

RESPUESTA DE CUATRO VARIEDADES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) A NIVELES Y FUENTES DE FOSFORO EN DOS PROFUNDIDADES DE APLICACION Y A DEFICIT DE AGUA EN SUELOS ACIDOS

Carlos A. Urrea F. *

Jorge E. Ortega **

Jorge A. Escobar G. ***

COMPENDIO

Se sembraron escalonadamente 4 variedades de frijol (Carioca, G-400, Puebla 152 e ICA-Pijao) en un suelo Paleuhumult Orthóxico, de la subestación del CIAT en Quilichao, departamento del Cauca (Colombia). Las fuentes de P (SFT-20 o/o P y Escorias Thomas 6 o/o) se aplicaron en 2 dosis (66 y 131 kg/ha) y 2 profundidades (5 y 20 cm). Se utilizaron dos testigos (suelo disturbado e indisturbado). Hay reducciones del 70 o/o en el rendimiento cuando el frijol crece bajo déficit de agua, por lo que la fertilización fosfatada no es un método económico para incrementar la producción. No hay diferencias entre las profundidades de aplicación del P. Las variedades Carioca y G-400 son eficientes a bajo P en el suelo y toleran el déficit de agua; ICA-Pijao (ineficiente) y Puebla 152 (eficiente) no toleran la sequía. Las variedades eficientes a bajo P, acumulan mayor cantidad de N y P en raíces. La longitud de raíces no es un parámetro importante para clasificar la eficiencia de las variedades de frijol en presencia de bajo P en el suelo.

ABSTRACT

An experiment was made at sub-station of CIAT-Quilichao (Paleuhumult Orthoxic) with four sequential planting dates using four bean varieties (Carioca, G-4000, Puebla 152 and ICA-Pijao), two P sources (TSP 20 o/o P and basic slag 6 o/o), two doses (66 and 131 kg/ha), two application depths (5 and 20 cm) and two check treatments (with disturbed and undisturbed soil). Phosphate fertilizer application are not an economic method to increase production when beans are grown under water stress conditions where beans suffer a 70 o/o yield decrease. No significant differences were observed between the two application depths. The varieties Carioca and G-4000 are efficient in soils subject to low phosphorus conditions; and are tolerant to water stress conditions. ICA-Pijao (inefficient) and Puebla 152 (efficient) are not tolerant to water stress. Inefficient varieties under low soil phosphorus conditions accumulate more N and P in the roots. Root length is not an important parameter to classify bean varieties as efficient and non efficient ones.

* Estudiante de pre-grado. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

** Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. A.A. 6713, Cali, Colombia.

*** Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

1. INTRODUCCION

En los trópicos de América Latina, donde la producción agrícola está limitada por la sequía y la acidez del suelo, la tecnología de bajos insumos se puede emplear dentro de una serie de prácticas agronómicas, sembrando especies y/o variedades tolerantes a estas condiciones adversas.

La variedad Carioca de frijol, promisoría para suelos ácidos con baja disponibilidad de P y moderadamente altos en Al y/o Al: Mn (CIAT, 2), tiene alta respuesta al P (Miranda y Lobato, 6) y a su aplicación profunda (Thung, Ortega y Rodriguez, 8). En los primeros estados de desarrollo, el frijol aprovecha mejor el P cuando está cerca de su zona radicular (Thung, Ortega y Rodriguez, 8); el aumento de la densidad radicular entre 15 -30 cm no es diferente aún cuando el fertilizante se aplique superficial o profundamente (Guimaraes y Portes, 5). El mínimo contacto entre el suelo y el superfosfato triple- SFT reduce la fijación del P, mientras que en las Escorias Thomas-ET el método de aplicación no afectó su eficiencia; en condiciones húmedas el efecto residual de las ET fue significativamente superior al del SFT (CIAT, 2).

