

EFEECTO DEL FOSFORO Y LA CAL EN FRIJOL COMUN (*Phaseolus vulgaris* L.) EN LOS CHILES Y PAVON DE ALAJUELA, COSTA RICA¹

Rodolfo Araya², Carlos Henríquez³

RESUMEN

Efecto del fósforo y la cal en la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en los Chiles y Pavón de Alajuela, Costa Rica. Se estableció un experimento para determinar la respuesta de dos variedades de frijol (Brunca y la línea MUS 133) a la aplicación de P (80 kg P₂O₅/ha) y de cal (0,5 o 1,5 t/ha de Ca CO₃/ha dependiendo del suelo) en dos localidades de la Zona Norte de Costa Rica. Los lugares seleccionados fueron los Chiles y Pavón, los cuales se encuentran en la zona donde se produce el mayor volumen de grano de esta leguminosa a nivel nacional. El encalamiento se efectuó 22 días antes de la siembra; mientras que, el fósforo fue aplicado al fondo del surco en el momento de la siembra. El diseño experimental fue un factorial 2x2x2 (dos variedades, dos dosis de fósforo y dos de cal) con cuatro repeticiones dispuestos en Bloques Completos al Azar. La parcela experimental constó de 18 m² con una parcela útil de 12 m². Las variables medidas fueron peso de grano por parcela y por hectárea, altura de vainas, número de vainas y de granos, y peso de 100 granos. Se encontró un efecto positivo y significativo en las variables evaluadas, debido a la aplicación de P en las dos variedades utilizadas, lo cual concordó al estado del P en el suelo en las dos localidades. La respuesta encontrada debido a la aplicación de cal fue muy leve aunque positiva, lo cual podría explicarse en parte a los porcentajes medios de saturación de acidez encontrados en el suelo (19 y 12 % en los Chiles y Pavón, respectivamente). Solo el fósforo afectó el rendimiento en grano.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, aplicación de abonos, fósforo, calcio, enmiendas calizas, Costa Rica.

ABSTRACT

Effect of Phosphorus and Limestone on Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Los Chiles and Pavon of Alajuela, Costa Rica. An experiment was conducted to determine the response of two common bean varieties (Brunca and the line MUS-133) to the application of P (80 kg P₂O₅/ha) and limestone (0.5 or 1.5 t of Ca CO₃/ha depending on the soil) at two localities in Northern Costa Rica. The selected sites were Los Chiles and Pavon, the largest bean producing zones in Costa Rica. The limestone was applied 22 days after planting (DAP), while the phosphorus was applied on the bottom of the furrow on the planting day. A Complete Randomized Block experiment design, with factorial arrangement 2x2x2 (two varieties, two doses of phosphorus and two doses of limestone) and four replications was used. The experimental plot consisted of 18 m² and the useful plot of 12 m². The evaluated parameters were: grain weight per plot and per hectare, height of pods, number of pods and grains, and weight of 100 grains. A positive and significant effect of the evaluated variables was found, due to the P application on the two varieties, which complies with the state of the soil P in both localities. Although positive, the response found due the limestone application was light, which can be partly explained by the mean percentages of acid saturation of the soil (19 and 12% in Los Chiles and Pavon, respectively). Only the phosphorus affected grain yield.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, fertilizer application, phosphorus, calcium, liming materials, Costa Rica.

¹ Investigación financiada por el Programa Cooperativo Regional de Frijol para Centroamérica, México y el Caribe (PROFRIJOL) y la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, Proyecto #736-91-315.

² Programa de Leguminosas de Grano, Estación Experimental Fabio Baudrit M., Universidad de Costa Rica.

³ Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), Sede del Atlántico, Universidad de Costa Rica.

INTRODUCCION

La selección de plantas tolerantes a deficiencias minerales está en función del nutrimento de que se trate y de las condiciones específicas del suelo a superar. Con frecuencia, la tolerancia a los suelos ácidos no solamente está asociada con la tolerancia al Al y Mn, sino también con la "eficiencia" o capacidad de la planta para obtener los nutrimentos tales como P, Ca, Mg y otros. También se ha manifestado que las plantas tolerantes a suelos ácidos, en particular las tolerantes a bajos niveles de fósforo aprovechable pueden agotar la baja reserva de nutrimentos que tienen estos suelos (Sánchez y Salinas 1983).

