

CIAT

COLECCION HISTORICA



Centro Internacional de Agricultura Tropical

Serie 04SP-02.06
Mayo, 1984

Selección y evaluación de pastos tropicales en condiciones de alta concentración de aluminio y bajo contenido de fósforo disponible



CIAT
AV
SB
197
.S4
Guía
c.3

GUÍA DE ESTUDIO

PARA SER USADA COMO COMPLEMENTO DE LA
UNIDAD AUDIOTUTORIAL SOBRE EL MISMO TEMA

El CIAT es una institución sin ánimo de lucro, dedicada al desarrollo agrícola y económico de las zonas tropicales bajas. Su sede principal se encuentra en un terreno de 522 hectáreas, cercano a Cali. Dicho terreno es propiedad del gobierno colombiano el cual, en su calidad de anfitrión, brinda apoyo a las actividades del CIAT. Este dispone igualmente de dos subestaciones propiedad de la Fundación para la Educación Superior (FES): Quilichao, con una extensión de 184 hectáreas, y Popayán, con 73 hectáreas, ambas en el Cauca. Junto con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el CIAT administra el Centro de Investigaciones Agropecuarias Carimagua, de 22,000 hectáreas, en los Llanos Orientales y colabora con el mismo ICA en varias de sus estaciones experimentales en Colombia. Santa Rosa, una nueva subestación de 30 hectáreas cerca a Villavicencio Colombia, ha sido adquirida por FEDEARROZ y entregada sin costo al CIAT para su operación desde 1983. El CIAT colabora también con instituciones agrícolas nacionales en otros países de América Latina. Varios miembros del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) financian los programas del CIAT. Durante 1983 tales donantes son: los gobiernos de Australia, Bélgica, Canadá, España, Estados Unidos, Francia, Holanda, Italia, Japón, Noruega, el Reino Unido, la República Federal de Alemania, Suecia y Suiza; el Banco Internacional para Reconstrucción y Fomento (BIRF); el Banco Interamericano de Desarrollo (BID); la Comunidad Económica Europea (CEE); el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (FIDA); el Fondo de la OPEP para Desarrollo Internacional; la Fundación Rockefeller y la Fundación Ford. Además, varios proyectos especiales son financiados por algunas de tales entidades y por la Fundación Kellogg, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente la posición de ninguno de los gobiernos, instituciones o fundaciones mencionadas.



La FUNDACION W.K. KELLOGG ha hecho posible la elaboración de esta Unidad Audiotutorial, mediante la financiación de un proyecto especial para el desarrollo, producción y utilización de materiales de adiestramiento para la difusión de tecnología agrícola mejorada.

CIAT
AV
SB
197
.54
Guía
e.3



GUIA DE ESTUDIO

Selección y evaluación de pastos tropicales en condiciones de alta concentración de aluminio y bajo contenido de fósforo disponible

CIAT
BIBLIOTECA
15 NOV. 1984
57989

Contenido Científico:

José G. Salinas, Ph.D.
José I. Sanz, M. Agr. Sc.

Producción:

Oscar L. Arregocés, Ing. Agr.
Julio C. Vásquez, Ing. Agr.
José Otocar Reina, Ing. Agr.

3794

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL
CIAT, Cali, Colombia

Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia, S.A.

Cita bibliográfica:

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1984.
Selección y evaluación de pastos tropicales en condiciones de alta concentración de aluminio y bajo contenido de fósforo disponible; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Salinas, José G.; Sanz, José I. Producción: Arregocés, Oscar L.; Vásquez, Julio C.; Reina, José Otocar. Cali, Colombia. CIAT. 52 p. (Serie 04SP-02.06).

Las personas o entidades interesadas en reproducir parcial o totalmente, por cualquier medio o método, la guía de estudio o cualquier otro de los componentes de esta unidad audiotutorial, deberán obtener autorización escrita del CIAT.

Contenido

OBJETIVOS	5
INTRODUCCION	6
1. CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DE AMERICA TROPICAL PARA LA PRODUCCION DE GANADO	9
OBJETIVOS	7
1.1 Características físicas	8
1.2 Características químicas	8
PREGUNTAS	12
2. EFECTO DE UNA ALTA CONCENTRACION DE ALUMINIO Y BAJA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN EL SUELO EN LAS ESPECIES FORRAJERAS.	13
OBJETIVOS	13
2.1 Toxicidad causada por aluminio	14
2.2 Deficiencia de fósforo	14
PREGUNTAS	15
3. CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCION DE ESPECIES DE PASTOS TOLERANTES A FACTORES ADVERSOS DEL SUELO	16
OBJETIVOS	16
3.1 Criterios generales	17
3.2 Criterios cualitativos y cuantitativos de selección	17
PREGUNTAS	20
4. NATURALEZA DE LAS DIFERENTES RESPUESTAS ENTRE ESPECIES Y VARIETADES A ALTAS CONCENTRACIONES DE ALUMINIO EN EL SUELO.	21
OBJETIVOS	21
4.1 Diferencias morfológicas y fisiológicas de la raíz	22

4.2	Diferentes tasas de translocación de aluminio	23
4.3	Diferentes tasas de absorción y translocación de otros nutrimentos	23
	PREGUNTAS	26
5.	NATURALEZA DE LAS DIFERENTES RESPUESTAS ENTRE ESPECIES Y VARIETADES A BAJOS CONTENIDOS DE FOSFORO DISPONIBLE EN EL SUELO.	27
	OBJETIVOS	27
5.1	Extensión radical	28
5.2	Exudación radical	29
5.3	Presencia de micorriza	29
5.4	Diferentes tasas de absorción y translocación de fósforo	30
5.5	Tolerancia a las concentraciones altas de aluminio	33
	PREGUNTAS	36
6.	CARACTERIZACION Y EVALUACION DE PASTOS TROPICALES EN CONDICIONES DE ALTA CONCENTRACION DE ALUMINIO Y BAJO CONTENIDO DE FOSFORO.	37
	OBJETIVOS	37
6.1	Diferentes respuestas entre especies y variedades a altas concentraciones de Al y bajos contenidos de P.	38
6.2	Clasificación de gramíneas y leguminosas forrajeras según sus requerimientos de nutrimentos	41
	PREGUNTAS	45
7.	RESUMEN	46
	BIBLIOGRAFIA	47

Objetivos

Esta unidad tiene como propósitos generales:

1. Precisar las características de los suelos de América tropical para la producción de ganado.
2. Describir el efecto de la alta concentración de aluminio y de la baja disponibilidad de fósforo en pastos tropicales.
3. Citar los criterios generales para la selección de especies tolerantes a factores adversos.
4. Describir los mecanismos que determinan las respuestas de diferentes especies a altas concentraciones de aluminio y a bajos contenidos de fósforo disponibles en el suelo.
5. Describir las respuestas de diferentes especies a concentraciones altas de aluminio y a contenidos bajos de fósforo.
6. Clasificar algunas gramíneas y leguminosas forrajeras según su tolerancia a la alta acidez del suelo.

Se consideran logrados estos propósitos cuando los interesados estén en capacidad de cumplir los objetivos específicos expuestos en cada capítulo.

Introducción

En América tropical existe una de las mayores extensiones de tierras inexploradas del mundo lo que constituye una gran reserva para la producción de alimentos.

La mayoría de los suelos en estas áreas presentan un “complejo de infertilidad” caracterizado por: alta acidez, toxicidad causada por el aluminio y/o manganeso y deficiencia de macro y micronutrientes. Estas características hacen que dichos suelos sean poco adecuados para la producción agrícola intensiva, aunque presentan algunas ventajas para la explotación pecuaria, o para la producción de algunos cultivos permanentes.

La nutrición tanto del forraje como del animal es la clave para una mejor producción de ganado de carne en estos suelos, por esto el Programa de Pastos Tropicales concentra sus esfuerzos en el desarrollo de una tecnología de pastos de poco costo y bajo nivel de insumos, adaptada a las condiciones ecológicas prevalecientes y compatible con los sistemas de explotación.

Las posibles soluciones para los más importantes factores edáficos desfavorables como la alta saturación de aluminio y el contenido bajo de fósforo, que se ensayan son:

- Selección de especies de pastos tolerantes a las altas concentraciones de aluminio y al bajo contenido de fósforo.
- Manejo de la fertilización fosfatada, usando en lo posible fuentes locales.
- Aplicación de enmiendas al suelo.

Las dos últimas se tratan en la unidad “Manejo de la fertilización fosfatada de pastos tropicales”, mientras que esta unidad se refiere a los criterios y procedimientos que se han desarrollado para orientar la selección de especies de pastos tolerantes a condiciones de suelos caracterizados por alta concentración de aluminio y bajo contenido de fósforo.

El Programa de Pastos Tropicales del CIAT busca además: incorporar las especies seleccionadas a pasturas persistentes y productivas, como asociaciones de gramíneas-leguminosas, y la integración de la tecnología mejorada de pastos a sistemas de producción animal que sean biológica y económicamente eficientes.

1. Características de los suelos de América tropical para la producción de ganado.

OBJETIVO

Enunciar las principales características químicas de los Oxisoles y Ultisoles que actúan como factores adversos al crecimiento de los pastos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Se considera logrado el objetivo general cuando después de estudiar este capítulo, los interesados están en capacidad de:

1. Enunciar las causas de la infertilidad de los suelos ácidos.
2. Mencionar las condiciones que permiten una alta concentración de Al en el suelo.
3. Citar las causas de la fijación del fósforo.
4. Describir la relación que existe entre los contenidos de minerales, la materia orgánica del suelo, y la concentración de aluminio.
5. Describir la relación que existe entre la concentración de Al, el grado de fijación de P y el pH del suelo.

Los suelos del trópico latinoamericano clasificados como Oxisoles y Ultisoles presentan un amplio rango de fertilidad acorde con la variabilidad de sus componentes minerales y orgánicos, y de los factores que los afectan. Así, el tipo y cantidad de minerales que componen la fracción arcillosa, el contenido de materia orgánica y los regímenes de humedad y temperatura a que están expuestos, condicionan esa variabilidad y por ende el manejo a que deben someterse dichos suelos para obtener buena cantidad de forraje.

1.1 Características físicas

Debido a su alto grado de granulación, los Oxisoles tienen excelentes propiedades físicas que favorecen el movimiento del aire y del agua, lo que hace posible la labranza aún después de una fuerte lluvia; además, como la textura y la estructura son uniformes en relación con la profundidad, permiten una percolación pareja que hace que estos suelos sean menos susceptibles a la erosión comparados con la mayoría de otros suelos.

Los Ultisoles, particularmente aquellos con capas superficiales arenosas, están sujetos a la compactación del suelo y a la erosión. La formación de lateritas no constituye una amenaza para el desarrollo agrícola, ya que ellas ocurren en muy pocas áreas y en posiciones topográficas previsibles (Sánchez e Isbell, 1979).

1.2 Características químicas

1.2.1 Concentración de aluminio

El estado de meteorización avanzada de los Oxisoles y Ultisoles determina que la fracción mineralógica denominada "arcilla" esté compuesta de "arcillas de baja actividad", como la caolinita, y de hidróxidos y sesquióxidos de Fe y Al. Esta "baja actividad" se

manifiesta por una baja capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) de la fracción arcilla y por una carga sujeta a las variaciones del pH. A medida que el suelo va siendo más ácido, se aceleran los procesos de solubilización de los minerales, principalmente de la sílice y los metales alcalinos y alcalino-terreos (Ca, Mg, K, Na) que son removidos del perfil por acción del lavado, perdiéndose de esta manera casi toda la capacidad de estos suelos para suministrar nutrimentos. Los sitios de intercambio liberados por el lavado de los cationes, son ocupados por los iones H^+ y Al^{+++} dominantes en la solución del suelo. Así, suelos con pH por debajo de 5.0 están saturados de Al^{+++} y H^+ en un 65 a 80% y en menor proporción de Mn y Fe.

Se ha encontrado que el Al intercambiable es el catión dominante asociado con la acidez del suelo, ya que los iones H^+ producidos por la descomposición de la materia orgánica son inestables en los suelos minerales y reaccionan con las arcillas liberando Al^{+++} intercambiable que desplaza al H^+ del complejo de cambio. La Figura 1 muestra el aumento paulatino del porcentaje de saturación de Al^{+++} a medida que van disminuyendo los valores del pH. En la Figura 2 se relacionan el porcentaje de saturación de Al^{+++} y la concentración de Al^{+++} en la solución del suelo; cuando el porcentaje de saturación pasa del 60% aumenta más rápidamente la concentración de Al en la solución del suelo. El contenido de materia orgánica hace variar esta relación al formar complejos muy fuertes con el Al^{+++} de la solución del suelo.

