

USO DE LA ISOTERMA DE ADSORCION PARA EVALUAR  
REQUERIMIENTOS DE FOSFORO. II. DETERMINACION CON BASE  
EN LOS DATOS DE ADSORCION, DEL REQUERIMIENTO EXTERNO DE P  
PARA *Vigna unguiculata* L. VAR. TUY<sup>1</sup> /

DANILO LOPEZ-HERNADEZ\*  
I CORONEL\*  
L. ALVAREZ\*

Abstract

*The external phosphorus requirement for Vigna unguiculata L. var. Tuy (Frijol bayo) was determined in pot and field experiments. The chosen soils were corrected for macro and micro-nutrients deficiencies using the corresponding elements and lime. Although this correction was made, the pot-yield obtained differed from soil to soil, therefore it could be concluded that other factor(s), apart from P, is controlling the production.*

*A maximum production was obtained, in all the cases (except Uraoa series), at P equilibrium in the soil solution corresponding nearly to 1.0 ppm. This last value could be adscribed as the P requirement in the green-house experiment. As expected, this value decreased significantly (0.6 ppm) when the experiments were conducted in field conditions. The phosphorus requirements for each soil studied are presented*

Introducción

Los requerimientos de las especies vegetales pueden ser determinados, ya sea mediante soluciones nutritivas (1) o realizando la investigación directamente con plantas que crezcan en su soporte natural (ensayos con potes o en invernadero) (4, 5, 8). En el primer caso, el parámetro involucrado en la experimentación es el llamado factor I y es una condición *sine qua non* que ocurra un suministro constante de nutrimentos una vez que éstos son retirados de la solución; tal condición se logra mediante una renovación continua de la solución nutritiva. En el caso de ensayos en suelos, la interrelación entre los factores I y Q es la que determina un "adecuado"

suministro del nutrimento; claro está que esta situación dependerá de un conjunto de factores, entre los que se destacan: el tipo de cultivo, la edad del mismo, el tipo de suelo y otros (6, 9). En el caso específico de la nutrición con fosfatos, la determinación de su requerimiento (para un cultivo dado) es una operación factible de ejecutar, siempre y cuando se realicen experimentos controlados. En los mismos, se debe mantener, además de una variación creciente en las dosis de P aplicado, y en la medida posible, una máxima constancia en las diferentes condiciones que afectan el rendimiento vegetal. Así, si se conoce el requerimiento externo de P para la especie (factor I), la cantidad precisa de fertilizante que se debe añadir a diferentes suelos para alcanzar este requerimiento, puede ser determinada a partir de sus correspondientes isotermas de adsorción (5, 8).

Los requerimientos de fosfato varían ampliamente entre las distintas especies; en soluciones nutritivas Asher y Loneragan (1) señalan, para varias plantas, los "óptimos" de producción entre 0.3 y 0.7 ppm de P. Por otra parte, Fox *et al.*, (5) obtuvieron 95 por ciento de la producción máxima para *Ipomea batatas* con concentraciones de P en la solución de

1 Recibido para publicación el 20 de marzo de 1980. Se agradece la ayuda del Dr. J. San José en el diseño del experimento conducido en la Estación Biológica de los Llanos (Calabozo, Estado Guárico, Venezuela)

\* Laboratorio de Estudios Ambientales Instituto de Zoología Tropical Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela

equilibrio de 0.1 ppm; estos mismos autores señalan 0.2 ppm y 0.4 ppm como los requerimientos externos de P para *Desmodium apacines* y *Lactuca sativa*, respectivamente.

Es importante señalar que los requerimientos de P para un cultivo pueden variar dependiendo de los distintos estados de crecimiento, así como del tamaño y distribución del sistema radical. De esta manera, se ha encontrado (2, 7, 10) que, para un gran número de suelos, la concentración de P en solución se correlaciona bastante bien con el crecimiento inicial, pero no con la toma total de P, dependiendo más este último proceso del factor cantidad (Q). Ensayos con maíz (5) muestran que la planta necesita 0.2 ppm de P en la solución del suelo para un crecimiento máximo en las fases tempranas de desarrollo, pero 0.06 ppm son suficientes para alcanzar un 95 por ciento de la máxima producción de granos.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el "requerimiento externo de fósforo" del frijol bayo var. Tuy *Vigna unguiculata* L. en condiciones de invernadero y campo. La predicción de las dosis de fertilizante fosfatado para seis suelos venezolanos será evaluada utilizando la técnica de las isotermas de adsorción.

