



## Efecto de la cal, superfosfato triple y fosforita, sobre un suelo Paleudult de la Cuenca del Lago de Maracaibo.<sup>1</sup>

AUDIO ATENCIO<sup>2</sup>  
W. G. BLUE<sup>3</sup>

### RESUMEN

En un experimento de invernadero, utilizando un Typic Paleudult del sector Machiques-Colón de la Cuenca del Lago de Maracaibo, fue medida la respuesta de la paja guinea (*Panicum maximum* Jacq.), a la aplicación de cal así como a la aplicación de P proveniente de dos fuentes, el superfosfato triple y la fosforita, siendo la segunda fuente una roca fosfatada extraída de las minas de Lobatera, en el Estado Táchira. También como respuesta a la aplicación de cal y P, se midieron algunos de los cambios químicos que ocurrieron en el suelo después de la cosecha final del pasto.

Los niveles de cal fueron 0, 1,5 y 3,0 me/100 g de suelo, los cuales fueron determinados utilizando el método de incubación. Los niveles de P fueron calculados en base al uso de las isotermas de adsorción de Langmuir. Los niveles fueron 1/16, 1/8 y 1/2 del valor máximo de adsorción de P (537 ppm) del suelo, para el caso del P proveniente del superfosfato, y un 1/4 y 1/2 de este valor máximo de adsorción, para el caso del P proveniente de la roca fosfatada. X

Se efectuaron tres cosechas del pasto guinea, en base a un intervalo de 45 días cada una. El rendimiento del pasto no fue significativamente afectado por la cal en la primera cosecha, aunque se encontró una interacción cal x P en la segunda y tercera cosecha. Hubo respuesta significativa al P del superfosfato en las tres cosechas. El rendimiento del pasto no fue afectado por el P proveniente de la roca fosfatada en la primera cosecha, pero hubo una respuesta significativa a esta fuente de P en la segunda cosecha, aún cuando los rendimientos obtenidos estuvieron por debajo de los obtenidos con los tres niveles de P provenientes del superfosfato. En la tercera cosecha, no hubo diferencias entre las respuestas a los dos máximos niveles de P provenientes del superfosfato y los dos niveles de P de la roca fosfatada.

El pH (H<sub>2</sub>O) del suelo varió de 4.0 en el suelo original a valores de 5.2 y 5.6 en respuesta a los valores máximos de cal, en combinación con el valor máximo de P del superfosfato y el valor máximo de P de la roca fosfatada,

<sup>1</sup> Recibido para su publicación el 4-10-78. Una versión de este trabajo fue entregado para su publicación en el Soil and Crop Science Society of Florida Proceeding.

<sup>2</sup> Ing. Agr. M.S., Departamento de Edafología, Facultad de Agronomía, Apartado 526. Universidad del Zulia, Maracaibo-Venezuela.

<sup>3</sup> Prof. del Departamento de Suelos. Universidad de Florida. Gainesville U.S.A.

respectivamente. La capacidad efectiva de intercambio catiónico aumentó desde 3.4 me/100 g en el suelo original, hasta valores de 4.4 y 4.9 me/100 g, como respuesta a los valores máximos de cal en combinación con el valor máximo de P del superfosfato y el valor máximo de P de la roca fosfatada, respectivamente. El porcentaje de saturación de aluminio en el complejo de intercambio disminuyó desde un 50 hasta un 0 por ciento, como respuesta a los valores máximos de cal y P de las dos fuentes.

#### ABSTRACT

A greenhouse pot experiment with a major soil (Typic Paleudult) from the western side of Lake Maracaibo was conducted to measure response of guineagrass (*Panicum maximum* Jacq.) to lime and P from triple superphosphate and the native pulverized rock phosphate (fosforita) from the Lobatera mines, Tachira State, Venezuela. As an effect of lime and P there were measured also some chemical changes in the soil after final harvest of the grass.

Lime requirement of the soil was determined by an incubation method. Phosphorus requirement was calculated from the P adsorption maximum of the soil using the Langmuir equation. Lime levels employed were 0, 1.5 and 3.0 me/100 g of soil. Phosphorus levels were 1/16, 1/8 and 1/2 of the P adsorption maximum determined in H<sub>2</sub>O (537 ppm) for P from triple superphosphate and 1/4 and 1/2 of the adsorption maximum for P from rock phosphate. Actual P rates were 0, 33, 66 and 264 ppm from superphosphate and 123 and 246 ppm from rock phosphate.

Three harvests were made at 45 day interval each one. Forage yield was not significantly affected by lime in the first harvest, although lime x P interactions were found in the second and third harvests. Significant response to P from superphosphate was obtained in all the three harvests. Forage growth was not affected by P from rock phosphate in the first harvest, but significant response was obtained in the second harvest, although yield was less than from treatments with triple superphosphate. At the third harvest, there were no differences between yields from the 66 and 264 ppm P treatments from superphosphate, and the two rates of P from rock phosphate.

