CIAT
COLECCION BIBLIOTECA

Centro Internacional de Agricultura Tropical
Serie 04SP-02.05

Manejo de la fertilización fosfatada de pastos tropicales en suelos ácidos de América Latina

CIAT
AV
S
667
.G7
M3
Guía
c.3

GUIA 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, Colombia. 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, y de una subestación de 30 hectáreas—CIAT-Santa Rosa— ubicada en terrenos cedidos por la Federación de Arroceros de Colombia (FEDEARROZ), cerca a Villavicencio. Junto con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el CIAT administra el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Carimagua, de 22,000 hectáreas, en los Llanos Orientales y colabora con el mismo ICA en varias de sus otras estaciones experimentales en Colombia. El CIAT también lleva a cabo investigaciones en varias sedes de instituciones agrícolas nacionales en otros países de América Latina.

Los programas del CIAT son financiados por un grupo de donantes en su mayoría pertenecientes al Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR). Durante 1985 tales donantes incluyen los gobiernos de Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, España, Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Italia, Japón, México, Noruega, el Reino Unido, la República Federal de Alemania, la República Popular de la China, Suecia y Suiza. Las siguientes organizaciones son también donantes del CIAT en 1985: el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Internacional para Reconstrucción y Fomento (BIRF), el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), la Comunidad Económica Europea (CEE), el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD), la Fundación Ford, la Fundación Rockefeller, la Fundación W. K. Kellogg, y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan, necesariamente, el punto de vista de las entidades mencionadas anteriormente.

Este audiotutorial se elaboró con fondos del presupuesto central del CIAT. Así se da continuidad al proyecto especial que fué financiado por la Fundación W.K. Kellogg para la producción de materiales de capacitación sobre tecnología agrícola mejorada.

CIAT
COLECCION HISTORICA

Serie 04SP-02.05
Febrero, 1986

Manejo de la fertilización fosfatada de pastos tropicales en suelos ácidos de América Latina

CIAT
BIBLIOTECA
61382

CONTENIDO CIENTIFICO:
José G. Salinas, Ph.D.
Luis A. León, Ph.D.

PRODUCCION:
Oscar Arregocés, Ing. Agr.
Julio C. Vásquez, Ing. Agr.

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. 1986. Manejo de la fertilización fosfatada de pastos tropicales en suelos ácidos de América Latina; Guía de Estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: José G. Salinas y Luis A. León*. Producción: Oscar L. Arregocés y Julio C. Vásquez. Cali, Colombia. CIAT. 60p. (Serie 04SP.02.05).

Las personas o entidades interesadas en reproducir parcial o totalmente por cualquier medio o método la Guía de Estudio o cualquiera de los otros componentes de esta Unidad Audiotutorial, deberán tener autorización escrita del CIAT.

* El doctor Luis A. León es Químico de Suelos del Proyecto Colaborativo de Fósforo del International Fertilizer Development Center (IFDC), financiado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Contenido

OBJETIVOS 4

INTRODUCCION 6

1 CARACTERISTICAS DE LOS ECOSISTEMAS DE AMERICA TROPICAL PARA LA PRODUCCION DE GANADO 8

1.1 Concentración de Al 9
1.2 Disponibilidad de P 12

PREGUNTAS 14

2 ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL P 15

2.1 Selección de especies de pastos tolerantes a las altas concentraciones de Al y al bajo contenido de P disponible en el suelo 15
2.2 Manejo de la fertilización con P 16
2.3 Aplicación de enmiendas al suelo 17

PREGUNTAS 18

3. MANEJO DE LA FERTILIZACION CON P 19

3.1 Fase de establecimiento 19
3.2 Fase de mantenimiento 20

PREGUNTAS 21

4 FASE DE ESTABLECIMIENTO 22

4.1 Disponibilidad de P en los suelos 22
4.2 Efectividad agronómica de las fuentes de P en relación con la solubilidad 23
4.3 Efectividad agronómica de las rocas fosfóricas modificadas 26
4.4 Efectividad agronómica de las fuentes de P en relación con la capacidad de fijación de P del suelo 26
4.5 Sistemas de aplicación de P 29
4.6 Inoculación con micorriza vesicula-arbuscular (MVA) 30
4.7 Aplicación de enmiendas al suelo 32

PREGUNTAS 36

5 FASE DE MANTENIMIENTO 37

5.1 Reciclaje del P en un sistema suelo planta-animal 38
5.2 Extracciones del sistema 40
5.3 Aportes al sistema 42
5.3.1 Efecto residual de los fertilizantes fosfatados 43
5.3.2 Aplicación de fertilizantes 43
5.3.3 Asociación de gramíneas-leguminosas 48
5.3.4 Suplementación mineral de P a los animales 50

PREGUNTAS 53

RESUMEN 55

BIBLIOGRAFIA 57

Objetivos

Esta unidad tiene el propósito de formular conceptos y factores a tener en cuenta en el manejo de la fertilización fosfatada de pastos en ecosistemas de América Latina con suelos ácidos. Como una base conceptual para el manejo de la fertilización fosfatada la unidad precisa características de los ecosistemas de América tropical para la producción de ganado y analiza alternativas para el manejo del fósforo.

Estos objetivos se habrán logrado cuando el interesado es capaz de:

- **Con respecto a los ecosistemas.**
  - Enumerar los ecosistemas de América Latina para la producción de ganado.
  - Describir las principales características de los ecosistemas dedicados a la ganadería en América tropical.
- **Con respecto al manejo del fósforo.**
  - Identificar las alternativas de manejo del P en la fertilización de pastos tropicales.
  - Mencionar las especies y variedades que son tolerantes a bajos niveles de P en el suelo.
- **Con respecto al manejo de la fertilización con fósforo en general.**
  - Citar los factores que determinan la estrategia para el manejo de la fertilización fosfatada.
  - Citar los factores que influyen en la variación de los requerimientos de fertilización fosfórica.
  - Mencionar los factores que se deben tener en cuenta en la utilización de fuentes locales de P.

- Además de la fertilización, citar otros factores que se deben tener en cuenta para el establecimiento de poblaciones adecuadas de especies forrajeras.
- En relación con la fertilidad del suelo, especificar el objetivo que se debe alcanzar durante las fases de establecimiento y mantenimiento de la pastura.
- Enumerar las principales causas de la degradación de las pasturas.

• **Con respecto a la fase de establecimiento.**

- Describir el efecto de la quema de los bosques y las sabanas en la fertilidad del suelo.
- Describir la relación que existe entre la efectividad agronómica relativa y la reactividad de las rocas fosfóricas.
- Describir el efecto de mezclar rocas fosfóricas con fuentes de alta solubilidad.
- Describir el efecto de la acidulación parcial de rocas fosfóricas.
- Citar las ventajas de aplicar las fuentes solubles de fósforo en banda o mezcladas con las semillas.
- Describir los métodos que se pueden utilizar para el manejo de la asociación con micorrizas.
- Precisar bajo qué concepto se aplican enmiendas a los suelos ácidos de América tropical.

• **Con respecto a la fase de mantenimiento.**

- Explicar, mediante una gráfica, los cambios en la fertilidad del suelo al sustituir la vegetación de bosque por la de pradera con diferentes manejos.
- Enumerar los depósitos de nutrimentos en los sistemas de producción ganadera.
- Citar las formas como se pierde el P en un sistema suelo-planta-animal.
- Citar qué cantidad de P se extrae del potrero al retirar los animales con una ganancia de 300 kg de peso vivo/ha/año.
- Describir el efecto residual de diferentes fuentes de P en la producción de *Brachiaria decumbens.*
- Explicar el efecto de otros nutrimentos (N, K) en la respuesta a la aplicación de P como fertilizante de mantenimiento.
- Describir el efecto de la aplicación de P en las asociaciones de gramíneas-leguminosas.
- Describir el efecto de la suplementación de P al animal en adición a la fertilización fosfatada del pasto.

Introducción

La carne y la leche son alimentos básicos de las poblaciones rural y urbana de América Latina. La demanda creciente, no atendida adecuadamente por la producción, ocasiona aumentos continuos en los precios, lo cual agudiza aún más los problemas nutricionales de la población de escasos recursos.

La baja productividad ganadera se debe principalmente a la nutrición deficiente del ganado y a las enfermedades derivadas de ella, problemas que a su vez son ocasionados por la falta estacional de forrajes de buena calidad.

Esto ha creado la necesidad de producir forrajes en mayor cantidad y de mejor calidad utilizando para ello los recursos existentes en América tropical. La región cuenta con 850 millones de hectáreas cubiertas, en su mayoría, por vegetación nativa de selva y sabanas, donde predominan los suelos ácidos y de baja fertilidad con contenidos altos de aluminio y, en algunas regiones, de manganeso; en estos suelos el P se considera como el elemento más limitante no sólo por su baja disponibilidad, sino que, además, puede ser fijado en forma de compuestos insolubles, parcial o totalmente inaprovechables por las plantas en períodos cortos de tiempo.

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

- La selección de especies de pastos tolerantes a altas concentraciones de aluminio y al bajo contenido de fósforo.

- El manejo de la fertilización fosfatada, usando en lo posible fuentes locales.

- La aplicación de enmiendas al suelo.

La primera alternativa se trata en la unidad audiotutorial titulada, "Selección y evaluación de pastos tropicales en condiciones de alta concentración de aluminio y bajo contenido de P disponible", en tanto que la presente unidad se refiere al manejo de las fuentes del fósforo y los sistemas de aplicación en relación con el suelo y la cantidad de P que éste debe suministrarle a las plantss forrajeras en las etapas de establecimiento y mantenimiento de pasturas.

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

A medida que aumenta la presión demográfica, las vastas zonas de Oxisoles y Ultisoles de América tropical jugarán un papel cada vez más importante en la producción de ganado de carne. Estas zonas ocupan aproximadamente 850 millones de hectáreas, o sea, más o menos la mitad de la superficie del trópico americano. Se caracterizan por una precipitación alta, una estación seca de duración variable y suelos de una fertilidad natural muy baja.

Aproximadamente 300 millones de hectáreas se encuentran cubiertas por sabanas y el resto por bosques (Cochrane, 1979). Como resultado del Proyecto de Evaluación de Recursos de Tierras para América Latina, se han identificado cinco ecosistemas principales según los patrones de evapotranspiración potencial de la época húmeda y la temperatura promedio durante la estación lluviosa. Los ecosistemas identificados son (Figura 1):

a. Sabanas isohipertérmicas bien drenadas, con más de 23.5°C de temperatura promedio durante la estación lluviosa, cuya duración oscila entre 6 y 8 meses; incluyen los llanos de Colombia, de Venezuela, de Guyana y de Surinam y las sabanas de Roraima y Macapá en Brasil.

b. Sabanas isotérmicas bien drenadas, con menos de 23.5°C de temperatura promedio durante la estación lluviosa, cuya duración oscila entre 6 y 8 meses; están representadas principalmente por los Cerrados de Brasil.

c. Sabanas isotérmicas e isohipertérmicas mal drenadas como las de Beni en Bolivia, Pantanal del Brasil, Casanare en Colombia y la región de Apure en Venezuela.

d. Bosques estacionales semi-siempre verdes, con más de 23.5°C de tempe-

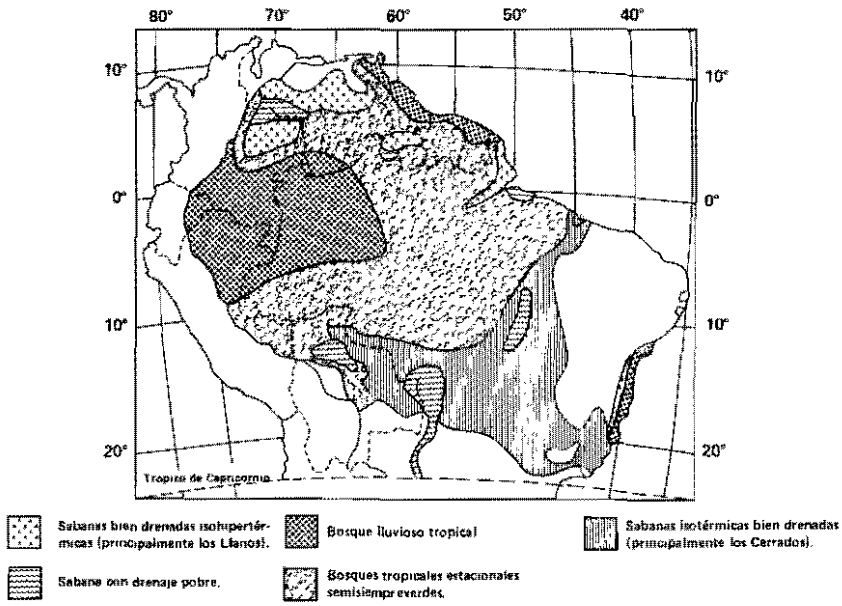

Figura 1. *Principales ecosistemas del trópico húmedo de América del Sur, definidos para el área objetivo del Programa de Pastos Tropicales del CIAT. (CIAT, 1984).*

ratura promedio durante la estación lluviosa cuya duración oscila entre 8 y 9 meses; están representados principalmente por la región oriental de la Amazonía.

e. Bosques lluviosos tropicales, con 23.5°C de temperatura promedio durante la estación lluviosa, cuya duración es de más de 9 meses, como en la región occidental de la Amazonía.

Así como se puede generalizar que los suelos en América tropical son favorables en cuanto a sus propiedades físicas, lo contrario también es cierto en cuanto a sus propiedades químicas. El Cuadro 1 muestra algunas propiedades físicas y químicas de suelos representativos de la región.

Los Oxisoles y Ultisoles son, en general, suelos ácidos, con un pH por debajo de 5.0 y con valores de saturación de Al del 60%.

En estos suelos, la acidez tiene efectos adversos en el crecimiento de las plantas, debido tanto a la toxicidad causada por el Al o el Mn, como a las deficiencias de Ca y Mg. Además, los contenidos de materia orgánica son entre intermedios y bajos. Según el clima, la vegetación y la textura del suelo, estos suelos presentan deficiencias severas de N, con excepción de algunos Vertisoles y suelos vírgenes de bosques húmedos (Sánchez e Isbell, 1979).

El avanzado estado de meteorización de los

Cuadro 1. Características físicas y químicas de suelos ácidos representativos de ecosistemas de sabanas y bosques tropicales (CIAT, 1983).

