

# EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA SOBRE EL TENOR DE FÓSFORO DE CINCO SUELOS DEL PARAGUAY Y EL CRECIMIENTO DEL MAÍZ - (*Zea mays L'*)

PERONI MAYANS, R.S.<sup>1</sup>  
RASCHE ALVAREZ, J.<sup>3</sup>

## ABSTRACT

In the Facultad de Ciencias Agrarias of the Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo-Paraguay took place an experiment with the objective of establish the critical level of phosphorus according to the soil texture, and for that effect it has been used five soils from different place of Paraguay, the Districts of Hernandarias, Iguazu, Tte. Irala Fernandez, Tacuati and San Lorenzo. The study was made in pots and located in a greenhouse where it was applied five doses of phosphorus (0, 150, 300, 450, 600 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Afterwards it was sowed maize *Zea mays L.* as an indicator plant, analyzing yield of dry matter of shoots and roots, relation between applied phosphorus and available phosphorus in the soil and determination of the critical level and kinds of tenor for the phosphorus. The experimental design was completely randomized of factorial arrangement of 5x5x3 (five soils, five doses and three repetitions). The increasing doses of phosphorus gave similar increasing effect on the height of the plants and yield of dry matter of shoots besides of increasing phosphorus availability in the soil. Every soil had a particular behavior with the application of phosphorus according to the quantity of clay present in them. Observing the variation of the critical level in this way: Hernandarias with 8 mg kg<sup>-1</sup>, Iguazu with 11,2 mg kg<sup>-1</sup>, San Lorenzo with 20 mg kg<sup>-1</sup>, Tacuati with 27,2 mg kg<sup>-1</sup>, and Tte. Irala Fernandez with 13,4 mg kg<sup>-1</sup>.

**KEY WORDS:** Fertilization, maize, phosphorus, critical level.

## RESUMEN

En la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo-Paraguay se realizó un estudio para establecer el nivel crítico del fósforo de acuerdo a la textura del suelo utilizandose cinco suelos de distintas zonas del Paraguay, provenientes de los Distritos de Hernandarias, Yguazú, Tte. Irala Fernández, Tacuati y San Lorenzo. El estudio fue realizado en macetas ubicadas en invernadero donde se aplicaron cinco dosis de fósforo (0, 150, 300, 450 y 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Sembrando maíz *Zea mays L.* como planta indicadora y evaluando su efecto sobre rendimiento en masa seca de la parte aérea y sistema radicular, relación entre fósforo aplicado y fósforo disponible en el suelo además de la determinación del nivel crítico y las clases de tenores para el fósforo. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial de 5x5x3 (cinco suelos, cinco dosis y tres repeticiones). Las dosis crecientes de fósforo proporcionaron efecto creciente análogo sobre la altura de planta y masa seca del follaje, además de aumentar su disponibilidad en el suelo. Independientemente cada suelo tuvo un comportamiento particular frente a la aplicación de fósforo de acuerdo a la cantidad de arcilla presente en los mismos, observándose la variación de los niveles críticos de esta manera: Hernandarias con 8 mg kg<sup>-1</sup>, Yguazú con 11,2 mg kg<sup>-1</sup>, San Lorenzo con 20 mg kg<sup>-1</sup>, Tacuati con 27,2 mg kg<sup>-1</sup> y Tte. Irala Fernández con 13,4 mg kg<sup>-1</sup>.

**PALABRAS CLAVE:** Fertilización, maíz, fósforo, nivel crítico.

<sup>1</sup> Parte de la tesis de grado presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

<sup>2</sup> Ing. Agr. Egresado de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, FCA-UNA.

<sup>3</sup> Prof. Ing. Agr. Docente a Tiempo Completo, Carrera de Ingeniería Agronómica, FCA-UNA.

## INTRODUCCIÓN

El fósforo, a pesar de presentar menor exigencia y absorción en relación al nitrógeno y al potasio, se lo considera un macronutriente debido a que las dosis recomendadas son altas, a causa de su baja eficiencia en recuperación (20-30 %) del nutriente por las plantas (EMBRAPA, 1996).