De esta manera, los Oxisoles y Ultisoles presentan como principal característica una alta concentración de Al^{+++} en la solución del suelo, que causa toxicidad en la planta y al interactuar con el P y los cationes Ca, Mg y K, produce deficiencias y desequilibrios.

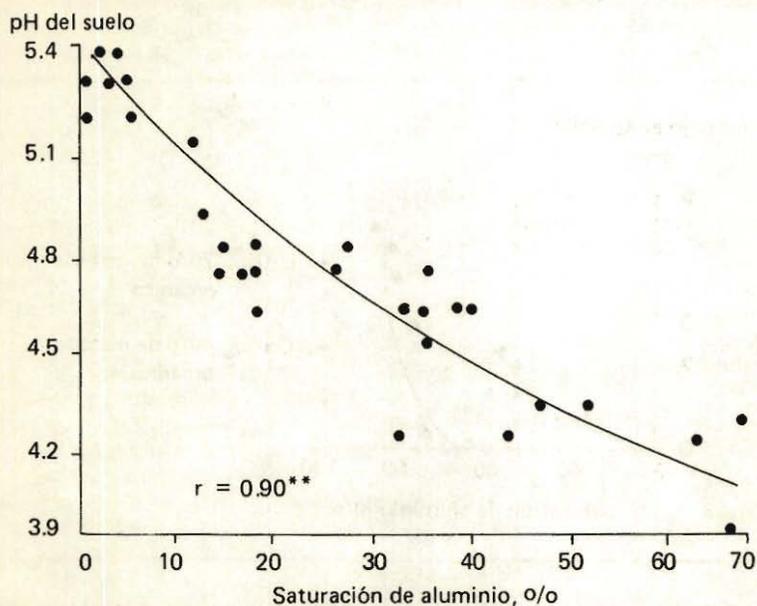


Figura 1. Relación entre el pH del suelo y la saturación de aluminio en ocho Ultisoles y Oxisoles de Puerto Rico (Abruña et al, 1975).

1.2.2 Disponibilidad de fósforo

Uno de los problemas de nutrición más importantes que presentan los Oxisoles y Ultisoles es la poca disponibilidad de P soluble para satisfacer las necesidades de crecimiento de los pastos. En general, los Oxisoles y Ultisoles contienen menos de 200 ppm de P total en la capa arable del suelo, y de éste, entre el 60 y el 80% se presenta en forma de P orgánico. La fracción mineral está compuesta de fosfatos de Ca, Fe y Al. Estos dos últimos son solubles sólo en condiciones de inundación, por lo tanto no están disponibles para las plantas en condiciones aeróbicas. La transformación de las formas solubles de fosfato a formas insolubles es controlada por el pH; a medida que el pH disminuye

aumenta la actividad del Fe y del Al y se generan fosfatos insolubles. Lo mismo sucede con el P que proviene de la fertilización fosfatada, lo que hace que las aplicaciones de este elemento no sean tan efectivas como pudiera esperarse, pues la mayoría del fósforo añadido se torna temporal o permanente inaprovechable por las plantas; (León y Fenster, 1979).

El proceso mediante el cual se transforman los compuestos fosfatados solubles en formas no disponibles para las plantas se ha denominado fijación y ocurre de dos formas:

- por precipitación al reaccionar con el Al intercambiable de las arcillas.

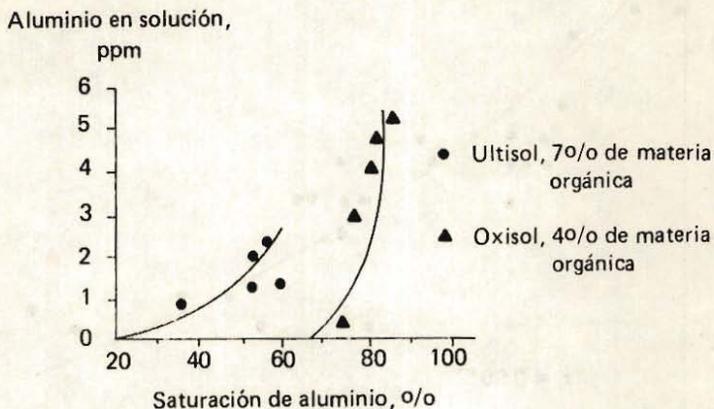


Figura 2. *Relación entre la saturación de Al, el Al en solución y el contenido de materia orgánica (Ayarza y Salinas, 1982).*

— por adsorción en la superficie de los sesquióxidos de Fe y Al.

El pH del suelo, al controlar el porcentaje de saturación de Al^{+++} intercambiable, condiciona la mayor o menor fijación de P agregado al suelo.

Puesto que gran parte de la fracción de arcilla de los Oxisoles y Ultisoles la componen sesquióxidos de Fe y Al, la fijación de P es mayor en los Oxisoles y Ultisoles que tienen un mayor contenido de fracción de arcilla, como lo indica la Figura 3. En esta figura se observan las curvas de fijación o isoterms de adsorción de fósforo de muestras representativas de capas superficiales de diferentes suelos de América tropical. Se ve además la diferencia en el contenido de arcilla así como en la cantidad de P inorgánico que debe agre-

garse (210 a 350 ppm) para obtener una concentración de 0,05 ppm en la solución del suelo, la cual es probablemente adecuada para el crecimiento de los pastos.

El contenido de materia orgánica modifica también la capacidad de fijación de los Oxisoles y Ultisoles, al ser bloqueados los hidróxidos expuestos en las superficies de los sesquióxidos de Fe y Al por los radicales orgánicos, lo que impide la fijación de P por adsorción.

La capacidad de fijación de P es específica de cada suelo y los requerimientos de fertilización fosfórica varían según el lugar, el manejo que se le haya dado anteriormente al suelo, las diferencias en las necesidades de nutrición entre especies o entre variedades, o según la tolerancia de ellas a la baja disponibilidad de P.

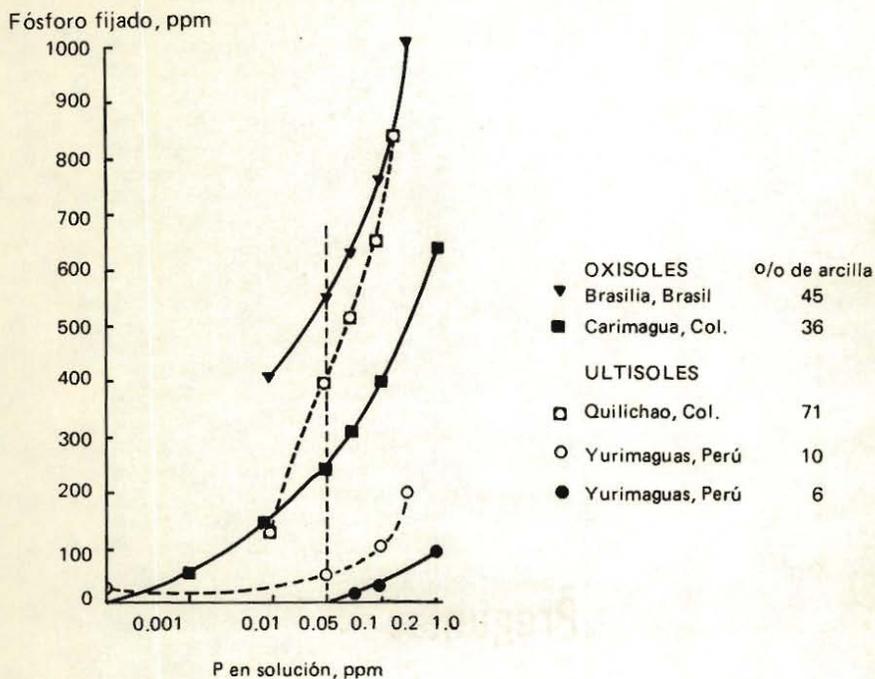


Figura 3. Ejemplos de isothermas de adsorción de P de suelos de América Latina tropical (Sánchez e Isbell, 1979).

Preguntas

1. *La infertilidad de los suelos ácidos tropicales se debe a:*

- a. _____
- b. _____
- c. *El contenido bajo de materia orgánica.*
- d. _____

2. *Mencione las condiciones que permiten una alta concentración de Al en la solución del suelo.*

3. *La materia orgánica aumenta la concentración de Al en la solución del suelo, como consecuencia de lo anterior, se aumenta la fijación del P.*

Verdadero ()

Falso ()

4. *La fijación del P en los suelos con pH menor de 5.5, ocurre por precipitación del P por el aluminio intercambiable de las arcillas.*

Verdadero ()

Falso ()

2. Efecto de una alta concentración de aluminio y baja disponibilidad de fósforo en el suelo en las especies forrajeras.

OBJETIVO

Enunciar y describir los problemas causados a las plantas forrajeras por la alta concentración de Al y baja disponibilidad de P en el suelo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Se considera logrado el objetivo general cuando, después de estudiar este capítulo, los interesados estén en capacidad de:

1. Describir los efectos en las raíces de las plantas producidos por altos niveles de Al.
2. Describir los efectos de la deficiencia de P en gramíneas y leguminosas.
3. Describir los síntomas visibles de la deficiencia de P en gramíneas y leguminosas.
4. Citar la relación que existe entre los síntomas de deficiencia de P y la toxicidad causada por Al.

2.1. Toxicidad causada por Al

Los niveles de saturación de Al, por encima del 60%, inhiben la división celular del tejido meristemático radical; las raíces secundarias se atrofian, toman la apariencia de nódulos y presentan puntos muertos. Las raíces se desarrollan en la superficie del suelo, lo que disminuye la capacidad de las plantas para tomar agua y nutrientes. Una deficiencia de P en la parte aérea es tal vez el síntoma visual típico de toxicidad causada por el aluminio en la mayoría de las plantas. Además el Al bloquea la absorción y translocación de elementos minerales como el calcio, el magnesio y algunos micronutrientes (zinc, cobre).

2.2 Deficiencia de fósforo

Si la cantidad de fósforo que está suministrando la parte sólida del suelo a la solución del mismo, no es suficiente para reemplazar el que toma la planta en un momento dado,

entonces aparecen síntomas de deficiencia de este elemento.

Los síntomas foliares de la deficiencia de fósforo son más visibles en las gramíneas que en las leguminosas forrajeras. Debido a que el P participa en el metabolismo de la planta en la transferencia de energía, existe una disminución de la tasa de crecimiento cuando hay deficiencia de él, además las hojas toman una coloración rojo-púrpura, debido a la acumulación del pigmento antocianina; los ápices de las hojas viejas se tornan pálidos y luego se presentan necrosis en estados avanzados deficiencia de fósforo.

En el caso de las leguminosas forrajeras, la deficiencia de P se manifiesta, en general, por una coloración verde oscura de las hojas, las cuales aumentan ligeramente en grosor y crecen más erectas que las normales. Otra característica es la defoliación acentuada de las hojas viejas y luego de las nuevas, hasta ser total.

Preguntas

1. *Describe los efectos de los niveles de saturación de Al, por encima del 600/o, en las raíces de los pastos.*
2. *La coloración rojo-púrpura puede ser un síntoma de deficiencia de P en gramíneas forrajeras.*
Verdadero () Falso ()
3. *En las leguminosas forrajeras, la deficiencia de P produce varios síntomas; uno de ellos puede ser una coloración verde oscura de las hojas.*
Verdadero () Falso ()
4. *Los síntomas de deficiencia de P en la parte aérea pueden ser un síntoma visible de toxicidad causada por Al.*

3. Criterios generales para la selección de especies de pastos tolerantes a factores adversos del suelo.

OBJETIVOS

Enunciar los criterios generales y los específicos para la selección de especies de pastos tolerantes a factores adversos del suelo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Se considera logrado el objetivo general cuando, después de estudiar este capítulo, los interesados estén en capacidad de:

1. Citar las razones que justifican la recolección de germoplasma nativo.
2. Citar los criterios específicos cualitativos y cuantitativos utilizados en la selección de especies tolerantes a los factores adversos del suelo.
3. Definir producción absoluta y producción relativa de un pasto.