	Localización	Profundidad (cm)	Textura Arena (%)	Textura Limo (%)	Textura Arcilla (%)	pH	P (ppm)	Ca[a] (meq/100 g suelo)	Mg	K	Al	Sat. Al (%)
Ecosistemas de sabanas	Puerto López, Colombia	0-10	41	19	40	4.5	1.7	0.16	0.05	0.09	2.0	88.9
		10-20	40	15	45	4.6	0.9	0.13	0.02	0.05	1.6	90.6
	Puerto Gaitán, (El Paraíso), Colombia	0-10	21	26	53	4.3	1.4[b]	0.17	0.03	0.16	2.7	88.2
		10-20	18	27	55	4.3	1.2[b]	0.16	0.04	0.13	2.5	88.3
	Puerto Gaitán, (El Guayabal), Colombia	0-10	52	23	25	4.5	3.2[b]	0.17	0.06	0.10	1.6	84.8
		10-20	60	25	25	4.5	2.1[b]	0.16	0.03	0.08	1.5	86.5
	Carimagua, Colombia	0-20	12	50	38	4.1	1.5	0.36	0.09	0.11	3.6	86.5
		20-40	12	48	40	4.0	0.4	0.19	0.04	0.07	2.7	90.0
	Calebacito, Panamá	0-20	28	26	46	5.0	2.5	1.20	0.14	—	3.4	70.7
	Chiriquí, Panamá	0-20	22	20	58	4.5	1.3	0.16	0.16	0.10	2.7	89.4
	El Chepo, Panamá	0-20	36	33	31	4.4	1.3	0.15	0.14	0.13	0.5	64.3
	El Tigre, Venezuela	0-20	93	3	4	4.9	1.7	0.40	—	0.03	—	7.6
		20-40	86	4	10	4.6	1.7	0.40	—	0.02	—	49.2
	Atapirire, Venezuela	0-20	93	3	4	4.8	1.1	0.56	0.03	—	—	—
	Mantecal, Venezuela	0-10	68	22	10	4.9	3.3	0.63	0.60	0.29	0.7	32.0
		10-20	65	22	13	5.1	0.8	0.29	0.18	0.13	1.9	76.0
Ecosistemas de bosques tropicales	Chiparin, Bolivia	0-20	59	30	11	5.1	13.7	0.41	0.41	0.18	3.2	79.6
		20-40	59	31	10	5.1	5.0	0.41	0.41	0.18	2.8	69.5
	Valle del Sara, Bolivia	0-20	4	44	52	4.6	2.4	0.22	0.04	0.12	6.7	96.0
	Paragominas, Para, Brasil	0-20	4	28	68	5.7	1.0	3.37	2.25	0.12	—	—
	Barrolandia, Bahia, Brasil	0-20	72	12	16	4.9	2.0	1.80	0.40	0.11	0.8	26.5
		20-40	61	28	11	—	1.0	0.30	0.20	0.06	1.0	62.88
	Itabela, Bahia, Brasil	0-20	80	12	8	4.9	1.0	0.95	0.30	0.07	—	—
		20-40	62	12	21	5.1	—	0.22	0.30	0.07	0.12	21.50
	San Isidro, Costa Rica	0-20	34	37	29	5.2	5.0	0.50	0.30	0.18	0.95	—
	El Napo, Ecuador	0-20	20	24	56	4.4	2.0	0.50	0.13	0.15	6.0	88.90
		20-40	26	26	48	4.4	3.0	0.75	0.29	0.26	6.1	—
	El Recreo, Nicaragua	0-20	24	39	37	4.3	6.0	4.20	2.60	0.32	3.8	—
	Nva. Guinea, Nicaragua	0-20	3	39	58	4.4	—	2.00	1.88	0.42	1.2	—
	Pucallpa, Perú	0-40	43	—	25	4.2	2.0	8.00	1.10	0.36	1.9	17.00
		4-26	39	—	29	4.1	1.0	3.20	0.60	0.24	6.6	62.00
	Yurimagua, Perú*	0-20	75	17	8	3.8	7.0[c]	0.44	0.23	0.12	2.3	75.00
	Tarapoto, Perú	0-15	68	12	20	4.4	4.0	0.30	0.05	0.08	2.5	85.30
	Centeno, Trinidad	0-20	73	9	18	4.3	2.0	—	0.50	0.05	—	—
		20-40	65	13	22	4.4	1.0	—	—	0.03	—	—
	Guachi, Venezuela	0-20	34	36	30	4.6	2.5	0.98	0.61	0.32	1.9	—
	Santander de Quilichao, Colombia	0-20	21	16	63	3.8	2.5	0.44	0.05	0.12	4.3	89.80
		20-40	15	13	72	3.8	0.6	0.29	0.04	0.07	2.7	89.10
		0-20	42	22	36	4.5	1.3	1.40	0.42	0.06	1.7	—
		20-40	—	—	—	4.4	0.8	1.40	0.40	0.06	4.4	—
	Pto. Asís, Colombia	0-20	—	—	—	4.9	3.6	1.03	0.48	0.28	2.9	76.30
		20-40	—	—	—	5.1	0.6	0.62	0.31	0.08	2.6	72.20

a Cationes intercambiables
b Bray II
c Olsen modificado
** North Carolina State University 1980. Agronomic-Economic Research on Soils of the Tropics (1978-1979) Report*

Oxisoles y Ultisoles determina que la fracción mineralógica denominada "arcilla" esté compuesta por "arcillas de baja actividad", como la caolinita e hidróxidos y sesquióxidos de Fe y Al. Esta "baja actividad" se manifiesta en una baja capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) de la fracción arcilla y en una carga sujeta a las variaciones del pH.

A medida que aumenta la acidez del suelo, se aceleran los procesos de solubilización de los minerales, principalmente la sílice y los metales alcalinos y alcalino-terreos (Ca, Mg, K, Na) que son removidos del perfil por acción del lavado; de esta manera se pierde casi toda la capacidad de estos suelos para suministrar nutrimentos. Los sitios de intercambio liberados por el lava-

do de los cationes son, entonces, ocupados por iones de H+ y Al+++ dominantes en la solución del suelo. Así, los suelos con un pH por debajo de 5.0 se encuentran saturados con Al+++ y H+ en un 65 a 80%, y en menor proporción con 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 y por otros procesos de acidificación son inestables en los suelos minerales y reaccionan con las arcillas, liberando Al+++ intercambiable que desplaza al H+ del complejo de cambio. La Figura 2 muestra el aumento paulatino del porcentaje de saturación de Al+++ a medida que disminuyen los valores de pH. En la Figura 3 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 a la planta y produce deficiencias y desequili-

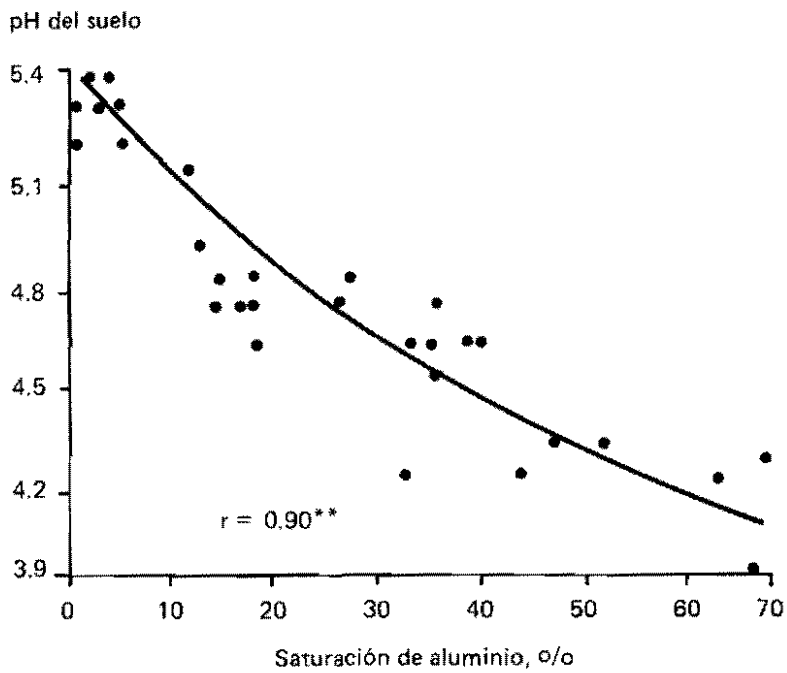

Figura 2. *Relación entre el pH del suelo y la saturación de Al en ocho Ultisoles y Oxisoles de Puerto Rico (Abruña* et al, *1975).*

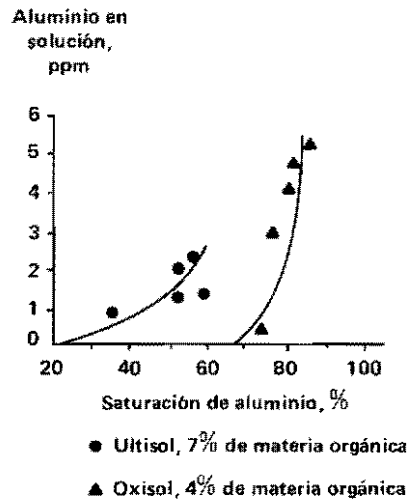

Figura 3. *Relación entre la saturación de Al, el Al en solución y el contenido de materia orgánica (Ayarza y Salinas, 1982).*

brios nutricionales al interactuar con el P y los cationes Ca, Mg y K.

[illegible]

Uno de los problemas nutricionales más importantes que presentan los Oxisoles y Ultisoles es la poca disponibilidad de P para satisfacer las necesidades de crecimiento de los pastos.

El P se considera como el elemento más limitante en los suelos ácidos; el contenido total de P oscila entre 200 y 600 ppm, y el contenido de P disponible entre 1 y 3 ppm (Bray II). Para aumentar la producción de forraje en estos suelos, es necesario aplicarles fertilizantes fosfóricos para satisfacer los requerimientos de las plantas (Fassbender, 1974; Sánchez e Isbell, 1979).

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 por fosfatos de Ca, Fe y Al. Estos dos últimos se solubilizan más rápidamente con condiciones de inundación y, por lo tanto, no están inmediatamente disponibles para las plantas en condiciones aeróbicas. El pH controla la transformación de las formas solubles de fosfato a formas insolubles; a medida que disminuye el pH, aumenta la actividad del Fe y el Al, y se generan fosfatos insolubles. Lo mismo sucede con el P que proviene de la fertilización fosfatada, lo cual hace que las aplicaciones de este elemento no sean tan efectivas como pudiera esperarse, pues la mayoría del P añadido se torna temporal o permanentemente inaprovechable por las plantas (Fassbender, 1974; 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 maneras:

- por precipitación al reaccionar con el Al intercambiable de las arcillas;
- 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 del 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 arcilla (Figura 4). En la Figura 4 se observan las curvas de fijación o isotermas de adsorción de P de muestras representativas de capas superficiales de diferentes suelos de América tropical. Se observa, además, la diferencia en el contenido de arcilla, así como

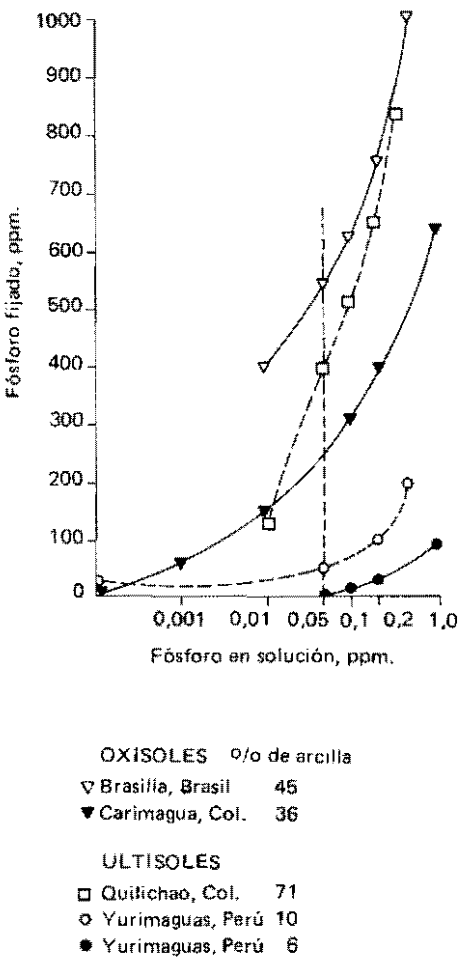

Figura 4. *Ejemplos de isotermas de adsorción de P de suelos en América Latina tropical (Sánchez e Isbell, 1979).*

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

El contenido de material orgánica también modifica la capacidad de fijación de los Oxisoles y Ultisoles; los hidróxilos expuestos en las superficies de los sesquióxidos de Fe y Al son obstaculizados por los radicales orgánicos, lo cual impide la fijación de P por adsorción.

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

Además del bajo contenido de este elemento, el K, Ca, Mg y S también son escasos, al igual que los micronutrimentos Zn, Cu, B, Mo, Fe y Mn, aunque estas deficiencias no están bien caracterizadas.

Para conocer más detalles sobre las propiedades físicas y químicas de los Oxisoles y Ultisoles, se recomienda ver las Unidades Audiotutoriales: "Oxisoles y Ultisoles en América tropical. I. Distribución, importancia y propiedades físicas" y "Oxisoles y Ultisoles en América tropical. II. Mineralogía y características químicas".

PRE TEST

- *Los ecosistemas identificados en América Latina para la producción de ganado son:*

  a. _____
  b. *Sabanas isotérmicas, bien drenadas*
  c. _____
  d. _____
  e. *Bosques lluviosos tropicales*

  Las principales características de los ecosistemas citados son:

  a. *Suelos con propiedades físicas favorables*
  b. _____
  c. _____
  d. _____
  e. *Contenido de materia orgánica intermedio a bajo.*

- *Los requerimientos de fertilización con P varían con:*
  a. _____
  b. _____
  c. *Las diferencias en las necesidades nutricionales entre especies*
  d. _____

2. Alternativas para el manejo del P

La búsqueda de alternativas para el manejo del P tiene como objetivo mejorar el nivel nutricional de los hatos para lograr un aumento en la productividad.

Los niveles de P y Ca en los pastos nativos son bajos e insuficientes para el desarrollo adecuado de los animales.

En el desarrollo de una tecnología de pastos de bajo costo y bajo nivel de insumos, las alternativas para corregir la baja disponibilidad de P son:

- La selección de especies de pastos tolerantes a las altas concentraciones de Al y al bajo contenido de P disponible en el suelo.
- El manejo de la fertilización con P.
- La aplicación de enmiendas al suelo.

2.1. Selección de especies de pastos tolerantes a las altas concentraciones de Al y a los contenidos bajos de P disponible en el suelo

Ante las imposibilidades agroeconómicas de transformar el medio ambiente que corresponde a los suelos ácidos, en función de las necesidades de las plantas altamente productivas ya conocidas, es una alternativa viable la búsqueda de la adaptación de la planta a esas limitaciones. Sánchez (1981) indica que "el crecimiento de distintas especies en suelos ácidos depende de su tolerancia relativa a los niveles de Al y Mn y a sus necesidades relativas de Ca y Mg". Recientemente se ha encontrado que entre especies de cultivos y dentro de una misma especie, existen diferencias considerables en la tolerancia

a los factores de la acidez del suelo. En efecto, a medida que progresa la investigación sobre este tema, es posible evaluar el grado de tolerancia de diferentes especies y variedades de pastos al Al y a la baja disponibilidad de P en el suelo.

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

En estudios realizados por el Programa de Pastos del CIAT, se han encontrado diferencias entre especies en cuanto a sus requerimientos de P, K, Mg y S. 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* y *Brachiaria mutica*.

Entre las leguminosas también existen diferencias en sus requerimientos de nutrimentos; varias especies tales como *Stylosanthes capitata, Centrosema macrocarpum, Zornia latifolia* y *Desmodium ovalifolium* son las menos exigentes. *Pueraria phaseoloides* y *Centrosema plumieri* entre otras, son más exigentes.

Con base en la respuesta a la fertilización, y teniendo en cuenta la filosofía de insumos mínimos, en el Cuadro 2 se presenta una clasificación de gramíneas y leguminosas con respecto a sus requerimientos nutricionales (CIAT, 1983).

Manejo de la fertilización

Teniendo en cuenta que en los suelos ácidos la cantidad total de P disponible es baja, o que estos suelos fijan el P haciéndolo poco o nada disponible para las plantas, y dado que el costo del fertilizante se

Cuadro 2. *Clasificación relativa de gramíneas y leguminosas con respecto a sus requerimientos de nutrimentos bajo pastoreo en suelos ácidos de sabana bien drenada. Carimagua, Colombia (CIAT, 1983).*

	Elemento				
	P	K	Mg	S	Ca
	Clasificación relativa*				
Melinis minutiflora	1	1	1	1	1
Brachiaria humidicola	1	1	1	1	1
B. decumbens	2	2	2	2	2
Andropogon gayanus	2	2	2	2	2
Hyparrhenia rufa	3	3	2	2	3
Panicum maximum	4	3	3	3	2
Centrosema macrocarpum	1	1	2	2	2
Stylosanthes capitata	2	2	2	2	2
Desmodium ovalifolium	2	2	3	3	2
Puefaria phaseoloides	3	3	3	3	2
Desmodium gyroides	3	3	3	3	2

* *Entre más alta sea la cifra, mayor el requerimiento.*

incrementa con el transporte a largas distancias, es razonable utilizar para la producción de pastos, las rocas fosfóricas locales.

En Hawaii y Japón se han ensayado aplicaciones masivas de P (1000 kg/ha) para saturar la capacidad de fijación de P de una sola aplicación y contar con una liberación adecuada por muchos años. Así se han obtenido respuestas sorprendentes, cuando con aplicaciones de P bajas y moderadas no se observan respuestas. Las consideraciones económicas probablemente justifiquen este procedimiento en zonas bien desarrolladas por la existencia de vías adecuadas de comunicación y un buen precio para los productos.