Es difícil separar la tolerancia a la toxicidad del Al de la eficiencia "nutrimental". El término "eficiencia nutrimental" es común cuando se discuten las deficiencias nutrimentales, pero la palabra "eficiencia" tiene muchas definiciones (Clark y Duncan 1991). Cada nutrimento mineral tiene su química y su fisiología única, por lo que los mecanismos de "eficiencia" son diferentes para cada nutriente. Sin embargo, existen procesos comunes como son: obtención a partir del medio ambiente, movimiento a través de las raíces y xilema, traslocación y distribución dentro de las partes de la planta, y utilización en el metabolismo y crecimiento. Graham (1984) definió agrónomicamente el término eficiencia nutricional como la capacidad de un genotipo para producir alto rendimiento en un suelo limitante en el elemento de interés en comparación con un genotipo estándar.

La deficiencia al fósforo es muy común en los suelos de Costa Rica (Corella 1983; Bertsch 1987). Si el contenido P en el suelo está por debajo del óptimo, la dosis de P al aplicarse como fertilizante debe ser mayor a las cantidades removidas del suelo. En suelos con alta capacidad de fijación la localización del P en banda proporciona los mejores resultados (Fisen 1995). En la Zona Norte de Costa Rica los productores de frijol están adicionando al suelo hasta 125 kilos de P_2O_5 /ha.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la adaptación de dos variedades de frijol a suelos de baja fertilidad y su respuesta a la aplicación de P y cal al suelo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se estableció en las localidades de Los Chiles y Pavón, ubicadas en la Zona Huetar Norte de Costa Rica. Los sitios fueron seleccionados con base en un muestreo previo de la zona y tomando en cuenta las características químicas de suelo más desfavorables, entre los lugares muestreados (Cuadro 1).

Se utilizaron dos materiales de frijol: una línea mejorada MUS-133, seleccionada por su resistencia a Mustia Hilachosa (Saborío 1993) y a condiciones de bajo fósforo disponible en el suelo (Saborío 1992), y la variedad Brunca, la de mayor uso comercial en la zona de estudio, los dos materiales

Cuadro 1. Análisis de suelo de las localidades donde se efectuaron los experimentos de adición de fósforo y cal.

Localidad	H ₂ O	pH			Acidez	CICE ^{1/}	meq/100ml ppm				
		Ca	Mg	K			P	Cu	Fe	Mn	Zn
Los Chiles	5,1	3,9	0,9	0,12	1,2	6,12	7	13,4	321	300	3,1
Pavón	5,3	5,84	1,16	0,28	0,95	8,23	11	15,5	609	251	3,4

^{1/} Capacidad de Intercambio Catiónico.

poseen un ciclo vegetativo similar. Se probaron dos dosis de fósforo (0 y 80 kg P₂O₅ /ha), y dos dosis de carbonato de calcio (0 y 0,5 t/ha en la localidad de Pavón, y 0 y 1,5 t/ha en la de Los Chiles).

La dosis propuesta de P fue calculada con base en los requerimientos del cultivo y la eficiencia en la fertilización dada principalmente, por la fijación de P en el suelo. El P fue aplicado al momento de la siembra y al fondo del surco. Las dosis de cal aplicadas en cada una de las dos localidades fueron calculadas de acuerdo a la fórmula modificada de Cochrane y colaboradores (1980) citada por Henríquez *et al.* (1995) y aplicadas 22 días antes de la siembra. La cantidad de cal en toneladas por hectárea se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{CaCO}_3(\text{t/ha}) = \frac{1,5 (\% \text{ Sat AL-RAS}) \times \text{CICE} \times f}{100}$$

donde, % Sat AL= Porcentaje de saturación de aluminio existente; RAS= Porcentaje de saturación de aluminio deseado (equivalente químico x equivalente físico/100); CICE = Capacidad de intercambio catiónico; f= 100/PRNT; PRNT= Poder relativo de neutralización total.

La siembra se realizó el día siete de diciembre de 1994 en Los Chiles y el seis de diciembre de 1994 en Pavón. Antes de la siembra, el terreno fue previamente surcado con arados manuales; se colocaron 15 semillas por metro lineal, a una distancia de 6,6 cm entre plantas. La parcela experimental constó de seis surcos de 5 m de longitud espaciados a 0,6m (área total de 18 m²) y la parcela útil de los cuatro surcos centrales (área total de 12 m²). Las variables medidas fueron peso de grano por parcela, altura del dosel de vainas (medida del nivel del suelo hasta el dosel de vainas).

El diseño experimental empleado fue un factorial de 2x2x2 (dos variedades dos dosis de cal y dos dosis de fósforo), con cuatro repeticiones dispuesto en Bloques Completos al Azar. El factor experimental localidad fue analizado en forma independiente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Como se puede observar en el Cuadro 1, los suelos presentaron en general una fertilidad de media a baja, diferenciándose la localidad de Los Chiles por presentar una fertilidad más baja que la de Pavón. En particular, en Los Chiles se pueden observar bajos contenidos de las bases Ca, Mg y K por debajo del nivel crítico y con una acidez comparativamente más alta, lo cual concuerda con un valor bajo de pH.