La variabilidad de los ecosistemas tropicales ha creado consecuentemente una variabilidad considerable en sus recursos genéticos. La evolución de las plantas tropicales ha sido, en la mayoría de los casos, el resultado de una adaptación natural al ecosistema y de la migración de especies a nuevos ambientes, en los cuales han sido sometidas a otro tipos de presiones, dando lugar a nuevas combinaciones de caracteres. Las principales presiones de selección han sido las causadas por el clima, las plagas, las enfermedades, la disponibilidad de nutrimentos y la competencia con otras especies vegetales.

3.1 Criterios generales

Debido a la amplia variabilidad del material genético, no se justifica en la actualidad un esfuerzo en la hibridación del material vegetal, pero sí debería aumentarse la variabilidad genética en aquellos géneros promisorios, mediante la recolección de germoplasma nativo en regiones con suelos ácidos e infértiles, que de por sí estaría adaptado a esas condiciones adversas. Una adecuada descripción del ambiente (incluyendo el suelo) debe acompañar a este proceso de recolección como un paso inicial en la selección de especies (Schultze-Kraft y Giacometti, 1979).

Una vez realizada la recolección de germoplasma, la caracterización y evaluación del potencial de producción dentro de un rango de condiciones de elevada acidez (toxicidad por aluminio) y/o disponibilidad de nutrimentos en el suelo, constituyen una etapa importante dentro de un programa general de selección de especies para los ecosistemas tropicales. Estos programas deben contemplar desde las evaluaciones preliminares en parcelas de introducción y ensayos de invernadero para ubicar las especies y variedades promisorias, hasta las pruebas regionales para evaluar la capacidad de subsistencia de

la planta forrajera al corte y pastoreo, en asociaciones de gramíneas-leguminosas, la calidad del forraje y la eficiencia económica de sistemas mejorados de producción de ganado de carne.

3.2 Criterios cualitativos y cuantitativos de selección

La prueba de hematoxilina permite hacer la selección preliminar de especies tolerantes a la concentración de Al.

La técnica utilizada está basada en la estimación visual de la tinción del sistema radical de plántulas jóvenes, usando testigos cuya tolerancia al Al sea conocida. Este método utiliza una solución de hematoxilina (0.20/o), la cual tiene una alta afinidad con el Al y permite distinguir entre plantas tolerantes y susceptibles. Las accesiones forrajeras se desarrollan en una solución nutritiva (Arnon y Hoagland) con concentraciones de 0.5 y 10 ppm de Al y 0,5 ppm de P en todos los casos. A medida que la concentración de Al aumenta en las raíces de las plántulas susceptibles, se afecta la diferenciación de tejidos meristemáticos y por tanto disminuye el crecimiento radical (CIAT, 1980).

El Programa de Pastos Tropicales del CIAT realizó una selección por tolerancia a la toxicidad del Al en numerosas introducciones de germoplasma de pastos.

Los géneros *Stylosanthes* y *Zornia* presentaron el mayor número de accesiones tolerantes al Al; *Centrosema* y *Macroptilium* el mayor número de accesiones sensibles (Cuadro 1).

La prueba de hematoxilina es cualitativa y por lo tanto no da mayor información sobre el comportamiento de cada una de las especies clasificadas como promisorias en situa-

Cuadro 1. Evaluación de germoplasma de leguminosas forrajeras por su tolerancia al Al mediante la prueba de hematoxilina (CIAT, 1979).

Géneros	No. de accesiones evaluadas	Tolerantes		Susceptibles	
		5 ppm Al	10 ppm Al	5 ppm Al	10 ppm Al
Stylosanthes	296	197	182	99	114
Zornia	156	112	93	44	63
Centrosema	151	23	15	128	136
Macroptilium	104	19	19	85	85
Vigna	69	10	10	59	59
Phaseolus	9	1	1	8	8
Aeschynomene	93	42	32	51	61
Calopogonium	55	0	0	55	55
Galactia	81	30	30	51	51
Pueraria	1	1	0	0	1
Leucaena	1	0	0	1	1
Desmodium	2	1	1	1	1
Total	1018	436	383	582	635

ciones de un amplio rango de condiciones de alta acidez y/o disponibilidad de nutrimentos en el suelo, por lo que se ha tomado la longitud relativa de las raíces como una medida cuantitativa.

La Figura 4 muestra la relación entre la longitud relativa de las raíces y los rendimientos relativos de materia seca de 47 ecotipos de *Stylosanthes macrocephala* cultivados bajo tres niveles de Al. Comparados, el control susceptible al aluminio (*Stylosanthes sympodiales* 1044) con los ecotipos susceptibles al Al, de las especies *S. macrocephala*, estos caen en el grupo definido como susceptibles por la prueba de hematoxilina, pero algunos ecotipos que fueron identificados como susceptibles por sus bajos coeficientes de regre-

sion fueron clasificados como tolerantes con la prueba de hematoxilina.

Estos resultados pueden ser explicados en el sentido de que los ecotipos identificados como tolerantes al Al por la prueba visual de la hematoxilina fueron plantas sanas, aunque su crecimiento de raíces fue reducido por efecto del Al. De hecho, los rendimientos relativos de materia seca de muchos de los ecotipos fueron superiores al 50% del rendimiento máximo obtenido en ausencia de Al.

Se ha considerado también el grado de productividad de una especie o variedad como un buen indicador de su tolerancia a altas concentraciones de Al y baja disponibilidad de P. Bajo este criterio, los trabajos de eva-

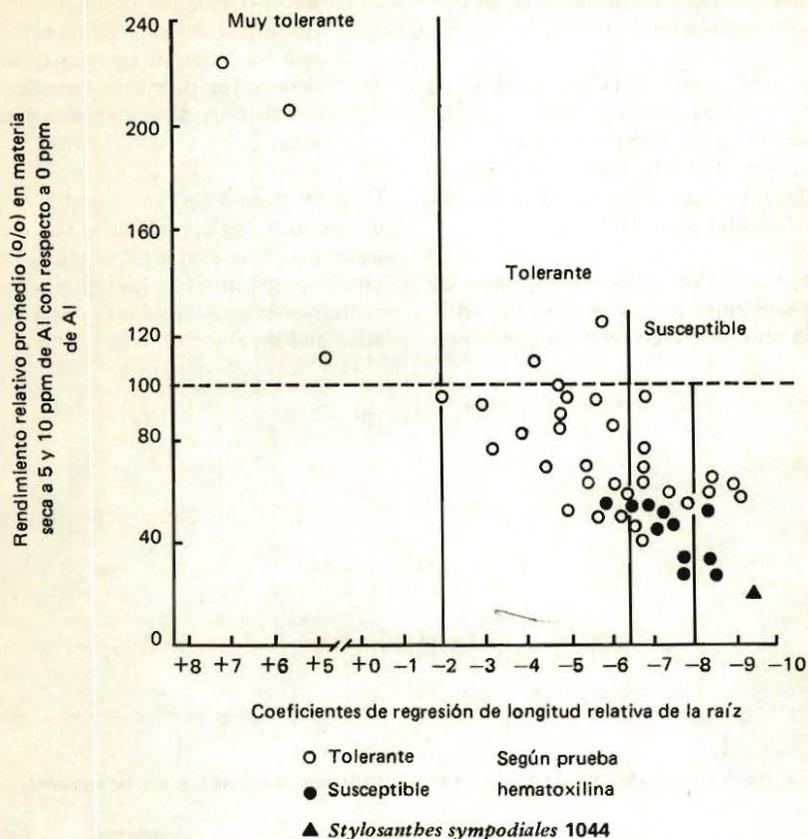


Figura 4. Relación entre los coeficientes de la longitud radical y la producción relativa promedio a 5 y 10 ppm de Al de 47 ecotipos de *Stylosanthes macrocephala* y sus comparaciones con la prueba de hamatoxilina (CIAT, 1981).

luación de especies forrajeras en condiciones edáficas adversas, buscan caracterizarlas según su habilidad para sobrevivir en condiciones desfavorables extremas y producir en diferentes condiciones de suelo. Se considera que la habilidad para sobrevivir en suelos ácidos e infértiles no tendría valor si la producción es baja.

En consecuencia, existen por lo menos cuatro maneras de medir esa tolerancia:

1. La habilidad de una planta para sobrevivir en suelos ácidos y de baja fertilidad.
2. La producción absoluta en el suelo ácido y poco fértil, que estaría indican-

do el potencial de producción en condiciones adversas.

3. La producción de la planta obtenida en diferentes grados de acidez y fertilidad del suelo, comparada con la producción obtenida bajo condiciones de acidez nula (ausencia de Al) y alta fertilidad (alta dosis de P).
4. La producción de la planta, obtenida en diferentes grados de acidez y fertilidad en el suelo en relación con la pro-

ducción máxima obtenida. Este criterio difiere del anterior en el sentido de que no todas las especies o variedades desarrollan su máxima producción en condiciones de acidez nula y alta fertilidad.

De esta manera los rendimientos relativos y el absoluto son considerados como criterios útiles para interpretar las diferentes respuestas de las gramíneas y las leguminosas a concentraciones altas de Al y a la baja disponibilidad de P en el suelo.

Preguntas

1. *En el trópico la recolección de germoplasma de pasto nativo se justifica por las siguientes razones:*

	Verdadero	Falso
a. <i>El área de recolección es pequeña.</i>	()	()
b. <i>La variabilidad del material genético es amplia.</i>	()	()
c. <i>Existe material adaptado a condiciones adversas.</i>	()	()
d. <i>Para incluirlo en programas de hibridación.</i>	()	()

2. *Cite los criterios cuantitativos usados en la selección de especies tolerantes a altas concentraciones de Al y baja disponibilidad de P.*
3. *Defina cada uno de los tipos de producción relativa y describa la diferencia entre ellos.*

4. Naturaleza de las diferentes respuestas entre especies y variedades a altas concentraciones de aluminio en el suelo.

OBJETIVO

Enumerar y describir los mecanismos fisiológicos que explican las diferentes respuestas de las plantas forrajeras a las concentraciones altas de aluminio en el suelo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Se considera logrado el objetivo general cuando, después de estudiar este capítulo, los interesados estén en capacidad de:

- Enumerar los mecanismos fisiológicos asociados con la tolerancia a concentraciones altas de Al.
- Describir la diferencia entre la reacción de tejidos radicales sensibles al Al y la de los tolerantes.
- Describir el efecto de diferentes concentraciones de Al en la longitud de las raíces.
- Describir el efecto de diferentes concentraciones de Al en la absorción de K, Ca y Mg.

La explicación de la tolerancia a las concentraciones altas de Al parece estar relacionada con el sitio de origen de las especies, y a la presencia de genes que controlan dicha tolerancia. Sobre tal hecho, Kerridge y Kronstad (1968) concluyen que la diferencia entre especies tolerantes y no tolerantes está controlada por un gene sencillo dominante. Sin embargo, los mecanismos asociados a la tolerancia no han sido plenamente identificados. Según Foy y Fleming (1978), éstos pueden ser diferentes de acuerdo con las especies y podrían estar controlados por distintos genes en diversas formas.

En una revisión que hace Foy (1974) sobre este tema se citan varios mecanismos asociados con la tolerancia o sensibilidad a la concentración de aluminio:

- Diferencias morfológicas y fisiológicas de la raíz.

- Diferentes tasas de translocación de aluminio.
- Diferentes tasas de absorción y translocación de otros nutrientes.

Estos mecanismos han sido confirmados en experimentos realizados en el CIAT en el género *Stylosanthes* (Ayarza y Salinas, 1982).

4.1 Diferencias morfológicas y fisiológicas de la raíz

En el CIAT (Ayarza y Salinas, 1982) se diseñó un estudio para determinar el efecto del Al en el crecimiento de tres especies de *Stylosanthes*, e identificar, mediante la prueba de hematoxilina, los cambios anatómicos y morfológicos en las raíces debidos a la toxicidad del Al. Los resultados de este estudio se presentan en la Figura 5 y el Cuadro 2. El

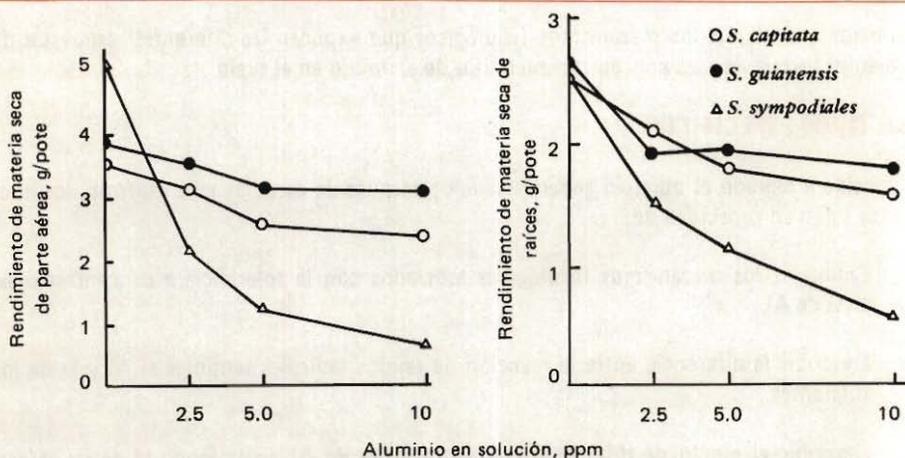


Figura 5. Efecto de Al en la producción de materia seca en partes aéreas y raíces de tres especies de *Stylosanthes* cultivadas en solución nutritiva (Ayarza y Salinas, 1982).