Por consiguiente, la utilización de fuentes locales de P se hará teniendo en cuenta los siguientes factores:

- La efectividad agronómica de las fuentes de P según su reactividad y en relación con la capacidad de fijación del suelo y los sistemas de aplicación.
- Análisis económicos comparativos entre las fuentes locales y las fuentes importadas.

Además existe la posibilidad de mejorar la absorción de P mediante el establecimiento de asociaciones de pastos y la inoculación con micorrizas.

Con el fin de disminuir los efectos fitotóxicos de la alta concentración de Al y reducir la capacidad de fijación de P en los suelos ácidos tropicales, con frecuencia se aplican enmiendas como cal agrícola, para neutralizar el Al intercambiable. Es necesario anotar que el concepto de aplicar cal para aumentar la disponibilidad del P nativo es probable que sea erróneo en suelos ácidos bajos en materia orgánica y deficientes en P, puesto que estos suelos tienen muy poco P total. Sin embargo, la adición de cal como un medio para aumentar o mantener la disponibilidad del P aplicado en otros tipos de suelos, es una práctica válida.

Por otra parte, el concepto de aplicar cal para elevar el pH hasta un nivel neutro, además de costoso, no es funcional en la mayoría de los suelos ácidos tropicales puesto que causa reducciones en el rendimiento, deterioro en la estructura del suelo y disminución en la disponibilidad de P, B, Zn y Mn (Sánchez, 1981). Por lo tanto, la aplicación de cal se recomienda para elevar el pH solamente hasta valores no mayores de 5.5, para así neutralizar el Al intercambiable hasta un valor de saturación que no restrinja el crecimiento del pasto que se piensa establecer y para suministrarle Ca como nutrimento.

Preguntas

- *En el desarrollo de una tecnología de bajo costo y bajo nivel de insumos se pueden contemplar las siguientes alternativas para el manejo del fósforo:*

		F	V
a	*Establecimiento de especies de pastos tolerantes a las condiciones edáficas adversas*	( )	( )
b	*Uso de fuentes de P locales*	( )	( )
c	*Aplicación de grandes cantidades de enmiendas al suelo.*	( )	( )

- *Entre las gramíneas, las especies menos exigentes en cuanto a sus requerimientos nutricionales son:*

Brachiaria decumbens	( )	( )
Andropogon gayanus	( )	( )
Panicum maximum	( )	( )

- *Entre las leguminosas, las especies menos exigentes en cuanto a sus requerimientos nutricionales son:*

Pueraria phaseoloides	( )	( )
Stylosanthes capitata	( )	( )
Centrosema macrocarpum	( )	( )

- *Cite los factores que se deben tener en cuenta para utilizar fuentes locales de P.*

3. Manejo de la fertilización con P

La tecnología de bajos insumos no contempla la eliminación de la fertilización, sino el mejoramiento de la eficiencia de los fertilizantes aplicados (Sánchez y Salinas, 1983). Por consiguiente, los factores que se deben considerar para desarrollar una estrategia de fertilización de pastos tropicales con P son:

- si se trata de las fases de establecimiento o mantenimiento;
- el tipo de pasto, ya sea gramínea, leguminosa o una asociación;
- el tipo de fertilizante en función de las propiedades químicas del suelo.
- el sistema de aplicación del fertilizante, en función del método de siembra.
- el uso del pasto, ya sea para corte o pastoreo;
- y la suplementación mineral de fósforo a los animales.

Debido a los múltiples factores y formas de manejo de los pastos tropicales, es complejo dar normas generales sobre la fertilización de los mismos. En la fase de establecimiento, se deben lograr niveles de nutrimentos que aseguren la supervivencia y la producción de la especie o especies de pastos; en la fase de mantenimiento se deben compensar las pérdidas de nutrimentos del suelo (que el animal toma de la planta), para estabilizar un nivel dado de producción.

3.1. Fase de establecimiento

El primer paso en el establecimiento de pasturas productivas es la identificación de especies forrajeras poco exigentes en cuanto a fertilización y adaptadas a las

condiciones de los Oxisoles y Ultisoles. Una vez realizada la siembra, es necesario determinar las fuentes de P y los sistemas de aplicación en relación con las propiedades químicas del suelo y la cantidad de P que el suelo les debe suplir a las plantas.

Al utilizar rocas fosfóricas, se debe tener en cuenta su clasificación según su reactividad y las formas para mejorar su efectividad mediante su mezcla en polvo o granuladas con superfosfato triple (SFT) en diferentes proporciones, y su acidulación parcial.

Además de la fertilización, otros factores que se deben tener en cuenta para lograr un establecimiento de poblaciones adecuadas de especies forrajeras en las sabanas tropicales son: la erosión, la acción de plagas que dañan las plántulas y el ambiente inhóspito para la plántula por efecto de la acción de lluvias fuertes o de sequía.

3.2 Fase de mantenimiento

Después de que la pastura se haya establecido, el manejo se debe concentrar en lograr que su productividad y composición botánica se mantengan mediante la manipulación de la carga animal, la presión del pastoreo, la fertilización y el control de malezas.

La degradación de las pasturas es un fenómeno que requiere atención especial. Las principales causas de la degradación incluyen el uso de especies de gramíneas con requerimientos nutricionales relativamente altos, la no aplicación de fertilizantes, la no utilización de leguminosas y el uso frecuente de cargas animales excesivamente altas (Sánchez y Salinas, 1983). Serrao y sus colaboradores (1979) han encontrado que la deficiencia de P es el factor que inicia el proceso de degradación. Otro proceso importante durante esta fase es el reciclaje de nutrimentos, sobre el cual hay poca información.

Todos estos factores deben relacionarse con los requisitos nutricionales de los animales para lograr mantener o aumentar los niveles de producción de carne.

Preguntas

- *Al establecer una estrategia para el manejo de la fertilización fosfatada se debe considerar:*

  a. _____
  b. _____
  c. _____
  d. la suplementación mineral de P a los animales

- *Además de la fertilización, otros factores que se deben tener en cuenta para lograr un establecimiento de poblaciones adecuadas de especies forrajeras son:*

  a. _____
  b. _____
  c. _____

- *En relación con la producción de ganado de carne, explique qué objetivo se debe alcanzar, con respecto a la fertilidad del suelo, durante las fases de establecimiento y mantenimiento de la pastura.*

- *Las principales causas de la degradación de las pasturas son:*
  a. _____
  b. _____
  c. _____
  d. Uso frecuente de cargas animales excesivamente altas.

4. Fase de establecimiento

4.1. Disponibilidad de P en los suelos

En los bosques y sabanas tropicales naturales existe un reciclaje de nutrimentos entre el suelo y las plantas.

Cuando se queman estos bosques y sabanas, se interrumpe el reciclaje. Gran parte de los elementos no volátiles permanecen en la ceniza en la superficie del suelo, lo cual disminuye la saturación de Al, eleva el pH y la adición de bases intercambiables. El P disponible que normalmente se encuentra en el suelo en niveles bajos también aumenta considerablemente por la quema, debido a la cantidad de nutrimentos que se adiciona con las cenizas (Cuadro 3).

En suelos como los de Carimagua, Colombia, los resultados preliminares confirman

Cuadro 3. *Contenido de nutrimentos en las cenizas y materiales parcialmente quemados en un Oxisol de Yurimaguas, Perú, después de quemar un bosque de 17 años (Seubert et al., 1977 citados por Sánchez y Salinas, 1981).*

Elemento	Composición de la ceniza	Adición total (kg/ha)
N	1.72%	67.0
P	0.14%	6.0
K	0.97%	38.0
Ca	1.92%	75.0
Mg	0.41%	16.0
Fe	0.19%	7.6
Mn	0.19%	7.3
Zn	132.0 ppm	0.3
Cu	79.0 ppm	0.3

las conocidas deficiencias minerales de la sabana, y sugieren que el rebrote ofrecido al gando 30 a 60 días luego de la quema es deficiente en varios elementos, especialmente en P (Figura 5).

4.2. Efectividad agronómica de las fuentes de P en relación con la solubilidad

La solubilidad del P de una roca fosfórica se puede usar como un índice de su reactividad. Se ha observado que la solubilidad del P, medida por varios métodos (el más común es aquél en que se utiliza citrato de amonio neutro como solución extractora) está estrechamente relacionada con la tasa de disolución de la roca fosfórica en un medio ácido y, por lo tanto, altamente correlacionada, al menos con la respuesta inicial de las plantas al P de diferentes fuentes (Chien y Hammond, 1978).

La mayor solubilidad del P en agua o en citratos se relaciona con la cantidad del P disponible para las plantas. En el caso del superfosfato triple (SFT) o de rocas completamente aciduladas, el P que puede tomar la planta es igual al P soluble en agua más el P soluble en citrato. En las rocas fosfóricas sin acidulación, el P aprovechable por la planta está relacionado con la tasa de disolución del P soluble en citrato.

Con el fin de determinar la efectividad agronómica de varias rocas fosfóricas en comparación con el SFT, se realizó un ensayo de invernadero utilizando *Panicum maximum* en un Oxisol de Las Gaviotas (Llanos Orientales de Colombia). Los resultados (suma de tres cortes) se presentan en el Cuadro 4.

Las rocas fosfóricas que son de alta reactividad, tales como Carolina del Norte, Fosbayovar y Gafsa, produjeron rendimientos tan buenos como los obtenidos con SFT en dosis de 200 mg de P/matero. Otras como las de Huila, Maranhao, Arad y Pesca también parecen promisorias. En general, la efectividad relativa de todas las rocas aumentó con el incremento de la dosis de P (León, *et al* 1981).

En un Oxisol de Carimagua, la respuesta de *Brachiaria decumbens* a la aplicación de 44 kg de P/ha procedente de rocas con reactividad alta, media y baja se comparó con la respuesta a la misma dosis de P

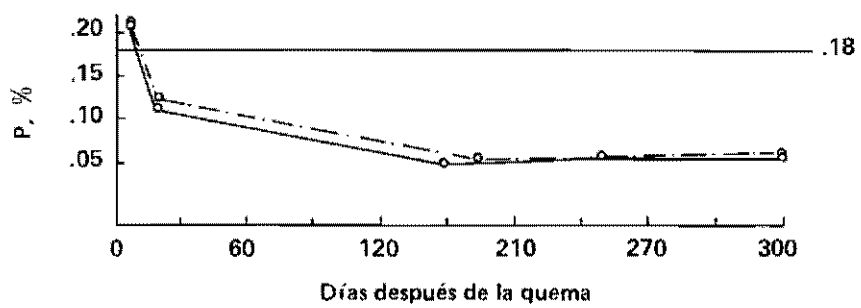

Figura 5. *Contenido de fósforo de la sabana (dos repeticiones) después de la quema (CIAT, 1983a).*

Cuadro 4. *Efectividad agronómica de las rocas fosfóricas, determinada por los rendimientos de* Panicum maximum *establecido en un Oxisol de Las Gaviotas en condiciones de invernadero (León,* et al, *1981).*

		P aplicado (mg P/matero)			
		50	100	200	400
Fuentes de P	Reactividad	Rendimiento relativo, %[1]			
Superfosfato triple (SFT)	Alta	100 (13.3)[2]	100 (19.0)	100 (20.2)	100 (22.2)
Abaeté	Baja	11	33	52	55
Araxá	Baja	30	33	56	58
Catalao	Muy baja	5	6	22	38
Jacupiranga	Muy baja	12	13	19	
Maranhao	Media	60	69	86	91
Patos de Minas	Baja	27	42	66	72
Tapira	Muy baja	4	7	10	23
Huila	Media	58	59	84	84
Pesca	Media	56	61	80	83
Sardinata	Baja	29	44	68	74
Arad	Media	62	62	95	92
Fosbayovar	Alta	99	79	104	91
Gafsa	Alta	63	72	114	105
Florida Central	Media	59	71	86	91
Carolina del Norte	Alta	70	78	107	108
Tennessee	Media	42	51	78	95
Lobatera	Baja	56	56	65	76

1 SFT considerado como 100%

2 Rendimiento en g/matero (suma de tres cortes)

procedente del SFT. En la Figura 6 se observa que, en promedio, en el primero y segundo corte el mayor rendimiento se obtiene con SFT; a partir del tercer corte, las rocas de reactividad media superaron la respuesta lograda con el SFT, y después de ocho cortes estas rocas hicieron que la producción total subiera cerca de un 20% (CIAT, 1980).

El Cuadro 5 ilustra la respuesta de *Brachiaria decumbens* a la aplicación de roca fosfórica Pesca (de reactividad media), sola o con la adición de 22 kg de P/ha en la forma de SFT aplicado en banda. Como se puede observar, al primer corte hubo una respuesta alta a la roca fosfórica que, aplicada sola alcanzó casi el máximo rendimiento con dosis de 100 kg de P/ha. Sin embargo, el SFT fue mucho más efectivo y se lograron más de 800 kg/ha de materia seca con una dosis de P de sólo 22 kg/ha (CIAT, 1980).

El rendimiento acumulado de cuatro cortes (durante un año) muestra la efectividad de la roca fosfórica sin SFT en comparación con los tratamientos en los que se incluyó.

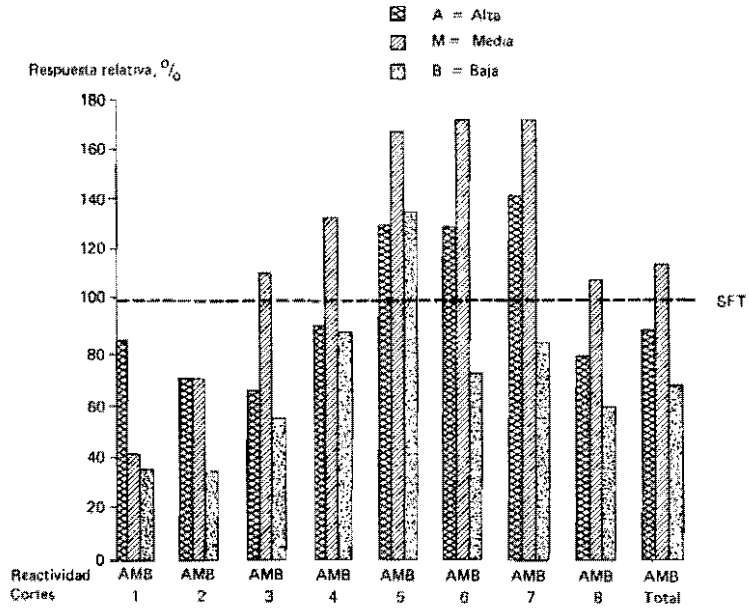

Figura 6. *Respuesta relativa de* Brachiaria decumbens *a rocas fosfóricas de reactividad alta, media y baja y al superfosfato triple (SFT) (CIAT, 1980).*

Cuadro 5. *Producción de* Brachiaria decumbens *en Quilichao, Colombia, con varias dosis de roca fosfórica Pesca sola o con la adición de 22 kg de P/ha en la forma de superfosfato triple (CIAT, 1980).*

	P aplicado	Rendimiento en materia seca, (ton/ha)	
Fuentes	Dosis (kg de P/ha)	Primer corte	Cuarto corte
Pesca	0	0.05	7.0
	44	0.60	11.5
	88	0.65	13.5
	176	0.60	13.0
SFT	22	0.82	11.0
Pesca + SFT	44 + 22	1.30	13.0
	88 + 22	0.80	13.0
	176 + 22	0.90	13.5

En un ensayo de campo realizado en un Ultisol de Pucallpa (Perú), *Brachiaria decumbens* rindió mejor con roca fosfórica Fosbayovar (de reactividad alta) que con superfosfato simple (Cuadro 6).

4.3 Efectividad agronómica de las rocas fosfóricas modificadas

Para mejorar la efectividad de las rocas fosfóricas, éstas se pueden acidular en forma parcial, lo cual ofrecerá inicialmente una fuente de P soluble y mantendrá un valor residual.

En un ensayo en Carimagua, Colombia, en el cual se aplicaron 44 kg P/ha en la forma de la roca fosfórica de Florida Central acidulada parcialmente con H_3PO_4 (20%), se obtuvo un aumento en el rendimiento de *P. maximum* en comparación con el uso de la roca fosfórica no acidulada finamente molida (Cuadro 7).