Soil pH (H<sub>2</sub>O) changed from 4.0 in the virgin soil to 5.2 and 5.6 in response to the highest level of lime and the highest levels of P from triple superphosphate and rock phosphate, respectively. Effective cation exchange capacity in untreated soil was 3.4 me/100 g, and it increased to 4.4 and 4.9 me/100 g, in response to the highest levels of lime and the highest levels of P from triple superphosphate and rock phosphate, respectively. Aluminum saturation based on the effective exchange capacity was reduced from approximately 50 per cent in untreated soil to 0 per cent, in response to the highest levels of lime and P from both sources.

#### INTRODUCCION

La Cuenca del Lago de Maracaibo está localizada en la parte occidental de Venezuela. La superficie de la Cuenca abarca unos 4 millones y medio de Has, excluyendo el espejo libre del Lago así como la cordillera andina cuyas aguas vierten hacia el Lago. Esta superficie así delimitada, ha sido dividida en 16 sectores, dependiendo de las condiciones de clima, topografía y suelos. La precipitación en la Cuenca varía desde 387 mm promedio anual en el norte (bosque muy seco tropical), hasta 2.690 mm promedio anual en el sur (bosque húmedo tropical). Estas grandes diferencias climá-

ticas condicionan dos áreas de manejo totalmente diferentes en la Cuenca. Por un lado, en la parte norte el riego es una necesidad, mientras que en la parte sur los principales problemas a resolver son el drenaje en las planicies aluviales, así como la corrección de los problemas de fertilidad en las áreas restantes de topografía accidentada. Basado en este esquema, en el área norte predominan la siembra de frutales bajo riego, y en el área sur predomina la siembra de pastos y el cultivo del plátano, en condiciones de secano.

Existen también grandes variaciones en los tipos de suelos presentes en la Cuenca. Se pueden encontrar suelos de formaciones relativamente recientes, tales como Entisoles e Inceptisoles en las partes planas cerca de los numerosos ríos presentes en el área, y suelos altamente meteorizados como los Ultisoles de los sectores de topografía suavemente ondulada.

Este trabajo fue realizado con una muestra de suelo de los más predominantes del sector "F" de la Cuenca del Lago de Maracaibo, de acuerdo con la sectorización efectuada por COPLANARH (4), los cuales han sido clasificados como Ultisoles. Ellos ocupan más de 180.000 Has en el sector y casi 500.000 Has en la Cuenca. Son suelos de textura franco arcillo arenosa en los primeros 65 cm superficiales y arcillo arenosos por debajo de esta profundidad. Están en condiciones de topografía ondulada y presentan un horizonte argílico a partir de los 65 cm. Son suelos extremadamente ácidos, con valores de pH en agua menores de 4.5. Los contenidos de C y N son relativamente bajos. La fertilidad natural es baja y el aluminio intercambiable es suficiente, como para ser considerado tóxico para una gran cantidad de plantas. Como resultado de estas características, los rendimientos en forraje de la mayoría de los pastos cultivados del área son bajos, principalmente el pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.). Otro efecto importante de las condiciones de suelos citados, es que las raíces de los pastos son superficiales y los problemas de erosión son graves.

En estos suelos la cantidad de aluminio intercambiable en la solución del suelo, basado en la capacidad efectiva de intercambio catiónico, es del orden del 50 por ciento, lo cual lo hace considerar como tóxico para la mayoría de las plantas (9), presentándose además problemas de fijación de P. La cal se considera que reduce la adsorción de P (17) y la disponibilidad del P puede aumentar cuando se encala estos suelos hasta obtener valores de pH entre 5.5 y 7.0 (15). Hasta la fecha ha habido una considerable investigación y discusión acerca de cuál es la mejor manera de suplir P a los suelos que tengan altas capacidades de fijación de P. Ha sido sugerido por numerosos investigadores que una suficiente cantidad del elemento debe ser supli-do a los suelos que tengan una alta capacidad de fijación. Esto se considera una alta inversión y económicamente imposible cuando se trate de cultivos de plantas de escaso valor. Sin embargo, Hutton y Robertson (6) en Florida y Kamprath (8) en North Carolina, han indicado que en suelos similares, aplicaciones anuales relativamente bajas del elemento aumentan los rendimientos en forma dramática y que los niveles de producción después de 5 años son tan altos como los obtenidos de suelos similares, los cuales recibieron altas dosis iniciales del nutriente.

En resumen, se considera que suelos con estas características requieren cal y P para aumentar la producción de los cultivos. La cal es relativamente cara y aún más los fertilizantes fosfatados, los cuales tienen que ser importados. Una alternativa más económica en cuanto a la fuente de P puede ser una roca fosfatada como la fosforita, extraída de las minas de Lobatera, Estado Táchira.