Cuadro 2. Efecto de la concentración de aluminio en la longitud de las raíces de tres especies de *Stylosanthes* (Ayarza y Salinas, 1982).

Especie	Aluminio en solución, ppm			
	0	2.5	5.0	10
<i>S. guianensis</i>	52.59 ¹	45.68 (13) ²	24.30 (64)	18.68 (65)
<i>S. capitata</i>	30.77	25.04 (19)	17.48 (43)	10.29 (67)
<i>S. sympodiales</i>	69.77	22.07 (69)	4.80 (93)	8.83 (96)

¹ Longitud (m), estimada por el método Newman (1966).

² Los números entre paréntesis indican el porcentaje de reducción en la longitud radical.

daño ocasionado por el Al en las partes aéreas y raíces de las especies de *Stylosanthes* varió marcadamente. En general, *S. capitata* y *S. guianensis* resultaron menos afectadas que *S. sympodiales*, una especie sensible al Al. Se observó, a una concentración de 2.5 ppm, un 69% de disminución en la longitud de las raíces de *S. sympodiales*, mientras que en *S. capitata* y *S. guianensis* las disminuciones solo fueron de 13 y 19% respectivamente; a una concentración de 10 ppm la reducción fue de 96% para *S. sympodiales* y de 65 y 67% para las otras especies.

Desde el punto de vista morfológico, el crecimiento longitudinal de la raíz principal de *S. sympodiales* se inhibió tan pronto las plantas se transfirieron a las soluciones con Al. Además, el color de la raíz cambió de blanco a café y las raíces laterales presentaron una desintegración y desorganización de células. Estos desórdenes fueron menos evidentes en las otras dos especies. Mediante la observación de cortes longitudinales de las raíces después de su tinción con hematoxilina, se lograron diferenciar las zonas que acumulaban el Al. En el caso de *S. capitata*, la acumula-

ción de Al no produjo destrucción de las células en la región cortical más externa de la raíz primaria. En contraste en *S. sympodiales*, la tinción rojiza de la hematoxilina demostró un flujo de Al en la parte central de la raíz primaria, lo cual coincidió con la desintegración de las células.

4.2 Diferentes tasas de translocación de aluminio

Estudios de Ayarza y Salinas (1982) demuestran que el contenido de aluminio en las hojas de tres especies de *Stylosanthes* se incrementan en la medida en que aumenta la concentración de aluminio en la solución. Aunque no se encontró diferencia estadística en los contenidos de Al en la hoja se nota que *S. sympodiales* es la especie que muestra mayor contenido (Figura 6).

4.3 Diferentes tasas de absorción y translocación de otros nutrimentos

En el Cuadro 3 se detalla la absorción y translocación de los nutrimentos potasio, calcio y magnesio de tres especies de *Stylo-*

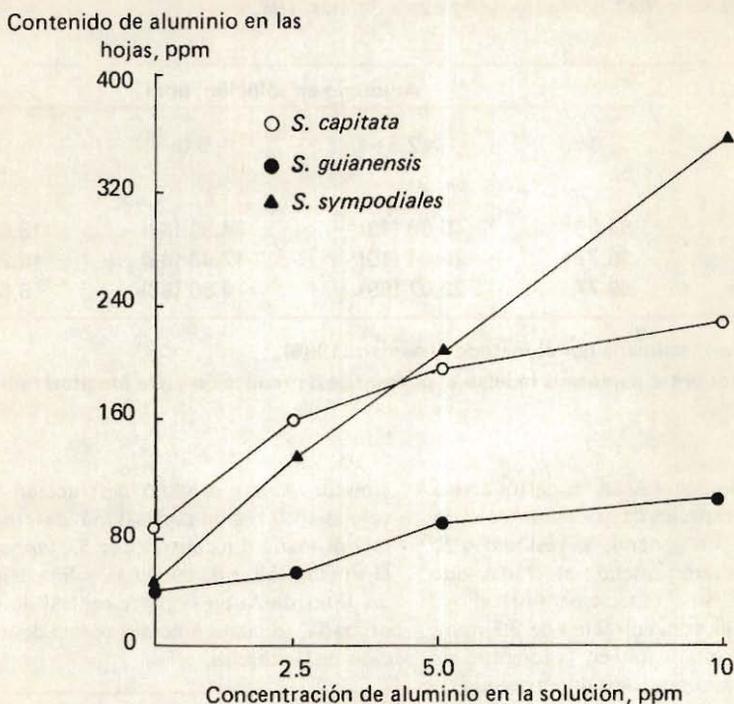


Figura 6. Efecto de la concentración de aluminio en la solución en el contenido de este elemento en las hojas de tres especies de *Stylosanthes* (Ayarza y Salinas, 1982).

santhés cultivadas en soluciones nutritivas con cuatro concentraciones de aluminio. El aluminio parece tener poca influencia en el contenido de K tanto de la hoja como de las raíces (Ayarza y Salinas, 1982).

En contraste, la fuerte disminución de la absorción total de Ca y Mg por el aumento de Al, no afectó la translocación de estos nutrimentos a las partes aéreas. Esto indica que los índices de transporte de Ca y Mg no pueden ser utilizados para identificar las

especies tolerantes al exceso de Al. La implicación práctica de estos resultados consiste en que la deficiencia de Ca y Mg en presencia de Al en una especie forrajera, es el resultado de una reducción de la absorción de Ca y Mg y no de su translocación.

La composición de la parte aérea y de las raíces en las tres especies muestra que tanto la tolerante como la no tolerante pueden sufrir de deficiencia de Ca y Mg, inducida por el aluminio.

5. Naturaleza de las diferentes respuestas entre especies y variedades a bajos contenidos de fósforo disponible en el suelo.

OBJETIVO:

Enumerar y describir los mecanismos morfológicos y fisiológicos que explican las diferentes respuestas de las plantas forrajeras a la baja disponibilidad de fósforo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Se considera logrado el objetivo general cuando, después de estudiar este capítulo, los interesados estén en capacidad de:

- Enumerar los mecanismos morfológicos y fisiológicos asociados con la tolerancia a la baja disponibilidad de fósforo.
- Describir cómo la extensión y la exudación radical podrían explicar la tolerancia a la baja disponibilidad de fósforo.
- Explicar cómo la presencia de micorriza puede aumentar la cantidad de P disponible para las plantas.
- Citar los factores que afectan la infección por micorriza.

- Definir las tasas de absorción y translocación de fósforo y la tasa relativa de crecimiento.
- Describir la relación que existe entre la tasa de absorción de fósforo y la tasa relativa de crecimiento.
- Definir niveles críticos externo e interno de fósforo.
- Citar niveles críticos externos de fósforo para varias especies de leguminosas y gramíneas forrajeras.
- Citar especies de gramíneas y leguminosas forrajeras con niveles críticos internos bajos de P.
- Describir el efecto de la concentración de aluminio en la absorción y translocación de fósforo.

Sánchez (1981) plantea que a pesar de que la genética de la tolerancia al bajo nivel de P en las diferentes variedades no está tan avanzada como la de la tolerancia al Al, parece razonable suponer que las variedades o especies desarrolladas en suelos bajos en fósforo mostrarán esta tolerancia, mientras que las desarrolladas en suelos con buen suministro de P, ya sea en forma natural o por fertilización abundante, es probable que no presenten tal tolerancia. Menciona también, que los mecanismos fisiológicos responsables de estas diferencias entre variedades y entre especies no están comprendidos por completo. Salinas y Sánchez (1976) en una revisión de este tópico plantean que existen cuatro mecanismos que intentan explicarlas: a) extensión radical, b) exudación radical, c) presencia de micorriza y d) diferentes tasas de absorción y translocación de P.

En condiciones de acidez del suelo, es difícil separar los efectos perjudiciales del Al de aquellos debidos a la baja disponibilidad de

P; las diferencias en tolerancia al Al entre especies o variedades parecen estar positivamente correlacionadas con diferencias en tasas de translocación de P en presencia de Al.

5.1 Extensión radical

Se aceptaba que especies y variedades con mayor superficie de absorción radical podían utilizar mejor el P disponible en el suelo (Thomas, 1930; Lyness, 1936; Rabideau *et al.*, 1950). Pero Freid (1953) afirmó que esta utilización de P era independiente del tamaño de las raíces o de su superficie y que más bien se debía a la eficiencia radical para absorber el P del suelo.

La validez de la hipótesis de la extensión radical es difícil de probar por la falta de técnicas apropiadas para medir con precisión el crecimiento de las raíces en condiciones de campo (Pearson, 1974).

Cuadro 3. Efecto de la concentración de Al en la absorción y translocación de K, Ca y Mg en tres especies de *Stylosanthes*, cultivadas en soluciones nutritivas (Ayarza y Salinas, 1982).

25

Al en solución (ppm)	<i>Stylosanthes capitata</i>				Índice de transporte, o/o	<i>Stylosanthes guianensis</i>				Índice de transporte, o/o	<i>Stylosanthes sympodiales</i>			
	Absorción (mg/g peso seco)			Índice de transporte, o/o		Absorción (mg/g peso seco)			Índice de transporte, o/o		Absorción (mg/g peso seco)			Índice de transporte, o/o
	Hojas	Raíces	Total			Hojas	Raíces	Total			Hojas	Raíces	Total	
POTASIO														
0.0	18.3	20.2	38.3	48	18.0	29.5	47.5	38	21.8	22.1	43.9	50		
2.5	15.9	22.0	37.9	42	15.2	30.8	46.0	33	23.2	22.6	45.8	51		
5.0	15.8	22.2	38.0	42	16.4	26.0	42.0	39	25.7	21.0	46.7	55		
10.0	16.7	25.0	41.7	40	17.6	28.5	46.1	38	22.5	18.9	41.4	54		
CALCIO														
0.0	9.9	3.4	13.3	74	11.8	3.0	14.8	80	12.7	1.7	14.4	88		
2.5	8.3	2.6	10.9	76	8.9	2.3	11.2	79	7.6	1.6	9.2	83		
5.0	6.8	2.3	9.1	75	6.7	1.8	8.5	79	7.0	1.4	8.4	83		
10.0	6.0	1.4	7.4	81	5.5	1.2	6.7	82	5.7	1.5	7.2	89		
MAGNESIO														
0.0	2.3	3.0	5.3	43	2.3	4.2	6.5	35	2.6	3.7	6.3	41		
2.5	2.0	2.3	4.3	47	2.2	2.7	4.9	45	2.7	1.3	4.0	68		
5.0	2.2	1.7	3.9	56	2.2	1.3	3.5	63	2.7	1.2	3.9	69		
10.0	2.2	1.3	3.5	63	2.2	0.9	3.1	71	2.5	0.7	3.2	78		

¹ Índice de transporte = (absorción mineral partes áreas/absorción mineral total) x 100.

Preguntas

1. *Los mecanismos asociados con la tolerancia a concentraciones altas de aluminio son:*
 - a. _____
 - b. _____
 - c. _____
2. *Las raíces de pastos tolerantes a las altas concentraciones de aluminio no presentan destrucción de las células en la región cortical.*

Verdadero () Falso ()
3. *El crecimiento de las raíces de la especie *S. sympodiales* se reduce drásticamente a una concentración de 2.5 ppm de aluminio en solución.*

Verdadero () Falso ()
4. *La alta concentración de aluminio reduce la absorción y translocación de potasio.*

Verdadero () Falso ()
5. *En una especie forrajera, la deficiencia de Ca y Mg, en presencia de aluminio, es el resultado de una reducción de la absorción de Ca y Mg y no de su translocación.*

Verdadero () Falso ()

De todas maneras el potencial de la extensión de la raíz para extraer P en un medio favorable es muy grande. Las posibilidades de expansión de la raíz en condiciones de campo no controladas van a depender de los factores del suelo que puedan impedir la continua exploración de nuevos volúmenes de suelo por las raíces, de las características de las plantas y de la competencia con otras plantas o malezas (Pearson, 1974).