Los minigránulos de rocas fosfóricas parcialmente aciduladas dieron mejores rendimientos que la roca fosfórica en polvo. También es interesante anotar los buenos resultados obtenidos con los gránulos de tamaño regular (malla 6 a 14) de roca fosfórica parcialmente acidulada cuando se utilizaron altas dosis de aplicación.

4.4. Efectividad agronómica de las fuentes de P en relación con la capacidad de fijación de P del suelo

Uno de los grandes obstáculos para la aceptación de las rocas fosfóricas como fertilizantes de aplicación directa, ha sido la imposibilidad de predecir su efecto. En muchas situaciones su efectividad ha sido igual, o casi igual, a la de fertilizantes con alta solubilidad de P, pero en otros casos con un uso similar, su efectividad ha sido baja. Las propiedades de los diferentes suelos determinan el grado en que se puede alcanzar el potencial relativo de cada fuente.

En términos generales se acepta que las rocas fosfóricas son más efectivas cuando se aplican a suelos con pH de 5.5 o menos y que bajo estas condiciones, la tasa de disolución del P se puede reducir con altas concentraciones de P o Ca en la solución del suelo. Aunque vastas áreas de suelos en América Latina exhiben alta acidez, bajo P y bajo Ca, condiciones que estimulan una óptima disolución de las rocas fosfóricas, difieren en muchas características tales como la capacidad de fijación de P, la saturación de Al, el contenido de materia orgánica y el contenido de arcilla (véase el Cuadro 1 y la Figura 4). Resultados de laboratorio indican que la cantidad de P soluble proveniente de las rocas fosfóricas y del SFT decrece en la solución del suelo cuando la capacidad de fijación del suelo donde se aplica aumenta, pero la reducción con SFT es más rápida que con las rocas fosfóricas (Chien, *et al*, 1980).

Al aumentar la capacidad de fijación de P del suelo, se suponía que aumentaba la efectividad relativa de la roca fosfórica comparada con el SFT. Esta hipótesis se evaluó en un experimento de invernadero en el que se utilizaron ocho suelos ácidos colombianos, con bajo contenido de P disponible y con una capacidad de fijación que oscilaba entre 20 y 76% cuando se añadían 100 ppm de P. Se usó *Brachiaria decumbens* como cultivo indicador (CIAT, 1982).

El Cuadro 8 describe las propiedades químicas más importantes de los suelos estudiados y la efectividad agronómica relativa de las rocas Fosbayovar, Pesca y Pesca parcialmente acidulada. Los resultados parece que no confirman la hipótesis expuesta. Por ejemplo, la roca Fosbayovar, de reactividad alta, tiene la misma efectividad que el SFT en los Oxisoles y Ultisoles, pero

Cuadro 6. *Efecto de dos dosis y dos fuentes de fósforo en el rendimiento de* Brachiaria decumbens *en un Ultisol de Pucallpa, Perú (suma de dos cortes) (CIAT, 1979).*

Dosis de P (kg/ha)	Rendimiento (ton/ha) SFS	Fosbayovar
0	4.7	
40	9.7	10.9
160	11.2	11.9

Cuadro 7. *Efecto de la acidulación parcial con H_3PO_4, las dósis de fósforo y la minigranulación de la roca fosfórica Florida Central en el rendimiento de* Panicum maximum *en un Oxisol de Carimagua, Colombia (CIAT, 1981).*

Fuente de P	Tamaño del gránulo	Acidulación (%)	Fósforo aplicado (kg de P/ha) 0	22	44	88
			Rendimiento relativo, (%)[1]			
SFT	Regular (mallas 6-14)	100		50	73	100 (6.0)[2]
Florida	Polvo (malla 200)	0		28	53	73
	Minigránulo (mallas 48 a 150)	20		53	63	82
	Regular (mallas 6 a 14)	20		37	68	102
Testigo		—	(1.7)[2]	—	—	—

1 Basado en el primer corte
2 Rendimiento de materia seca en ton/ha.

esta efectividad se reduce en los Andepts que poseen mayor capacidad de fijación de P y mayor contenido de Al reactivo. Con la roca Pesca se observó el mismo tipo de reducción, pero más marcado. Es interesante anotar que, en el suelo Andept, la acidulación parcial de la roca Pesca mejoró notablemente la producción de materia seca en comparación con su baja efectividad al no acidularla.

En los suelos de alta capacidad de fijación, la dosis de P requerida para pastos es menor que para cultivos anuales por las

Cuadro 8. *Propiedades químicas de ocho suelos colombianos y efectividad agronómica relativa de tres fuentes de fósforo medida en esos suelos con la producción de materia seca de* Brachiaria decumbens *(CIAT, 1982).*

Suelos	pH	P (ppm) (Bray I)	Al reactivo (meq/100 g)	Fijación de P (% con 100 ppm de P)	Rocas fosfóricas		
					Fosbayovar	Pesca EAR, (%)[2]	Pesca PA[1]
ULTISOLES							
Amazonas	4.55	3.22	3.5	20.2	106	87	88
Quilichao	4.30	1.08	6.5	40.1	102	88	88
Caucasia	4.85	1.49	8.0	30.4	93	37	63
OXISOLES							
Gaviotas	4.25	1.83	11.0	33.5	115	74	75
Carimagua	4.65	2.43	14.0	32.3	108	91	85
La Libertad	4.60	2.35	14.0	33.9	107	70	80
ANDEPTS							
Unidad	5.50	3.95	36.0	41.2	59	0	59
El Refugio	5.30	0.42	57.0	72.1	88	16	77

1 Parcialmente acidulada (20%)

2 Efectividad agronómica relativa en comparación con SFT = 100%.

siguientes razones: comparados con los cultivos, son bajos los requerimientos de P de los pastos tolerantes a la acidez; la falta de operaciones de labranza subsecuentes para mezclar el P aplicado y el suelo superficial; y el mecanismo eficiente de reciclaje de nutrimentos vía la excreta de animales en pastoreo.

En América tropical se han realizado otros estudios (CIAT, 1979, 1980, 1981; Toledo y Morales, 1978; Spain *et al*, 1975) con especies de leguminosas y gramíneas forrajeras, con el objeto de determinar las dosis de P necesarias para maximizar la producción de las praderas e incrementar las ganancias diarias de peso vivo del ganado y el número de cabezas por hectárea.

En la determinación del valor agronómico y económico de las rocas para su aplicación directa en un suelo específico, se debe tener en cuenta su reactividad química, los requerimientos del pasto y las propiedades del suelo.

Para más información al respecto, se recomienda revisar la Unidad Audiotutorial titualda "Efectividad agronómica de las rocas fosfóricas".

Como regla general, en el trópico americano la fertilización de establecimiento de los pastos con P se ha ceñido al método clásico de la aplicación de los fertilizantes al voleo. Recientemente, sin embargo, se han realizado investigaciones para observar el efecto de la colocación del fertilizante en el establecimiento de las pasturas.

Datos de Sánchez *et al* (1978) (citados por Fenster y León, 1979), indican que en Quilichao, Colombia, el método de aplicación de P al voleo es superior al de aplicación en banda para el establecimiento de *P. maximum* y *A. gayanus*. En la Figura 7 se ilustran los resultados obtenidos con tratamientos seleccionados de SFT en estas dos gramíneas.

Es posible que, cuando se trate de suelos con contenidos muy bajos de P disponible, el crecimiento de las raíces se restrinja al área donde está localizado el fertilizante, si

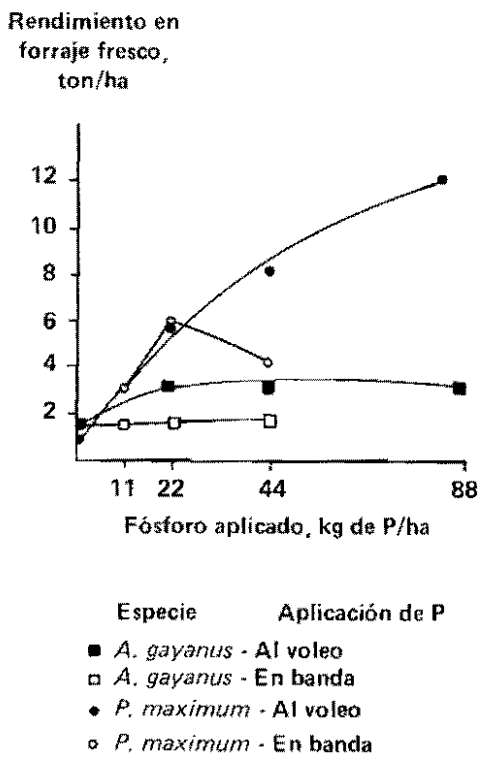

Figura 7. *Efecto de las dosis y los métodos de aplicación de fósforo en la forma de superfosfato triple en el rendimiento de dos gramíneas en un Ultisol de Quilichao. (Datos de Sánchez* et al, *1978, citados por Fenster y León, 1979).*

éste ha sido aplicado en banda. Así, las plantas recién establecidas sufrirán por sequía, aún durante períodos cortos.

Para la siembra de *Brachiaria decumbens, Paspalum plicatulum, Stylosanthes capitata, S. guianensis* y *Desmodium ovalifolium* se han utilizado con éxito sembradoras/abonadoras. También se puede mezclar la semilla de difícil manejo (i.e., *Andropogon gayanus, Melinis minutiflora, Hyparrhenia rufa)* con el fertilizante y sembrar directamente de la tolva del fertilizante (CIAT, 1981 a).

Cuando se siembra en hileras, es necesario hacer una separación entre la semilla y los fertilizantes nitrogenados o potásicos, o de lo contrario, se corre el riesgo de quemar la plántula recién germinada por la alta concentración de sales en la solución del suelo. Los fertilizantes tales como las rocas fosfóricas y la Escorias Thomas, sí se pueden mezclar con la semilla o aplicarse en el mismo surco.

La Figura 8 muestra el efecto positivo de la aplicación de tres dosis de fosfatos solubles al voleo y en banda en tres asociaciones de gramíneas y leguminosas. La aplicación en banda parece ser especialmente ventajosa para *B. decumbens* y *P. plicatulum* y para *S. guianensis* en todas las tres asociaciones (CIAT, 1977). Con este ensayo, se llegó a la conclusión de que la siembra y la aplicación de fosfatos solubles en bandas, crean un medio más fértil y favorable para la plántula en desarrollo, que las aplicaciones al voleo. El fertilizante se concentra en la zona que rodea a la plántula y la disponibilidad de P es mayor durante el estado de plántula, que parece ser crítico para especies forrajeras de semilla pequeña.

4.5 Inoculación con micorriza vesícula arbuscular (MVA)

El principal efecto de la micorriza, por crecer en las raíces de las plantas, es explorar un volumen de suelo mayor del que pueden explorar las raíces solas. Esto, en términos de elementos poco móviles como el P, significa que 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 producirían 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 la cantidad de fertilizante fosfatado aplicado.

El manejo de las asociaciones con las micorrizas, para una extracción más eficiente del P por los pastos tropicales, puede hacerse principalmente por dos métodos: el primero, aprovechando que los pastos estudiados en el CIAT son micotróficos obligados; (dependen de la micorriza para su nutrición) y que las micorrizas se encuentran en todos los suelos tropicales, por lo cual podrían utilizarse las micorrizas nativas; el segundo consistiría en inocular en el campo micorrizas seleccionadas como altamente efectivas y adaptadas 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 se puede aplicar principalmente en ecosistemas nuevos (i.e., Llanos Orientales de Colombia, Amazonas). Aquí las micorrizas nativas 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 mediante el uso apropiado de prácticas agrícolas tales como las aplicaciones de fertilizantes, los sistemas de cultivo (rotación, asociación), las diferencias entre ecotipos, los métodos de protección de plantas, etc.

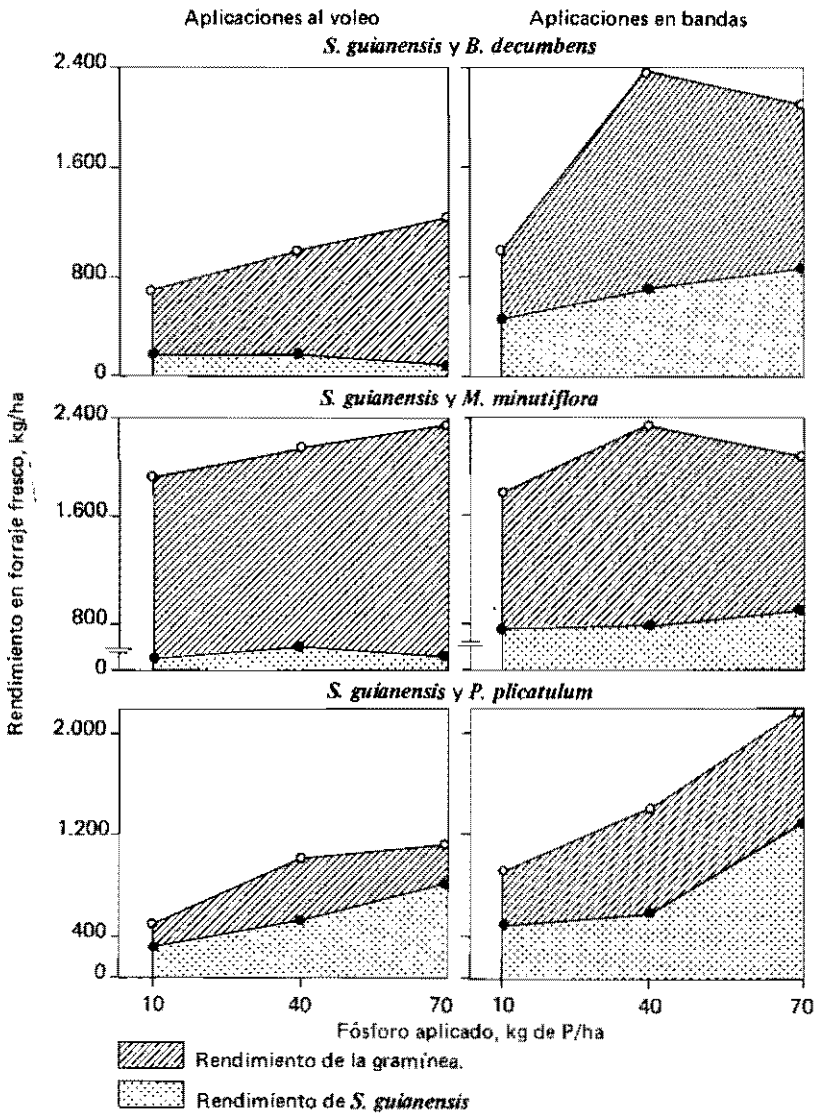

Figura 8. *Efecto de tres niveles y dos métodos de aplicación de fósforo en el rendimiento de tres asociaciones de especies forrajeras en un Oxisol de Carimagua (CIAT, 1977).*

Cuando se inocula en el campo, resultados experimentales han mostrado que, en general, dicha inoculación debe ir acompañada por una pequeña cantidad de fertilizante fosfórico. En el Cuadro 9, se observa el efecto de la inoculación en el campo con cepas de micorriza seleccionadas, en los rendimientos de *Stylosanthes capitata, Andropogon gayanus* y *Pueraria phaseoloides* con y sin la aplicación de fósforo en la forma de roca fosfórica del Huila (Sieverding y Saif, 1984).

Con el fin de disminuir la alta capacidad de fijación de P en suelos ácidos de América tropical, muchas veces se aplican enmiendas como la cal agrícola para neutralizar el Al intercambiable; también se podrían usar silicatos de calcio. Es importante recalcar que, el concepto de aplicar cal para aumentar la disponibilidad del P nativo es probable que sea erróneo en los suelos ácidos, bajos en materia orgánica y deficientes en P, puesto que estos suelos tienen muy poco P total. Sin embargo, es una práctica válida el aplicar cal como un medio para aumentar o mantener la disponibilidad del P aplicado en otros tipos de suelos donde el contenido de P orgánico es relativamente alto.