Los objetivos de la investigación buscaron cuantificar el efecto de fuentes, niveles, profundidades de aplicación y efecto residual relativo del fósforo sobre el rendimiento del frijol; determinar el efecto del déficit de agua sobre las características fenológicas y de rendimiento del frijol y clasificar las variedades según su respuesta a bajos contenidos de P en el suelo, en condiciones normales y de déficit de agua.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

El experimento se llevó a cabo en la sub-estación Quilichao del Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT, en un suelo ácido (pH:4.5), con alto Al (2.0 m.eq./100 g de suelo), baja disponibilidad de P (6.6 ppm Bra y II) y contenidos intermedios de Ca (3.0), Mg (1.1) y K (0.3 meq./100g), clasificado como ultisol, paleuhumult, orthóxico, arcilloso, caolínico e isohiértico.

Las variedades Carioca y Puebla 152 (arbustivas, indeterminadas y postradas) y G-400 e ICA-Pijao (arbustivas e indeterminadas), probadas por el CIAT en suelos ácidos con problemas de fósforo, se fertilizaron con dos dosis (60 y 131 kg de P/ha) de SFT (20 o/o P) y Escorias Thomas (6 o/o P), aplicadas junto (5 cm) y por debajo de la semilla (20 cm). Para la aplicación profunda se removió el suelo con una cultivadora y el fertilizante se aplicó por surcos; la siembra se hizo manualmente. La población final fue de 200 000

plantas/ha. Se realizaron 4 siembras escalonadas para estudiar el efecto del déficit de agua sobre el germoplasma de frijol y la fertilización fosfatada (Cuadro 1).

El experimento se diseñó en franjas divididas en arreglo factorial 2^3 , con tres repeticiones. Se adicionaron 2 testigos (uno abriendo zanja a 20 cm y el otro sin disturbar el suelo). Las variedades se situaron en franjas verticales y los 10 tratamientos en franjas horizontales. El área total de parcela fue de 14.4 m^2 ; en los ensayos bajo condiciones normales y de déficit de agua el área útil fue de 4.8 m^2 y de 8.4 m^2 en los ensayos residuales.

En los ensayos normal y de déficit de agua se aplicaron basalmente 75 kg N/ha (Urea), 75 kg K_2O /ha (KCl), 20 kg S/ha (S elemental), 1 kg B/ha (Borax), 5 kg Zn/ha (ZnSO_4) y 1 kg Mg/ha (MgSO_4). En los experimentos residuales se incorporaron en banda 100 kg N/ha.

Antes de establecer el experimento y después de cada cosecha se analizaron P, Mn, Al y pH de muestras de suelo de 0-20 cm. A los 21 días después de emergencia, en floración y madurez fisiológica se registraron el índice de área foliar y la longitud de raíces (principal y secundaria); se determinó la absorción de N y P en hojas, tallos y raíces de los ensayos normal y de déficit de agua. A la cosecha se evaluaron el número de granos/vaina, número de vainas/planta, peso de 100 semillas, peso de semilla del área útil y porcentaje de humedad al 14 por ciento.

Se realizaron análisis de varianza, pruebas de Duncan, correlaciones y regresiones análisis de suelos y de tejidos, índice de área foliar, longitud de raíces y rendimiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Generalidades.

En los 4 ensayos se presentó efecto marcado del clima sobre las cuatro variedades de frijol; obteniéndose diferencias promedias de 0.88 t/ha entre los ensayos normal y de déficit de agua, mientras que con la fertilización fosfatada sólo se lograron ganancias de 0.16 t/ha (Cuadro 2).

3.2. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el rendimiento del frijol.

Al comparar el factorial con los testigos, hubo incrementos en el rendimiento de alrededor del 40 o/o a través de los 4 ensayos, siendo las diferencias altamente significativas (Cuadro 2).