Plantas con sistemas radicales extensos podrían profundizar en el perfil del suelo y obtener fósforo y otros nutrimentos de la solución en el subsuelo, aún cuando la parte superficial del perfil se encuentra seca o con muy poco fósforo y/o nutrimentos disponibles.

5.2 Exudación radical

Comber (1922), sostiene que las raíces de algunas plantas excretan más óxido de carbono que otras, provocando diferencias de pH en la rizosfera. Una mayor acidez en la zona radical incrementaría la concentración de P del suelo y de este modo aumentaría la absorción de este elemento.

Otra posible ayuda en la competencia por la absorción de P de algunas especies está en la exudación radical de toxinas que inhiben el crecimiento de otras especies (Rovira y Davey, 1974).

Roux citado por Rovira y Davey, 1974 encontró que la solución de la arena donde creció *Trachypogon plumosus* inhibió la germinación y/o el crecimiento de *Tagetes minuta*; igualmente Mishustin y Naumova, citados por el mismo autor, encontraron que la alfalfa exudó saponinas que retardaron el crecimiento de algodón pero no el del trigo.

Existe evidencia del efecto de los exudados radicales en las interacciones entre plantas, pero frecuentemente estos efectos pueden confundirse con los de toxinas resultantes de residuos de plantas (Rovira y Davey, 1974).

5.3 Presencia de micorriza vesicular-arbuscular (MVA)

Estos hongos se encuentran en todo el mundo, en todo tipo de condiciones edafoclimáticas y la distribución y población de especies es altamente variable aún dentro de áreas muy pequeñas. La principal actividad de la MVA, por crecer sobre las raíces de la planta, es explorar un volumen mayor de suelo del que pueden explorar las raíces por sí solas. Esto significa que elementos poco móviles, tales como el fósforo, pueden ser tomados en cantidades mayores por raíces con micorriza que por raíces solas (Sieverding y Saif, 1984).

Los pastos que crecen en suelos ácidos e infértiles no producirán materia seca sin asociaciones con las micorrizas (Sieverding y Saif, 1984). Sin embargo, la infección por micorriza puede variar según el tipo de suelo, la especie de pasto y el tipo y cantidad de fertilizante fosfatado aplicado.

El manejo de las asociaciones con las micorrizas para una extracción más eficiente de P por los pastos tropicales puede hacerse principalmente por dos métodos: el primero, aprovechando que los pastos estudiados en el CIAT son micotróficos obligados, es decir, que son dependientes de la micorriza para su nutrición y que la MVA consiste en hongos presentes en todos los suelos tropicales, podrían utilizarse las micorrizas nativas para obtener máximo beneficio de ellas; el segun-

do consistiría en hacer en el campo inoculación de MVA seleccionada como altamente efectiva y adaptada a la planta y a las condiciones edafoclimáticas. De esta manera se supera la dificultad de la alta variabilidad de estos hongos aún dentro de un mismo campo.

El primer método puede ser aplicado principalmente en ecosistemas nuevos (Llanos Orientales de Colombia, Amazonas) donde la micorriza nativa y su actividad aún no han sido afectadas por los procesos de manejo inadecuado o de degradación del suelo y por lo tanto, pueden protegerse desde un principio con el apropiado uso de prácticas agrícolas, tales como: aplicaciones de fertilizantes, sistemas de cultivo (rotación, asociación), diferencias entre ecotipos, métodos de protección de plantas, etc.

Cuando se hace inoculación en el campo, resultados experimentales han mostrado que en general dicha inoculación debe ir acompa-

ñada de una pequeña cantidad de fertilizante fosfórico (Tabla 4) (Sieverding y Saif, 1984).

5.4 Tasas de absorción y translocación de fósforo

La tasa de absorción de fósforo (TAP), se define como la cantidad de P tomado por la planta, por unidad de peso de raíz, por unidad de tiempo; medida como μg de P/g/día. La tasa de translocación de fósforo (TTP) es la cantidad de P translocado a la parte aérea, por unidad de peso de raíz, por unidad de tiempo; medida como μg de P/g/día. La tasa relativa de crecimiento (TRC) se define como el incremento en peso seco, por unidad de material vegetal, por unidad de tiempo (g/g/día). Nye (1966) indica que la TAP es directamente proporcional a la concentración de fósforo en la solución del suelo cerca al sistema radical. Por tanto, es posible asumir que la TAP se ve influenciada no sólo por el suministro externo de P sino también por la demanda interna de este elemento.

Cuadro 4. Efecto de la inoculación en el campo con cepas de micorriza seleccionadas en los rendimientos de especies de pasturas en un Oxisol de Carimagua, con y sin aplicación de P. (Sieverding y Saif, 1984).

Aplicación de P, kg P/ha*	Inoculación en el campo	Producción de materia seca, (kg/ha)		
		<i>Stylosanthes capitata</i>	<i>Pueraria phaseoloides</i>	<i>Andropogon gayanus</i>
0	No	69.7a**	74.6a	272.7a
	Si	126.2b	150.9b	376.6b
20	No	397.5c	522.6c	2280.0c
	Si	673.1d	871.5d	3046.0d

* Como roca fosfórica Huila.

** Letras diferentes en una columna representa diferencia significativa al $P = 0.01$.

Loneragen y Asher (1967) indicaron que una TAP inferior a 1 μg de P/g/día limita el crecimiento al mínimo en cualquier especie o variedad; en consecuencia, la TAP puede ser considerada como crucial al estudiar diferencias entre especies o variedades con relación a la baja disponibilidad de P en el suelo. La relación TAP-TRC es compleja; Clarkson (1967) y Rorison (1968) observaron una correlación negativa entre TAP y TRC, lo cual indica que una baja tasa relativa de crecimiento de una especie o variedad puede facilitar la adaptación de tal especie o variedad a suelos con poca disponibilidad de P. Nye (1966) indicó que una TRC baja da más tiempo para la retranslocación del P de los tejidos viejos a tejidos meristemáticos, lo que permite una utilización más eficiente del P. Según White (1972) la TRC de *Phaseolus atropurpureus* fue menor que la de *Stylosanthes humilis* y *Desmodium intortum*, mientras que la TAP fue mayor en las dos últimas especies que en la primera. Las relaciones entre TAP y TRC, por lo tanto, pueden ser útiles para explicar las diferencias entre especies o variedades en cuanto a la tolerancia a la baja disponibilidad del P en el suelo.

Bajo estos conceptos, Andrew, Berg y Vanden (1973) encontraron que la mayor tolerancia de *Stylosanthes humilis* a la baja disponibilidad de fósforo fue debida a una alta tasa de absorción de P por sus raíces en comparación con aquellas leguminosas de menor tolerancia a baja disponibilidad de fósforo.

Conocidas las relaciones entre las tasas de absorción y translocación de fósforo y entre la primera y la tasa relativa de crecimiento, es necesario definir los requerimientos de las especies de pastos en términos del fósforo disponible en el suelo (nivel crítico externo) y el contenido de fósforo de la parte aérea (nivel crítico interno).

Las técnicas disponibles de diagramas de dispersión y el uso de modelos discontinuos desarrollados por Cate y Nelson (1971), son herramientas convenientes para la interpretación de concentraciones críticas de nutrientes externas e internas, así como también la estimación de dosis mínimas de fertilizantes necesarias para un rendimiento adecuado. Con base en esta caracterización de nutrientes es posible distinguir grupos dentro del germoplasma de gramíneas y leguminosas con requerimientos críticos bajos o altos.

5.4.1. Nivel crítico externo de P

La única forma de fósforo absorbido por las plantas de la solución del suelo, es el ión fosfatado. Un informe reciente (Fox *et al*, 1974) ha demostrado la existencia de una concentración de fósforo en la solución del suelo (nivel crítico externo) que correlaciona con una producción adecuada (80%); además demuestra que esta concentración varía entre las especies.

En el Cuadro 5 se pueden observar las diferencias en niveles críticos externos de P de varias leguminosas y gramíneas. Algunas especies promisorias requieren una fracción del nivel de fósforo disponible determinado para cultivos anuales y aún menos que otras especies de pastos. Por ejemplo, en Colombia, el nivel crítico generalmente usado para cultivos es 15 ppm de fósforo, determinado por el método Bray II (Marin, 1977); ecotipos promisorios de *Stylosanthes capitata*, *Zornia latifolia* y *Andropogon gayanus* tolerantes al aluminio requieren 1/3 a 1/5 parte de esta cantidad para lograr máximos rendimientos.

Además del amplio rango de requerimientos externos de P para diferentes especies, el "nivel crítico externo" de P varía con la etapa de desarrollo de la planta; en el caso de la

Cuadro 5. Niveles críticos externos de fósforo de varias especies de pastos tropicales (CIAT 1978, 1979, 1980).

Especie y ecotipo	Nivel crítico de P disponible en el suelo (Bray II)
	P, ppm
LEGUMINOSAS:	
<i>Stylosanthes capitata</i> 1978	2.5
<i>Stylosanthes guianensis</i> 1200	2.5
<i>Zornia latifolia</i> 728	2.8
<i>Desmodium ovalifolium</i> 350	3.0
<i>Stylosanthes capitata</i> 1315	3.2
<i>Stylosanthes capitata</i> 1097	3.3
<i>Zornia</i> sp. 883	3.4
<i>Pueraria phaseoloides</i> 9900	3.5
<i>Stylosanthes capitata</i> 1019	3.5
<i>Stylosanthes capitata</i> 1338	3.6
<i>Stylosanthes guianensis</i> 1153	5.5
<i>Desmodium scorpiurus</i> 3022	8.0
<i>Macroptilium</i> sp. 536	9.5
<i>Desmodium gyroides</i> 3001	11.4
GRAMINEAS:	
<i>Andropogon gayanus</i> 621	5.0
<i>Brachiaria decumbens</i> 606	7.0
<i>Panicum maximum</i> 604	10.0

* Nivel de P disponible asociado con 80% de rendimiento máximo.

leguminosa forrajera del género *Desmodium* su nivel crítico en la etapa de establecimiento es de 0.20 ppm y 0.01 ppm después del segundo corte, lo cual sugiere también que el suministro de P a leguminosas forrajeras en los suelos bajos en este elemento es muy importante en la etapa de establecimiento.

5.4.2 Niveles críticos internos

Andrew y Robins (1969, 1971) determinaron las concentraciones críticas de P en la parte aérea de varias especies de pastos tropicales, las cuales fueron correlacionadas con máximos rendimientos (Cuadro 6). Este por-

Cuadro 6. Niveles críticos internos de fósforo de especies forrajeras asociadas con rendimientos máximos.¹ (Andrew y Robins, 1959, 1971),² (CIAT, 1978).

Especie forrajera	P en la parte aérea, o/o
<i>Stylosanthes humilis</i>	0.17 ¹
<i>Centrosema pubescens</i>	0.16 ¹
<i>Desmodium intortum</i>	0.22 ¹
<i>Glycine wightii</i>	0.23 ¹
<i>Medicago sativa</i>	0.25 ¹
<i>Andropogon gayanus</i>	0.11 ²
<i>Brachiaria decumbens</i>	0.12 ²
<i>Melinis minutiflora</i>	0.18 ¹
<i>Panicum maximum</i>	0.19 ¹
<i>Pennisetum clandestinum</i>	0.22 ¹
<i>Chloris gayana</i>	0.23 ¹
<i>Paspalum dilatatum</i>	0.25 ¹

centaje de P en la parte aérea de la planta sobre el cual no hubo respuesta posterior de crecimiento, fue considerado como "nivel crítico interno de P". Algunos resultados muestran que especies de leguminosas forrajeras como *Stylosanthes humilis* y *Centrosema pubescens* tienen un nivel crítico interno más bajo que especies tales como *Glycine wightii* y *Medicago sativa*. Las primeras dos especies son nativas de regiones con suelos bajos en fósforo disponible y otros nutrientes. La misma observación fue hecha con gramíneas forrajeras, tales como *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* y *Melinis minutiflora* las cuales tienen bajos niveles críticos y son muy comunes en suelos ácidos con baja disponibilidad de P, mientras *Chloris gayana* y *Paspalum dilatatum* tienen un nivel crítico más alto.