De acuerdo a lo anteriormente planteado, como objetivo de este trabajo estuvieron el determinar el efecto de la aplicación de cal y P sobre el rendimiento del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.), y sobre algunas propiedades químicas de un Ultisol, utilizando para ello caliza agrícola, superfosfato triple y roca fosfórica molida (fosforita), aplicados a un suelo representativo del área.

## MATERIALES Y METODOS

El suelo utilizado en el experimento fue el horizonte A<sub>1</sub> de un Typic Paleudult, franco fino, caolínico, ácido hipotérmico, localizado al sur oeste de la Cuenca del Lago de Maracaibo, correspondiente al sector "F", de acuerdo a la división efectuada por COPLANARH (4). El sitio de muestreo del suelo está ubicado en la Finca Guachi, en la vía El Rosario, entre las poblaciones de Machiques y La Fría. La textura del horizonte superficial muestreado fue franco arcillo arenoso.

La cal fue incorporada al suelo secado al aire, previamente pasado a través de una rejilla de 2 mm, a los niveles de 0; 1.5 y 3.0 me/100 g de suelo. Los valores de pH obtenidos con estos niveles de cal después de 3 semanas de incubación habían sido 5.1; 5.8 y 6.6, respectivamente.

Muestras del suelo fueron equilibradas con diferentes concentraciones de P provenientes del  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , durante un período de 17 horas. La adsorción máxima de P por el suelo fue calculada de acuerdo a la forma lineal de la ecuación de Langmuir (14, 17). El valor de la adsorción máxima de P fue de 537 ppm. Los niveles de P utilizados fueron 0, 1/16, 1/8 y 1/2 del valor de la adsorción máxima del elemento, para el caso del triple superfosfato; y 1/4 y 1/2 de la adsorción máxima del elemento, para el caso de la roca fosfatada.

Hubo una aplicación de 15 ppm de FTE 503\* a todas las muestras de suelo, como una fuente de micronutrientes.

Después de 15 días de incubación con los diferentes niveles de cal en el suelo, así como con los micronutrientes, 2 Kg de suelo fueron mezclados con las apropiadas cantidades de P, utilizando una mezcladora-separadora. Estos 2 Kg de suelo fueron colocados en potes plásticos, donde previamente se habían colocado 1.3 Kg de grava lavada.

El diseño experimental empleado fue parcelas divididas en bloques al azar con arreglo factorial 6 x 3 (3 niveles de cal y 6 niveles de P), con cuatro repeticiones, generando un total de 72 tratamientos.

Las semillas del pasto guinea fueron sembradas el 24 de Diciembre de 1976. Para el 1° de Enero de 1977 la mayoría de las semillas habían germinado. El 10 de Enero, las plántulas fueron raleadas a cinco por pote, y una solución nutritiva conteniendo 100 ppm de N proveniente del  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 50 ppm de K proveniente del KCl y 20 ppm de Mg proveniente del  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , fue adicionada a cada pote. La humedad del suelo fue mantenida a capacidad de campo agregando agua destilada y evitando el drenaje, y la temperatura fue mantenida entre 22 a 32°C.

---

\* El FTE 503 contiene 18,0 por ciento Fe; 7,5 por ciento Mn; 7,0 por ciento Zn; 3,0 por ciento Cu; 3,0 por ciento B y 0,2 por ciento Mo.

Tres cosechas fueron efectuadas a un intervalo de 45 días cada una. Después de la primera y la segunda cosecha, fueron aplicadas las mismas soluciones nutritivas conteniendo N, K y Mg. Después de la tercera cosecha se colectaron las raíces y el resto de los tallos.

El forraje proveniente de cada cosecha fue secado a 70°C, pesado y molido en un molino de acero inoxidable. Lo mismo fue efectuado con las raíces y los tallos provenientes de la tercera cosecha. Un gramo de este material así obtenido fue convertido en cenizas, por calentamiento a 450°C durante 4 horas, con el fin de determinar P, K, Ca, Mg, Zn, Cu y Fe. A tal efecto, la ceniza así obtenida, fue enfiada antes de agregarle 20 ml de 5 N HCl. Estas soluciones fueron evaporadas hasta sequedad en un plato caliente. Los residuos fueron redisueltos en 2.5 ml de 5N HCl, llevados a un volumen aproximado de 20 ml, calentados hasta ebullición y filtrados a través de un filtro de papel N° 41. El filtrado fue llevado a un volumen de 50 ml agregándole agua destilada. El P fue determinado por el método de desarrollo del color azul utilizando el ácido amino-naftol-sulfónico-molibdofósforico reducido (5). El K fue determinado por espectrofotometría de llama y los otros nutrientes por absorción atómica.