Cuadro 1

Precipitación (mm) registrada en los ensayos

Ensayo	Epoca	Días después de la siembra (dd s)				
		0-25	25-30*	30-48	48-55**	56-90
1. Normal	XI - 9 - 82 - II - 8 - 83	188.0	41.8	110.3	52.6	64.3
2. Déficit de agua	XII-22 - 82 - III- 29- 83	82.0	13.0	32.4	9.4	171.5
3. Residual 1°	III - 11 - VI - 6 - 83	150.9	138.0	177.4	25.3	280.6
4. Residual 2°	IV - 14 - VII-1 - 83	216.6	28.6	153.8	57.2	18.2

* Epoca crítica 1 (inicio de floración)

** Epoca crítica 2 (fructificación)

Cuadro 2

Efecto de la fertilización fosfatada en el rendimiento de cuatro variedades de frijol (t/ha)

	E n s a y o s			
	1	2	3	4
Diferencia máxima entre materiales*	0.99 ¹ 1.64 ⁴	0.18 ² 0.44 ⁴	0.83 ¹ 1.06 ³	1.08 ³ 1.55 ⁴
\sqrt{Ea} (6 gl)	0.65 0.46	0.26 0.22	0.23 0.31	0.47 0.36
Diferencia máxima por efecto de la fertilización fosfatada**	1.19 ⁷ 1.51 ⁴	0.26 ⁷ 0.39 ¹	0.93 ⁴ 1.46 ⁶	1.22 ⁴ 1.46 ⁶
\sqrt{Eb} (18 gl)	0.32 0.44	0.13 0.10	0.53 0.43	0.24 0.33
\bar{X} factorial	1.30	0.34	1.11	1.33
Diferencia máxima entre testigos***	0.55 ¹⁰ 1.03 ⁹	0.22 ¹⁰ 0.22 ⁹	0.24 ¹⁰ 0.69 ⁹	0.78 ¹⁰ 0.87 ⁹
\bar{X} testigos	0.48 0.79	0.00 0.22	0.45 0.47	0.09 0.83
\bar{Y} (media general)	1.20	0.32	0.98	1.32
CV o/o	21.67	22.19	20.11	13.98

* 4: Carioca, 3: Ica Pijao, 2: Puebla 152, 1: G-4000.

** 1: SFT 66 kg P/ha a 5 cm, 4: SFT 131 kg P/ha a 20 cm;

6: ET 66 kg P/ha a 5 cm, 7: ET 66 kg P/ha a 20 cm.

*** 9: Testigo sin abrir zanja, 10: testigo disturbando el suelo a 20 cm.

3.3. Efecto de fuentes de P en el rendimiento del frijol.

Hubo efecto significativo de fuentes en los ensayos 1 y 2 para el número de vainas/planta y el rendimiento, respectivamente; destacándose el SFT en parte por su mayor solubilidad y por el mayor ritmo de absorción de P por el frijol (Fig. 1).

En el ensayo residual del normal, las escorias Thomas, que por su lenta solubilidad son menos susceptibles de fijación por los suelos ácidos, fueron estadísticamente superiores en rendimiento y número de vainas/planta.

3.4. Efecto de fuentes, dosis y profundidades de aplicación de P en el rendimiento del frijol.

No se detectaron diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos del factorial sobre el rendimiento; sin embargo aplicando las escorias Thomas (66 kg P/ha) en forma profunda se produjeron los mayores rendimientos promedios, pero no se justificaría por su laboriosidad y costos adicionales que conlleva.

3.5. Efecto de la disturbación del suelo.

En los ensayos 1 y 3 hubo diferencias significativas entre los testigos, destacándose el testigo sin disturbar el suelo en casi 0.5 t/ha (Cuadro 3). Las diferencias se pueden deber a los mayores contenidos de Al (3.18 meq/100 g de suelo) y Mn (32.05 ppm), que son responsables de la fijación de P, en el testigo con suelo disturbado.

