

- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA. 1964. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura Nº 60 Richards. I.A. Ed. 115-116.
- DE VRIES, D. A. 1966. Physics of plant environments. Ed. W. R. Van Wijk, North Holland Publishing Company, Amsterdam. 210.
- DÍAZ, C. 1958. Desarrollo de los estudios de suelos en Chile durante los decenios 1948-1958. Agricultura Técnica, Vol. 18, Nº 2. Ministerio de Agricultura, Chile. p. 59-77.
- GAYANDE, S. 1972. Física de suelos. 1ª Ed. Limusa-Wiley S. A. México, 99-100.
- IREN (CORFO). 1964. Descripciones de suelos. Proyecto Aerofotogramétrico Chile OEA/BID. 391 p.
- NORERO, A. 1969. Guía para el análisis de tierra. Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile. 20 p.
- PETERS, D. B. 1965. Water availability. In methods of soil analysis. C. A. Black, Ed. Agronomy Nº 9. American Soc. of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, USA. 373-377.
- IOWA STATE UNIVERSITY. 1965. Soil physics Laboratory Manual 22-24.
- RUZ, J. E. 1975. Caracterización hídrica de nueve series de suelo de la provincia de Santiago. Tesis Ing. Agr., U. Católica de Chile. 95 p.
- SALTER, P. S. y WILLIAMS, J. B. 1965. The influence of texture on the moisture characteristics. Journal of soil Science 16: 310-317.

Efecto de la aplicación de fósforo sobre el rendimiento biológico y contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en la planta de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.)¹

Ernani Parodi A.², José D. Opazo A.³ y Jorge Mosjidis Ch.⁴

INTRODUCCION

En Chile las aplicaciones de fertilizantes al cultivo del frejol, en suelos aluviales, no han aumentado los rendimientos y en los casos en que se han obtenido respuestas, ellas han sido erráticas o de poca consideración. Al respecto, en frejol, Morales (1966), Marín (1963), Domínguez (1961), San Cristóbal (1966)⁵ y Sotomayor y San Cristóbal (1966)⁶, no encontraron respuesta al fósforo, en diferentes sue-

los aluviales de la zona central de Chile. No obstante, los investigadores concuerdan en que el fósforo aplicado como fertilizante, es absorbido por el frejol, hecho que se refleja en una mayor concentración de este elemento en la planta (Morales, 1966; Roberts *et al.*, 1972).

El objetivo del presente trabajo fue estudiar, en condiciones de invernadero, los efectos de la aplicación de fósforo en el rendimiento biológico (producción total de materia seca) y contenidos relativos y absolutos de nitrógeno, fósforo y potasio de la planta de frejol, en cuatro suelos aluviales de la zona central de Chile, con distintos contenidos de fósforo asimilable.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó durante los meses de junio y julio de 1975, bajo condiciones de in-

¹Parte de la Tesis de Grado presentada a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile por Ernani Parodi A. Recepción originales: 17 de septiembre de 1976.

²Ing. Agr., Dpto. Ingeniería y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago, Chile.

³Ing. Agr., Profesor, Dpto. Ingeniería y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago, Chile.

⁴Ing. Agr., Profesor, Depto. Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago, Chile.

⁵San Cristóbal, I. 1966. Informe interno INIA (No publicado).

⁶Sotomayor, I. y San Cristóbal, I. (1966). Informe interno INIA (No publicado).

vernadero, con temperatura controlada. Se trabajó con muestras tomadas de 0-20 cm, de cuatro suelos aluviales de la provincia de Santiago, correspondientes a las series Pirque, Maipo, Santiago y Lo Herrera.

Mediante un muestreo preliminar dentro de cada serie se seleccionaron dos muestras con menos de 6 ppm de fósforo y dos con más de 9 ppm. Los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio para cada suelo se presentan en el Cuadro 1.

Las muestras se tomaron de la capa arable y se tamizaron a 6 mm para el ensayo en macetas. Se utilizaron 800 g de suelo por maceta y se cultivó una planta por maceta de una línea pura del cultivar Red Kidney. El fósforo se aplicó como superfosfato triple, con un 46% de P_2O_5 , en forma granulada a 1 mm, mezclándolo homogéneamente con el suelo, con el fin de evitar diferencias debido al tamaño de los gránulos. Los valores promedios de temperatura del suelo durante el

Cuadro 1 — Análisis químico de nitrógeno, fósforo y potasio (ppm).

Suelo	Nitrógeno inorgánico	Fósforo asimilable	Potasio aprovechable
Pirque	12	6	88
Santiago	16	11	117
Lo Herrera	8	9	219
Maipo	2	6	129

ensayo fueron de 20°C y se mantuvo una humedad aproximada de 2/3 la humedad aprovechable. Se empleó un diseño completamente aleatorizado en una disposición factorial 4×3 con 6 repeticiones. Las variables del ensayo fueron los cuatro suelos y tres niveles de fósforo. Los niveles de fertilización fueron:

Nivel bajo: representado por el status de fósforo del suelo.

Nivel medio: aplicación de 0,04 g de superfosfato triple, lo que equivale a 10 ppm de fósforo (100 Kg/ha de superfosfato triple).

Nivel alto: aplicación de 0,08 g de superfosfato triple, lo que equivale a 20 ppm de fósforo (200 Kg/ha de superfosfato triple).

Se utilizó una séptima repetición sin sembrar, para medir el nivel de fósforo asimilable, por el método de Olsen *et al.*, una semana después de aplicado el fertilizante.