En las muestras de suelo se efectuaron las siguientes determinaciones: El pH fue determinado en la proporción 1:2 en agua y en 1N KCl. El P, Ca, Mg, y K fueron extraídos por el método del doble ácido (12). El P total fue determinado por la fusión con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (7). La acidez total fue determinada lavando las muestras de suelo con 1N KCl y titulando con 0.05 N NaOH. Las soluciones fueron retituladas con 0.05 N HCl, después de la adición de 10 ml de una solución de al 4 por ciento de NaF, con el fin de obtener el aluminio intercambiable. El H intercambiable se obtuvo por la diferencia entre los dos valores anteriores (11). El Calcio y el Mg fueron determinados por adsorción atómica en la misma solución anterior. La capacidad efectiva de intercambio catiónico fue la suma del H, Al, Ca y Mg intercambiable (3). El fraccionamiento del P fue determinado por el método de Chang y Jackson (2) y el P fue calculado en las soluciones obtenidas en el fraccionamiento, utilizando el método del ácido ascórbico (16).

Un análisis de varianza por medio de computadora, fue efectuado para todos los datos (1). Las medias de los tratamientos fueron comparados por medio de la prueba de Duncan, utilizando el procedimiento computable (1).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Características del suelo

Los datos del análisis del suelo aparecen en la Tabla 1. Ellas muestran que el pH del suelo en  $\text{H}_2\text{O}$  y en KCl fueron 4.0 y 3.5 respectivamente, lo cual indica su carga neta negativa en el complejo de intercambio. La capacidad efectiva de intercambio catiónico, fue 3,40 me/100 g de suelo y el aluminio intercambiable fue de casi un 50 por ciento del complejo de intercambio. El P total fue de 84 ppm con casi un 50 por ciento en la forma de fosfatos de hierro. Los minerales de arcilla predominantes fueron caolinita, un intergrado de vermiculita no expansible y cuarzo.

### Respuesta de la planta a la cal y el fósforo

La aplicación de cal no afectó la producción de forraje (Tabla 2). En la primera cosecha, el incremento del pasto solo fue afectado por la aplicación de P proveniente del superfosfato, siendo el mayor rendimiento el produ-

TABLA 1. Características del Typic Paleudult utilizado en el experimento.

Minerales	pH		CEIC*	Al	Al	Fracción del P			P Total
	H <sub>2</sub> O	KCl				Al	Fe	Ca	
Caolinita			me/100 g		Porcentaje	ppm			
Integrados no expansibles	4.0	3.5	3.40	1.60	47	6	41	4	84
Cuarzo									

\* Capacidad efectiva de intercambio catiónico.

TABLA 2. Rendimiento en materia seca del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) como un efecto de la cal y el fósforo aplicados al suelo.

CaCO <sub>3</sub> aplicado	P aplicado, ppm						
	Superfosfato triple				Roca fosfatada		
	0	33	66	264	123	246	Media
me/100 g	Rendimiento, g/pote						
	Primera cosecha						
0.0	0.3	2.3	2.8	3.1	0.4	0.6	1.5
1.5	0.5	2.5	2.7	2.9	0.4	0.4	1.5
3.0	0.3	2.4	2.6	3.1	0.2	0.2	1.5
Media	0.3p+	2.4o	2.7n	3.0m	0.3p	0.4p	
	Segunda cosecha						
0.0	3.5d	9.4b	10.5b	12.3a	7.8c	7.9c	8.6
1.5	5.1c	9.5b	11.8a	12.3a	5.8c	6.3c	8.5
3.0	3.6d	9.6b	11.7a	12.6a	6.4c	5.6c	8.3
Media	4.1q	9.5o	11.3n	12.4m	6.7p	6.6p	
	Tercera cosecha						
0.0	4.0c	6.9b	8.3a	8.4a	8.7a	9.1a	7.6
1.5	6.4c	7.7b	7.8b	9.1a	8.1b	8.5ab	7.9
3.0	5.2c	8.8a	9.0a	8.6a	7.5b	8.2ab	7.9
Media	5.2o	7.8n	8.3mn	8.7m	8.1mn	8.6m	
	Rendimiento Total						
0.0	7.8d	18.6c	21.8b	23.8a	16.9c	17.6c	17.8
1.5	12.0c	19.7c	22.3b	24.3a	14.3d	15.2d	18.0
3.0	9.1d	20.8b	23.3a	24.3a	14.2e	14.0c	17.6
Media	9.6q	19.7o	22.5n	24.1m	15.1p	15.6p	

+ Los valores en las filas seguidos por la misma letra no difieren significativamente al nivel de 5 por ciento de probabilidad de acuerdo a la prueba de Duncan.

cido como efecto de la aplicación de 264 ppm de P. En la segunda cosecha, hubo un aumento en los rendimientos como respuesta a la aplicación de P tanto del superfosfato como de la roca fosfatada, aún cuando la efectividad

del superfosfato fue superior a la roca fosfatada. En la tercera cosecha hubo también respuesta a ambas fuentes del nutriente, y la roca fosfatada fue tan efectiva como el superfosfato. El rendimiento total del pasto en las tres cosechas, muestra que la más espectacular respuesta al P se logra con la dosis más baja del elemento en la forma del superfosfato, ya que la respuesta a los otros niveles superiores es solo ligeramente superior. La respuesta a la roca fosfatada fue aproximadamente la misma con los dos niveles aplicados y fue menos efectiva que el nivel de 33 ppm de P proveniente del superfosfato. La interacción cal x P fue significativa, pero esto es explicable por el efecto adverso del pH en la solubilidad de la roca fosfatada, ya que la cal no tiene efecto sobre la efectividad del P proveniente del superfosfato. Esta relación puede ser visualizada en la Fig 1, en la que se nota un mayor rendimiento del pasto como respuesta a la aplicación del P, como roca fosfatada y sin cal. En la combinación cal x P del superfosfato no se notan diferencias.