### Materiales y métodos

En la primera contribución de esta serie (9) aparecen detallados: i) la descripción de los suelos utilizados; ii) la metodología empleada para su caracterización química y iii) los análisis de las reacciones de adsorción de las muestras.

**Cultivo Experimental:** Para los ensayos de invernadero y campo se utilizó el frijol bayo var. Tuy *Vigna unguiculata* L. descrito por Barrios y Ortega (3).

**Ensayo de Invernadero:** Muestras secadas al aire y pasadas por un tamiz de 2 mm fueron colocadas (3 kg) para cada tratamiento (por triplicado) en bolsas negras de polietileno de 5 litros de capacidad. Cada suelo fue encalado con  $\text{CaCO}_3$  de acuerdo con sus requerimientos (9) mezclando íntimamente y agregando agua hasta capacidad de campo. Después de dos semanas, se agregó a cada suelo diferentes cantidades de fósforo (en forma de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Esta adición se hizo de acuerdo con las respectivas isotermas de adsorción, de tal manera que las concentraciones de P en la solución de equilibrio (factor I) oscilan entre 0.025 y 10 ppm (Cuadro 2). Además de los tratamientos mencionados, hubo un tratamiento testigo al cual no se le añadió

fosfato. Los suelos tratados con las soluciones de fosfato de calcio fueron mantenidos a capacidad de campo durante 6 días, mezclándose diariamente. Finalmente, semillas de *V. unguiculata* L. fueron sembradas para cada tratamiento en número tal que asegurara el desarrollo de 4 plántulas. Paralelamente a la siembra, se añadió N, K y micronutrientes en cantidades consideradas suficientes para corregir cualquier deficiencia (Cuadro 1). Durante toda la etapa de crecimiento, los suelos fueron mantenidos, por diferencia de peso, a capacidad de campo regando diariamente con agua destilada.

Los cultivos fueron cosechados a las 6 semanas después de la siembra, procediéndose luego a determinar la producción de materia seca. El peso seco fue determinado luego de desecar los tejidos en una estufa a 80°C durante 48 horas.

**Ensayo de campo:** En un terreno arado previamente se demarcaron 36 parcelas experimentales de 4 m<sup>2</sup> cada una, separadas entre sí por 1 m. Cada parcela estaba demarcada a su vez por cuatro surcos, con 50 cm de separación, en los cuales se sembrarían 3 semillas por orificio, ubicado cada uno a 15 cm a lo largo de cada surco. Se establecieron las dosis de fósforo de la misma manera que para el ensayo de invernadero; cada tratamiento por sextuplicado en parcelas ubicadas al azar en el terreno de siembra (cuadrado latino). Debido a las grandes cantidades de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  requerida para la realización de este tipo de experimento y a su elevado costo, se hizo necesaria la utilización de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  como fertilizante fosfatado. Este hecho condujo a una nueva determinación de los requerimientos de encalado para los suelos que serían sometidos a las distintas dosis de fertilizante.

Cuadro 1. Dosis de macro y micronutrientes agregados a los suelos.

Nutrimiento	Fertilizante	mg de Fert/pote
Boro	$\text{H}_3\text{BO}_3$	14
Cobre	$\text{CuSO}_4$	4.0
Manganeso*	$\text{MnSO}_4$	11.0
Zinc	$\text{ZnCl}_2$	12.0
Hierro	$\text{FeSO}_4$	14.0
Magnesio	$\text{MgSO}_4$	14.0
Nitrógeno	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	600.0
Potasio*	KCl	200.0

\* No fueron añadidos a las muestras del suelo Majomaj.

Cuadro 2. Valores promedio de peso seco total (raíz + tallos + hojas) de *Vigna unguiculata* L. con relación a los niveles de fósforo en la solución de suelo.