En el Cuadro 10 se observa el efecto que produjo la cal en el rendimiento de tres leguminosas forrajeras sembradas en un suelo de Pucallpa (Perú) y fertilizadas con superfosfato simple (SFS). Es interesante observar que la respuesta al P solamente mejoró con la primera adición de cal (1 ton/ha), sobre todo en los casos de *Pueraria phaseoloides* y *Centrosema pubescens*. Es muy posible que esta respuesta se deba al efecto de la nutrición con Ca. Con *Stylosanthes capitata*, especie de muy bajos requerimientos de Ca, la adición de cal no mejoró apreciablemente su respuesta al P.

En un experimento realizado en la Amazonía peruana, se presentó una fuerte respuesta de *Panicum maximum* al superfosfato simple (SFS), y una interacción entre éste y la cal, la mejor combinación fue una dosis baja de P (25 kg/ha) y 2 toneladas de cal/ha (Figura 9).

Si bien la interacción P x Cal es positiva cuando se usa un fosfato soluble, resulta negativa para la producción de pastos mejorados que tienen bajos requerimien-

Cuadro 9. *Efecto de la inoculación en el campo de cepas de micorriza seleccionadas, en los rendimientos de especies de pasturas en un Oxisol de Carimagua, con y sin la aplicación de fósforo (Sieverding y Saif, 1984).*

Aplicación de P (kg P/ha)[1]	Inoculación en el campo	Producción de materia seca (kg/ha) *Stylosanthes capitata*	*Pueraria phaseoloides*	*Andropogon gayanus*
0	No	69.7 a[2]	74.6 a	272.7 a
	Sí	126.2 b	150.9 b	376.6 b
20	No	397.5 c	522.6 c	2280 c
	Sí	673.1 d	871.5 d	3046 d

1 *Roca fosfórica del Huila*

2 *Los valores en una columna seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes al nivel de P* = 0.01.

Cuadro 10. *Producción de materia seca de tres leguminosas forrajeras como resultado de las aplicaciones de superfosfato simple y cal en materos con un suelo de Pucallpa, Perú (Casas, 1974; Pinedo y Santhirasegaram, 1973; citados por Santhirasegaran, 1974).*

P aplicado (kg de P/ha)	Materia seca (g/matero) Cal, (ton/ha) 0	1	3
		Pueraria phaseoloides	
0	8.00	11.50	10.50
9	11.00	16.00	17.00
45	17.50	23.00	15.50
		Centrosema pubescens	
0	0.58	1.55	1.85
9	3.30	3.62	2.62
45	4.88	6.65	3.96
		Stylosanthes capitata	
0	0.30	0.69	1.33
9	3.33	2.66	2.84
45	4.36	5.08	1.77

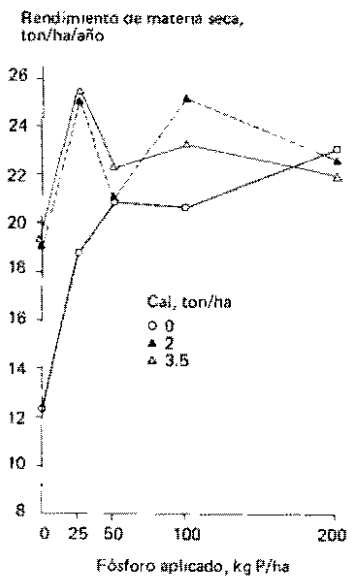

Figura 9. *Efecto de las aplicaciones de fósforo en la forma de superfosfato simple y cal en el rendimiento de* Panicum maximum *en un Ultisol de Yurimaguas, Perú (Adaptado de North Carolina State University, 1975).*

tos de cal, cuando se utilizan fuentes de P como las rocas fosfóricas. En las Figuras 10 y 11 se presentan dos ejemplos de este comportamiento en *B. decumbens* y *P. maximum*, respectivamente (León y Toledo, 1982). Es muy probable que el efecto depresivo de la cal en la aprovechabilidad del P proveniente de las rocas fosfóricas se deba a un efecto del ión común, el calcio, que impide la disolución de los apatitos presentes en la roca.

En la mayoría de los casos, el principal problema que se encuentra, es determinar si la cal realmente aumenta la disponibilidad del P aplicado, o si se trata de una respuesta adicional a otro nutrimento por ser comunes en los suelos ácidos las deficiencias de Ca y Mg. Manteniendo la relación Ca: Mg en 10:1, *Desmodium ovalifolium, Pueraria phaseoloides, Stylosanthes capitata* y *Zornia latifolia* no responden al encalamiento (Cuadro 11). El aumento en rendimiento de *Centrosema* sp., *D. ovalifolium* y *P. phaseoloides* a 0.5 ton de cal/ha puede deberse al Mg, ya que este elemento no se aplicó a 0 ton de cal/ha (Spain *et al* 1979).

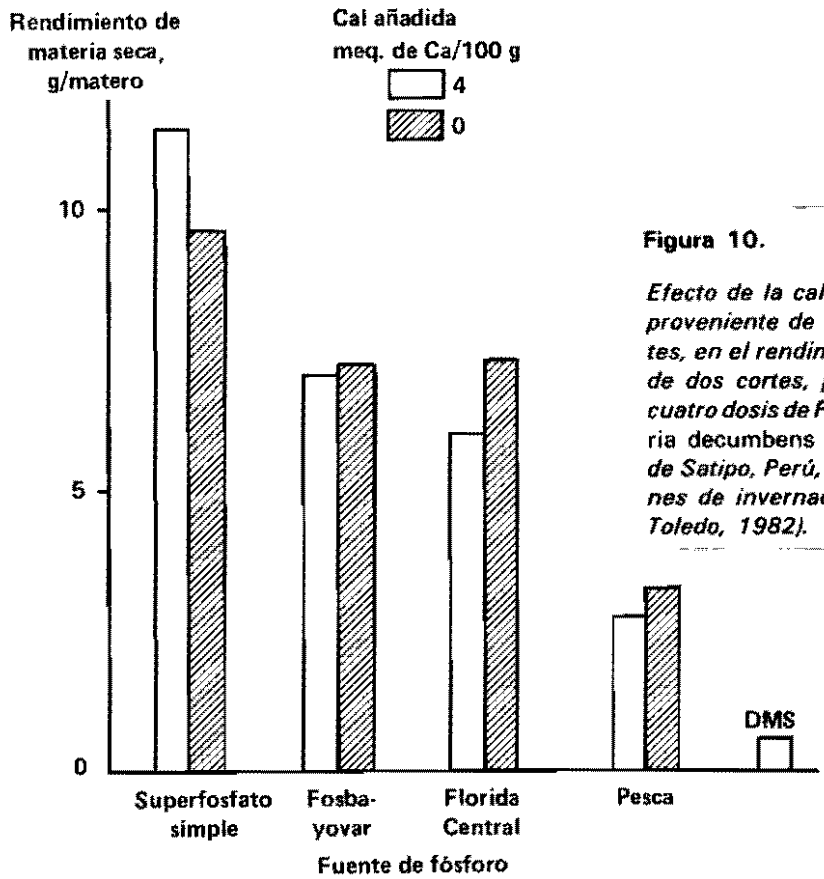

Figura 10.

Efecto de la cal y el fósforo proveniente de cuatro fuentes, en el rendimiento (suma de dos cortes, promedio de cuatro dosis de P) de Brachiaria decumbens *en un suelo de Satipo, Perú, en condiciones de invernadero (León y Toledo, 1982).*

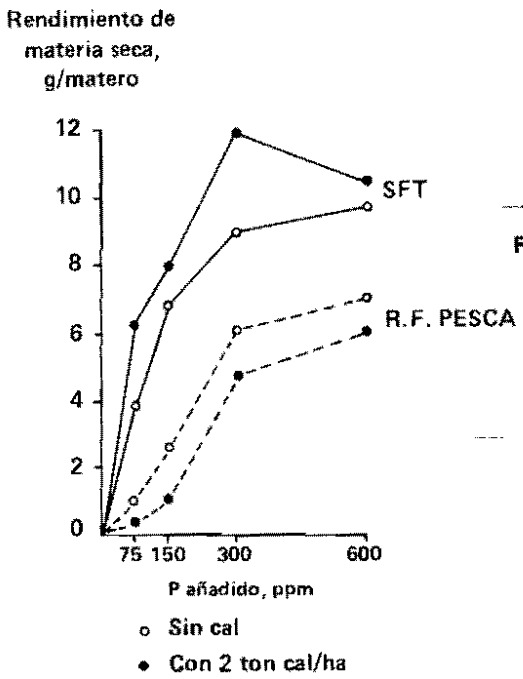

Figura 11. *Efecto de la cal y de las fuentes y dosis de fósforo en los rendimientos de* Panicum maximum *en condiciones de invernadero, en un Ultisol de Quilichao, Colombia (León y Toledo, 1982).*

Cuadro 11. *Efecto de la cal en los rendimientos de materia seca del primer corte de ocho leguminosas forrajeras en un Oxisol de Carimagua (Spain,* et al *1979).*

		Materia seca (kg/ha)			
		Cal aplicada (ton/ha)			
Especies	Ecotipo	0	0.5	2	6
Centrosema plumieri	CIAT 470	0	0	582	1698
Centrosema sp.	CIAT 1787	445	912	2014	2769
Centrosema sp.	CIAT 438	356	1330	1568	1317
Centrosema pubescens		680	1729	1996	2035
Desmodium ovalifolium	CIAT 350	1118	2302	2018	2480
Pueraria phaseoloides	CIAT 9900	1286	1688	1422	1434
Zornia latifolia	CIAT 728	3000	3108	2686	2628
Stylosanthes capitata	CIAT 1019	2365	2361	3011	2458

- *Cuando se quemas los bosques y las sabanas se interrumpe el reciclaje que existe entre el suelo y las plantas. Gran parte de los elementos no volátiles permanecen en la ceniza en la superficie del suelo, lo cual produce:*

		F	V
a	un aumento del porcentaje de saturación de Al	( )	( )
b	un incremento en el pH	( )	( )
c	un incremento en la cantidad de P disponible	( )	( )
d	en los suelos de sabana, después de la quema, deficiencia de P en el rebrote ofrecido al ganado	( )	( )

- *Describa la relación existente entre la efectividad agronómica relativa inicial y la reactividad de las rocas fosfóricas.*

- *El uso de rocas fosfóricas parcialmente aciduladas tiene un efecto igual a la mezcla de rocas fosfóricas con fuentes de alta solubilidad.*

F	V
( )	( )

- *¿Cuáles son las ventajas de aplicar los fosfatos solubles en banda o mezcladas con las semillas?*

- *Cite los métodos que se pueden utilizar para el manejo de la asociación con las micorrizas.*

- *La aplicación de enmiendas a los suelos ácidos de América Latina se debe hacer para:*

		F	V
a.	aumentar la disponibilidad de P	( )	( )
b.	impedir la disolución de los apatitos presentes en las rocas fosfóricas	( )	( )
c.	suplir Ca a las plantas	( )	( )
d.	neutralizar el Al intercambiable	( )	( )

5. Las [illegible]
de mante[illegible]

Se discutió cómo en la fase de establecimiento se deben lograr y aumentar ciertos niveles de nutrimentos en el sistema suelo-planta. En la fase de mantenimiento se discutirá cómo se mueve el P en un sistema suelo-planta-animal, indicando las pérdidas y ganancias del nutrimento en el sistema para compensar las primeras, promover las segundas y estabilizar un nivel de producción del animal.

Si además de un establecimiento defectuoso la pastura tiene un mal mantenimiento, lo más probable es que la fertilidad del suelo se pierda llegando a niveles inferiores al nivel original (Figura 12).

La pérdida de la fertilidad se observa en la producción del pasto en los años siguientes al establecimiento. Un ejemplo de ello se observa en el rendimiento de *Panicum maximum* en un Ultisol de Yurimaguas (Perú) con un pH 4.0 (Figura 13); el rendimiento de materia seca del primer año 9.7 ton/ha se reduce en un 35% en el segundo año y casi en un 70% en el cuarto año (Sánchez, 1977).

Después del establecimiento de los pastos, el nivel de P disponible puede permanecer alto durante el primer año y luego decrecer rápidamente a niveles extremadamente bajos para cualquier producción de pastura y, especialmente, para aquellas con leguminosas (Figura 14).

La disminución en el contenido de P del suelo en praderas para pastoreo posiblemente no es tan alta como en el caso de pastos de corte debido a que, en el primer caso, la producción de materia seca es menor y parte de los nutrimentos que tomó el animal volverán al suelo. Los datos de remoción de nutrimentos, por ser tomados de pastos de corte, dan una idea exagerada

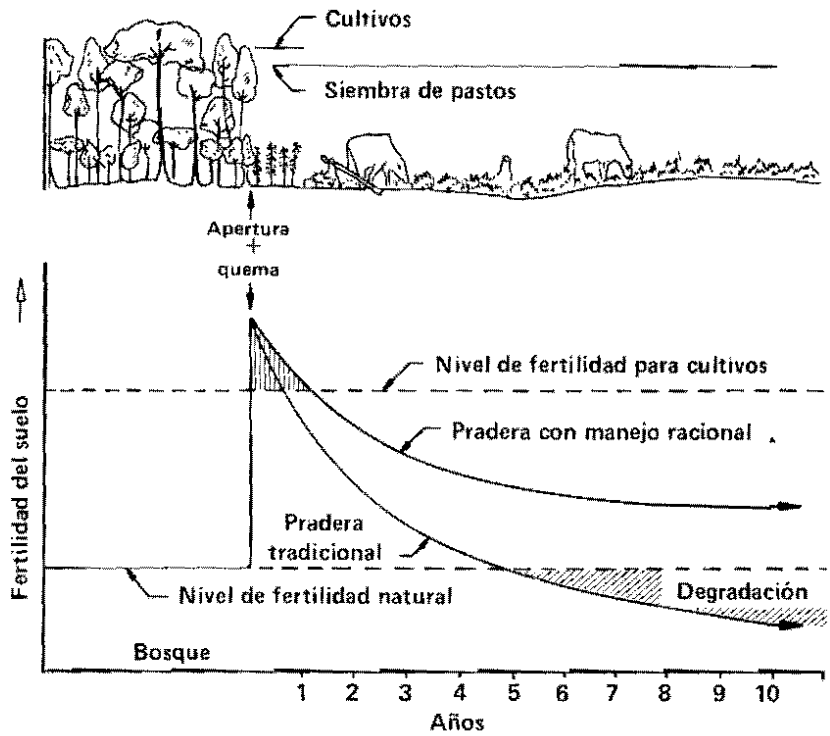

Figura 12. *Modelo que muestra los cambios de fertilidad del suelo al sustituir la vegetación de bosque por la de pradera (Toledo y Serrao, 1982).*

de los requerimientos y es poca la experiencia que se tiene sobre los requerimientos nutricionales en la fase de mantenimiento de pasturas.

En los sistemas de producción ganadera hay tres depósitos de nutrimentos: la biomasa (plantas y animales), el detrito (hojas caídas y residuos de pasto y animales) y el suelo. Entre ellos existe un mecanismo natural de reciclaje de P.

Cuando los animales superiores consumen plantas, parte del P que ellas contienen lo almacenan en su organismo y el resto lo retornan al suelo, en la orina y las heces. El P almacenado en el organismo animal sale del sistema en la forma de leche o carne (Figura 15).