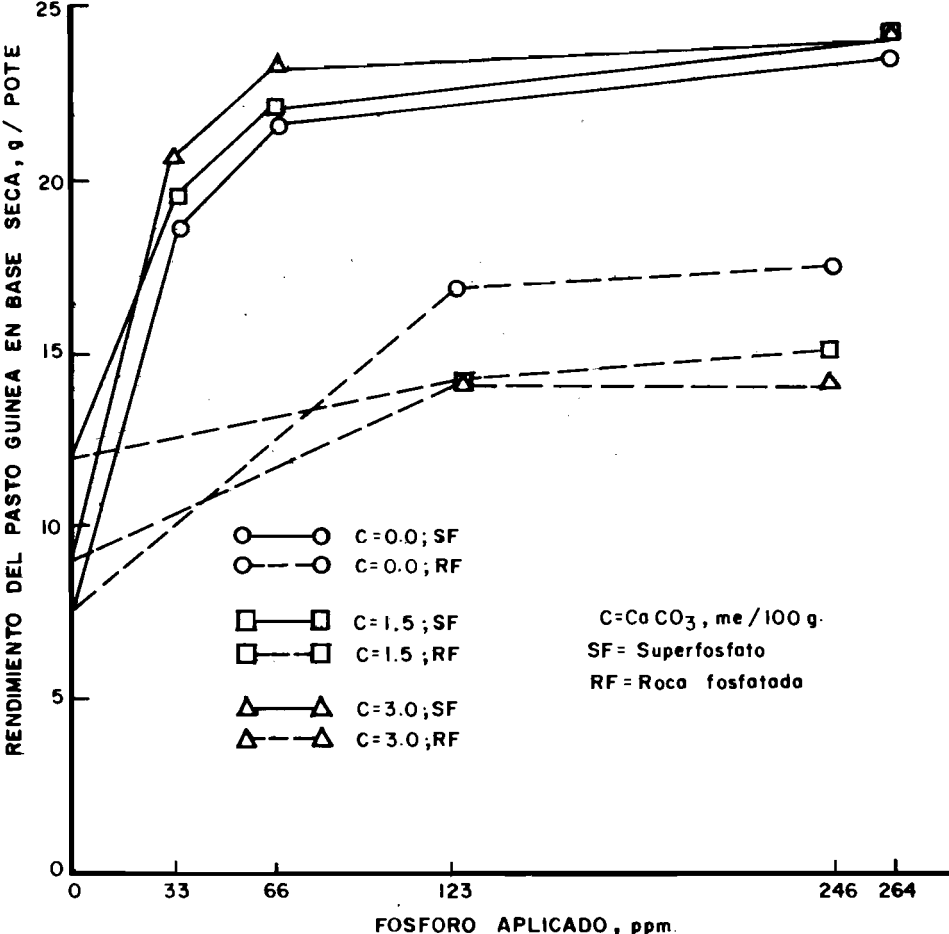


FIGURA 1. RENDIMIENTO TOTAL DEL PASTO GUINEA, COMO UN EFECTO DE LA CAL Y EL FOSFORO APLICADOS AL SUELO

El promedio de concentración de P en el pasto, tomando en cuenta las tres cosechas (Tabla 3), indica que una concentración del elemento de aproximadamente 0,08 a 0,10 por ciento es suficiente para un óptimo crecimiento. Estas concentraciones se producen como respuesta a los niveles de 33 y 66 ppm de P del superfosfato. La concentración de P en el forraje como respuesta a la aplicación de la roca fosfatada, sin cal, fue de 0,10 por ciento y declinó a 0,07 por ciento cuando combinado con la más alta dosis de cal, lo cual lo igualó al valor de concentración de P en la planta, sin haberle aplicado P al suelo. De acuerdo al National Research Council de Estados Unidos de Norteamérica (13) el valor de 0,10 por ciento de concentración de P en el forraje es bajo, lo cual indica que puede considerarse como más económico suplir una cantidad extra de P a los animales a través de una suplementación mineral, antes que a través del forraje, por intermedio de una excesiva dosis del fertilizante.

TABLA 3. Efecto de la cal y el fósforo sobre la concentración de fósforo y calcio en el pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.), expresado en base seca. Valor promedio de las tres cosechas.