El contenido de P también presentó una condición que correlaciona con el estado de fertilidad y acidez. El suelo de Los Chiles presentó una condición más desfavorable con relación a este elemento. Como se verá más adelante, esto concordó con la respuesta de las dos variedades de frijol utilizadas a la aplicación de P al suelo, que se obtuvo en esta localidad.

Con base en los datos de rendimiento obtenidos, el tratamiento con aplicación de P fue el que tuvo un efecto más significativo sobre la mayor cantidad de variables (Cuadro 2). El rendimiento de grano se afectó significativamente con la adición de fósforo en Pavón (p <0,003) y en Los Chiles (p <0,0001). Por otro lado el incremento en el rendimiento en la localidad de Los Chiles al aplicar P (251,1 %) fue mucho mayor que el obtenido en la localidad de Pavón (16,2 %) (Cuadro 3), lo cual concuerda con el estado de deficiencia de este elemento en el suelo (Cuadro 1). En general solo el P influyó significativamente en los rendimientos obtenidos en las dos localidades evaluadas. En Los Chiles afectó todas las variables evaluadas, pero en Pavón solo influyó el rendimiento y el número de vainas por planta. En la altura del dosel de vainas se obtuvo una respuesta similar a la obtenida con el rendimiento, por efecto de la adición de fósforo.

Se observó una leve respuesta a la aplicación de cal, aunque esta no fue estadísticamente significativo en la mayoría de las variables; solo tuvo un efecto significativo en el número de vainas por planta (Cuadro 4). Lo anterior puede explicarse a que la

Cuadro 2. Respuesta del frijol a la adición de fósforo en dos localidades de la Zona Norte de Costa Rica. 1994-1995.

Variable/Localidad	Fósforo		P(F) ^{1/}	C V (%) ^{2/}
	Con	Sin		
Los Chiles				
Rendimiento (g/12m ²)	1561,31	504,88	0,0001	32,72
(kg/ha)	1301,12	420,81	—	—
Altura vainas (cm)	39,51	29,00	0,002	23,07
Número vainas/planta	8,98	5,93	0,08	31,76
Número granos/vaina	4,30	3,40	0,008	12,90
Peso 100 granos (g)	24,68	20,38	0,04	25,13
Pavón				
Rendimiento (g/12m ²)	1578,75	1129,94	0,003	26,74
(kg/ha)	1323,25	941,75	—	—
Altura de vainas (cm)	30,42	29,67	NS	10,41
Número vainas/planta	10,39	8,18	0,018	13,45
Número granos/vaina	4,57	4,42	NS	8,90
Peso 100 granos (g)	21,91	21,77	NS	11,48

^{1/} Probabilidad de F.^{2/} Coeficiente de variación.**Cuadro 3.** Incremento en el rendimiento en grano de dos variedades de frijol en respuesta a la aplicación de P y Cal en dos localidades de la Zona Norte de Costa Rica. 1994-1995.

Fertilización	Los Chiles				Pavón			
	Brunca		MUS 133		Brunca		MUS 133	
	Rendimiento (kg/ha)	Incremento (%)	Rendimiento (kg/ha)	Incremento (%)	Rendimiento (kg/ha)	Incremento (%)	Rendimiento (kg/ha)	Incremento (Kg/ha)
Con= “+”								
Sin= “-”								
+P	1134,6	164,9	1467,6	255,1	1230,3	85,2	1416,0	16,2
-P	428,3	—	413,3	—	664,4	—	1218,9	—
+Ca	793,5	3,1	1015,3	17,3	978,9	6,9	1356,1	6,1
-Ca	769,4	—	865,5	—	915,8	—	1278,8	—
+P+Ca	1138,8	178,9	1596,9	306,6	1237,3	103,4	1495,4	122,5
+P-Ca	1130,4	176,8	1338,3	204,8	1223,3	101,1	1336,3	8,60
-P+Ca	448,2	9,8	433,8	10,4	720,4	18,4	1216,5	0,4
-P-Ca	408,33	—	392,8	—	608,3	—	1221,3	—

enmienda requiere un poco más de tiempo para que reaccione en el suelo y afecte en alguna forma las variables de planta (Henríquez *et al.* 1995).

Como se puede observar en el Cuadro 5, se encontró que la variedad MUS 133 presentó valores más favorables en casi todas las variables evalua-

Cuadro 4. Respuesta promedio de dos variedades de frijol, a la adición de cal en dos localidades de la Zona Norte de Costa Rica. 1994-1995.