Según Aldrich & Levy (1974) las plantas absorben el fósforo exclusivamente en su forma mineral, no importa su procedencia (fertilizantes químicos, residuos en descomposición o suministros básicos del suelo), y entre éstas, solamente las que se encuentran en forma de iones ortofosfatos derivados del ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ).

Estos iones ortofosfatos muchas veces en vez de encontrarse libres en la solución del suelo, se quimiadsorben a otros compuestos del suelo, conformando compuestos insolubles indisponibles para las plantas, a este fenómeno se le denomina fijación del fósforo (Malavolta, 1980; Raij, 1991). Debido a este fenómeno es que algunos suelos que se encuentran con grandes cantidades de fósforo total, presentan deficiencias, pues éste no puede ser aprovechado por las plantas.

Al realizar el análisis químico del suelo, éste, no puede diferenciar cuanto del fósforo total está disponible para las plantas, y por ello, para comprender su comportamiento es necesario correlacionar el fósforo extraído en el análisis químico con el rendimiento de cultivos (Raij, 1991 y Fitts & Nelson, citado en Cabalceta & Cordero, 1994). Para ello deben realizarse experimentos, donde con los resultados de éstos, se halla el coeficiente denominado Rendimiento Relativo (RR), mediante el cuál se podrá medir la respuesta del cultivo en forma de porcentajes (Vitti, 1994; Raij, 1991; Cabalceta & Cordero, 1994). Finalmente la recomendación de fertilización se basa a partir de las dosis experimentales, utilizándose procedimientos estadísticos adecuados.

Sin embargo no se puede realizar una guía estándar, ya que los límites de tenores varían de región a región, especialmente para el fósforo que tiene gran variación de acuerdo a la textura del suelo y ello está dado en primer lugar por la gran cantidad y variedad de minerales presentes en la fracción arcilla, sobre todo óxidos de hierro (hematita, goetita y lepidocita) y aluminio

(gibbsita) con los cuáles el fósforo tiende a combinarse. Y en segundo lugar porque el fósforo además de formar complejas combinaciones con los elementos arriba mencionados, el mismo, se ubica en diferentes posiciones. Así el elemento puede estar débilmente adsorbido en la superficie de las partículas de suelo (fósforo asimilable), como también dentro de las mismas recubiertos de óxidos de hierro (fósforo no asimilable). Todos estos factores hacen que los suelos arcillosos tengan una gran capacidad de fijación de fósforo, lo cuál provoca una alta variación de los valores críticos para cada tipo de suelo (Raij, 1991).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue montado en el predio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, Asunción-Paraguay durante el periodo comprendido entre el 15 de enero hasta el 20 de marzo de 2002. Se utilizaron macetas con suelos de uso agrícola (Hernandarias, Colonia Iguazu, San Lorenzo) y ganadera (Tacuati y Tte. Irala Fernandez) de cinco zonas del país. Las características de los mismos se observan en la Tabla 1.

TABLA 1. Resultados del análisis de las muestras utilizadas en el experimento.

Distrito	Arcilla %	pH	M.O. %	P mg kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> +H <sup>+1</sup>
					----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			
Hernandarias	63	5,59	2,63	8,48	4,05	0,78	0,34	0,00
Colonia Iguazú	42	5,30	1,47	2,83	2,30	0,56	0,34	0,00
San Lorenzo	17	4,68	1,56	4,97	0,71	0,29	0,08	0,00
Tacuati	12	5,80	1,15	4,24	0,83	0,30	0,20	0,00
Tte. Irala Fernandez	11	5,50	0,98	4,24	1,75	1,07	0,28	0,78

El diseño empleado fue completamente al azar siendo cada maceta una unidad experimental, con un arreglo factorial de 5x5x3 (cinco suelos, cinco dosis de  $P_2O_5$  y tres repeticiones). Las dosis utilizadas fueron de 0, 150, 300, 450 y 600 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$  en forma de superfosfato triple.