Suelo	Dosis P µg/g	P equilibrio ppm	Peso seco g/pote	Suelo	Dosis P µg/g	P equilibrio ppm	Peso seco g/pote
UVERITO	0	0.06	8.66	BANCO	0	0.03	3.44
	30	0.25	11.40		70	0.23	4.48
	40	0.57	15.48		150	0.40	6.15
	60	1.00	18.57		200	1.21	7.23
	80	3.22	19.34		250	3.00	7.50
	150	5.10	18.66		300	4.80	7.65
CALABOZO	0	0.03	5.36	MAJOMAL *	0	0.08	3.93
	40	0.24	10.19		100	0.20	6.63
	60	0.49	10.99		200	0.32	7.70
	80	1.15	12.62		400	0.96	10.26
	120	3.60	11.89		600	2.22	10.60
	150	4.80	12.72		800	4.72	11.50
TAMACA	0	0.05	3.91	URACOA	1 000	7.96	10.68
	70	0.18	7.39		1 200	10.40	11.55
	150	0.54	7.70		0	0.00	2.19
	200	1.14	9.46		40	0.06	1.98
	400	3.00	9.25		100	0.34	2.01
	450	5.00	10.07		200	1.68	3.64
				320	3.64	3.76	
				400	6.40	4.80	
				500	9.27	4.73	

\* Datos de parte aérea (tallos + hojas)

Una vez que cada parcela fue enclada de acuerdo con sus nuevos requerimientos, se agregó las 5 dosis de fertilizante fosfatado, así como la dosis de N, K y micronutrientes en cantidades consideradas suficientes para corregir cualquier deficiencia. Una semana después se realizó la siembra.

La cosecha en granos para cada parcela fue recolectada 2 meses después de la siembra, y se determinó el peso de los granos.

### Resultados y discusión

La producción de materia seca total por pote (raíz + tallo + hojas) de *V. unguiculata* L. como una función del log. de la concentración de P en la solución de equilibrio se presenta en la Figura 1. Dicha figura ofrece información para todos los suelos analizados exceptuando la obtenida para el suelo Majomal. Para este suelo los resultados se presentan en la Figura 2, (únicamente la producción aérea de las plantas); igualmente, el Cuadro 2 da una información más detallada del fenómeno. En el Cuadro 2 se observa

que hay una clara respuesta del frijol a las adiciones progresivas de fosfatos. Tal respuesta (para las primeras adiciones) es más notoria en el caso de los suelos: Majomal, Calabozo y Tamaca. De menor cuantía para los suelos Banco y Uverito e inexistente en el caso de la Serie Uracoa. Los niveles de fósforo incorporado al suelo no fueron los mismos en todos los casos y su definición fue dada por las características de retención de cada suelo (9). Así, para la Serie Majomal, altamente retentiva de fosfatos, se añadieron dosis comprendidas entre 100-1 200 µg/g. Para suelos con capacidades de retención moderadas, como es el caso de los suelos Tamaca y Uracoa, las adiciones fueron del orden de 40-500 µg/g, y finalmente para los suelos de muy baja capacidad de adsorción de aniones, las enmiendas fosfatadas fueron menores: de 70-300 µg/g para el suelo Banco, y de 30-150 para los suelos Uverito y Calabozo. Las dosis de fósforo incorporadas al suelo generaron niveles de P en equilibrio del orden de 0.03-5.10 ppm en los suelos Uverito, Calabozo, Tamaca y Banco; mientras que para la Serie Majomal y Uracoa el nivel de P equilibrio estuvo comprendido entre 0.00-10.40 ppm (Cuadro 2). Las Figuras 1 y 2 mues-

tran claramente que para todos los suelos estudiados (exceptuando la Serie Uracoa) se obtiene entre un 90-95 por ciento de la producción máxima cuando la concentración de fósforo en la solución de equilibrio alcanza valores cercanos a 1 ppm. También se observa en la Figura 1 que hay diferencias notables en la producción obtenida para los distintos suelos analizados, un hecho que sugiere que factores adicionales, además del suministro de fósforo, influyeron en forma significativa en el desarrollo del cultivo. Cabe señalar entre otros factores la textura y disponibilidad de macro y micronutrientes. El diseño experimental fue planificado con el objeto de minimizar estos parámetros; sin embargo, y la información obteni-

da lo confirma, es muy difícil poder realizar un efectivo control de todas las variables. El hecho de que el experimento fue conducido en un invernadero, en donde se mantuvieron constantes las condiciones microclimáticas, y que además se acostumbraba hacer rotaciones periódicas de las repeticiones colocadas en las mesas experimentales, nos permite señalar que la variación debida a las condiciones climáticas son de orden menor, pudiendo por lo tanto atribuirse las diferencias en el rendimiento vegetal a factores principalmente nutrimentales y/o texturales. Lo cierto es que, no obstante que hubo diferencias en cuanto a la respuesta de la planta a la adición de fertilizantes, la producción máxima se mantuvo en concentraciones

