *S. capitata* CIAT 1315.

Las plantas se cultivaron en un Oxisol franco-arcilloso en el que se aplicaron niveles bajos de fertilizante. El empleo de minirizotrones (cajas de plexiglás) facilitó la evaluación visual de las diferencias en el desarrollo radicular.

Entre las leguminosas incluidas en el estudio, *S. capitata* presentó un sistema radicular de tamaño notoriamente más pequeño (Figura 4). Además, el desarrollo de las raíces fue más lento en *S. capitata* que en *S. guianensis*. El nivel de ramificación y la longitud total de la raíz fueron también inferiores en *S. capitata* que en las otras leguminosas. No se presentaron diferencias significativas en el tamaño del sistema radicular entre las dos accesiones de *A. pintoi*, aunque *A. pintoi* CIAT 22160 presentó mayor ramificación durante la fase de establecimiento de las plántulas.

Estos estudios indican que, *S. capitata* tiene pobre adaptación a Oxisoles franco-arcillosos debido a que sus raíces son más gruesas y tienen menor número de ápices radiculares; esto contribuye a que la absorción de Ca se reduzca, lo cual no se observa en *S. guianensis* o en *A. pintoi*.

Cuadro 1. Diferencias genotípicas en los atributos de leguminosas forrajeras tropicales, asociados con tolerancia a baja oferta de nutrientes^a. Las plantas se cultivaron en macetas con 4 kg de un Oxisol franco-arenoso de Carimagua.

Especie	Accesión No. CIAT	Forraje (MS, g/maceta)	Área foliar (cm ² /maceta)	P inorg. en hojas (mg/m ²)	Índice de distribución de N en las hojas (%)
<i>A. pintoi</i>	17434	5.01	504	15.5	52.7
	18744	4.97	438	17.6	44.9
	18748	4.64	501	24.4	64.6
	22160	5.06	492	17.9	60.5
<i>S. guianensis</i>	21	3.93	356	35.4	70.6
	184	3.01	295	32.4	74.8
	2950	3.72	375	33.1	79.9
	11844	3.27	315	44.6	78.0

a. Baja oferta de nutrientes (kg/ha) = 20 de P, 20 de K, 33 de Ca, 14 de Mg y 10 de S.