Todas las macetas recibieron 500 kg ha<sup>-1</sup> de cal agrícola, una fertilización uniforme de 90 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$  en forma de cloruro de potasio, y 100 ml por semana de una solución diluida de micronutrientes, compuesta de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ), sulfato de manganeso ( $MnSO_4 \cdot H_2O$ ), sulfato de zinc ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ), sulfato de cobre ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) y ácido molibdicó ( $H_2MoO_4 \cdot H_2O$ ) para prevenir cualquier limitación de estos nutrientes.

Las muestras se colectaron de un lugar representativo de cada zona donde de una superficie de 1,2 m<sup>2</sup> se extrajo la muestra de suelo de la camada 0-20 cm

Las macetas se fabricaron de tubos de PVC de 10 cm de diámetro y 28 cm de altura, adhiriendo al fondo una malla plástica y colocado sobre un plato de plástico para

colección de agua y partículas de suelo. Luego de preparadas y cargadas con el suelo se ubicó en un invernadero y se mantuvo por 2 semanas con riego a capacidad de campo para asegurar la disolución y solubilización del fertilizante agregado.

Se utilizó como planta indicadora al maíz (Híbrido BR-106) el cuál fue germinado en almácigo y transplantadas aquellas que contaban con 5 cm de altura (1 planta por maceta) y se procedió al riego según necesidad.

Durante el ciclo del cultivo se realizaron cinco mediciones de altura de las plantas, cada diez días a partir del trasplante desde el cuello de la planta hasta la hoja que se encontraba en el ápice de crecimiento.

La cosecha se realizó cortando cada planta a la altura del cuello para obtener la parte aérea y el sistema radicular por separado y se determinó el rendimiento de masa verde y masa seca de la planta (aérea y radicular por separado). Pesando cada parte en el día de la cosecha y posteriormente secada en estufa a 70°C.

También se realizó un análisis químico del suelo de cada maceta individualmente.

Los datos obtenidos de las variables estudiadas fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA). Además se realizó análisis de regresión para determinar las curvas de respuesta a la fertilización fosfatada en cada suelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza del conjunto (considerando a los cinco suelos estudiados) detecto diferencias significativas en todas las variables analizadas entre los diferentes suelos, demostrando la gran variabilidad existente de un mismo cultivo entre diferentes localidades.

Las dosis crecientes de fósforo afectaron significativamente la parte aérea (masa seca y altura) pero no así el sistema radicular, que obtuvieron altos coeficientes de variación (lo que pudo ocurrir a causa de que el experimento fue realizado en macetas). Ninguna variable fue afectada por la interacción del tipo de suelo con la dosis de fósforo creciente utilizada.

Los análisis estadísticos realizados demuestran que algunos parámetros químicos (pH, materia orgánica, Ca, Mg, K y Al + H intercambiable) no presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos, siendo que la fertilización fosfatada no afecta a ninguno de estos nutrientes, sí se ha encontrado diferencias entre los diferentes suelos dado por la fertilidad natural de los mismos.

Se ha encontrado diferencias en el comportamiento de la planta de maíz, dependiendo del origen del suelo.

Los mismos han sido clasificados de esta manera:

**a) Suelos rojos:** representados por los suelos tomados de la Región Oriental del Paraguay (Hernandarias, Colonia Iguazú, San Lorenzo y Tacuati), los mismos presentan una coloración rojiza y tienen un comportamiento similar, solo diferenciado por la cantidad de arcilla presente en su composición granulométrica. Estos suelos presentan saturación a la aplicación de fósforo recién a la dosis de 300 a 450 kg/ha de  $P_2O_5$ , yendo en disminución de rendimiento a partir del mismo.

**b) Suelos grises:** este suelo está representado por la localidad de Tte. Irala Fernández en el Chaco Paraguayo. Posee una coloración gris y tuvo un comportamiento diferente al de los suelos rojos. Tuvo la mejor respuesta a la 1° dosis de fósforo aplicado 150 kg/ha de  $P_2O_5$ , llegando a los 97,5 % del rendimiento relativo, sin tener una disminución muy apreciativa a medida que iba aumentando la dosis de fertilización.