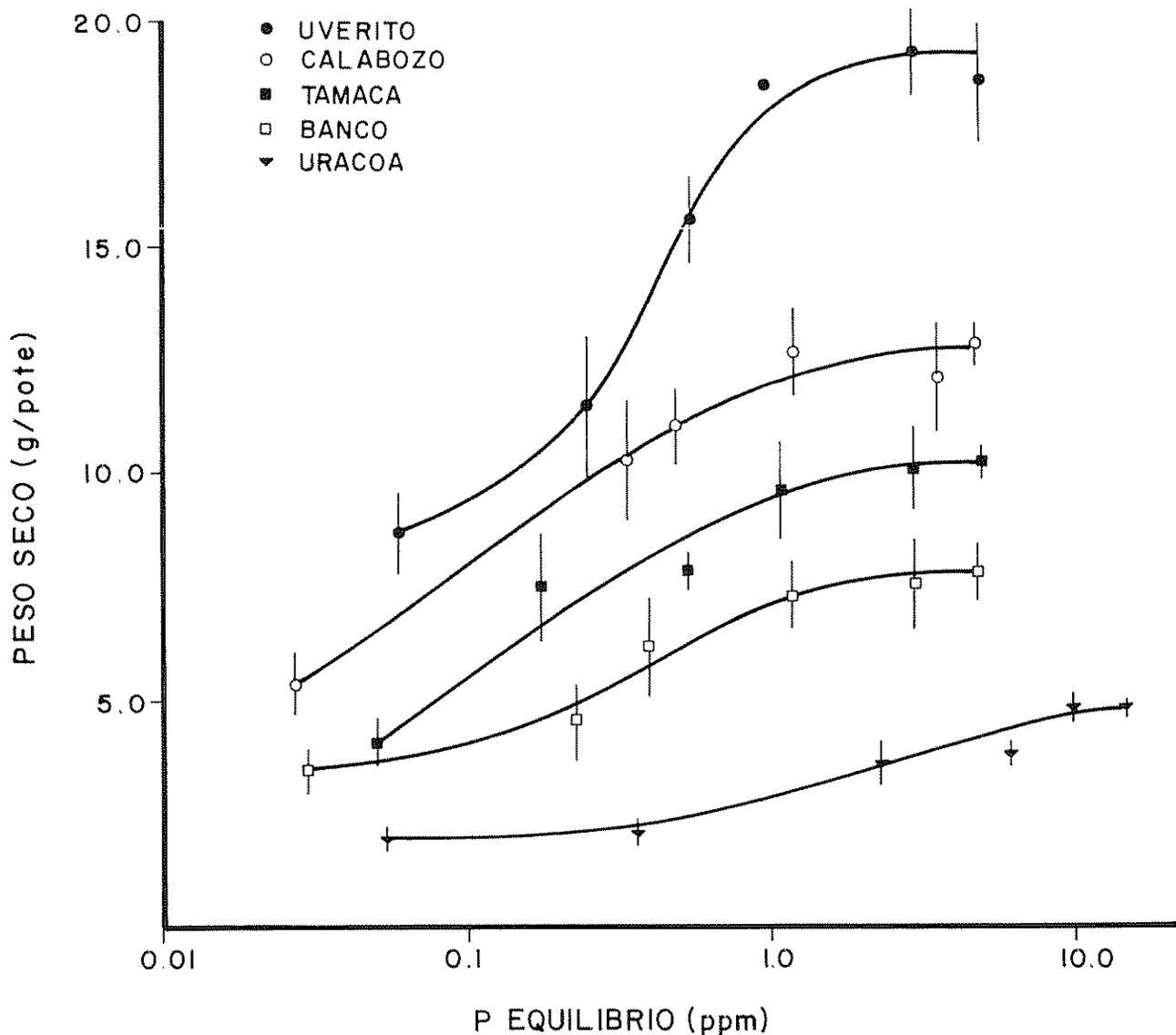


Fig. 1 Producción de materia seca total de *Vigna unguiculata* L. En relación a los niveles de P en la solución de equilibrio