3.6. Efecto del déficit de agua en el rendimiento del frijol.

Los períodos secos ocurridos en las etapas críticas de prefloración y fructificación (Díaz y Castillo, 4), producen una caída en el rendimiento, debido principalmente a una reducción en el número de vainas/planta y en menor grado a una disminución en el número de granos/vaina. Tomando los valores del rendimiento y sus componentes del ensayo 1 como ciento por ciento, hay reducciones en el rendimiento del 73 o/o y en sus componentes (Cuadro 4).

3.7. Efecto del déficit de agua sobre la absorción de N y P (g/m^2) a través del período fenológico del frijol.

La mayor absorción total de N y P se presentó en el ensayo bajo déficit de agua (Cuadro 5). Hubo mayor acumulación de N y P en tallos entre flo-

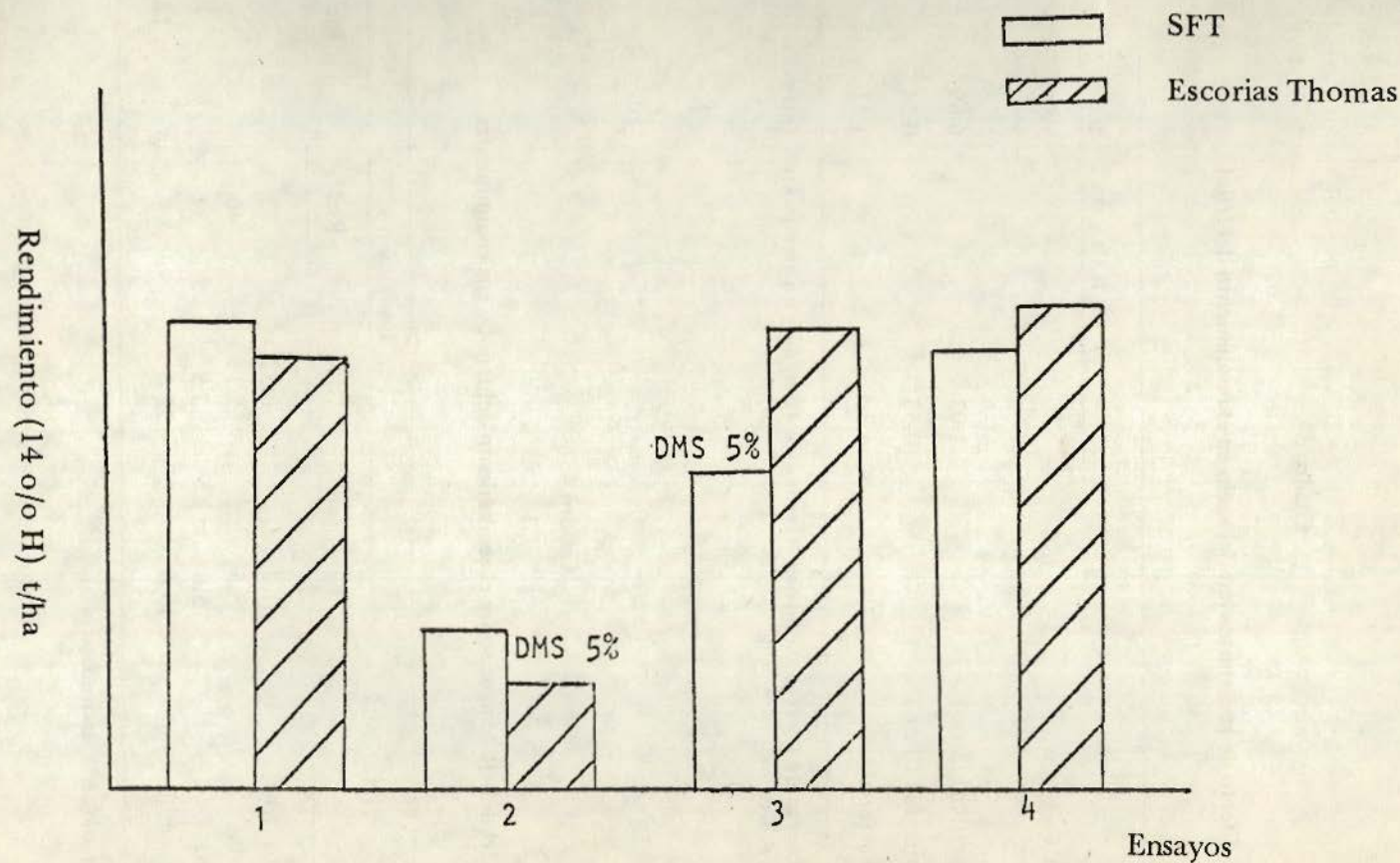


Fig 1. Efecto de fuentes de fósforo en el rendimiento del fríjol

Cuadro 3

Efecto de la disturbación del suelo en el rendimiento del frijol

Testigos	Ensayos	
	1	3
Superficial (5 cm)	1.03 ^a	0.69 ^a
Profundo (20 cm)	0.55 ^b	0.24 ^b
\bar{X} Factorial	1.30	1.11

* Prueba de Duncan, la misma letra indica diferencia no significativa entre los promedios.

Cuadro 4

Efecto del déficit de agua sobre el rendimiento del frijol y sus componentes

Descriptor	Ensayos			
	1	2	Red *	Inc. **
Rendimiento (t/ha)	1.2	0.32	73	-
Vainas/planta	8.5	5.1	40	-
Granos/vaina	5.6	3.5	37	-
Tamaño de semilla	19.6	22.0	-	12