CaCO <sub>3</sub> aplicado	P aplicado, ppm					
	Superfosfato triple				Roca fosfatada	
	0	33	66	264	123	246
me/100 g	P, Porcentaje					
0	0.07c <sup>+</sup>	0.08bc	0.10b	0.26a	0.10b	0.10b
1.5	0.07c	0.09bc	0.10b	0.24a	0.08c	0.07c
3.0	0.06c	0.08bc	0.09b	0.24a	0.07c	0.07c
	Ca, Porcentaje					
0	0.47c	0.50c	0.45c	0.45c	0.64b	0.76a
1.5	0.80b	0.79b	0.72c	0.71c	0.88a	0.88a
3.0	0.90ab	0.89ab	0.86b	0.85b	0.96a	0.97a

+ Los valores en las filas seguidos por la misma letra no difieren significativamente al nivel de 5 por ciento de probabilidad de acuerdo a la prueba de Duncan.

La concentración de Ca en el forraje aumentó como respuesta a la cal y a la roca fosfatada (Tabla 3). Una concentración de Ca de aproximadamente 0,45 por ciento parece ser adecuado para un buen crecimiento de la planta.

Las concentraciones de los demás nutrientes en el forraje, disminuyeron a través de cada cosecha, pero ninguno de ellos, a la excepción del P ya estudiado, pareció ser lo suficientemente bajo como para limitar el crecimiento del pasto guinea.

#### Respuesta de las raíces a la cal y el fósforo:

Hubo un marcado aumento en el peso de las raíces (Tabla 4) como un efecto de la aplicación de las 33 ppm de P como superfosfato. También hubo un efecto en el peso de las raíces para el caso de la roca fosfatada, sin la aplicación de cal aunque en menor grado que para el superfosfato. De nuevo el efecto de la cal fue en la disminución de la solubilidad de la roca fosfatada, a medida que aumentó el pH.



TABLA 4. Peso de las raíces y resto de los tallos del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y concentraciones de fósforo y calcio dentro de éstas, como un efecto de la cal y el fósforo aplicados al suelo. Base seca.

CaCO <sub>3</sub> aplicado	P aplicado, ppm						
	Superfosfato triple				Roca fosfatada		
	0	33	66	264	123	246	Media
me/100 g	peso de las raíces y resto de tallos, mg/pote						
0	2.0d <sup>+</sup>	8.4b	9.0b	10.6a	5.7c	5.6c	6.9
1.5	3.9b	8.1a	8.3a	9.0a	4.8b	4.7b	6.5
3.0	3.3c	8.0b	8.7b	10.3a	3.4c	3.2c	6.2
Media	3.1p	8.1n	8.6n	9.9m	4.6o	4.5o	
	P, Porcentaje						
0	0.07	0.07	0.08	0.15	0.09	0.10	0.09
1.5	0.06	0.08	0.08	0.15	0.08	0.08	0.09
3.0	0.05	0.08	0.08	0.14	0.08	0.08	0.09
Media	0.06p	0.07o	0.08n	— .15m	0.08n	0.08n	
	Ca, Porcentaje						
0	0.33	0.28	0.25	0.23	0.33	0.43	0.32z
1.5	0.45	0.35	0.38	0.38	0.50	0.50	0.43y
3.0	0.55	0.45	0.45	0.40	0.58	0.60	0.50x
Media	0.44m	0.36o	0.36o	0.33o	0.47mn	0.51m	

+ Los valores en las filas y las columnas seguidos por la misma letra no difieren significativamente al nivel de 5 por ciento de probabilidad de acuerdo a la prueba de Duncan.

Una concentración de P en las raíces (Tabla 4) de aproximadamente 0,08 por ciento parece ser adecuado para un óptimo crecimiento. Una concentración de Ca de aproximadamente 0,25 por ciento, igualmente parece ser no limitante para el crecimiento de las raíces.

#### Cambios en las propiedades del suelo:

El pH del suelo después de la tercera cosecha (Tabla 5) fue sustancialmente más bajo que el valor obtenido inmediatamente después de la incubación del suelo en la oportunidad de la selección de los niveles de cal. Así, el pH del suelo alcanzó durante este período el valor de 5,1, pero después de la fertilización y la cosecha se puede observar que declinó a su original valor 4,0. El pH de los suelos incubados con cal a los niveles de 1,5 y 3,0 me de CaCO<sub>3</sub>/100 g de suelo fueron 5,8 y 6,6, respectivamente, comparados con los valores de 4,7 y 5,1 para los mismos niveles de cal, pero después de la tercera cosecha. Coleman y Thomas (3) han indicado que el H y Al intercambiable se neutraliza rápidamente, pero que la neutralización de las intercapas de hidroxil-aluminio es relativamente baja. De aquí que el valor final del pH al final de la tercera cosecha fue una consecuencia del desplazamiento e hidrólisis de los hidroxil-Al, después de la inicial neutralización del H intercambiable y el Al monomérico. El superfosfato tuvo poco efecto sobre el pH en ausencia de la cal. Sin embargo en presencia de 1,5 y 3,0 me/100 g de suelo, el superfosfato aumentó el pH del suelo por encima del cambio efectuado por la cal sola. En cuanto a la roca fosfatada, ésta causó un aumento del pH debido a la alta cantidad de Ca presente en este material.