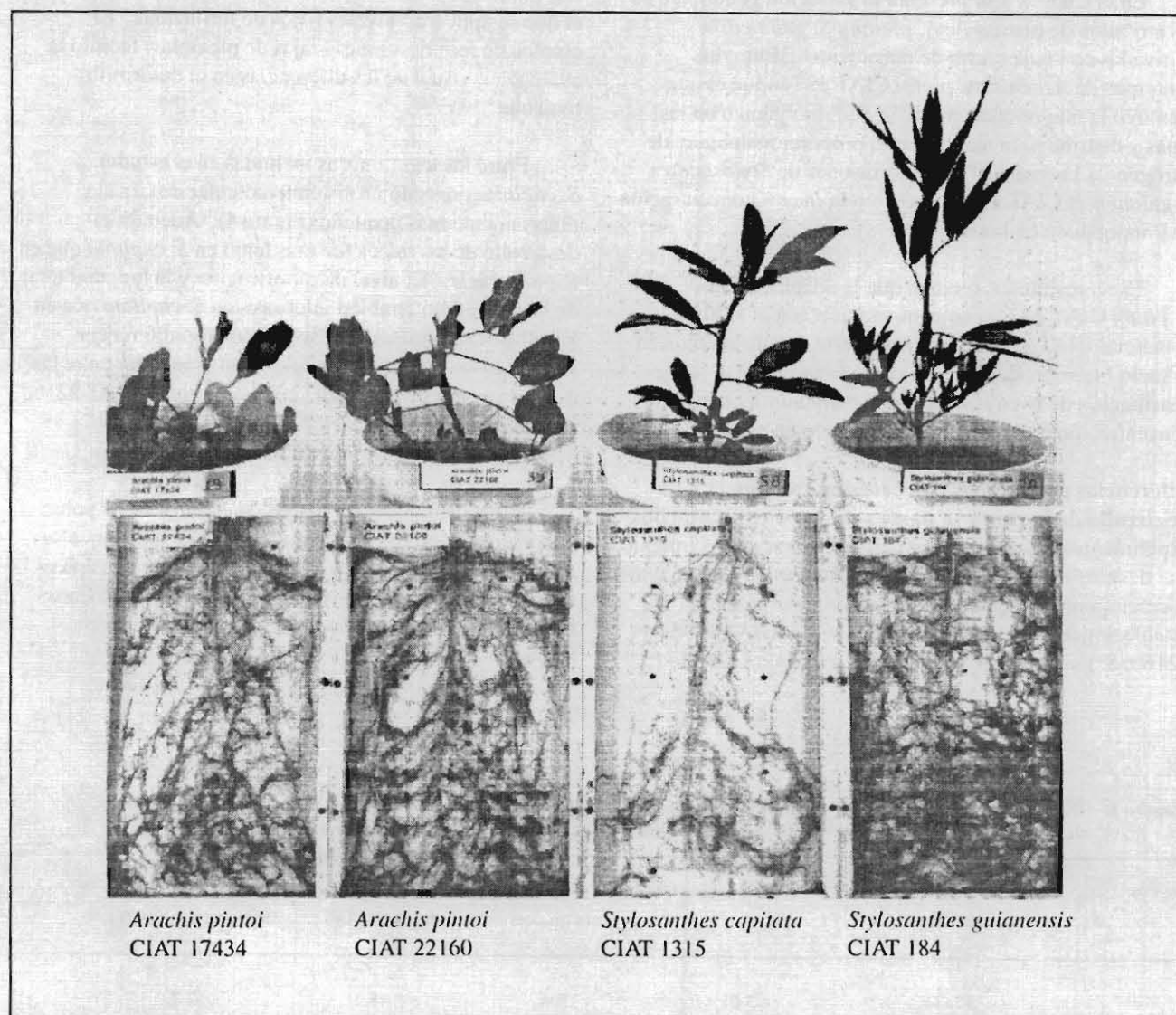


Figura 4. Diferencias en el tamaño del sistema radicular (en minirizotrones) y en el crecimiento de la parte aérea de cuatro leguminosas cultivadas en macetas con baja oferta de nutrimentos en un Oxisol franco-arcilloso de Carimagua.

Variación genotípica en la absorción y utilización de nutrimentos

En un experimento de invernadero se examinaron las diferencias genotípicas en absorción y en utilización de P de 15 genotipos pertenecientes a seis especies de *Brachiaria* (tres genotipos de cada una de las siguientes especies: *B. decumbens*, *B. brizantha*, *B. ruziziensis*, *B. humidicola* y *B. dictyoneura*). El P se suministró en cuatro niveles: 0, 20, 50 y 200 kg/ha.

Los resultados indicaron que, tanto el genotipo como el nivel de oferta de P en el suelo afectaron los atributos de la parte aérea de las plantas (Cuadro 2). Dos atributos de la planta — eficiencia de absorción de P y longitud de la raíz— presentaron mayor variación genotípica que los demás atributos evaluados. Como era de esperarse, el aumento en la oferta de P mejoró el rendimiento de forraje al estimular la producción de área foliar.

La variación genotípica en los atributos de las plantas cultivadas con 20 kg/ha de oferta de P indica que la variación en longitud de la raíz, en la absorción de P por la parte aérea de las plantas y en la eficiencia de

Cuadro 2. Efecto del suministro de P en la variación de genotipos de *Brachiaria* sembrados en un Oxisol franco-arcilloso de Carimagua. Las mediciones se hicieron después de 53 días de crecimiento.

Atributos de la planta	Oferta de fósforo (kg/ha)			
	0	20	50	200
Rendimiento de forraje (MS, g/maceta)	0.9-2.7	10-23	18-36	16-43
Area foliar (cm ² /maceta)	87-265	77-1674	86-2026	776-2293
Longitud de la raíz (m/maceta)	16-82	137-334	158-381	178-584
Longitud de la raíz/área foliar (km/m ²)	1.7-7.8	1.2-4.2	1.3-2.7	1.3-3.0
Absorción de P por la parte aérea (mg/maceta)	0.15-0.57	4.4-8.6	7.6-15.5	11.6-24.9
Eficiencia de absorción de P (mg/m)	3-18	16-43	23-71	26-77
Eficiencia en el uso del P (kg/g)	1.5-5.2	2.1-3.9	1.5-2.8	1.1-1.9

absorción de P fue mayor en *B. humidicola* y en *B. dictyoneura* que en las otras tres especies. *Brachiaria humidicola* CIAT 679 se destacó por la longitud de la raíz y la absorción de P por la parte aérea, mientras que *B. ruziziensis* CIAT 26433 fue más eficiente en el uso de P que los otros genotipos.