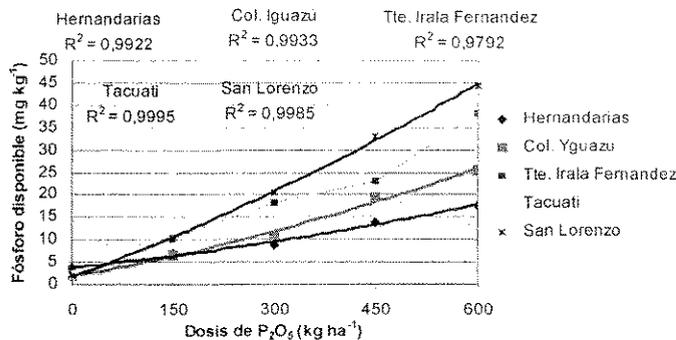
Esta diferenciación está dada por su origen, siendo el de los suelos rojos (Región Oriental del Paraguay) producido por procesos de intemperismo y degradación de la roca madre, con predominancia de arcillas y formación de arcillominerales y oxi-hidróxidos de hierro y aluminio como hematitas, goetita y gibsita; mientras que el suelo de la localidad de Tte. Irala Fernández (Región Occidental del Paraguay) fue originado por acumulación de sedimentos por arrastre, por causa de colmatación de los canales hídricos, y cuenta con predominancia de arcillas del tipo 2:1, además de contar con presencia de aluminio intercambiable en su composición química, proveyéndole de mayor capacidad de adsorción de fósforo.

En cuanto al fósforo, según al análisis estadístico realizado, se puede observar diferencias altamente significativas entre localidades, entre tratamientos, y también en la interacción ocurrida entre diferencia de suelo y dosis crecientes de  $P_2O_5$  utilizadas.

Entre tratamientos se pudo notar que todos los suelos estudiados presentan una tendencia a aumentar el fósforo disponible a medida que aumenta la dosis de  $P_2O_5$  aplicada (Figura 1).

En cuanto al efecto entre los distintos tipos de suelo, se pudo observar que inicialmente ya existe una pequeña diferencia entre cada uno, sin embargo al terminar el experimento se pudo comprobar que la cantidad del fósforo disponible varía de manera totalmente diferente en cada tipo de suelo. Relacionamos este efecto a la cantidad y tipo de arcilla que presenta cada suelo, se explica este efecto diciendo que en los laboratorios que trabajan con el extractor Mehlich, la clasificación de los tenores de fósforo depende de la textura del suelo. Por ejemplo la localidad de Hernandarias con 63 % de arcilla contenía inicialmente mayor cantidad de fósforo (casi el doble o triple) que los demás suelos estudiados. Sin embargo

al finalizar el experimento, termina siendo el suelo que a la dosis de 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, presenta el menor contenido de fósforo residual (17,76 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo), yendo éste valor en aumento gradual a medida que va disminuyendo el contenido de arcilla en los suelos rojos, pasando por Col. Iguazú con 42 % de arcilla y 25,56 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo, San Lorenzo con 17 % de arcilla y 44,39 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo hasta llegar al suelo de Tacuati con 12 % de arcilla y 47,35 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo.



**FIGURA 1. Relación entre el fósforo aplicado y el fósforo disponible en los cinco suelos estudiados.**

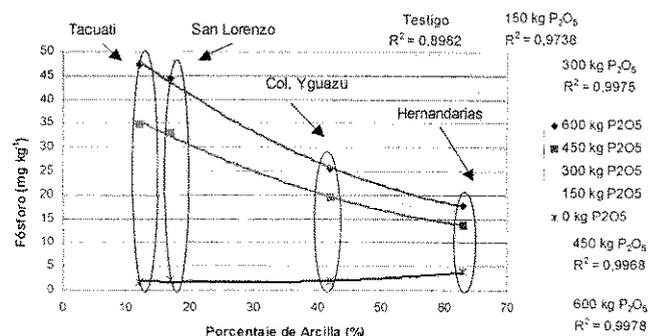
La diferencia significativa encontrada en la interacción fertilización-suelo confirma el efecto de la arcilla dentro de la fertilización fosfata, ya que suelos con diferentes cantidades de arcilla en su composición granulométrica dieron resultados diferentes a la misma dosis de fósforo aplicada.

Al suelo de Tte. Irala Fernández se lo tratará, en este punto de manera aparte, por su diferenciación ya mencionada.