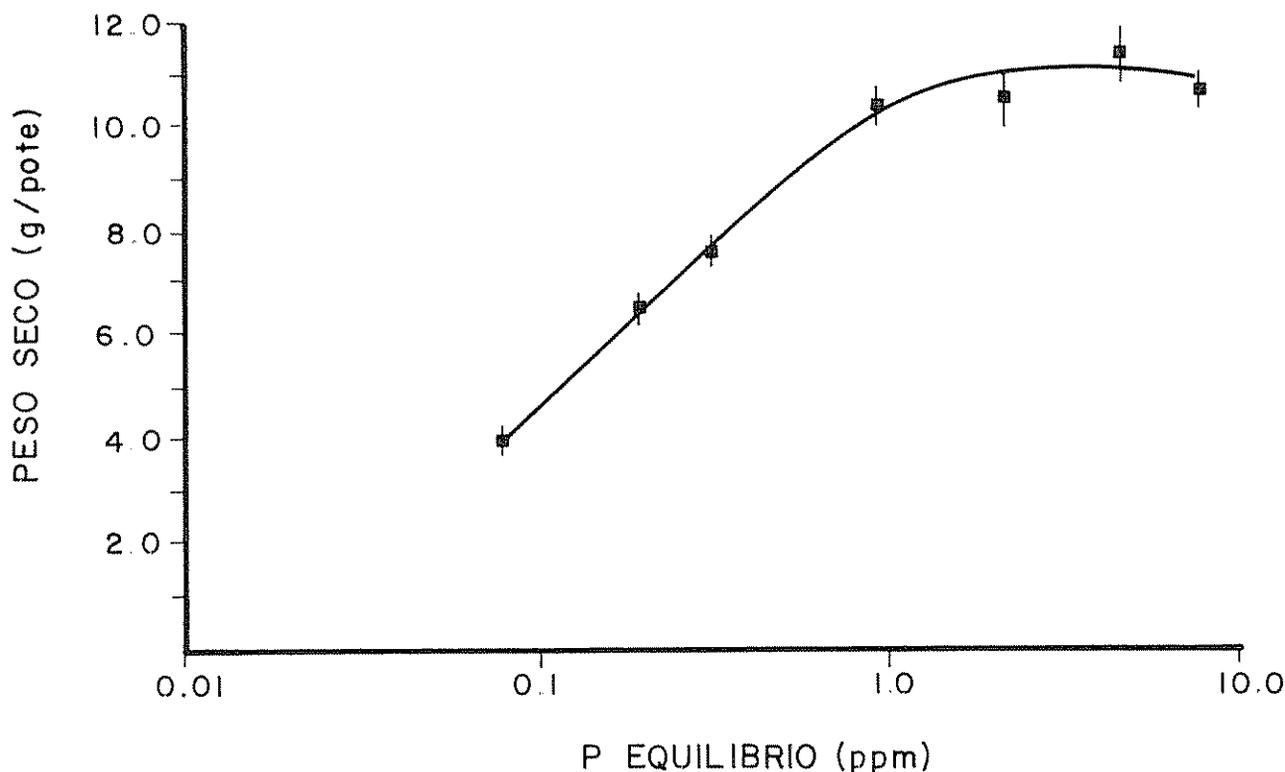


Fig 2 Producción de materia seca aérea de *Vigna unguiculata* L. En relación a los niveles de P en la solución de equilibrio (Serie Majomal)

de P equilibrio que oscilaban alrededor de 1 ppm. Tal información señala que este valor es el llamado requerimiento externo de P para *Vigna unguiculata* L. var. Tuy cuando la especie crece en condiciones de invernadero. La constancia en la producción alrededor de este valor señala también que ésta es una propiedad inherente a la variedad de frijol estudiado y que aparentemente es independiente del tipo de suelo en que se conduzca el experimento.