Durante el pisoteo de la pastura, el animal rompe la parte aérea de los pastos; estos materiales orgánicos, junto con las raíces muertas (reacción de la planta a la defoliación por el pastoreo) se mineralizan y la planta vuelve a tomar parte del P. La cantidad de P reciclado en esta forma depende

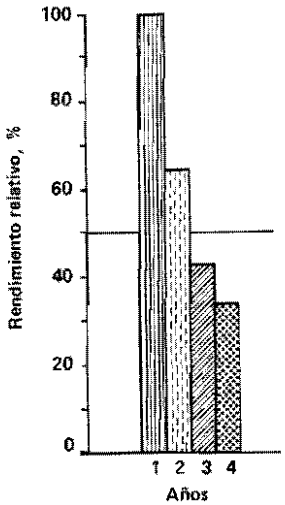

Figura 13. *Rendimiento relativo de* Panicum maximum *en Yurimaguas (Perú) durante cuatro años después del establecimiento (Sánchez, 1977).*

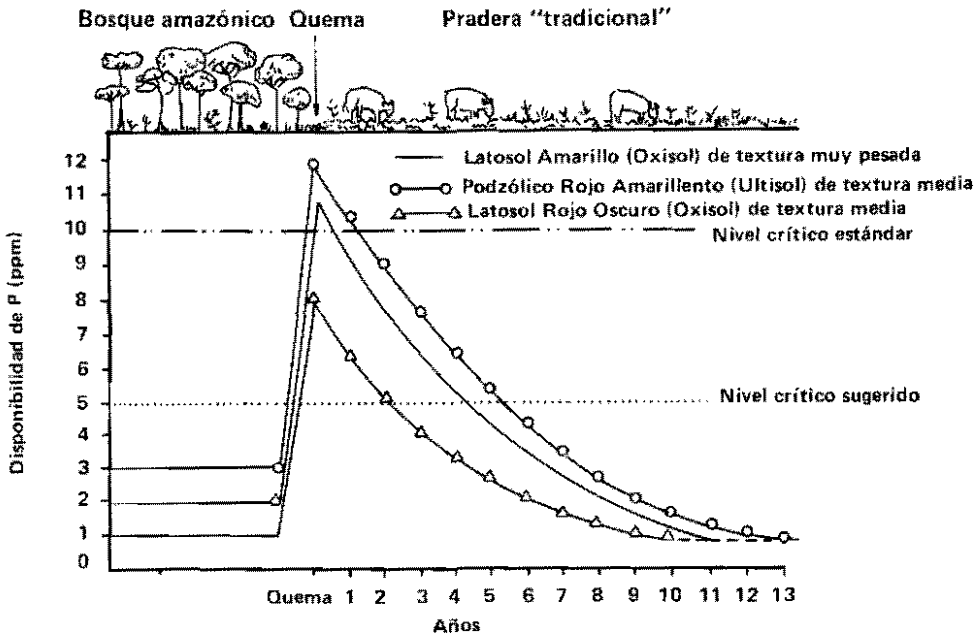

Figura 14. *Alteraciones en los contenidos de fósforo disponible en Oxisoles y en un Ultisol de bosque amazónico (Serrao,* et al, *1979).*

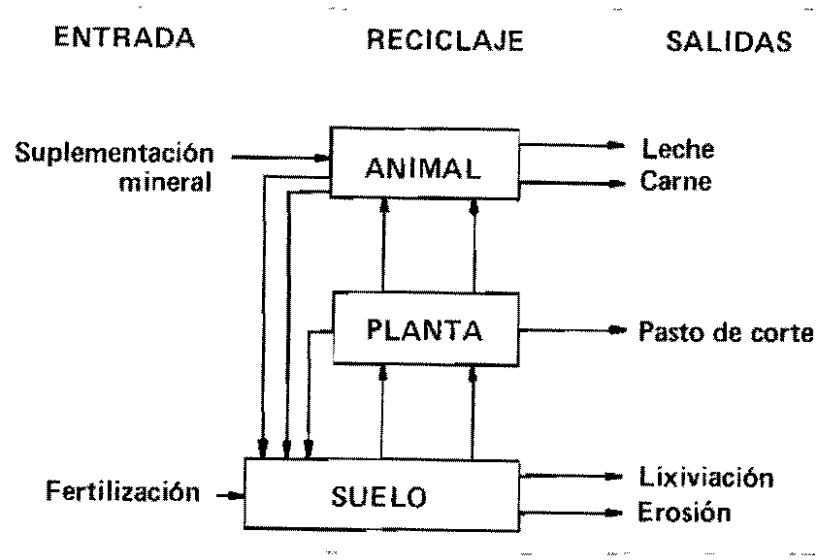

Figura 15. *Ciclo del fósforo en una pradera de gramínea-leguminosa.*

del contenido de este nutrimento en el tejido de los pastos.

En los sistemas de producción de ganado, el retorno de nutrimentos al suelo por la vía de la excreta es un mecanismo natural importante, pero depende considerablemente del manejo del pasto, la tasa de consumo y otros factores.

Sin embargo, con este mecanismo existe un problema de redistribución de la fertilidad, puesto que el animal se alimenta en todo el potrero y deposita las heces y la orina en un porcentaje limitado del área total.

Los elementos relativamente solubles y móviles en el suelo se lixivian fácilmente de los sitios de mayor concentración. Otros que son poco solubles e inmóviles en el suelo como el P se concentran y se fijan en parte, pero no se pierden del potrero. Entre más alta sea la carga, menos grave es el problema de redistribución porque los animales van cubriendo toda el área en un tiempo relativamente corto.

La deposición de la orina produce un incremento agudo en la disponibilidad de K y S en en el suelo pero muy poco aumento en la disponibilidad de P (Cuadro 12).

La Figura 16 presenta los cambios ejercidos por la deposición de heces en los primeros 20 cm de un Ultisol de Quilichao, Colombia. El contenido de N inorgánico se duplica en los primeros 15 días en un radio de 1 m de la excreta y luego declina. El P disponible muestra un incremento similar pero con menos efecto a 1 m de distancia. El incremento en K y S es menor con las heces que con la orina.

5.2 Extracciones del sistema

En una explotación ganadera, el P se pierde definitivamente del suelo cuando se retiran las plantas completas (pasto de

Cuadro 12. *Reciclaje de nutrimentos en la superficie de un Ultisol de Quilichao, Colombia, como resultado de la deposición de orina por el ganado pastando en un potrero de* Brachiaria decumbens *(CIAT, 1982).*

Días después de la deposición de la orina	Distancia de la deposición de la orina (cm)	N inorgánico ($NH_4^+ + NO_3^-$) (ppm)	P disponible (Bray II) (ppm)	S disponible (ppm)	K intercambiable (meq/100 g)	Ca intercambiable (meq/100 g)
0	20	20	2.5	25	0.09	1.20
	100	21	3.0	26	0.10	1.24
15	20	65	2.0	36	0.19	1.39
	100	35	2.3	33	0.11	1.17
30	20	28	1.8	37	0.20	1.61
	100	27	1.8	38	0.11	1.61
45	20	13	2.1	42	0.22	1.59
	100	9	2.2	40	0.11	1.56

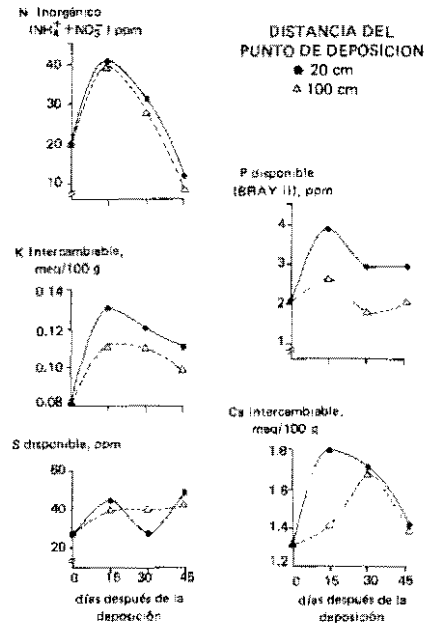

Figura 16. *Reciclaje de nutrimentos en la superficie de un Ultisol de Quilichao, Colombia, como resultado de la deposición del ganado en un potrero de* Brachiaria decumbens. *Distancia del punto de deposición: 0, 20 y 100 cm (CIAT, 1982).*

corte), cuando se retira el animal para aprovechar su carne o en la leche, cuando se lixivia o cuando se pierde por la erosión (Figura 15). Las pérdidas son mayores cuando se trata de ganado lechero que de ganado de carne.

Las pérdidas por lixiviación o por erosión no se han determinado con exactitud.

El animal contiene aproximadamente 0.75% de P, 0.20% de K, 1.35% de Ca y 0.04% de Mg (con base en peso vivo). Con una ganancia de 300 kg en peso vivo/-ha/año, las extracciones del potrero serían de 2.2 kg de P, 0.6 kg de K, 4.0 kg de Ca y 0.1 kg de Mg. Aunque la extracción es poca, sí ocurren pérdidas por lixiviación y fijación de P, además de un proceso de redistribución desuniforme, se hacen necesarias las aplicaciones de fertilizantes de mantenimiento (CIAT, 1983).

Pese a que los pastos no extraen el P del suelo en proporciones tan altas como el K, el N y el Ca, es un nutrimento que fácilmente puede tornarse limitante debido al bajo contenido en los suelos ácidos del trópico americano.

De todas maneras es de esperarse un balance negativo, pues no todos los elementos que tiene el suelo y los que se añaden como fertilizante van a permanecer estáticos, y mucho menos a aumentar, si se tiene un pasto que crece permanentemente y animales que se alimentan de él.

[illegible] el sistema

El manejo de la fertilización de un pasto ya establecido depende de si se trata de pasto de corte o de un pasto para pastoreo; si es una gramínea, una leguminosa o una asociación; y, por último, del tipo de suelo.

En los pastos de corte, la extracción de nutrimentos es muy elevada y las necesidades de mantenimiento son altas, en tanto que en los pastos para pastoreo, el animal redistribuye parte de los nutrimentos.

Debido a las pérdidas por lixiviación los suelos arenosos generalmente requieren más fertilizantes para su mantenimiento a un mismo nivel de producción que los suelos más pesado (Spain *et al*, 1979).

5.3.1. *Efecto residual de los fertilizantes fosfatados*

En el sistema suelo-planta-animal, el aporte de los fertilizantes fosfatados aplicados al establecimiento forma parte del componente suelo y es de gran importancia en el manejo de la pradera.

Un factor que determina la conveniencia del uso de las rocas fosfóricas es su valor residual. A diferencia de los nutrimentos móviles, el P permanece disponible por largos períodos de tiempo en la vecindad del sitio donde se aplicó, para proporcionarle a los pastos una porción de los requerimientos después de su establecimiento.

En la Figura 17 se muestra la producción acumulada de *Brachiaria decumbens* durante cuatro años y su relación con la fuente de P y la dosis de aplicación. Se observa que la respuesta al P se refleja en cada incremento de la dosis de aplicación y que hay poca diferencia entre las fuentes según su reactividad. El efecto del P procedente de las rocas de reactividad baja, media o alta es en general igual o mejor que el efecto del P procedente del SFT en todas las dosis.

En la Figura 18 se presentan los datos de este experimento después de 20 cortes (5 1/2 años). Las observaciones más importantes son las siguientes:

- La producción de materia seca de las pasturas durante el primer año se relacionó estrechamente con la solubilidad en citrato de las fuentes; el SFT fue la más efectiva.
- Con el tiempo, la respuesta al P residual fue similar para todas las fuentes.
- Después del cuarto año de producción, la respuesta al P residual muestra una reducción con todas las fuentes a las dosis de 11-44 kg de P/ha.

Con base en los resultados obtenidos, se infiere que las rocas fosfóricas no tienen mejor efecto residual que las formas solubles en suelos con capacidad de fijación, media a alta debido a la rápida disolución promovida por el suelo y a la subsecuente formación de productos de reacción, que controlan la disponibilidad de P para la planta.

El comportamiento del P en suelos como los Oxisoles de Carimagua, se confirma con los resultados presentados en la Figura 19. Se observa que no hay diferencia en la producción acumulada de *Brachiaria decumbens* en cuatro años con una aplicación de SFT o con cuatro aplicaciones anuales.

La fijación del P en estos suelos no es tan fuerte, aún cuando el P aplicado sea completamente soluble como el del SFT. El mayor o menor período de efecto residual está controlado aparentemente por la desorción de los productos de reacción y, por lo tanto, no hay diferencia en la respuesta del pasto al efecto residual de las diferentes fuentes.

En el Brasil se han obtenido resultados similares (Goedert, 1983) después de evaluar durante seis años la efectividad agronómica de varias fuentes de P en condiciones de campo en dos suelos del Cerrado (Latosol Vermelho-Escuro, LVE; y Latosol Vermelho-Amarelo, LVA).

5.3.2. *Aplicación de fertilizantes*

En un experimento de campo realizado en Carimagua, se determinaron los efectos de las tasas de P y K en la producción de materia seca de tres gramíneas forrajeras tropicales.

Se utilizaron parcelas ya establecidas de *A. gayanus* 621 y *B. decumbens* 606, y cuatro dosis de P (0, 22, 44 y 176 kg de P/ha al voleo); se sembró una tercera gramínea, *B. humidicola* 679. Se aplicó K a razón de 0,

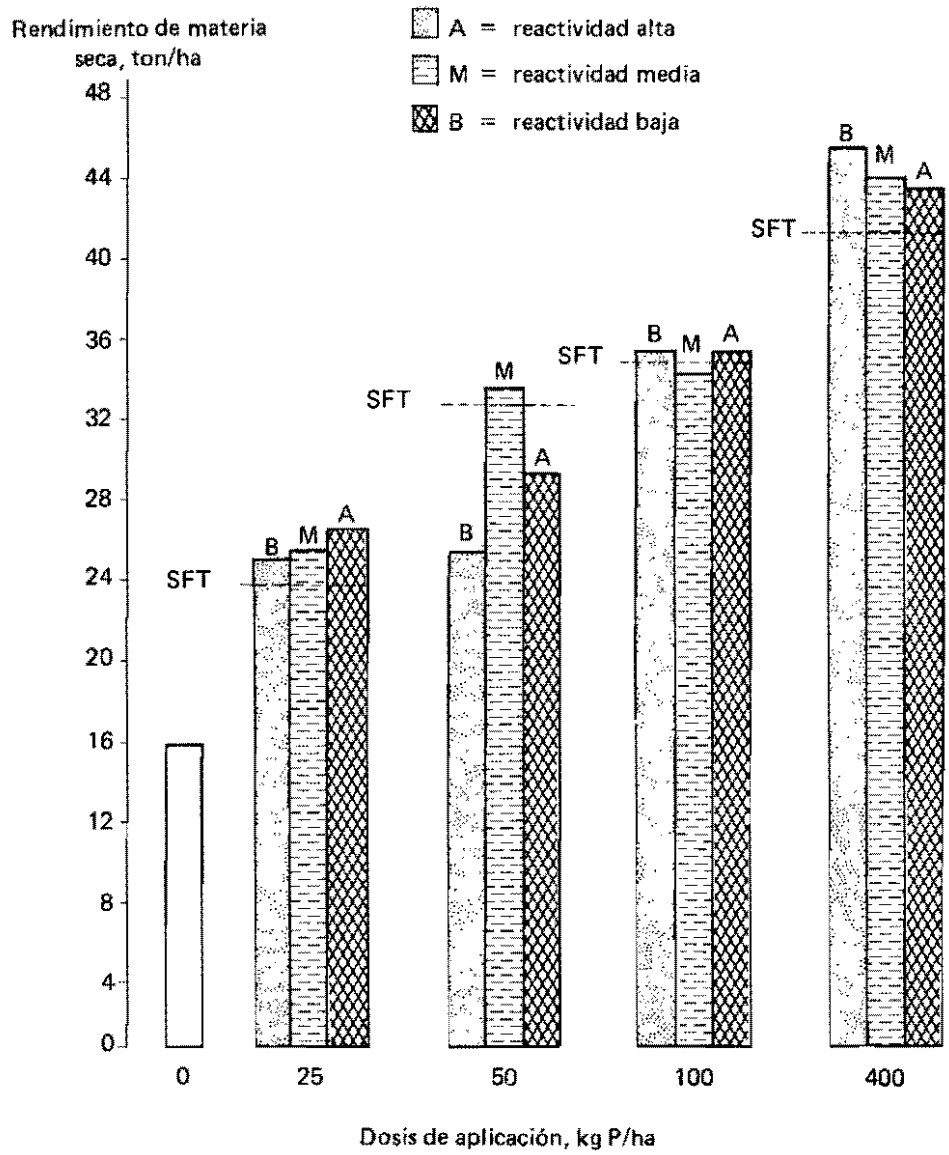

Figura 17. *Producción acumulada en 15 cortes (4 1/2 años) de* Brachiaria decumbens *en relación con la fuente y dosis de aplicación de fósforo en un Oxisol de Carimagua (CIAT, 1980).*