En general, estos estudios indican que varios atributos de la planta en *Brachiaria* fueron afectados por el genotipo y también por la oferta de P en el suelo. *Brachiaria humidicola* CIAT 679 fue sobresaliente en términos de longitud de la raíz y la absorción de P por la parte aérea.

Implicaciones para investigación

Estos estudios proporcionan una base para una investigación estratégica orientada a la identificación de atributos de las raíces y de la parte aérea de especies forrajeras. Esto contribuirá a una mayor eficiencia en la selección y el mejoramiento, e igualmente a la identificación de nichos ecológicos para el germoplasma forrajero.

Estos estudios se han llevado a cabo en colaboración estrecha con la Universidad de Viena (Austria) y el Centro Nacional de Aceleración de Partículas (Sudafrica). Fueron financiados parcialmente por la Comisión para el Desarrollo de la Academia Austriaca de las Ciencias.

P. Wenzl, L. I. Mancilla, L. E. C. Martínez, J. Ricaurte, R. García, C. Pineda, J. E. Mayer, R. Albert, E. Heberle-Bors, I. M. Rao

PUBLICACION

Conceptos y Metodologías para Investigación en Fincas con Sistemas de Producción Animal de Doble Propósito

ISBN: 958-9439-93-4

Editores:

C. E. Lascano

F. Holmann

En América Latina tropical, la leche es producida principalmente en sistemas especializados y de doble propósito. Se estima que el 41% de la leche producida y el 78% de las vacas que se ordeñan en esta región se encuentran bajo este último sistema en fincas de pequeños y medianos productores donde las pasturas son la principal fuente de alimentación animal. Las limitantes para aumentar la productividad en el trópico son la baja cantidad y la pobre calidad del forraje disponible, el potencial genético de los animales y el manejo.

El libro de 285 páginas es el resultado de un taller de trabajo realizado en el CIAT con la participación de 52 investigadores en el tema, provenientes de varias partes del mundo y que fue auspiciado por el **Consorcio TropicLeche** con el objeto de definir estrategias para la investigación biológica y socioeconómica en fincas bajo el sistema de producción de doble propósito.

Mediciones en Animales. Se incluyen temas relacionados con las fuentes de variación en la producción y composición de la leche de vacas en un sistema de pastoreo secuencial, el uso de indicadores en la sangre y la leche para determinar el estado nutricional y reproductivo del ganado vacuno, el uso del radioinmuno-ensayo de progesterona para mejorar la producción animal, el manejo de la nutrición de la vaca y la relación vaca-ternero, la cuantificación

de la interacción genotipo:ambiente en sistemas de producción, el análisis del efecto del grupo genético sobre la producción de leche y el comportamiento reproductivo en una finca de doble propósito.

Aplicación de Modelos para Optimizar el Uso de Recursos.

Se tratan temas sobre: la modelación de sistemas de producción de leche, los modelos económicos de nivel agregado como instrumentos de apoyo a la investigación agropecuaria, y la aplicación de un modelo de simulación a sistemas de doble propósito en la región Pacífico Central de Costa Rica.

Metodologías para Caracterizar el Uso de la Tierra, involucrar a productores y Medir la Adopción y el Impacto de Nuevas tecnologías. Se presentan: una clasificación de los sistemas de producción animal; los principales indicadores económicos y ambientales en sistemas de doble propósito; una metodología para caracterizar sistemas de uso de tierras en Acre, Rondônia, y Pucallpa en la Amazonía; un sistema de monitoreo de producción a nivel de la vaca, el hato y el productor; la investigación participativa con productores pecuarios; una metodología para la evaluación de adopción e impacto de *Arachis pintoi* en Colombia; y el caso de la adopción de *Calliandra calothyrsus* en Embu, Kenia.

Se incluyen, además, las recomendaciones y conclusiones de los grupos de trabajo y un índice abreviado de materias.

Se puede solicitar a: Oficina de Distribución de Publicaciones
CIAT, Apdo. Aéreo 6713, Cali, Colombia.

Gramíneas y Leguminosas Tropicales...Proyecto IP-5



Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

CIAT LIBRARY



100083118