Datos posteriores (CIAT, 1981) muestran (Cuadro 7) que en sabanas isohipertérmicas

bien drenadas, como en el caso de Carimagua, todas las gramíneas presentan niveles críticos internos considerablemente bajos tanto en la época húmeda como en la época seca. Por el contrario, las leguminosas en muchos casos presentan el doble de la concentración de fósforo en el tejido.

El interés en seleccionar especies y variedades que presenten tolerancia a bajos niveles de fósforo disponible es el de disminuir la cantidad de fertilizante fosforado necesario para obtener rendimientos adecuados.

5.5 Tolerancia a las concentraciones altas de aluminio

Los problemas de deficiencia de fósforo en suelos ácidos del trópico usualmente ocurren junto con la toxicidad causada por el aluminio. Los dos problemas son difíciles de separar debido a la afinidad química entre estos

Cuadro 7. Niveles críticos internos de P de varias leguminosas y gramíneas tropicales en la fase de establecimiento en sabana isohipertérmica bien drenada (Carimagua). CIAT, 1981.

Especie y ecotipo	Nivel crítico interno*	
	Lluvia	Seco
	P, o/o	
LEGUMINOSAS		
<i>Desmodium ovalifolium</i> 350	0.10	0.08
<i>Pueraria phaseoloides</i> 9900	0.22	0.10
<i>Stylosanthes capitata</i> 1019	0.11	0.08
<i>Stylosanthes capitata</i> 1315	0.18	0.08
<i>Centrosema macrocarpum</i> 5065	0.16	0.09
<i>Centrosema pubescens</i> 5053	0.18	0.09
<i>Stylosanthes macrocephala</i> 1582	0.10	0.08
<i>Zornia</i> sp. 728	0.12	0.08
GRAMINEAS		
<i>Andropogon gayanus</i> 621	0.10	0.04
<i>Brachiaria humidicola</i> 679	0.08	0.05
<i>Brachiaria decumbens</i> 606	0.08	0.05
<i>Brachiaria brizantha</i> 665	0.09	0.05

* Asociado con 80% de producción máxima a las ocho semanas de crecimiento.

elementos. Consecuentemente, interacciones aluminio-fósforo tienen que ser consideradas al evaluar la tolerancia de variedades y especies a ambos problemas.

Parece que la tolerancia varietal tanto al alto aluminio intercambiable como a niveles de P aprovechable están relacionadas (Salinas y Sánchez, 1976).

Según Clarkson (1966), en la planta se presentan dos tipos de interacciones del Al con el P:

- A nivel de la superficie celular, ocurre fijación de P por una reacción de absor-

ción-precipitación con el Al que tiene lugar en las raíces.

- Dentro de la célula, posiblemente dentro de la mitocondria, que resulta en una marcada disminución de la tasa de fosforilación del azúcar y que probablemente afecta la inhibición de la hexokinasa.

Estos procesos implican un reducido transporte de P a la parte aérea.

Consecuentemente la deficiencia de P debida a la presencia de Al puede ser un resultado de la precipitación de Al y P en las raíces.

En un estudio realizado en el CIAT (Ayarza y Salinas, 1982) con tres especies de *Stylosanthes* en solución nutritiva, desde el punto de vista nutricional, el aumento de Al produjo una disminución en el contenido de P en los tejidos (Figura 7). El contenido de P en las partes aéreas de *S. sympodiales* disminuyó significativamente a medida que las concen-

traciones de Al aumentaron. El aumento de Al en la solución nutritiva causó la acumulación del P en las raíces y restringió su translocación a las partes aéreas en todas la especies de *Stylosanthes*. Sin embargo, *S. capitata* resultó menos afectada que las otras dos especies.

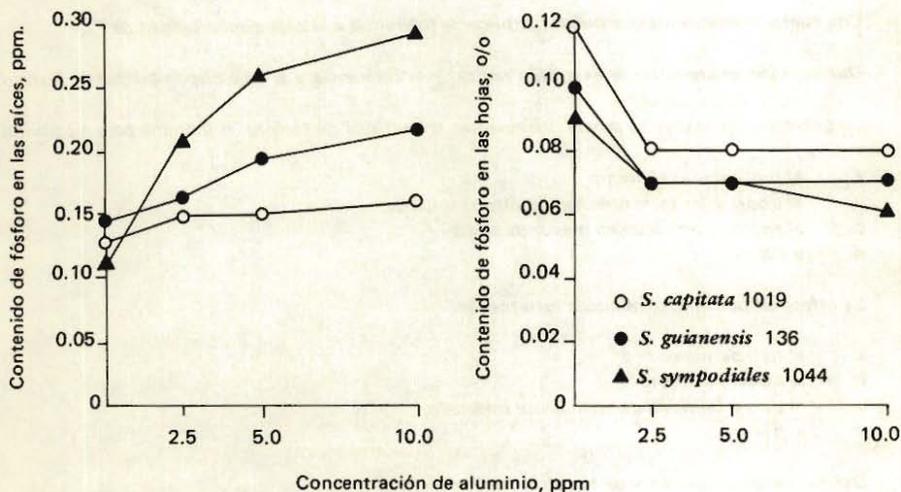


Figura 7. Efecto del aluminio en solución en el contenido de P en la parte aérea y en las raíces de tres especies de *Stylosanthes* (Ayarza y Salinas, 1982).

Preguntas

1. *Cite cuatro mecanismos que puedan explicar la tolerancia a la baja disponibilidad de P.*
2. *Qué relación existe entre la extensión radical y la tolerancia a la baja disponibilidad de fósforo?*
3. *La presencia de micorriza puede incrementar la cantidad de fósforo disponible para las plantas:*
 - a. *al precipitar el aluminio*
 - b. *al disolver las formas minerales menos solubles*
 - c. *al explorar un volumen mayor de suelo*
 - d. *a y b*
4. *La infección por micorriza puede variar según:*
 - a. *el tipo de suelo*
 - b. *la especie de pasto*
 - c. *el tipo y cantidad de fertilizante fosfatado*
 - d. *a, b y c*
5. *Defina tasa de absorción y de translocación de fósforo.*
6. *Defina tasa relativa de crecimiento.*
7. *Una baja tasa relativa de crecimiento de una especie de pasto, puede facilitar la adaptación de esta especie a suelos con poca disponibilidad de fósforo porque:*
 - a. *absorbe más fósforo*
 - b. *es menos tolerante a la alta concentración de Al*
 - c. *da más tiempo para la translocación del fósforo de los tejidos viejos a los tejidos meristemáticos.*
8. *Defina nivel crítico externo e interno de fósforo.*
9. *Cite dos especies de leguminosas y dos especies de gramíneas forrajeras con un bajo nivel crítico interno de fósforo.*
10. *Cite los niveles críticos externos de fósforo de leguminosas forrajeras del género Stylosanthes, Zornia y Desmodium.*

6. Caracterización y evaluación de pastos tropicales en condiciones de alta concentración de aluminio y bajo contenido de fósforo.

OBJETIVO:

Clasificar diferentes plantas forrajeras según su respuesta a condiciones de alta concentración de aluminio y bajo contenido de fósforo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Se considera logrado el objetivo general cuando, después de estudiar este capítulo, los interesados estén en capacidad de:

- Citar especies de pastos tolerantes a altas concentraciones de aluminio y baja disponibilidad de fósforo.
- Citar especies de pastos susceptibles a concentraciones altas de aluminio y baja disponibilidad de fósforo.

6.1 Respuestas de diferentes especies a altas concentraciones de aluminio y baja disponibilidad de fósforo en el suelo

Sánchez (1981) menciona que "el crecimiento de distintas especies en suelos ácidos depende de su relativa tolerancia a los niveles altos de aluminio y manganeso y a sus necesidades relativas de calcio y magnesio". Recientemente se ha encontrado que existen diferencias considerables entre y dentro de especies de cultivos en relación con su tolerancia a los factores de la acidez del suelo.

Ciertos cultivos exclusivamente tropicales crecen normalmente a valores bajos de pH en los que el maíz o la soya morirían. La piña es quizás el ejemplo más conocido, aunque el café, el té, el caucho y la yuca también toleran niveles altos de aluminio intercambiable. Entre las especies de pasturas, varias gramíneas y leguminosas están bien adaptadas a las condiciones de los suelos ácidos. Algunos pastos tropicales como guinea (*Panicum maximum*), gordura (*Melinis minutiflora*), y varias especies de los géneros *Paspalum* y *Brachiaria* crecen bien en suelos ácidos. Aunque las leguminosas se consideran muy susceptibles a la acidez del suelo por su alta necesidad de calcio para la nodulación, varias leguminosas forrajeras tropicales están sorprendentemente bien adaptadas a condiciones de acidez. Las principales son: *Stylosanthes* spp., *Desmodium* spp., *Centrosema* spp., *Calopogonium* spp., y "Kudzu tropical" (*Pueraria phaseoloides*). Entre las leguminosas de grano el "caupi" y el "guandul" parecen ser más tolerantes que el frijol o la soya. La Figura 8 muestra las diferencias en la tolerancia al aluminio en la solución del suelo, entre varias leguminosas forrajeras.

Rendimiento relativo de materia seca, o/o

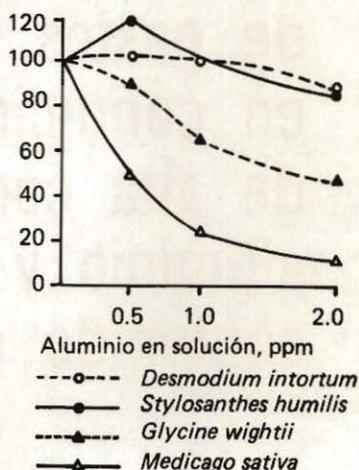


Figura 8. Diferencias en la tolerancia al aluminio entre cuatro especies de leguminosas de pastura (Tomado de Sánchez, 1981).

Andrew, Berg y Vanden (1973) mostraron que *Stylosanthes humilis* y *Desmodium intortum* relativamente no resultan afectados a niveles de aluminio en la solución del suelo de la magnitud de 2 ppm, mientras que la alfalfa tiene un rendimiento extremadamente bajo a 1 ppm. Otra leguminosa tropical, *Glycine wightii* (soya perenne), también resulta afectada a niveles altos de Al, aunque se desarrolla en el trópico pero en áreas calcáreas.

Un ejemplo de la tolerancia de cuatro gramíneas al aluminio en solución se muestra en la Figura 9 (Spain, 1979); *Brachiaria decumbens* seguido por *Panicum maximum* exhiben

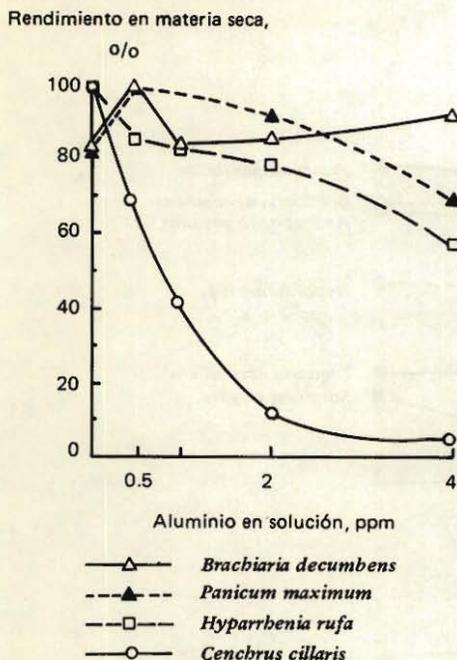


Figura 9. Tolerancia de cuatro gramíneas tropicales al aluminio en solución (Spain, 1979).

una fuerte tolerancia a la concentración de Al en solución; en contraste, *Cenchrus ciliaris*, es severamente afectado por cualquier concentración de aluminio.

La Figura 10, muestra la respuesta a la aplicación de cal en un Oxisol de Carimagua, Colombia, con pH de 4,5 y 90o/o de saturación de aluminio (antes de encalar). Las gramíneas que toleran la acidez como *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* y *Panicum maximum* y las leguminosas *Stylosanthes capitata* y *Zornia latifolia* presentan producciones máximas a 0 y 0.5 ton/ha de cal dolomítica, esta dosis de cal dolomítica

no altera el pH ni la saturación de aluminio, pero provee calcio y magnesio a las plantas.