Es así que el pH máximo de 5,6 fue encontrado con los más altos niveles de cal y P, como roca fosfatada.

TABLA 5. Cambios en las propiedades del suelo después de la tercera cosecha, como un efecto de la cal y el fósforo aplicados a éste.

CaCO <sub>3</sub> aplicado	P aplicado, ppm						
	Superfosfato triple				Roca fosfatada		
	0	33	66	264	123	246	Media
me/100 g	pH (H <sub>2</sub> O)						
0	4.1c <sup>+</sup>	4.0c	4.0c	4.1c	4.4b	4.6a	4.2
1.5	4.3c	4.6c	4.6c	4.7c	4.8b	5.1a	4.7
3.0	4.6d	5.0b	5.0bc	5.2b	5.1b	5.6a	5.1
Media	4.3p	4.6no	4.5o	4.7n	4.8n	5.1n	
	Al intercambiable, me/100 g						
0	1.58	1.58	1.75	1.38	0.90	0.39	1.26
1.5	0.62	0.43	0.45	0.27	0.17	0.08	0.34
3.0	0.10	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
	Al, por ciento de saturación						
0	46.1	48.6	52.6	36.1	26.7	11.6	37.0
1.5	17.2	12.8	13.0	6.9	4.2	1.8	9.3
3.0	2.4	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
	Capacidad efectiva de intercambio catiónico, me/100 g						
0	3.43	3.25	3.33	3.82	3.37	3.35	3.4
1.5	3.61	3.35	3.47	3.92	4.02	4.45	3.8
3.0	4.10	3.66	3.68	4.39	4.47	4.87	4.2

+ Los valores en las filas seguidos por la misma letra no difieren significativamente al nivel de 5 por ciento de probabilidad de acuerdo a la prueba de Duncan.

El Al intercambiable (Tabla 5) disminuyó desde aproximadamente 1,50 me/100 g de suelo en el suelo sin cal y con los varios niveles de P del superfosfato, hasta 0,50 en presencia de 1,5 me de CaCO<sub>3</sub>/100 g de suelo; y hasta 0, en presencia de 3,0 me de CaCO<sub>3</sub>/100 g de suelo. El Al intercambiable también se redujo sustancialmente en presencia de la roca fosfatada, debido a la adicional cantidad de Ca que este material proporciona. En cuanto a los valores de porcentaje de saturación de Al en el complejo de intercambio, éste disminuyó desde un 50 por ciento hasta un valor de 0 por ciento, como respuesta a los más altos niveles de cal y P de las dos fuentes.

La capacidad efectiva de intercambio catiónico (Tabla 5) aumentó desde 3,4 me/100 g en el suelo original, hasta valores de 4,4 y 4,9 me/100 g, como respuesta a los valores máximos de cal, en combinación con el valor máximo de P del superfosfato y el valor máximo de P de la roca fosfatada, respectivamente.

La cantidad de P extraíble del suelo (Tabla 6) por el método del doble ácido (12) no fue afectado por la cantidad de cal aplicado a éste, pero aumentó en forma substancial como respuesta a la aplicación de P, de ambas fuentes del elemento. Valores dentro del rango de 5 a 15 ppm del nutriente,

parecen ser adecuados para el crecimiento de las plantas, para el caso del superfosfato. Aunque se extrajo una considerable cantidad de P de aquéllos suelos donde se aplicó P en forma de roca fosfatada, la respuesta del pasto indica que aparentemente el nutriente no estuvo disponible para la planta. Para el caso del Ca (Tabla 6) aproximadamente 2/3 de la cantidad aplicada como CaCO<sub>3</sub> fue extraíble de nuevo, para el caso del efecto combinado con el superfosfato; sin embargo, cuando se observa en combinación con la roca fosfatada, se puede notar la cantidad adicional de Ca que aporta la roca como tal.

TABLA 6. Cantidad de fósforo y calcio extraíble del suelo después de la tercera cosecha del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) utilizando el método del doble ácido.

CaCO <sub>3</sub> aplicado	P aplicado, ppm						
	Superfosfato triple				Roca fosfatada		
	0	33	66	264	123	246	Media
me/100 g	P extraíble, ppm						
0	3f <sup>+</sup>	6e	13d	46b	34c	70a	29
1.5	2f	5e	13d	50b	40c	80a	32
3.0	3f	5e	12d	55b	38c	70a	31
Media	3y	5q	13p	50n	37o	73m	
	Ca extraíble, ppm						
0	1.1d	1.3d	1.2d	1.8c	2.9b	4.5a	2.1
1.5	2.1d	2.3d	2.4d	3.2c	4.3b	5.9a	3.3
3.0	2.9d	3.2d	3.d2	4.2c	5.1b	7.1a	4.4
Media	2.0q	2.2pq	2.2p	3.0o	4.1n	5.8m	

+ Los valores en las filas seguidos por la misma letra no difieren significativamente al nivel de 5 por ciento de probabilidad de acuerdo a la prueba de Duncan.