En la Figura 2 se observa el comportamiento de la fertilización fosfatada en cuatro suelos rojos con distintos niveles de arcilla. En la línea de tendencia del testigo se puede ver la fertilidad natural con que se presentan los suelos en el Paraguay (luego de un ciclo de cultivo sin fertilización), contando con una cantidad de fósforo disponible que varía entre 2 a 4 mg kg<sup>-1</sup> aproximadamente, con un efecto de aumento a medida que aumenta el contenido de arcilla. Sin embargo el comportamiento del suelo a la fertilización fosfatada, se muestra de manera totalmente diferente, pudiendo comprobar con las líneas de tendencia, cómo todos los suelos rojos tienen el mismo comportamiento a cada dosis, donde la cantidad de fósforo disponible, disminuye a medida que aumenta el porcentaje de arcilla en el suelo. Quedando finalmente a la dosis máxima con valores que varían de 17,76 mg kg<sup>-1</sup> hasta 47,35 mg kg<sup>-1</sup>.

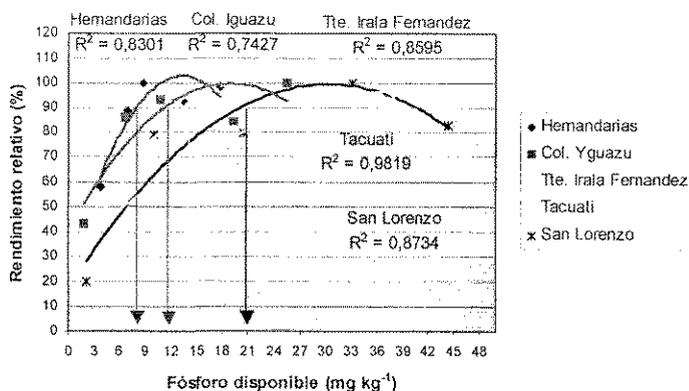
Para el cálculo de los rendimientos relativos y posterior determinación del nivel crítico, se utilizaron los datos de la masa seca de la parte aérea, ya que este parámetro es el más utilizado en los estudios experimentales en

macetas, además de ser el único que presentó diferencias significativas en todos los suelos estudiados.



**FIGURA 2. Relación entre las diferentes dosis de fósforo aplicado y el porcentaje de arcilla contenido en el suelo teniendo en cuenta solamente a los suelos de Hernandarias, Colonia Iguazú, San Lorenzo y Tacuati.**

Utilizando los puntos de calibración de análisis de suelo para fósforo SE se puede determinar el nivel crítico dado al valor de 90 % del rendimiento relativo citado en Raij (1991), el cual es un valor determinado de referencia donde si un valor dado por un análisis de suelo se encuentra por debajo del nivel crítico se espera tener respuesta de un cultivo a la fertilización y si está por encima, se espera poca respuesta o ninguna.



**FIGURA 3. Puntos de calibración y determinación del nivel crítico en los cinco suelos estudiados.**

Este valor en el caso del fósforo, varía de acuerdo al tipo de suelo (específicamente de acuerdo a la variación de textura y/o presencia de óxidos de hierro). Por lo tanto no se puede calcular un único nivel crítico para el fósforo, sino que el mismo varía entre los distintos suelos estudiados. Los mismos se presentan en la Figura 3, donde se colocó el nivel crítico de cada suelo por separado, hay una tendencia general de que los niveles críticos disminuyen con el aumento del tenor de arcilla del suelo; se puede ver esta correlatividad en el caso de los suelos rojos estudiados, comenzando con la localidad de Hernandarias con valor del nivel crítico de 8,0 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo, Colonia Yguazú con 11,2 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo, San Lorenzo con 20,0 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo y Tacuati con 27,2 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo. El

suelo de la localidad de Tte. Irala Fernández obtuvo un valor de nivel crítico de 13,4 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo.

Los valores para suelos arcillosos son menores a los hallados por Kamprath & Watson en Cabalceta & Cordero (1994), para suelos de textura media/arenosa se hallaron valores similares a los de Mendes et al. y para los suelos arenosos se hallaron valores similares a los de Kamprath & Watson citados en Cabalceta & Cordero (1994).