En cuanto al rendimiento obtenido para el suelo Uracoa (Figura 1), se observa que el valor máximo de producción, por cierto muy por debajo del obtenido en los otros suelos, se alcanza en valores de P equilibrio superiores a 6 ppm. Es bastante factible que en el caso de este suelo, otro factor (y no el fósforo) es limitante a la producción; a dicho suelo se le añadieron dosis de macro y micronutrientes para corregir cualquier deficiencia (Cuadro 1), lo que no descarta la posibilidad de que alternativamente se pudiese presentar en esta Serie, el efecto tóxico de algún elemento no identificado. Sin género de dudas, el ensayo con Uracoa amerita un estudio más profundo. Fox y Kamprath (6) señalan para el mijo (*Pennisetum tiphoides* var. Gahi-1) un resultado similar; así, ellos consignan que para un suelo de

turberas (con muy baja capacidad de retención de P) hay un requerimiento externo superior a 16.2 ppm de P, atribuyéndose el hecho a que, a falta de P disponible en el sistema, debe haber una alta proporción de éste en la solución del suelo. La comparación con el suelo Uracoa, sin embargo, no es del todo posible, ya que si bien el suelo no retiene P en alta proporción, por lo menos lo hace en una mayor cuantía que v.g. el suelo Uverito en donde no se presentó el mismo fenómeno [ver (9) y Cuadro 2].

**Ensayo de campo:** El valor I obtenido para la producción máxima de frijol es 1.0 ppm siendo este valor significativamente superior al anotado en la literatura para *Lactuca sativa* 0.4 ppm (4) y muy por encima del obtenido para mijo creciendo en potes [0.2 ppm (5)]. En la Figura 3 y en el Cuadro 3 se presenta la producción en granos de *V. unguiculata* L. para el ensayo de campo realizado en Calabozo. Se observa en la misma figura una respuesta marcada del frijol a las dos primeras dosis de ácido fosfórico (50 y 75 mg/g respectivamente), pero también es notorio, que a partir del tratamiento de 150 kg/ha no se incrementa la producción de granos. A la luz de estos resultados es concluyente que bajo las condiciones más naturales del cultivo en el campo, se dismi-

nuye sensiblemente el requerimiento externo del frijol bayo de 1.0 ppm bajo cultivo en invernadero a 0.6 ppm (Figura 3 y Cuadro 3). Indudablemente que la mayor explotación del medio ambiente que efectúa el sistema radical y el libre desarrollo del mismo, influyen notablemente en la bondad de este resultado. También es conveniente añadir, que si bien se obtuvo un "óptimo" de producción con 150 kg/ha, este valor hubiese sido menor si en lugar de suministrar el P como fertilizante líquido hubiese sido añadido en forma sólida y aplicado en forma de bandas. El uso de  $H_3PO_4$  como fertilizante no es de práctica común; en el trabajo descrito sólo se le utilizó con el fin de reducir el costo del fertilizante.

#### Requerimiento de fertilizante de los diferentes suelos usados

Si partimos del supuesto que una concentración de P en la solución del suelo alrededor de 1 ppm es suficiente para obtener un "óptimo" de producción en la especie estudiada (*Vigna unguiculata* L. var. Tuy), y de que este requerimiento de P puede ser menor (0.6 ppm) cuando la especie crece en condiciones de campo, estamos en condiciones de señalar, con

una cierta precisión, los requerimientos en fertilizante de estos suelos. El Cuadro 4 presenta esa información; en la misma se definen dosis de 120 a 140 kg/ha para suelos con muy baja capacidad de retención de P (Suelo Uverito y Calabozo respectivamente), de 400 kg/ha para los suelos Banco y Tamaca y de 800 kg/ha para la serie Majomal. Naturalmente que si estas dosis se redefinieran de acuerdo con la corrección introducida en el ensayo de campo, las recomendaciones a emplear serían considerablemente menores, tal y como se presenta en el mismo cuadro. Las dosis aquí anotadas son altas en el caso de algunos suelos (Majomal y Tamaca); mientras que los valores son agrónomicamente convenientes en otros casos (por ejemplo: Uverito y Calabozo). De cualquier forma, los valores son bastante inferiores a los señalados por Fox *et al.* (5) en suelos tropicales de Hawaii caracterizados por una alta capacidad de retención de P. Es muy posible que estos requerimientos disminuyan: i) si la fertilización se hace con fuentes sólidas y en bandas, ii) si el encalado se realiza con mayor anticipación permitiéndose, así, una mayor neutralización de la acidez y, por ende, de las superficies retentivas del fósforo. Bajo esta perspectiva final, y tomando en consideración que la adición de P a los suelos se hace comúnmente en forma de ban-