La cantidad total de P en el suelo (Tabla 7) fue inicialmente de 84 ppm, lo cual puede ser considerado como un valor relativamente bajo (10). Las formas dominantes del elemento estaban en la forma Fe-P y P-ocluído. Con la adición de superfosfato al nivel de 33 ppm, aproximadamente un 20 por ciento del P aplicado fue extraído como Al-P y un 50 por ciento como Fe-P. La proporción Al-P a Fe-P fue aumentando a medida que se fueron aumentando los niveles de P aplicados en el suelo, y al nivel de los 264 ppm de P, prácticamente la proporción Al-P a Fe-P se hizo igual a 1. Para el caso de la respuesta a la roca fosfatada, la mayor proporción del P fue extraído como Ca-P. La evidencia en cuanto a la respuesta de la planta al P de la roca fosfatada, contradice estos resultados lo cual puede ser explicado simplemente porque la roca fosfatada se hace soluble en presencia del doble ácido utilizado en el método de extracción del elemento.

TABLA 7. Fraccionamiento del P y la cantidad del elemento en el suelo después de la tercera cosecha del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.).

CaCO <sub>3</sub> aplicado	P aplicado, ppm					
	Superfosfato triple				Roca fosfatada	
	0	33	66	264	123	246
me/100 g	Al - P, ppm					
0	5	11	18	88	8	9
1.5	6	12	21	100	8	9
3.0	6	11	19	97	8	9
	Fe - P, ppm					
0	36	51	72	130	46	46
1.5	36	54	72	123	42	42
3.0	35	54	67	124	41	41
	Ca - P, ppm					
0	4	4	7	9	85	175
1.5	3	5	5	10	87	185
3.0	3	4	5	12	115	188
	P total, ppm					
0	80	98	125	253	175	290
1.5	76	100	130	249	175	287
3.0	78	98	130	250	193	288

#### LITERATURA CITADA

1. BARR, A.J., GOODNIGHT, J.H., STALL, J.P. & HELWIG, J.T. A user's guide to SAS. SAS Institute, Inc. Raleigh, N.C. 1976.
2. CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Soil phosphorus fractions in some representative soils. *Journal of Soil Science*. 95: 91-96. 1958.
3. COLEMAN, N.T. & THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In R.W. Pearson & F. Adams (ed.) *Soil acidity and liming*. American Society of Agronomy, Madison, WI. 1-41. 1967.
4. COPLANARH. Inventario nacional de tierras. Región del Lago de Maracaibo. Publicación N° 34. Caracas, Venezuela. 1974.
5. FISKE, G.H. & SUBBAROW, Y. The colorimetric determination of phosphorus. *Journal of Biological Chemistry*. 66: 375-400. 1925.
6. HUTTON, C.E. & ROBERTSON, W.K. Corn yield response to residual phosphorus and potassium on two west Florida Soil types. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*. 21: 191-200. 1961.
7. JACKSON, M.L. *Soil Chemical analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 1958.
8. KAMPRATH, E.J. Residual effect of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. *Agronomy Journal*. 59: 25-27. 1967.
9. KAMPRATH, E.J. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Science Society of American Proceedings*. 34: 25-254. 1970.
10. McKENZIE, E. Jr., KURTZ, L.T. & MELSTED, S.W. Phosphorus fertility of some tropical soils in Sierra Leone. *Soil Science Society of American Journal*. 41: 378-381. 1977.
11. McLEAN, E.D. Aluminium. In C.A. Black et al (ed.). *Methods of soil analysis*. Agronomy. American Society of Agronomy. Madison, WI.

12. MEHLICH, A. *Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub>*. North Carolina Soil Test Division. Raleigh, N.C. 1953.
13. NATIONAL RESEARCH COUNCIL, COMMITTEE ON ANIMAL NUTRITION. *Nutrients requirements of domestic animals. N° 4. Nutrient requirements of beef cattle*. National Academy of Science, Washington, D.C. 1970.
14. OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. *A method to determine phosphorus adsorption of soils as measured by the Langmuir isotherm*. *Soil Science of American Proceeding*. 21: 144-149. 1957.
15. TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. *Soil fertility and fertilizers*. 3rd. Ed. McMillan Pub. Co., Inc. N.Y. 1975.
16. WATANABE, F.S. & OLSEN, S.R. *Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soils*. *Soil Science Society of American Proceedings*. 29: 677-678. 1965.
17. WOODRUFF, J.R. & KAMPRATH, E.J. *Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability*. *Soil Science Society of American Proceedings*. 29: 148-150. 1965.