La respuesta durante el año de establecimiento muestra diferencias significativas en el nivel de fertilización de fósforo necesario para el máximo crecimiento, en un Oxisol con alrededor de 1 ppm de fósforo disponible (Método Mehlich 2) antes de la aplicación (Figura 11).

Se nota que *Andropogon gayanus* requiere 22 kg/ha de P para alcanzar el máximo rendimiento, mientras que *Panicum maximum* requiere 44 kg/ha e *Hyparrhenia rufa* requiere 88 o quizás más (CIAT, 1978).

Recientemente, Salinas y Delgadillo (1980) evaluaron la respuesta de ocho gramíneas forrajeras al exceso de aluminio y la baja disponibilidad de P en un Oxisol de Carimagua, Colombia.

Para obtener una saturación de Al equivalente a 90, 85, 75 y menos de 20o/o, aplicaron 0, 0.5, 1.0 y 5.0 toneladas de cal/ha y para obtener 1.5, 3, 9 y 30 ppm de P disponible (Bray II) en el suelo, se aplicaron 0, 17, 117 y 277 kg de P/ha, como superfosfato triple.

Se estimó que una producción de materia seca que no excedió el 50o/o del rendimiento máximo, era determinante de la condición de "supervivencia" o "producción relativa baja" (PRB). Cuando el rendimiento relativo estuvo entre 50 y 80o/o de ese máximo, se consideró a la planta en condición de "producción relativa media" (PRM) y finalmente, por encima del 80o/o del rendimiento, en condición de "producción relativa alta" (PRA) bajo limitación de Al y/o P. El límite superior se fijó en 80o/o, debido a que en la mayoría de los casos por encima de este porcentaje, la tasa de incremento en

Rendimiento en materia seca,

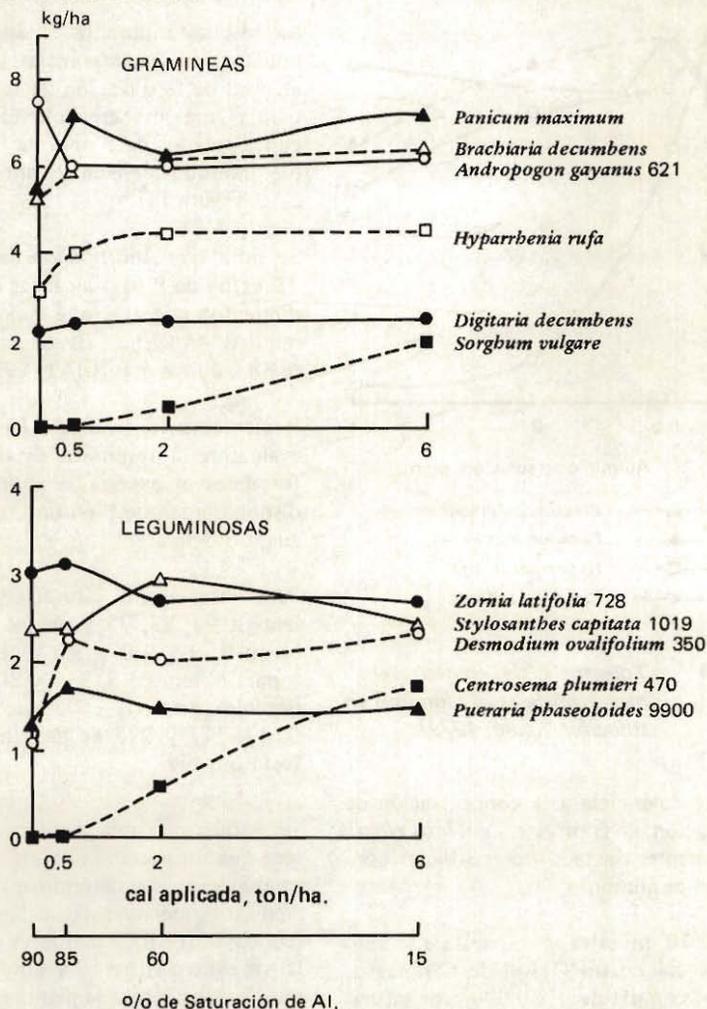


Figura 10. Respuesta de varias especies de gramíneas y leguminosas a la aplicación de cal en condiciones de campo en un Oxisol de Carimagua, Colombia. Promedio de cuatro a cinco cortes para gramíneas y un corte para leguminosas. (Adaptado de Spain, 1979).

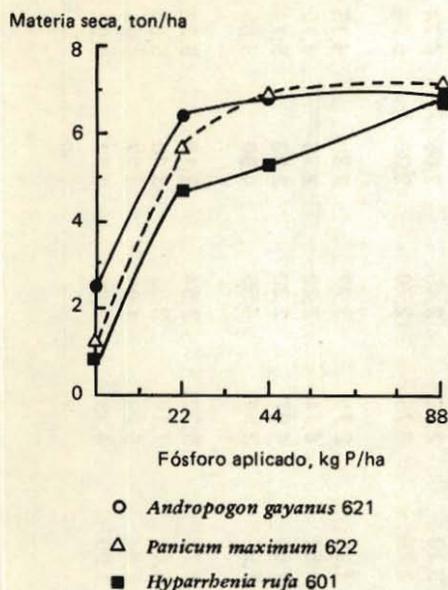


Figura 11. Respuesta a la aplicación de fósforo de tres gramíneas, durante el establecimiento, en un Oxisol de Carimagua, Colombia (CIAT, 1978).

producción de materia seca por unidad de insumo aplicado (cal y/o fósforo) fue relativamente baja y no significativa.

Los resultados (Cuadro 8), muestran las respuestas de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria decumbens*, *Hyparrhenia rufa*, *Melinis minutiflora*, *Digitaria decumbens*, *Panicum maximum* y *Pennisetum purpureum*, a diferentes niveles de saturación de Al y P. La respuesta a la primera dosis de cal, 0.5 ton/ha, hace deducir que ésta fue debida a la nutrición con calcio y que éste junto con el primer incremento de

la fertilización fosforada (17 kg P/ha) determinaron que varias gramíneas pasaran a una condición de "producción relativa media" y "producción relativa alta" (Figura 12).

Al seleccionar una especie con tolerancia a la deficiencia de P, lo ideal sería encontrar una especie con bajos requerimientos de P tanto en el establecimiento como en el mantenimiento; o en su defecto, elegir una especie que requiera cantidades de P levemente mayores al inicio, pero solo cantidades mínimas de este elemento para su mantenimiento.

6.2 Requerimientos de nutrientes de gramíneas y leguminosas forrajeras

En estudios realizados por el Programa de Pastos del CIAT, se han encontrado diferencias entre especies en cuanto a requerimientos de fósforo, potasio, magnesio y azufre, por lo tanto es difícil hacer una recomendación general. Entre las gramíneas estudiadas, las menos exigentes son *Melinis minutiflora*, *Brachiaria humidicola*, *B. decumbens* y *Andropogon gayanus*. Las más exigentes son *Panicum maximum*, *Hyparrhenia rufa*, *Brachiaria radicans*, *Brachiaria mutica*.

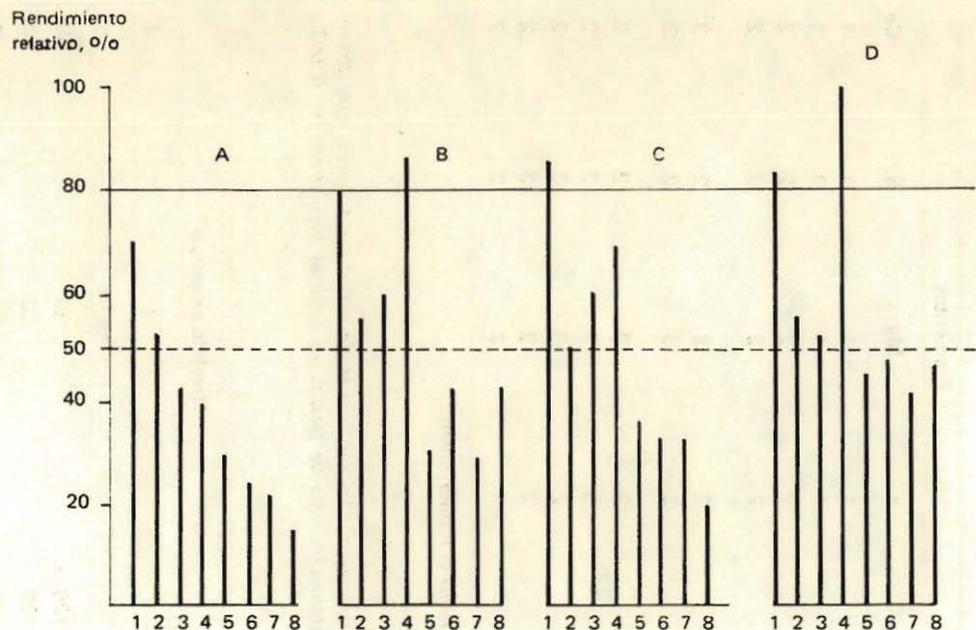
Entre las leguminosas también existen diferencias en sus requerimientos de nutrientes; varias especies, tales como: *Stylosanthes capitata*, *Centrosema macrocarpum*, *Zornia latifolia*, *Desmodium ovalifolium* son las menos exigentes. *Pueraria phaseoloides* exige más, especialmente K y Mg.

En el Cuadro 9 se presentan los requerimientos de nutrientes de varias gramíneas y leguminosas para su establecimiento. Para las especies menos exigentes se recomienda la aplicación por hectárea de 20 kg de P, 20 kg de K y 10 kg de Mg y S respectivamente. Para las más exigentes se recomienda 40 kg de P, 40 kg de K y 30 kg de Mg y S respectivamente (Cuadro 10).

Cuadro 8. Producción promedio de materia seca de ocho gramíneas forrajeras a diferentes niveles de saturación de Al y P en un Oxisol de Carimagua (Salinas y Delgadillo, 1980).

Cal aplicada	P aplicado	Gramíneas forrajeras								
		<i>Brachiaria humidicola</i>	<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Hyparrhenia rufa</i>	<i>Melinis minutiflora</i>	<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Digitaria decumbens</i>	<i>Panicum maximum</i>	<i>Pennisetum purpureum</i>	
ton/ha	kg/ha	ton/ha								
42	0	2,41 ¹	3,87	1,87	1,54	2,17	1,04	1,54	0,99	
		17	2,93	3,64	2,99	2,79	2,62	1,49	1,62	1,38
		117	2,74	3,78	3,34	3,69	2,67	2,36	2,38	3,12
		277	3,33	4,84	2,26	3,67	3,40	2,16	2,21	5,29
	0,5	0	2,65	4,28	2,71	3,42	2,09	1,84	1,38	3,05
		17	2,98	3,71	2,50	3,88	3,09	2,12	1,92	3,10
		117	2,57	7,25	4,31	3,23	2,92	2,45	2,65	4,74
		277	2,23	3,80	2,17	2,78	3,76	2,70	3,30	5,58
	1,0	0	2,85	6,36	2,13	1,92	2,78	1,77	2,80	4,15
		17	2,55	6,04	2,77	2,51	4,74	2,22	2,78	4,75
		117	2,56	6,79	3,28	1,60	4,97	2,30	2,93	5,74
		277	2,80	5,81	4,11	2,95	2,84	4,59	4,90	5,85
	5,0	0	2,43	5,67	3,37	2,74	5,32	2,54	3,13	5,22
		17	2,53	7,35	3,63	3,03	7,14	3,58	3,40	5,63
		117	1,68	4,44	3,21	2,64	5,29	1,93	4,27	6,24
		277	2,38	5,99	3,54	1,90	4,38	2,00	3,77	6,93

¹ Promedio de cuatro cortes y tres repeticiones.



A = 1.7 ppm de P (Bray II) 93% de saturación de Aluminio.
 B = 1.4 ppm de P (Bray II) 87% de saturación de Aluminio.
 C = 2.1 ppm de P (Bray II) 90% de saturación de Aluminio.
 D = 2.3 ppm de P (Bray II) 86% de saturación de Aluminio.