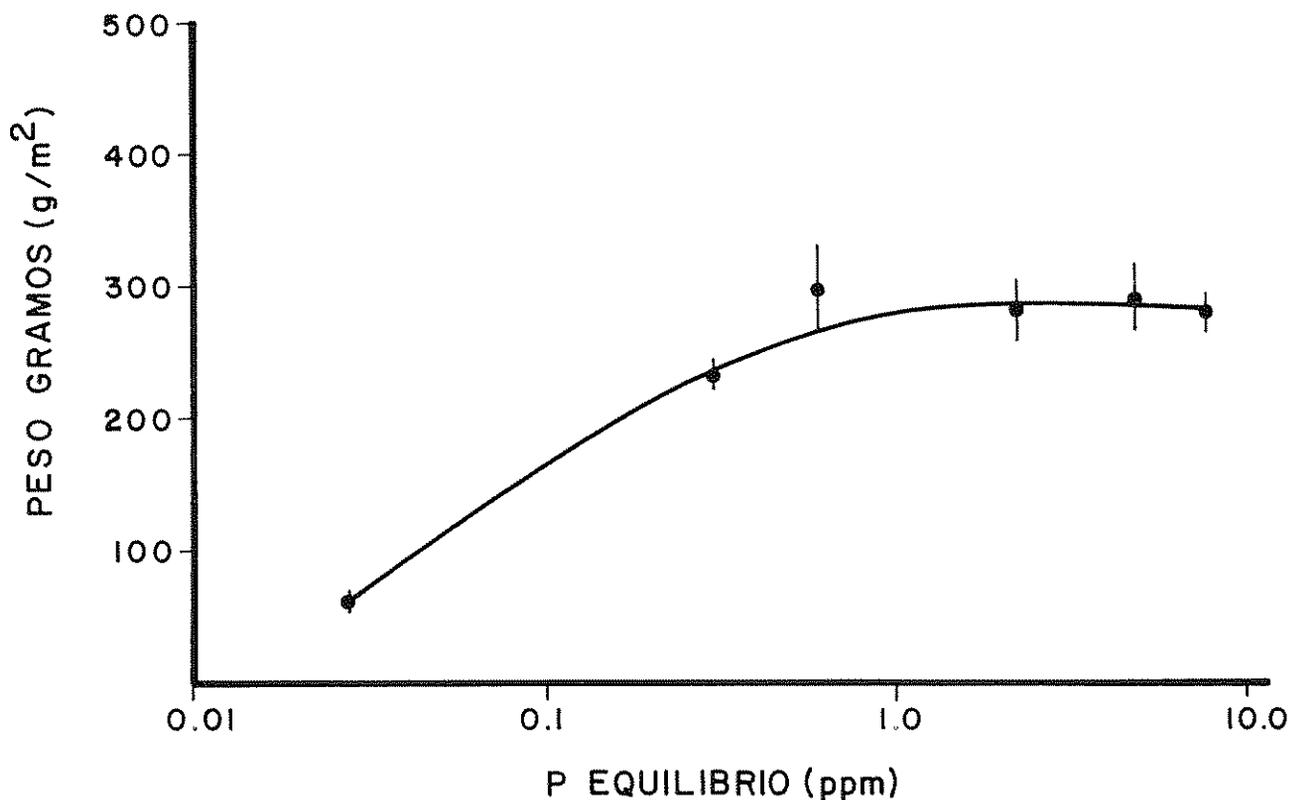


Fig 3. Producción de Granos de *Vigna unguiculata* L. En relación a los niveles de P en la solución de equilibrio (Suelo Calabozo).

Cuadro 3. Rendimiento promedio de granos y porcentajes de producción para *Vigna unguiculata* L. var. Tuy con relación a los niveles de P en la solución de equilibrio. Ensayo de campo realizado en Calabozo (Edo. Guárico).