* Reducción (o/o); ** Incremento (o/o)

Cuadro 5

Efecto del déficit de agua en la absorción de N y P (g/m^2) a través del período fenológico del frijol

Absorción	Epoca	Ensayos	
		1	2
N Raíz	21 dde	4.19	5.10
	Floración	9.36	15.09
	Madurez	14.87	25.94
P Raíz	21 dde	0.33	0.54
	Floración	0.95	1.50
	Madurez	1.21	2.60
N Tallo	21 dde	18.54	26.34
	Floración	40.58	58.23
	Madurez	45.73	73.95
P Tallo	21 dde	2.01	2.64
	Floración	5.22	5.58
	Madurez	4.13	7.13
N Hojas	21 dde	65.40	99.26
	Floración	134.79	156.83
	Madurez	18.23	76.82
P Hojas	21 dde	5.17	7.30
	Floración	15.84	10.92
	Madurez	12.81	5.30
N Total		351.68	537.56
P Total		36.16	43.51

ración y madurez fisiológica, con la consecuente merma de traslocación para hojas y formación de vainas. El ensayo de déficit arrojó los mayores valores de acumulación de N y P en raíces, durante la madurez fisiológica. En el ensayo de déficit de agua hubo mayor absorción total de N, en parte porque las variedades ICA-Pijao y Puebla 152 se consideran como materiales no tolerantes a la sequía, lo que no ocurrió con las variedades Carioca y G-4000; resultados que concuerdan con los de Arnon (1) y Sharpley y Reed (6).

3.8. Efecto del déficit de agua en la longitud de raíces.

Cuando las variedades de frijol crecen en condiciones de déficit de agua, se reduce el desarrollo de raíces primarias y secundarias (Cuadro 6) y hay tendencia a formar raicillas, como lo había registrado Danielson (3).