1 = *Brachiaria humidicola* 3 = *Hyparrhenia rufa* 5 = *Brachiaria decumbens* 7 = *Panicum maximum*
 2 = *Andropogon gayanus* 4 = *Melinis minutiflora* 6 = *Digitaria decumbens* 8 = *Pennisetum purpureum*

Figura 12. Respuesta de ocho gramíneas tropicales a aplicación de 0 ton Cal/ha y 0 kg P/ha; 0.5 ton Cal/ha y 0 kg P/ha; 0 ton Cal/ha y 17 kg P/ha y 0.5 ton Cal/ha y 17 kg P/ha, bajo condiciones de campo en Carimagua, Colombia. (Adaptado de Salinas y Delgado, 1980).

Cuadro 9. Clasificación relativa de gramíneas y leguminosas según sus requerimientos de nutrimentos bajo pastoreo en suelos de banco de sabana, Carimagua, Colombia (CIAT, 1983).

	Elementos				
	P	K	Mg	S	Ca
<i>M. minutiflora</i>	1	1	1	1	1
<i>B. humidicola</i>	1	1	1	1	1
<i>B. decumbens</i>	2	2	2	2	2
<i>A. gayanus</i>	2	2	2	2	2
<i>H. rufa</i>	3	3	2	2	3 ¹
<i>P. maximum</i>	3	3	3	3	3
<i>S. capitata</i>	2	2	2	2	2
<i>D. gyroides</i>	3	3	3	3	2
<i>D. ovalifolium</i>	2	2	3	3	2
<i>P. phaseoloides</i>	2	2	3	3	2
<i>C. macrocarpum</i>	1	1	2	2	2

¹ Mientras más alta la cifra, mayor el requerimiento.

Cuadro 10. Guía general para determinar las cantidades de varios nutrimentos que deben aplicarse para el establecimiento de pastos en sabanas bien drenadas (CIAT, 1983).

Elemento	Nivel de exigencia ¹		
	1	2	3
	kg/ha		
P	20	30	40
K	20	30	40
Mg	10	20	30
S	10	20	30
Ca	100 ²	200	400

¹ Ver Cuadro 9.

² El contenido de calcio en algunas fuentes de P es suficiente para las necesidades de la mayoría de las especies.

Preguntas

1. En el espacio de la columna de la izquierda indique, para cada especie, si la considera tolerante (t) o susceptible (s) a las altas concentraciones de aluminio en el suelo.
- a. *Brachiaria decumbens*
 - b. *Sorghum vulgare*
 - c. *Andropogon gayanus*
 - d. *Panicum maximum*
 - e. *Zornia latifolia*
 - f. *Stylosanthes capitata*
 - g. *Centrosema plumieri*
 - h. *Hyparrhenia rufa*
2. En el espacio de la columna izquierda indique, para cada especie, si la considera tolerante (t) o susceptible (s) a la baja disponibilidad de fósforo en el suelo.
- a. *Panicum maximum*
 - b. *Hyparrhenia rufa*
 - c. *Melinis minutiflora*
 - d. *Brachiaria humidicola*
 - e. *B. decumbens*
 - f. *Andropogon gayanus*

7. Resumen.

En América tropical existe una de las mayores extensiones de tierras inexploradas del mundo y por lo tanto, una gran reserva para la producción de alimentos, especialmente carne. Esta zona ocupa aproximadamente 850 millones de hectáreas y sus suelos presentan un "complejo de infertilidad" caracterizado por: alta acidez, altas concentraciones de aluminio, baja disponibilidad de fósforo y bajos niveles de otros nutrientes.

La nutrición tanto del forraje como del animal es la clave para la producción de ganado en estos suelos, por esto el Programa de Pastos Tropicales del CIAT concentra sus esfuerzos en tres posibles soluciones:

- Selección de especies de pastos tolerantes a las condiciones de acidez.
- Manejo de la fertilización fosfatada.
- Aplicación de enmiendas al suelo.

En esta unidad se citan criterios generales para selección de especies tolerantes a los factores adversos y se describe la evaluación de germoplasma mediante la prueba de hematoxilina y por su habilidad para producir forraje en diferentes condiciones del suelo.

Se describen los mecanismos fisiológicos que explican las diferentes respuestas a las plantas forrajeras a las altas concentraciones de aluminio y la baja disponibilidad de fósforo en el suelo.

Por último se describen las diversas respuestas de plantas forrajeras a diferentes condiciones de suelo, y la clasificación de las plantas según sus respuestas a esas condiciones.

Bibliografía

1. ABRUÑA, F.; PEARSON, R. W. y PEREZ, E. R. 1975. Respuesta al encalado de maíz y frijol en Ultisoles y Oxisoles típicos de Puerto Rico. *En*: E. Bornemisza y A. Alvarado (eds.). Manejo de Suelos en la América tropical. N. Carolina Sta. University, Raleigh, U.S.A. pp. 261-281.
2. ANDREW, C S. y ROBINS, M. F. 1969. The effect of phosphorus on the growth chemical composition of some tropical pasture legumes. I. Growth and critical percentages of phosphorus. *Aust. J. Agric. Res.* 20: 665-674.
3. ———. 1971. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition and critical phosphorus percentages of some tropical pasture grasses. *Aust. J. Agric. Res.* 22: 693-703.
4. ANDREW, C. S.; BERG, P. y VANDEN J. 1973. The influence of aluminium on phosphate adsorption by whole plants and excised roots of some pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.* 24: 341-351.
5. AYARZA, M. y SALINAS, J. G. 1982. Estudio comparativo de la tolerancia al aluminio en tres leguminosas forrajeras. Parte de la tesis del primer autor para M. Sc. Univ. de Reading, Inglaterra. 29 p. (de uso limitado).

6. CATE, R. B. Jr. y NELSON, L. A. 1971. Simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Amer. Proc.* 35: 658-659.
7. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1978. Informe Anual del Programa de Pastos Tropicales 1978. Cali, Colombia. pp. B-80, B-96.
8. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1979. Informe Anual del Programa de Pastos Tropicales, 1978. Cali, Colombia, 186 p.
9. _____. 1980. Informe Anual del Programa de Pastos Tropicales. 1979. Cali, Colombia. 138 p.
10. _____. 1981. Informe Anual del Programa de Pastos Tropicales, 1980. Cali, Colombia. pp: 171-202.
11. _____. 1981 b. Síntomas de deficiencia de macronutrientes y nutrientes secundarios en Pastos Tropicales; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Salinas J. G. y Sanz L. J. Productor: Carlos Valencia. Cali, Colombia. CIAT 28 p. (Serie 04SP-02.01).
12. _____. 1983. Recomendaciones generales para el establecimiento y mantenimiento de pastos en la zona de Carimagua, Llanos Orientales de Colombia. J. M. Spain (ed.). 30 p. (Mimeografiado de uso limitado).
13. CLARKSON, D. T., 1966. Effect of aluminium on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant physiology* 41: 165-172.
14. _____. 1967. Phosphorus supply and growth rate in species of *Agrostis* L. *Journ. Ecology* 55: 111-118.
15. COMBER, N. M. 1922. The availability of mineral plant food, a modification of the present hypothesis. *Jour. Agric. Sci.* 12: 363-369.
16. _____. 1974. Aspectos físico-químicos de las interacciones del fósforo con otros elementos. *Suelos Ecuatoriales*. 6(1): 45-66.
17. FENSTER, W. E. y LEON, L. A. 1979. Manejo de la fertilización con fósforo para el establecimiento de pastos mejorados en suelos ácidos e infértiles de América tropical. *En: Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos*. Tergas, L. E. y Sánchez, P. A. (eds.). (CIAT, Cali, Colombia, Serie 03SG-5) pp. 119-133.
18. FOX, R. L.; NISHIMOTO; R.K. THOMPSON, J. R. y DE LA PEÑA, R. S. 1974. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soils. *Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 1517. 5 p.

19. FREID, M. 1953. The feeding power of plants for phosphates. *Soil Sci. Soc. Proc.* 17: 357-359.
20. FOY, C. D. 1974. Effects of aluminium on plant growth. *En: E. W. Carson (ed.), the plant root and its environment.* University Press of Virginia, Charlottesville pp. 601-642.
21. FOY, C.D. y FLEMING, A. L. 1978. The physiology of plant tolerance to excess available Al and Mn in acid soils. *In: Jung, G. A. (ed.), Croptolerance to sub-optimal land conditions.* ASA, CSSA and SSSA. Spec. Pub. 32 Madison Wisconsin.
22. KERRIDGE, P. C. y KRONSTAD, W. E. 1968. Evidence of genetic resistance to aluminium toxicity in wheat (*Triticum aestrum* VII; Host). *Agron. J.* 60: 710-711.
23. LEON, L. A. y FENSTER, W. E. 1979. Management of phosphorus in the andean countries of Tropical Latin America. *En: Phosphorus in Agriculture: the importance of phosphorus in balanced fertilization.* No. 76, Sept. 1979. ISMA, Paris.
24. LONERAGEN, J. F. y ASHER, C. J. 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. II. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. *Soil Sci.* 103: 311-318.
25. LYNESS, A. S. 1936. Varietal differences in the phosphorus feeding capacity of plants. *Plant physiology* 11: 665-688.
26. MARIN, J. G. 1977. Fertilidad de suelos con énfasis en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá. 299 p.
27. NEWMAN, E. I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *Appl. Ecology* 3: 139-145.
28. NYE P. H. 1966. The effect on the nutrient intensity and buffering power of a soil and the absorbing power, size, and root hairs of a root on the nutrient absorption by diffusion. *Plant and Soil* 25: 81-105.
29. PEARSON, R. W. 1974. Significance of rooting pattern to crop production and some problems of root research *En: E. W. Carson (ed.): The plant root and its environment.* University Press of Virginia. pp. 247-267.
30. RABIDEAU, G. S.; GORDON, W. y HEIMSCH, C. 1950. The adsorption and distribution of radioactive phosphorus in two maize inbreds and their hybrid. *Amer. J. Bot.* 37: 93-99.

31. RORISON, I. H. 1968. The response to phosphate of some ecological distinct plant species. I. Growth rate and phosphorus absorption. *New Phytol.* 67: 913-923.
32. ROVIRA, A. D. y DAVEY, C. B. 1974. Biology of the rhizosphere. *En:* E. W. Carson (ed.): *The plant root and its environment.* University Press of Virginia. pp. 153-204.
33. SALINAS, J. G. y SANCHEZ, P. A. 1976. Relaciones suelo-planta que afectan las diferencias entre especies y variedades para tolerar baja disponibilidad de fósforo en el suelo. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Trabajo publicado en inglés en la revista *Ciencias y Cultura.* 28(2): 156-168. 1976.
34. SALINAS, J. G. y DELGADILLO, G. 1980. Respuesta diferencial de ocho gramíneas forrajeras a estrés de AL y P en un Oxisol de Carimagua, Colombia. Trabajo presentado en el VII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Heredia, Costa Rica. 19 p.
35. SANCHEZ, P. A. 1981. Suelos del Trópico. Características y manejo. *Int. Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Series de libros y materiales educativos No. 48.* S. José, Costa Rica.
36. SANCHEZ, P. A. e ISBELL, R. F. 1979. Comparación entre los suelos de los trópicos de América Latina y Australia. *En:* Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Tergas, L. E. y Sánchez, P. A. (eds.). CIAT, Cali, Colombia. Serie 03SG-5. p. 29-58.
37. SCHULTZE-KRAFT, R. y GIACOMETTI, D. C. 1979. Recursos genéticos de leguminosas forrajeras para las sabanas de suelos ácidos e infértiles en América tropical. *En:* Producción de pastos de suelos ácidos de los trópicos. Tergas, L. E. y Sánchez, P. A. (eds.) CIAT, Cali, Colombia, Serie 03SG-5. pp. 59-69.
38. SIEVERDING E. y SAIF, S. R. 1984. VA Mycorrhiza management-A new, low cost, biological technology for crop and pasture production on infertile soils. Discussion paper. CIAT, Cali, Colombia. 62 p.
39. SPAIN, J. M.; FRANCIS, C. A.; HOWELER, R. H. y CALVO, F. 1979. Establecimiento y manejo de pastos en los Llanos Orientales de Colombia. *En:* Producción de Pastos en Suelos Acidos de los trópicos. Tergas, L. E. y Sánchez P. A. (eds.). CIAT, Cali, Colombia. Serie 03SG-5. pp. 181-209.
40. THOMAS, W. 1930. The feeding power of plants. *Plant physiology.* 5: 443-489.
41. WHITE, R. E. 1972. Studies on mineral iron absorption by plants. *En:* The absorption and utilization of phosphate by *Srylosanthes humilis*, *Phaseolus atropurpureus* and *Desmodium intortum.* *Plant and Soil.* 36: 427-447.