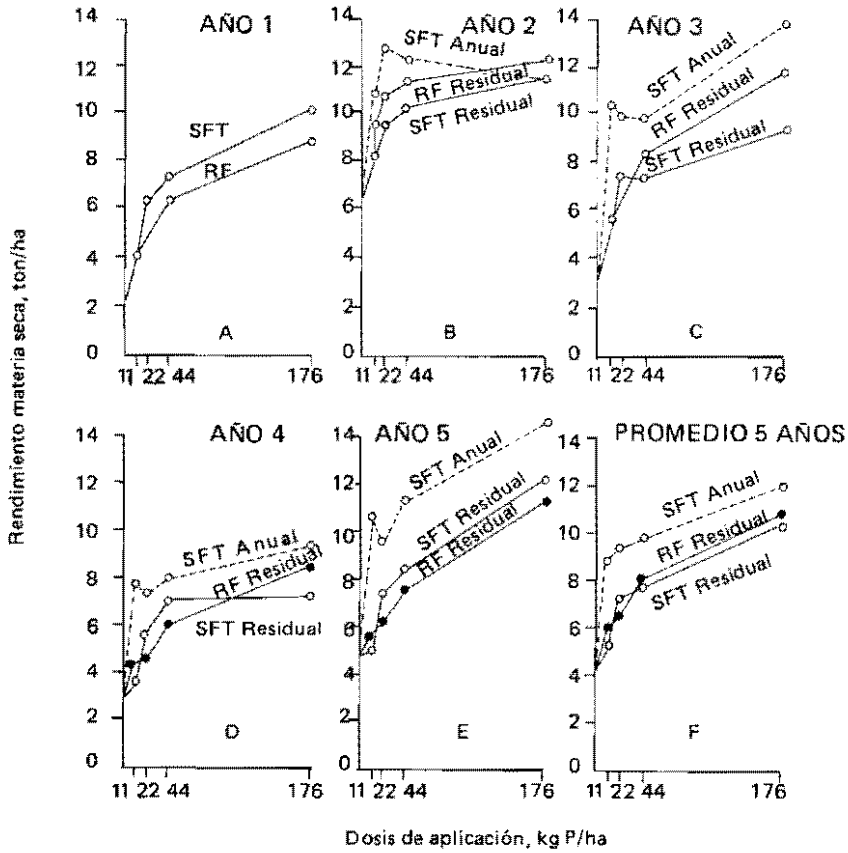

Figura 18. *Producción de materia seca de* Brachiaria decumbens *en un Oxisol de Carimagua, influenciada por la fuente y dosis de fósforo durante un período de cinco años (Hammond,* et al, *1982).*

30 y 80 kg de K/ha/año en dos aplicaciones fraccionadas, y todas las parcelas recibieron 25 kg de N/ha después de cada corte.

La Figura 20 describe las interacciones entre el K y el P en estas tres gramíneas. A pesar de las respuestas positivas al K, la mejor eficiencia en cuanto a la producción de materia seca de las tres gramíneas, por kilogramo de P aplicado, se presentó cuando se utilizaron 30 kg de K y 44 kg de P/ha. *Andropogon gayanus* fue la más eficiente en la utilización del K, en términos de materia seca producida por kilogramo de K aplicado.

El Cuadro 13 muestra el rango de extrac-

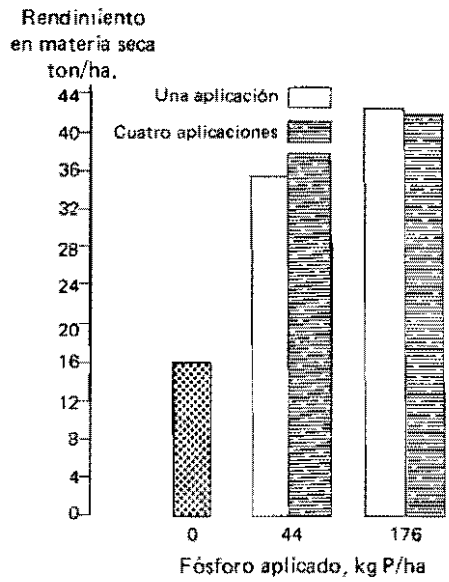

Figura 19. *Producción acumulada de materia seca de* Brachiaria decumbens *por un período de cuatro años (15 cortes) tratado con una sola aplicación de superfosfato triple, en comparación con cantidades iguales aplicadas en cuatro fertilizaciones anuales en un Oxisol de Carimagua (Hammond,* et al, *1982).*

ción de los diferentes elementos por algunas especies de interés especial en un Oxisol de Carimagua, Colombia. Estos datos pueden servir de base para establecer la dosis de fertilizante de mantenimiento de la pastura.

Cuando las gramíneas están sembradas solas y sin aplicación de N, es probable que éste sea tan limitante que inhiba el efecto del P y el K después del establecimiento. Al

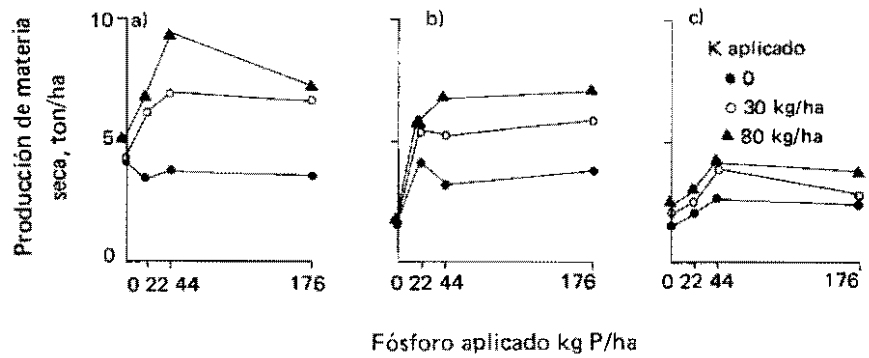

Figura 20. *Efecto de las dosis de fósforo y potasio en la producción de materia seca de tres gramíneas forrajeras tropicales cultivadas en el campo de Carimagua. a)* Andropogon gayanus *621; b)* Brachiaria decumbens *606; c)* Brachiaria humidicola *679 (CIAT, 1981).*

Cuadro 13. *Extracción de nutrimentos por plantas forrajeras cultivadas en parcelas pequeñas y manejadas bajo corte durante un año en Carimagua, Colombia* (CIAT, 1983).*

Especie	Rendimiento de materia seca (ton/ha)	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	B
		(kg/ha)					(g/ha)		
A. gayanus 621	9.3	9	77	21	20	11	138	57	63
B. decumbens 606	9.7	11	71	34	29	12	126	41	48
B. humidicola 679	8.3	7	89	22	22	11	156	37	37
B. brizantha 665	9.1	10	68	33	27	9	160	40	62
D. ovalifolium 350	6.2	7	56	45	15	8	146	60	176
P. phaseoloides 9900	5.3	10	60	51	17	9	349	89	191
S. capitata 1019	6.3	8	69	57	16	—	523	52	151
S. capitata 1315	8.0	11	89	71	25	10	—	—	—
S. capitata 1318	7.6	10	82	83	24	—	—	—	—
C. macrocarpum 665	3.2	5	46	22	9	—	—	—	—

* *Dosis de establecimiento: 22 kg de P/ha, 21 kg de K/ha, 100 kg de Ca/ha, 25 kg de Mg/ha.*

aplicar N o tener el pasto en asociación con una leguminosa, también van a ser mayores las respuestas al P, K y probablemente a otros nutrimentos. Como recomendación general se sugieren dosis de mantenimiento para pastoreo de 5 a 6 kg de P y K_2O y alrededor de 3 a 4 kg de Mg y S por cada 100 kg de pesos vivo/ha/año (Cuadro 14). En suelos de textura fina, como son los de la parte plana de Carimagua, se podrían hacer aplicaciones de mantenimiento cada dos años, ajustando las cantidades por aplicar (CIAT, 1983).

La aplicación de fertilizantes de mantenimiento se debe hacer en una época en la que el suelo tenga humedad suficiente para el crecimiento activo del pasto, pero no excesiva ya que provocaría pérdidas por lixiviación. La mejor época podría ser a finales o a principios de la estación lluviosa. Si las cantidades que se van aplicar son muy bajas, sería mejor hacer el mantenimiento cada dos años para reducir gastos de aplicación (CIAT, 1983).

Cuadro 14. *Guía general para determinar cantidades de macronutrimentos que se deben aplicar para el mantenimiento de potreros en Carimagua, Colombia (CIAT, 1983).*

Elemento	Nivel de exigencia[1] 1	2	3	4
	(kg/ha)			
P	6	12	18	24
K	6	12	18	24
Mg	4	8	12	16
S	4	8	12	16
Ca	12[2]	25	50	100

1 *Véase el Cuadro 2.*
2 *El contenido de Ca en algunas fuentes de P es suficiente para las necesidades de la mayoría de las especies.*

5.3.3. *Asociación de gramíneas-leguminosas*

La asociación de gramíneas-leguminosas es una de las estrategias usadas para disminuir el nivel de insumos en el sistema de producción de pastos. En una buena asociación de gramíneas y leguminosas, estas últimas pueden suministrarle N a las primeras además de contribuir con un alto porcentaje de la proteína total disponible para el ganado.

Hay mucha literatura referente a la distinta capacidad de las gramíneas y leguminosas para competir por K y P. Desde los trabajos de Gray *et al* (1953), está establecido con relativa claridad que las leguminosas son competitivas en situaciones de baja disponibilidad de P en tanto que ocurre el caso opuesto para las gramíneas con respecto al K.

El modelo de la Figura 22 se refiere a las praderas en Oxisoles arcillosos. Durante los primeros cuatro a cinco años después de la quema del bosque, la productividad y el vigor de las praderas son considerablemente elevados. En estos primeros años, tal vez no sea necesario aplicar la fertilización fosfatada, aún en la "pradera mejorada". Si la pradera se somete a una presión de pastoreo óptima, en la que se registre un equilibrio entre el potencial de

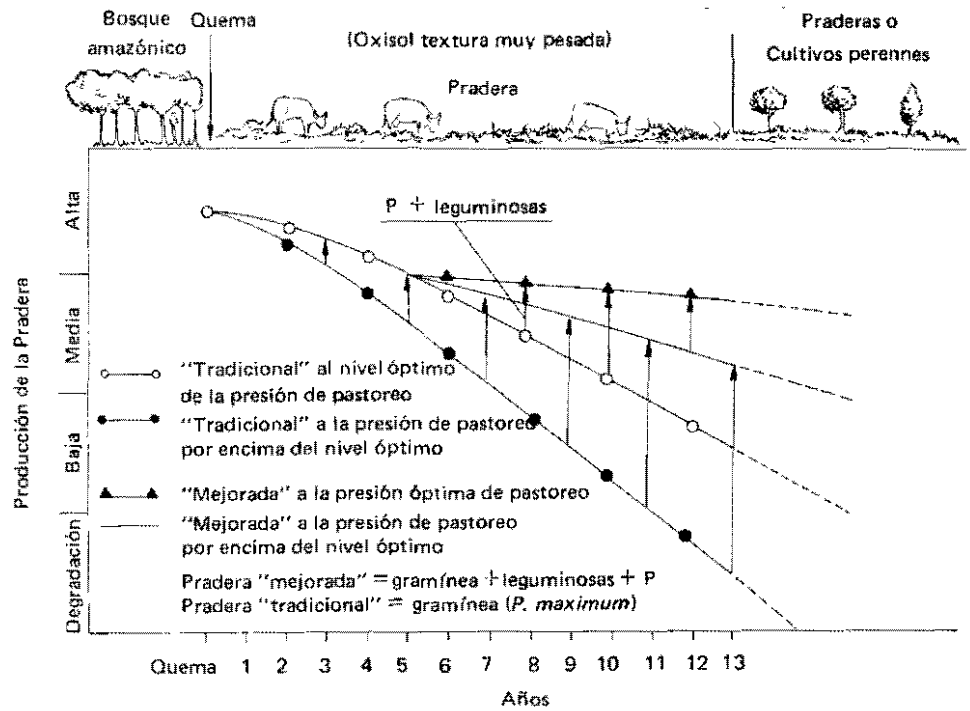

Figura 21. Modelo de la dinámica del sistema suelo-planta -animal en un Oxisol de textura muy pesada del bosque amazónico (Serrao, et al, 1979).

la pradera y el potencial del animal, se presentará una degradación natural y gradual en la "pradera tradicional" como consecuencia, principalmente, de la disminución de los niveles de P asimilable del suelo. El efecto de altas presiones de pastoreo deberá acelerar esa degradación natural, y la longevidad de la pradera probablemente no sobrepase una década. La compactación del suelo y la exposición del mismo a la erosión superficial y profunda, influirán poderosamente en este proceso.

En la "pradera mejorada" de gramíneas y leguminosas, la fertilización fosfatada se efectuaría únicamente después del cuarto o quinto año de utilización, al detectarse la iniciación del proceso de disminución natural de la productividad de la pradera acompañado por la reducción en el P asimilable en el suelo (Figura 21). En este sistema, especialmente si la pradera se somete a condiciones óptimas de presión de pastoreo, es factible que la productividad de la misma permanezca satisfactoria durante algunas décadas. Naturalmente, aún con una fertilización fosfatada periódica, obligatoriamente se presentará una disminución gradual, poco acentuada, de la productividad de la pradera, como resultado de posibles contenidos bajos de K y micronutrimentos en el suelo. No obstante, es posible que la fertilización fosfatada periódica, junto con la introducción de leguminosas y el manejo adecuado de la pradera, vuelvan más eficiente el mecanismo de reciclaje de K en el sistema suelo-planta-animal.

En la mayoría de los casos se ha demostrado que las mezclas de gramíneas y leguminosas son, en general, inestables, y en períodos relativamente cortos uno de los componentes queda suprimido por degradación. En general, se observa que la leguminosa es el componente suprimido debido al incremento del N del suelo que favorece e incrementa la agresividad de la gramínea.

Análisis teóricos sugieren que las leguminosas son más débiles que las gramíneas en cuanto a su competencia por luz, nutrimentos y agua. Esto se debe a que el mecanismo de fijación de N necesita grandes cantidades de energía (carbohidratos) que no se encuentran disponibles para competir por luz y nutrimentos. No debe sorprender, entonces, que distintos trabajos demuestren que para lograr la persistencia de la mayoría de las leguminosas se necesitan sistemas de corte o pastoreo intensos (Salinas y Di Tella, 1980).

Las asociaciones de *Andropogon gayanus* con *Stylosanthes capitata*, *A. gayanus* con *Pueraria phaseoloides*, *Panicum maximum* con *S. capitata* y *P. maximum* con *P. phaseoloides* se ensayaron en pastoreo, con tres dosis iniciales de P en Carimagua, Colombia (CIAT, 1982). Después de cuatro años de estudio, las observaciones principales ilustradas en la Figura 22, son las siguientes:

a. Al final del primer año de pastoreo, la leguminosa dominó casi completamente la asociación de *P. maximum* x *P. phaseoloides*. El pastoreo de este tratamiento se descontinuó en el segundo año y los potreros se renovaron mediante la siembra de las mismas especies.

b. La asociación *P. maximum* x *S. capitata* casi desapareció, debido a la disminución del vigor tanto de la gramínea como de la leguminosa, y al incremento de la presión de pastoreo.

c. La proporción de la leguminosa en la asociación *A. gayanus* y *S. capitata* decreció marcadamente después de los dos primeros años especialmente con las mayores dosis de P.

d. La dosis inicial de P permitió un mayor ofrecimiento de pasto (gramínea + leguminosa).