Dosis de P kg/ha	P equilibrio ppm	Peso granos		Desviación Estándar	$\bar{x}$ Producción
		g/m <sup>2</sup>	kg/ha		
0	0.02	62.8	627.6	19.6	20.8
100	0.37	243.8	2437.8	54.6	80.9
150	0.60	301.2	3012.1	125.6	100
200	2.20	281.1	2810.6	103.3	93.3
300	4.80	290.5	2905.0	77.5	96.5
400	7.60	277.9	2779.0	61.1	92.3

das, podemos hacer énfasis en que los valores recomendados por el método de las isotermas no se aparta sustancialmente de las dosis de fertilizantes comúnmente señaladas para suelos y cultivos tropicales. Tiene además, el método, la ventaja de poder asignar un valor más preciso a la dosis recomendada en kg/ha

#### Resumen

Se determinó el requerimiento externo de fósforo para el frijol bayo *Vigna unguiculata* L. var. Tuy, en condiciones de campo y de invernadero. A los suelos escogidos se les corrigieron las posibles deficiencias de macro y micronutrientes mediante dosis convenientes de los diferentes elementos y de cal. No obstante las correcciones introducidas, la producción obtenida en los ensayos de invernadero difirió de un suelo a otro, hecho que indica que otro(s) factor(es) además del fósforo controlan la producción. Sin embargo, el rendimiento máximo en todos los suelos (excepto la serie Uracoa) se obtuvo con dosis de fertilizantes que generaban alrededor de 1 ppm de P en equilibrio, lo que indica que este valor es el llamado requerimiento externo de P para la especie. Este mismo

requerimiento externo fue significativamente menor (0.6 ppm P) cuando el ensayo se condujo en las condiciones más naturales de cultivo en el campo. Se presentan las dosis de fertilizantes fosforados que se necesitan para lograr un "óptimo" de producción de frijol bayo con cada uno de los suelos usados

#### Literatura citada

1. ASHER, C. J. y LONERAGAN, J. F. Response of plants to phosphate concentration in solution culture I. Growth and phosphorus content. *Soil Science* 103:225-233. 1967.
2. BALDWIN, J. P. A quantitative analysis of the factors affecting plant nutrient uptake from soils. *Journal of Soil Science* 26:196-206. 1975.
3. BARRIOS, A y ORTEGA, Y. Tuy: Nuevo cultivar de frijol bayo *Vigna unguiculata* L. *Agronomía Tropical* 25:103-106. 1975.

Cuadro 4. Porcentaje de producción de *Vigna unguiculata* L. con relación a la dosis de P requerida para alcanzar una concentración de P en la solución de equilibrio alrededor de 1 ppm. Los datos en paréntesis corresponden a la corrección para 0.6 ppm de P en equilibrio.

Suelo	P equilibrio		kg/ha	Dosis recomendada		% Producción
	ppm	ppm		ppm	kg/ha	
BANCO	1.21	200	400	(175)	(350)	95
UVERITO	1.00	60	120	(40)	(80)	96
CALABOZO	1.15	80	160	(70)	(140)	94
TAMACA	1.14	200	400	(150)	(300)	94
MAJOMAL	0.96	400	800	(300)	(600)	90
URACOA	1.00	175	350	(150)	(300)	70

4. FOX, R. L. y KAMPRATH, J. E. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Science Society American Proceedings 34:902-907. 1970.
5. FOX, R. L., NISHIMOTO, R. K., THOMPSON, J. R. y PENA de La, R. S. Comparative external phosphorus requirements of plant growing in tropical soils. International Congress Soil Science Moscow Comm. IV:232-239. 1974.
6. FRIED, M. y BROESHART, H. The soil plant system in relation to inorganic nutrition. Academic Press, New York. 1969.
7. HOLFORD, I. C. R. y MATTINGLY, G. E. G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. Plant and Soil. 44:377-389. 1976.
8. LOPEZ HERNANDEZ, D., ALVAREZ, L. y POLANCO, M. Phosphate requirements for *Vigna unguiculata* L. var. Tuy growing in two contrasting Venezuelan soils. Proceedings International Seminary Soil Environmental Fertilization Manager International Agriculture. Tokyo, Japón. 517:524. 1977.
9. LOPEZ-HERNANDEZ, D. L., CORONEL, I. y ALVAREZ L. Uso de la Isoterma de Adsorción para evaluar requerimientos de fósforo I. Turrialba 31(3) pp 169-180. 1981.
10. WEBBER, M. D. y MATTINGLY, G. E. G. Changes in monocalcium phosphate potentials on cropping. Journal of Soil Science 21:111-120. 1970.