Variable / Localidad	Cal		P(F) ^{1/}	C V (%) ^{2/}
	Con	Sin		
Los Chiles				
Rendimiento (g/12m ²)	1085,25	980,94	NS ^{3/}	32,72
(kg/ha)	904,44	817,50	—	—
Altura vainas (cm)	37,55	30,95	0,03	23,07
Número vainas/planta	8,45	6,48	0,27	31,76
Número granos/vaina	4,31	3,40	0,12	12,9
Peso 100 granos	23,40	21,67	NS	25,13
Pavón				
Rendimiento (g/12m ²)	1400,94	1316,75	NS	26,74
(kg/ha)	1167,62	1097,38	—	—
Altura vainas (cm)	30,37	29,73	NS	10,41
Número vainas/planta	10,12	8,45	0,06	13,45
Número granos/vaina	4,39	4,59	NS	8,9
Peso 100 granos (g)	22,06	21,62	NS	11,48

^{1/} Probabilidad de F.^{2/} Coeficiente de variación .^{3/} No significativo (P=5%).**Cuadro 5.** Comportamiento agronómico de dos variedades de frijol bajo el efecto de la adición de fósforo y cal en dos localidades de la Zona Norte de Costa Rica. 1994-1995.

Variable/Localidad	Variedades		P(F) ^{1/}	C V (%) ^{2/}
	MUS 133	BRUNCA		
Los Chiles				
Rendimiento (g/12m ²)	1128,50	937,7	0,24	32,72
(kg/ha)	940,50	781,4	—	—
Aaltura vainas (cm)	33,56	34,95	NS ^{3/}	23,07
Número vainas/planta	8,18	6,75	NS	31,76
Número granos/vaina	3,84	3,87	NS	12,90
Peso 100 granos	23,83	21,23	0,20	25,13
Pavón				
Rendimiento (g/12m ²)	1580,88	1136,8	0,08	26,74
(kg/ha)	1317,62	947,38	—	—
Altura vainas (cm)	29,74	30,36	NS	10,41
Número vainas/planta	9,61	8,96	NS	13,45
Número granos/vaina	4,53	4,44	NS	8,90
Peso 100 granos (g)	22,02	21,66	NS	11,48

^{1/} Probabilidad de F.^{2/} Coeficiente de variación .^{3/} No significativo (P= 5%).

das comparativamente a la variedad Brunca. Especial cuidado merece que bajo condiciones limitantes de suelo, como fue el caso de Los Chiles, esta variedad mostró un mejor rendimiento (940 kg/ha) que la variedad Brunca (781 kg/ha), lo que demuestra en cierta forma la adaptación que esta variedad tiene a condiciones limitantes de suelo. Pese a lo anterior, solo se encontraron diferencias significativas en rendimiento entre las dos variedades en la localidad de Pavón.

En el Cuadro 6, se muestra el efecto de la localidad en la producción de grano, con una interacción entre las variedades empleadas y la dosis de fósforo adicionado al suelo. La línea MUS 133, mostró altos rendimientos en Los Chiles, con bajo 0 y 80 kg/ha de P_2O_5 ; pero en Pavón mostró un rendimiento similar a la variedad Brunca, en la dosis de 0 kg/ha de P_2O_5 . También se dió interac-

ción con el número de granos por vaina en la localidad de Pavón, Cuadro 7, pero este efecto pudo estar influido por el mayor desarrollo de la línea MUS 133, que influyó en un menor número de granos por vaina.

Conclusiones:

Los resultados encontrados en este trabajo explican en parte el creciente uso de fertilizantes fosfatados por parte de los agricultores de la zona bajo estudio. El empleo de P incrementó los rendimientos de la variedad Brunca hasta en un 251,2% en relación con el tratamiento sin P. Con la línea experimental MUS 133, la respuesta varió según el sitio bajo estudio, pero sugiere que posee una mejor tolerancia a condiciones limitantes de fertilidad que la variedad Brunca. Es posible que hayan diferencias entre estos materiales

Cuadro 6. Interacción variedad de frijol por dosis de fósforo en el rendimiento en grano, en la localidad de Pavón y Los Chiles, Zona Norte de Costa Rica. 1994-1995.

Localidad/ Variedad	Rendimiento g/12 m ²		
	CON-P	SIN-P	P (F) ^{1/}
Pavón			
MUS 133	1761,12	495,88	0,10
BRUNCA	1361,50	513,88	
Los Chiles			
MUS 133	1699,13	1462,63	0,12
BRUNCA	1476,38	797,23	

^{1/} Probabilidad de F.