3.9. Conceptos de eficiencia e ineficiencia del frijol a bajo P.

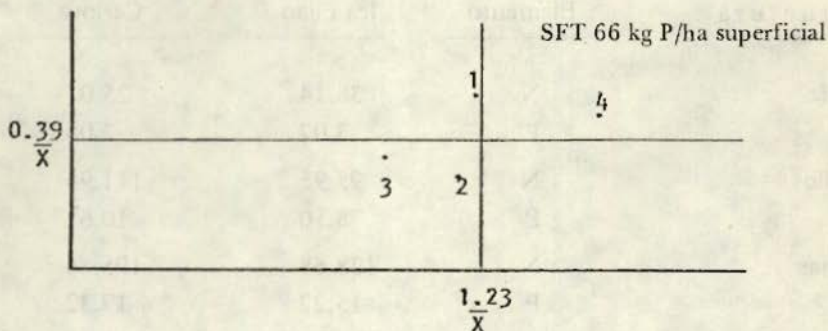
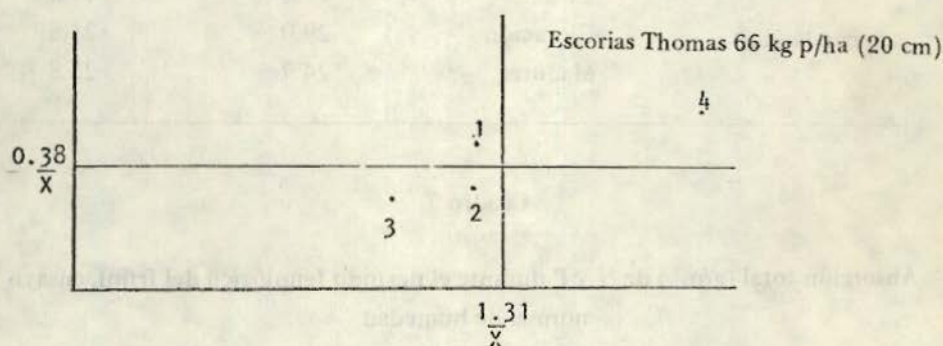
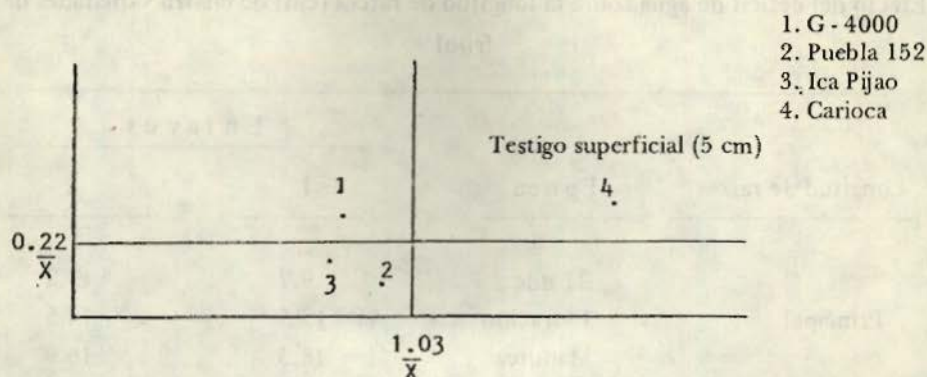
Considerando el tratamiento sin disturbar el suelo, en los ensayos 1 y 2, la variedad Carioca logró los mayores rendimientos promedios a bajos contenidos de P en el suelo (menos de 4.5 ppm, Bray II), además respondió favorablemente a su aplicación, lo cual indica que es un material eficiente y con respuesta a la fertilización fosfatada, además de tolerar la sequía.

La variedad G-4000 se comportó eficientemente a bajo fósforo en condiciones de déficit de agua. La variedad Puebla 152, bajo condiciones normales de humedad, se considera eficiente a bajo P, pero con rendimientos menores a Carioca y G-4000; sin embargo, en condiciones de déficit de agua, los rendimientos decrecen. La variedad ICA-Pijao es ineficiente a bajo contenido de P en el suelo y no tolerante a la sequía (Fig. 2).

3.10. Posibles mecanismos de eficiencia e ineficiencia del frijol a bajo P en el suelo.

La variedad Carioca presentó mayores valores de absorción de N y P y el índice de traslocación de estos nutrimentos fue mayor que el de Ica Pijao (Cuadro 7). Ica Pijao presentó los mayores valores de absorción de N y P en raíz durante su período fenológico, por lo que las variedades ineficientes tienen menor capacidad de absorber y de traslocar N y P hacia la parte aérea de la planta.