Utilizando los valores del rendimiento relativo, además de determinar el nivel crítico del fósforo para cada suelo también se pueden conocer las clases de tenores para cada suelo.

En la Tabla 2 se puede apreciar la variación de las clases de tenores que se encuentran en los distintos Distritos de acuerdo al porcentaje de arcilla que presentan en su composición granulométrica. Se presentó también las clases de tenores para fósforo utilizada en la actualidad por el Laboratorio de suelos del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNA.

**TABLA 2. Clases de tenores para fósforo en cinco suelos del Paraguay.**

LOCALIDADES	Arcilla (%)	Fósforo extraíble (mg kg <sup>-1</sup> )						NIVEL CRÍTICO*
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO		
Hernandarias	63	<4,9	4,9 - 8,0	8,0 - 11,0	11,0 - 22	>22,0	8,0	
Col. Iguazú	42	<5,7	5,7 - 11,2	11,2 - 19,0	19,0 - 38	>38,0	11,2	
San Lorenzo	17	<12,2	12,2 - 20,0	20,0 - 30,3	30,3 - 60,6	>60,6	20,0	
Tacuati	12	<15,0	15,0 - 27,2	27,2 - 41,5	41,5 - 83,0	>83,0	27,2	
Tte. Irala Fernández	11	<8,2	8,2 - 13,4	13,4 - 17,1	17,1 - 34,2	>34,2	13,4	
DESOT**	---	---	<12	12 - 30	> 30	---	---	

\*hallado al 90 % del Rendimiento Relativo citado en Raij, 1991.

\*\*Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial - FCA/UNA

Se observa en el mismo, como los valores de las clases de tenores aumentan a medida que va aumentando el porcentaje de arcilla en el suelo, dando clases de tenores diferentes y bien definidos. Además se puede comprobar la diferencia existente de las clases de tenores entre los distintos suelos y el utilizado por el Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNA), aunque existe cierta correlación de los mismos con los suelos rojos de textura arenosa (especialmente con el de San Lorenzo), sin embargo difiere en gran medida con los suelos de textura más arcillosa (Hernandarias y Colonia Yguazú) y el suelo del Chaco (Tte. Irala Fernández).

## CONCLUSIONES

Dosis crecientes de fósforo tuvieron efecto creciente análogo sobre la altura de la planta de maíz, sobre la masa de la parte aérea y sobre la disponibilidad de fósforo en el suelo.

Cada suelo tuvo un comportamiento particular frente a la aplicación de fósforo de acuerdo a la textura.

La respuesta del suelo a la fertilización fosfatada varía de acuerdo al tipo de minerales que lo conforman y de la cantidad de arcilla presente en los mismos. Los valores por debajo del cuál se espera exista respuesta a la aplicación de fósforo, por regla general son menores en suelos arcillosos (8 mg kg<sup>-1</sup>) y mayores en suelos arenosos (27 mg kg<sup>-1</sup>) para suelos de la Región Oriental; y 13,5 mg kg<sup>-1</sup> para suelos arenosos de la Región Occidental.

Mediante estudios en macetas se ha podido determinar rangos para las clases de tenores de fósforo en cada uno de los suelos estudiados.

## LITERATURA CITADA

ALDRICH, S. R.; LEVY, E. R. 1974. Producción moderna del maíz. Buenos Aires, AR: Hemisferio Sur. 308p.

CABALCETA, G.; CORDERO, A. 1994. Niveles críticos de fósforo en ultisoles, inceptisoles, vertisoles y andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense (CR)*. 18 (2): 147 - 161.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. 1996. *Recomendacoes tecnicas para o cultivo do milho*. 2° ed. Brasília, BR. 204p.

MALAVOLTA, E. 1980. Elementos de nutricao mineral de plantas. Sao Paulo, BR: Agronomica Ceres. 251p.

RAIJ, B., VAN. 1991. Fertilidade do solo e adubacao. Sao Paulo: Agronomica Ceres. 343p.

VITTI, G. C. 1994. Metodos de evaluacao da fertilidade do solo. Sao Paulo, BR: Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz». 40p