Cuadro 7. Interacción variedad de frijol por dosis de fósforo, en los granos por vaina, en la localidad de Pavón, Zona Norte de Costa Rica. 1994-1995.

Variedad	Granos/Vaina		
	Con-P	Sin-P	P (F) ^{1/}
MUS 133	4,22	4,85	0,09
BRUNCA	4,57	4,32	

^{1/} Probabilidad de F.

en capacidad de extracción de P o en eficiencia en el uso del P, con base en lo indicado por Posada *et al.* (1995) o por efecto de la interacción genotipo ambiental (Saborío y Beebe, 1995). La posible mejor tolerancia genética a ciertas condiciones de baja fertilidad es aun, una herramienta muy importante que recientemente se está empleando en el mejoramiento (Beebe, 1995; Saborío y Beebe, 1995). Además la tolerancia a problemas relacionados con la fertilidad de suelos puede ser afectada por la adaptación al medio ambiente (Wortmann 1994), las prácticas de manejo agrícola (fuentes y dosis de fósforo, inoculación con *Rhizobium* e inoculación con micorrizas), podrían ser una buena alternativa al incremento en la productividad de la zona donde se efectuaron estos ensayos.

Agradecimiento

Se agradece la valiosa colaboración brindada por el técnico Ronald Ramírez del Consejo Nacional de Producción (CNP), de Santa Rosa de Pocosal de Alajuela, en la selección de las áreas de producción comercial de frijol y marcado de los ensayos.

LITERATURA CITADA

- BEEBE, H. 1995. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para tolerancia a bajo fósforo: estrategias y fuentes de diversidad. *In:* Mejoramiento y manejo agronómico del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) para adaptación a suelos de bajo fósforo. San José, Costa Rica. Taller Internacional sobre bajo fósforo en el cultivo del frijol. PROFRIJOL-CIAT Universidad de Costa Rica. p. 1-8.
- BERTSCH, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica. Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica.
- CLARK, R.B.; DUNCAN, R.R. 1991. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. *Field Crops Res.* 27:219-240.
- CORELLA, J. F. 1983. El cultivo del frijol en Costa Rica: Clasificación y manejo de suelos. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Investigaciones Agrícolas, Unidad de suelos. sp.
- FISEN, P. 1995. Dinámica suelo-cultivo del fósforo y manejo de los fertilizantes forfatos (parte III). *Informaciones agronómicas.* INFOPOS (18): 3-5.
- GRAHAM, R.D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Advances in Plant Nutrition* 1:57-102.
- HENRIQUEZ, C.; BERTSCH, F.; SALAS, R. 1995. Fertilidad de suelos. Manual de laboratorio. ACCS. 64p.
- POSADA, H.; KORNEGAY, J.; BECK, D. 1995. Estudio de herencia y mecanismos de tolerancia en líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) andinas y mesoamericanas a bajo fósforo en el suelo. *In:* Mejoramiento y manejo agronómico del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) para adaptación a suelos de bajo fósforo. San José, Costa Rica. Taller Internacional sobre bajo fósforo en el cultivo del frijol. PROFRIJOL-CIAT Universidad de Costa Rica. p. 41-57.
- SABORIO, A. 1992. Informe anual: Programa de frijol para Centroamérica, México y El Caribe. Alajuela, Costa Rica, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 20 p.
- SABORIO, A. 1993. Informe anual: Programa de frijol para Centroamérica, México y El Caribe. Alajuela, Costa Rica. Centro Internacional de Agricultura Tropical. p. irr.
- SABORIO, A.; BEEBE, S. 1995. Mejoramiento para tolerancia a bajo fósforo en Costa Rica. *In:* Mejoramiento y manejo agronómico del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) para adaptación a suelos de bajo fósforo. San José, Costa Rica. Taller Internacional sobre bajo fósforo en el cultivo del frijol. PROFRIJOL-CIAT- Universidad de Costa Rica. p. 9-18.
- SANCHEZ P.; SALINAS, J. 1983. Suelos ácidos: estrategias para su manejo en bajos insumos en América Tropical. Bogota, Colombia, Montoya y Araujo Ltda. p. 93.
- WORTMANN, C.S. 1994. The Africa network for screening beans for tolerance to edaphic stresses - an overview. *In:* C.S. Wortmann (ed.). *Bean Improvement for Low Fertility Soils in Africa: Proceedings of a Working Group Meeting, Kampala, Uganda, 23-26 May, 1994. Network on Bean Research in Africa, Workshop Series No. 25, CIAT p. 2-5.*