Tanto para los ensayos bajo condiciones normales de humedad y de déficit de agua, no hubo diferencia significativa entre las variedades de frijol respecto a la longitud de raíz principal y secundarias, por lo que en parte



Ensayo condición normal de humedad (t/ha)

Fig 2. Comportamiento de 4 variedades de fríjol con diferentes tratamientos de fósforo, bajo condiciones de humedad y de déficit de agua.

Cuadro 6

Efecto del déficit de agua sobre la longitud de raíces (cm) de cuatro variedades de fríjol

Longitud de raíz	Epoca	Ensayos	
		1	2
Principal	21 dde	9.7	13.2
	Floración	17.5	14.5
	Madurez	18.3	16.9
Secundarias	21 dde	17.4	19.5
	Floración	29.0	21.8
	Madurez	24.7	22.8

Cuadro 7

Absorción total (g/m^2) de N y P durante el período fenológico del fríjol, ensayo normal de humedad

Estructura	Elemento	Variedad	
		Ica Pijao	Carioca
Raíz	N	38.14	25.01
	P	3.07	2.08
Tallos	N	95.95	111.94
	P	8.50	10.61
Hojas	N	128.68	195.66
	P	15.22	17.32
Totales	N	262.77	332.61
	P	26.79	30.01
Índice transl.*	N	0.85	0.92
	P	0.89	0.93

* Índice de translocación = $\frac{\text{hojas} + \text{tallos}}{\text{Total tomado}}$

no es un parámetro importante para la clasificación de las variedades de frijol en eficientes y no eficientes a bajo P del suelo.

4. CONCLUSIONES

- 4.1. La adición de P no es un método económico para incrementar la producción, si el frijol crece bajo condiciones de déficit de agua, por las reducciones de alrededor del 70 o/o en sus rendimientos.
- 4.2. No se detectó efecto de fuentes, dosis y profundidades de aplicación de P.
- 4.3. Las escorias Thomas presentan mejor efecto residual que el superfosfato triple.
- 4.4. En suelos ácidos y bajo condiciones normales de humedad, si se disturba el suelo y no se aplica P, la planta va a ser afectada en parte por el Al y Mn.
- 4.5. La variedad Carioca es eficiente a bajo P en el suelo, responde a su aplicación y es tolerante a sequía. G-4000 se comporta eficientemente a bajo P en condiciones de sequía, contrario de lo que ocurre con la variedad Puebla 152. Ica Pijao es ineficiente a bajo P y no tolera el déficit de agua.

5. BIBLIOGRAFIA

1. ARNON, I. Physiological principles of dryland crop production. New Delhi, Oxford IBH, 1975. 124 p.
2. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Annual report, 1977. 92 p.
3. DANIELSON, R. E. Root systems in relation to irrigation. Agron. J. 11: 390-424. 1967.
4. DIAZ, D. y CASTILLO, J. J. Aplicación de riego al frijol de acuerdo con las diferentes fases de desarrollo. Cali, CIAT, 1981. 16 p.
5. GUIAMARAES, C. M. y PORTES, C. T. Sistema radicular do feijoeiro e profundidades de aplicação do adubo. Pesquisa em andamento. EMBRAPA. No. 31. 1981. 3 p.

6. MIRANDA, L. DE y LOBATO, E. Tolerancia de variedades de feijao e de trigo as aluminio e a baixa disponibilidade de fósforo no solo. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 2(1): 44-50. 1978.
7. SHARPLEY, A. N. y REED, L. W. Effects of enviromental stress on growth and amounts and forms of phosphorus in plants. Agron. J. 74: 19-22. 1982.
8. THUNG, M., ORTEGA, J., y RODRIGUEZ, R. Respuesta al fósforo aplicado a dos profundidades y su efecto en el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Cali, CIAT, 1982. 23 p.