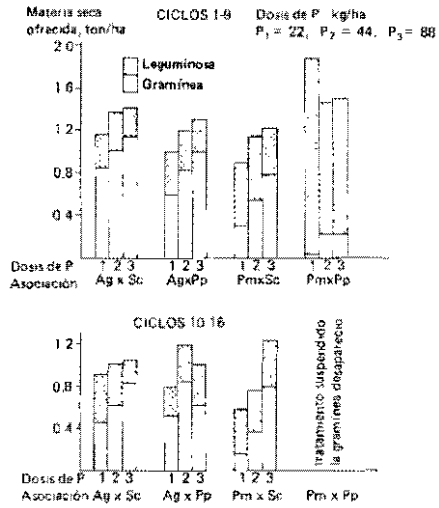

Figura 22. *Efecto de la dosis inicial de fósforo en el volumen de leguminosas y gramíneas ofrecido en asociación, Carimagua, Colombia (CIAT, 1982).*

Con el propósito de evaluar los efectos competitivos y específicamente los de tipo nutricional, existentes en mezclas de gramíneas y leguminosas, se estableció un ensayo en un Oxisol de Carimagua. Se empleó la gramínea *A. gayanus* 621 y la leguminosa *S. capitata* 1019. Esta asociación se sometió a los efectos de: a) una fertilización con tres fuentes y dos dosis de P aplicadas al voleo y b) la presencia y ausencia de una fertilización básica a la siembra.

En lo que respecta al efecto del P en la producción de materia seca, se observa en el Cuadro 15 que, en ausencia o presencia de una fertilización básica, el P aplicado favoreció particularmente a la gramínea. Independiente de la fuente de P, *A. gayanus* respondió significativamente a los primeros 20 kg de P/ha. Este aumento en producción de materia seca de la gramínea significó aumentos del 50% sin fertilización básica y del 100% con fertilización básica, en comparación con el testigo. Estos resultados sugierenque la presencia de otros nutrimentos en el suelo causaron un efecto positivo e interactivo con 20 kg de P/ha en la producción de *A. gayanus*. El efecto simple de la fertilización básica, independiente de la fuente y dosis de P, sólo fue superior en un 25% en comparación con la no aplicación de una fertilización básica.

En contraste con la respuesta de *A. gayanus*, la producción de materia seca de *S. capitata* dependió más de la aplicación de una fertilización básica. Esta respuesta de la leguminosa fue equivalente a un 63% de incremento en comparación con la materia seca producida por el testigo, alrededor de un 95% con 20 kg de P/ha y un 60% con 40 kg de P/ha. Por otra parte, el efecto simple de P fue aproximadamente un 30% y sólo al nivel de 20 kg de P/ha.

En este ensayo se observaron diferentes comportamientos de la gramínea y de la leguminosa en términos de la persistencia en la producción de forraje. La producción de materia seca de *S. capitata* por corte se disminuyó gradualmente con el tiempo y fue independiente de los tratamientos de fertilización aplicados. Este hecho corrobora resultados de estudios anteriores (CIAT, 1982) que sugieren que *S. capitata* es una leguminosa bianual cuya productividad decae con el tiempo.

5.3.4. Suplementación mineral de P a los animales

Para hacer recomendaciones relativamente precisas en cuanto a las aplicaciones de fertilizantes fosfóricos en cualquier esquema de manejo de praderas, es necesario tener una mejor comprensión de las necesidades de P de los pastos y de los

Cuadro 15. *Efecto de la aplicación de fósforo en una asociación de* Andropogon gayanus *y* Stylosanthes capitata *con y sin fertilización básica (CIAT, 1983a).*

Aplicación de P		Producción de materia seca (kg/ha/año)			
		Sin fertilización básica		Con fertilización básica[1]	
Fuentes	Dósis (kg de P/ha)	*A. gayanus*	*S. capitata*	*A. gayanus*	*S. capitata*
Testigo	0	3380	880	3176	1433
Superfosfato triple	20	5198	927	6414	1957
	40	4966	1146	6080	1874
Calfos	20	5012	890	6796	2014
	40	6359	1043	7548	1562
Roca fosfórica	20	5027	1104	6001	1732
	40	5416	1150	7132	1936

1 Fertilización básica (kg/ha): 33 de K; 111 de Ca; 24 de Mg; 14 de S; 5 de Zn; 1 de B.

suelos tropicales, y principalmente que estos resultados se relacionen con los requisitos nutricionales de los animales. Es decir, a pesar de que es importante que aumenten los rendimientos del forraje con la fertilización fosfórica, es más importante ver su efecto en el producto final, el ganado, que se alimenta de este forraje.

El Cuadro 16 presenta un ejemplo de un experimento de pastoreo realizado por Santhirasegaram (1974) en Pucallpa, Perú. Se observa como la adición anual de 11 kg de P/ha a una pradera de *Hyparrhenia rufa* (Yaragua) y *Pueraria phaseoloides* (Kudzú) incrementó la ganancia anual de peso vivo en 39 kg/ha y aumentó el porcentaje de hembras preñadas en un 13%. Cuando los animales recibieron suplementación mineral de P además del pastoreo en potrero fertilizado, la producción de carne subió a 350 kg/ha con una tasa de reproducción del 88%.

Un análisis más reciente de Santhirasegaram, 1976 (citado por Sánchez, 1977) indica que las praderas de gramíneas y leguminosas debidamente abonadas y con suplementación mineral al animal, son capaces de mantener una capacidad de carga de 2.4 unidades animales/ha, lo cual produce un 18% de ganancia por la inversión. Si se usan solamente gramíneas, la capacidad de carga baja a la mitad y la tasa de ganancia se reduce al 0.9%. Como se anotó anteriormente, el problema sigue siendo la persistencia de estas praderas. Un informe del IVITA (1976) (citado por Sánchez, 1977) indica que una alternativa es arar estas praderas, sembrar cultivos y abonarlos fuertemente por uno o dos años, y luego sembrar nuevamente los pastos.

Cuadro 16. *Efecto del fósforo en animales en pastoreo en praderas de* Hyparrhenia rufa *y* Pueraria phaseoloides. *Pucallpa, Perú (Adaptado de Santhirasegaram, 1974).*

Tratamiento	Ganancia anual de peso vivo (kg/ha)	Hembras preñadas (%)
H. rufa	79	—
H. rufa + *P. phaseoloides*	120	25
H. rufa + *P. phaseoloides* + 11 kg de P/ha/año	159	38
H. rufa + *P.phaseoloides* + 11 kg de P/ha/año + suplementación mineral	352	88

Preguntas

Encierre en un círculo la letra de la(s) alternativa(s) que considere correcta(s):

- *El P se puede perder de un sistema suelo-planta-animal.*

  a. por lixiviación
  b. por erosión
  c. por fijación
  d. al retirar el animal del potrero
  e. a, b, d

- *Después de 15 días de la deposición de heces en un potrero de* Brachiaria decumbens *se pueden encontrar:*

  a. 4 ppm de P disponible a 20 cm de la deposición
  b. 2.5 ppm de P disponible a 1.0 m de la deposición
  c. 1.0 ppm de P disponible a 1.0 m de la deposición
  d. 6.0 ppm de P disponible a 20 cm de la deposición
  e. a y b

- *Con una ganancia de 300 kg en peso vivo/ha/año, la extracción de P del potrero será de:*

  a. 22 kg
  b. 2.2 kg

c. *11 kg*
d. *30 kg*

- *Describa el efecto residual de diferentes fuentes de P en la producción de* Brachiaria decumbens.

- *Explique el efecto del N en la respuesta a la aplicación de P como fertilizante de mantenimiento.*

- *La aplicación de P a la asociación gramínea-leguminosa produce los siguientes efectos:*

	F	V
a. *permite un mayor ofrecimiento de pastos a los animales*	( )	( )
b. *favorece a la leguminosa especialmente cuando se aplica fertilización básica*	( )	( )
c. *la fuente de P no influye en los resultados obtenidos en cuanto a la producción de forraje*	( )	( )

- *La suplementación de P al animal, además de la fertilización fosfatada del pasto permite:*

	F	V
a. *mantener una capacidad de carga adecuada*	( )	( )
b. *incrementar la ganacia anual de peso vivo*	( )	( )
c. *usar solamente gramíneas en la pastura*	( )	( )

Resumen

La región de suelos ácidos de América tropical constituye una de las mayores extensiones de tierras inexplotadas del mundo y, por lo tanto, una gran reserva para la producción de alimentos, especialmente carne.

Como resultado del Proyecto de Evaluación de Recursos de Tierras para América Latina, se han identificado cinco ecosistemas principales:

a. Sabanas isohipertérmicas bien drenadas (Llanos de Colombia y Venezuela)
b. Sabanas isotérmicas bien drenadas (Cerrados brasilero)
c. Sabanas mal drenadas (Beni, Pantanal, Casanare, Apure)
d. Bosques estacionales semi-siempre verdes (Amazonía)
e. Bosques lluviosos tropicales (Amazonía)

Esta región ocupa aproximadamente 850 millones de hectáreas y se caracteriza por una precipitación alta, una estación seca de duración variable y suelos de fertilidad natural muy baja.

Los Oxisoles y Ultisoles cubren la mayor parte del área (55%). Estos suelos presentan propiedades físicas favorables, más no sus propiedades químicas; son suelos de alta ácidez (pH5.5) y con valores de saturación de Al generalmente mayores del 60%. El P generalmente se considera como el elemento más limitante; el contenido total de P oscila entre 200 y 600 ppm y el contenido de P disponible entre 1 y 3 ppm (Bray II).

Las explotaciones ganaderas se consideran como sistemas cuyos componentes son el suelo, la planta y el animal; de ellos es el suelo el componente que debe suplir el P ya sea del que posee (disponible) o del derivado de la aplicación de fertilizantes fosfatados.

Las alternativas de solución para corregir la baja disponibilidad de P son:

- La selección de especies de pastos tolerantes a las concentraciones altas de Al y al contenido bajo de P disponible en el suelo.
- El manejo de la fertilización fosfatada, usando en lo posible fuentes locales.
- La aplicación de enmiendas al suelo.

Durante la fase de establecimiento se debe lograr la población adecuada de plantas de especies forrajeras tolerantes a las condiciones de acidez e infertilidad de los suelos.

Debido al alto costo de los fertilizantes fosfatados importados, es razonable el uso de las rocas fosfóricas locales para suplir la cantidad de P que demanden las plantas.

En la determinación del valor agronómico y económico de las rocas para su aplicación directa en un suelo específico, se debe tener en cuenta su reactividad química, los requerimientos del pasto y las propiedades del suelo.

Además de la solubilidad de P de una roca fosfórica, otros factores que influyen en la efectividad agronómica son: el grado de acidulación y el sistema de aplicación. Se ha encontrado que la aplicación de fosfatos solubles en banda junto o muy cerca de la semilla, tiene ventajas si se compara con el sistema tradicional de aplicación al voleo.

Parece que el concepto de aplicar cal para aumentar la disponibilidad de P nativo es erróneo, pero el encalado promueve una respuesta adicional a nutrimentos como el Ca y el Mg que, por lo general son deficientes en suelos ácidos.

Durante la fase de mantenimiento, el P se mueve en el sistema suelo-planta-animal. Las pérdidas de este nutrimento ocurren por lixiviación, por erosión o por retiro total o parcial del animal. La degradación de las pasturas ocurre por las siguientes causas: uso de especies de gramíneas con requerimientos nutricionales relativamente altos; la no aplicación de fertilizantes; la no utilización de leguminosas; y el uso frecuente de cargas animales excesivamente altas.

El reciclaje del P en el sistema es un proceso que se debe estudiar para poder determinar las cantidades de P que se deben añadir al sistema, ya sea aplicado al pasto o aportado directamente al animal.

Las fuentes locales de P poseen igual poder residual que el SFT, ya sea que se apliquen a gramíneas solas o en asociación.

La introducción de la leguminosa y la aplicación de P permite un mayor ofrecimiento de pasto y aumento tanto en la ganancia anual de peso vivo como en la tasa de reproducción, pero la composición de la pastura no es estable.

Es importante recalcar el papel de otros nutrimentos como el N y el K en la respuesta de los pastos al P.

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. 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).

3. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1977. Programa de Ganado de Carne. *In* Informe Anual CIAT, 1976. 02SI-77 pp. A-1, A-123.

4. ——— 1979. Informe Anual del Programa de Pastos Tropicales. 1978. Cali, Colombia. 186 p.

5. ——— 1980. Informe Anual del Programa de Pastos Tropicales. 1979. Cali, Colombia. 138 p.

6. ——— 1981. Programa Anual de Pastos Tropicales, Informe 1980. Cali, Colombia. pp: 171-202.

7. ——— 1981 a. Establecimiento de praderas en sabanas bien drenadas de los Llanos Orientales de Colombia; guía de Estudio para ser usada como complemento de la

Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: James Spain. Producción: Cilia L. Fuentes de Piedrahíta y Ana María Barona. Cali, Colombia. CIAT 40 p. (Serie 04SP-01.01).

8. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1982. Informe Anual del Programa de Pastos Tropicales 1981. Cali, Colombia. 362 p.

9. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 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).

10. ———. 1983 a. Informe Anual del Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia (en imprenta).

11. ———. 1984. Reseña de los logros principales durante el período 1977-1983. Cali, Colombia. 104 p.

12. COCHRANE, T. T. 1979. Evaluación de los ecosistemas de sabana de América tropical para la producción de ganado de carne: Un estudio en marcha. *En*: Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Tergas, L. E. y Sánchez, P. A. (eds.) CIAT, Cali, Colombia. Serie 03SG-5. pp. 3-15.

13. CHIEN, S.H. y HAMMOND, L.L. 1978. A comparison of various laboratory methods for predictin the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:935-939.

14. CHIEN, S. H.; LEON, L. A. y TEJADA, H. R. 1980. Dissolution of North Carolina Phosphate Rock in Acid Colombian Soils as Related to Soil Properties. Soil Sc. Soc. of Am. J. 44(6):1267-1271.

15. FASSBENDER, H. W. 1974. Aspectos físico-químicos de las interacciones del fósforo con otros elementos. Suelos Ecuatoriales. 6(1):45-66.

16. 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. *In* Producción de Pastos en Suelos Acidos de los trópicos. Tergas, L. E. y Sánchez, P. A. (eds.). (CIAT, Serie 03SG-5) pp. 119-133.

17. GOEDERT, W. J. 1983. Efeito residual de fosfatos naturais en solos de Cerrado: Pesquisa Agropec. Brasileira. Brasilia, 18(5):499-506.

18. GRAY, B., DRAKE, M. y COLBY, W. 1953. Cation competition in grass-legume association as a function of root cation exchange capacity. Soil Sci. Soc. Proc. 17:235-239.

19. HAMMOND, L., LEON, L. A.; RESTREPO, L. G. 1982. Efecto residual de las aplicaciones de 7 fuentes de fósforo sobre el rendimiento de *Brachiaria decumbens* en un Oxisol de Carimagua. Suelos Ecuatoriales XII: 2. 196-206.

20. 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.

21. LEON, L. A.; FENSTER, W. E. y HAMMOND, L. L. 1981. Relative agronomic potential of eleven finely ground phosphate rocks from Brazil, Colombia, Peru and Venezuela. Trabajo presentado en: Annual Meeting of the American Society of Agronomy, Atlanta, Georgia, U.S.A.

22. LEON, L. A. y TOLEDO, J. M. 1982. El fósforo, elemento clave para las pasturas en la Amazonía. Suelos Ecuatoriales XII: 2 pp 246-269.

23. NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. 1975. Agronomic-economic research on tropical soils. Annual Report 1974. Soil Sc. Dep., N.C.S.U., Raleigh, N. C.

24. SALINAS, J. G. y DI TELLA, L. 1980. Estudios sobre la compatibilidad entre gramíneas y leguminosas tropicales. Programa de Pastos Tropicales. 16 p. (de uso limitado).

25. SANCHEZ, P. A. 1977. Alternativas al sistema de agricultura migratoria en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 44 p. Trabajo presentado ante la Reunión sobre Manejo, Conservación de Suelos y Agricultura Migratoria. Lima, Perú.

26. SANCHEZ, P. A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 634 p.

27. 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 02SG-5. pp. 29-58.

28. SANCHEZ, P. A. y SALINA, J. G. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America. Advances in Agronomy 34: 279-406.

29. ——— . 1983. Suelos Acidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, (ed.). Bogotá, Colombia, 93 p.

30. SANTHIRASEGARAM, K. 1974. Establishment and management of improved tropical grass/legume pastures, Proc. Sem. Potential for increase beef production in Tropical America, CIAT, Cali, Colombia.

CIAT LIBRARY
100023787