Con el objeto de caracterizar las muestras de suelo se efectuaron el análisis granulométrico mediante el método de Bouyoucos (1951), y los siguientes análisis químicos, siguiendo los procedimientos descritos por Black (1965): conductividad eléctrica del extracto de saturación; pH en agua y KCl (relación 1:2,5); materia orgánica, por el método de Walkley y Black; capacidad total de intercambio por el método de saturación con nitrato de sodio a pH, 8,2; bases de intercambio con acetato de amonio 1 N pH 7;

acidez cambiante, por el método del cloruro de bario trietanol amina pH 8,2; nitrógeno inorgánico según el método de Bremner y Keeney; fósforo asimilable según el método de Olsen *et al.*; el potasio aprovechable se determinó según el método del acetato de amonio a pH 7, descrito por Jackson (1964).

La cosecha se realizó cuando ocurrió la antesis de la primera flor. La parte aérea de las plantas se secó a 70°C durante 48 horas. Se determinó materia seca y se analizó los contenidos totales de nitrógeno, fósforo y potasio en la parte aérea de las plantas, utilizando los siguientes métodos: nitrógeno por Kjeldahl, citado por Chapman y Pratt (1973); fósforo con amarillo vanadato molibdato, citado por Chapman y Pratt (1973); potasio por fotometría de llama, citado por Chapman y Pratt (1973).

Los resultados de los análisis de plantas de la muestra serie Maipo no se consideraron dentro de los análisis estadísticos, debido a que la escasa cantidad de materia seca producida, no permitió contar con la cantidad necesaria para realizar los análisis en todas las repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de suelo

Los resultados del análisis granulométrico se

presentan en el Cuadro 2. Las clases texturales de todos los suelos serían apropiadas para el desarrollo del frejol, puesto que corresponden a texturas medias. Los niveles de nitrógeno serían bajos en los cuatro suelos y los valores de potasio corresponderían a niveles suficientes (Cuadro 1). De las características químicas de los suelos que se señalan en el Cuadro 3, es interesante destacar que los valores de pH de los cuatro suelos están cerca de la neutralidad, los valores de mate-

ria orgánica varían bastante, correspondiendo el valor máximo al suelo Pirque y el mínimo al suelo Maipo con sólo un 1,5%. Se puede observar además que la CIC del suelo Maipo es bastante más baja que la de los otros suelos. Todos los factores estarían indicando que la muestra del suelo Maipo posee una fertilidad inferior a los demás suelos en estudio.

En el Cuadro 4 se presentan los valores de fósforo en los suelos, para los distintos sue-

Cuadro 2 — Análisis granulométrico.

Suelo	Clase textural	Fracciones (%)		
		Arena	Limo	Arcilla
Pirque	Franca	38,8	40,0	21,2
Santiago	Franca	36,8	40,0	23,2
Lo Herrera	Franca	38,8	36,0	25,2
Maipo	Franca arcinosa	56,8	32,0	11,2

Cuadro 3 — Análisis químicos de la capa arable (0-20 cm)

Suelos	pH(1:2,5)		M. O.	C. E.	Ca Co ₃	Complejo de Cambio					P. S. B	
	H ₂ O	KCl				Ca+Mg	K	Na	S. B. I.	H		C. I. C.
			%	mmhos/cm a 25° C.	%	meq./100 gramos					%	
Pirque	7,1	6,6	4,2	0,7	2,65	9,2	0,2	0,7	10,1	1,3	11,4	88,5
Santiago	7,1	6,6	3,5	0,5	2,70	10,3	0,3	0,6	11,2	2,7	13,9	80,5
Lo Herrera	7,0	6,6	2,6	0,8	2,70	9,9	0,5	0,5	10,9	3,2	14,1	77,3
Maipo	7,2	6,7	1,5	0,5	3,30	7,1	0,3	0,4	7,8	0,9	8,7	89,6

M. O. = Materia orgánica.
H = Acidez de cambio
P.S.B. = Porcentaje de saturación de bases.

S.B.I. = Suma de bases de intercambio.
C.I.C. = Capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 4 — Valores promedios de fósforo en los suelos, iniciales y finales, por tratamiento (ppm).

Suelo	Tratamiento	Fósforo asimilable en el suelo		
		Inicial	Final	Diferencia
Pirque	Nivel bajo	6	9	+ 3
	Nivel medio	14	11	- 3
	Nivel alto	20	15	- 5
Santiago	Nivel bajo	11	6	- 5
	Nivel medio	12	13	+ 1
	Nivel alto	21	18	- 3
Lo Herrera	Nivel bajo	9	11	+ 2
	Nivel medio	14	16	+ 2
	Nivel alto	26	21	- 5
Maipo	Nivel bajo	6	5	- 1
	Nivel medio	12	9	- 3
	Nivel alto	21	16	- 5

los y tratamientos, tanto antes de la siembra como después de la cosecha.

Se puede apreciar que la aplicación de fósforo aumentó los contenidos iniciales de este elemento en los suelos, detectados por el análisis químico. Después de la cosecha, los contenidos de fósforo en el suelo disminuyeron con respecto a los iniciales, en la mayoría de los casos. En algunos suelos, sin embargo, dichos contenidos aumentaron para los tratamientos bajo y medio, no así en los tratamientos con aplicación de un nivel alto.

Rendimiento biológico

El desarrollo se midió como rendimiento biológico, el cual según Donald, citado por Wallace y Munguer (1966), sería la producción total de materia seca de un cultivo. El análisis estadístico de los resultados de materia seca (Cuadro 5), indicó diferencias significativas para el factor suelo pero no para la dosis de fósforo. Al comparar los suelos se observa una superioridad de Pirque y Santiago, particularmente del primero. En el suelo Lo Herrera se tuvo una producción significativamente inferior y finalmente las plantas que crecieron en el suelo Maipo alcanzaron un escaso desarrollo. Estos resultados indicarían que el factor suelo sería determinante sobre el rendimiento biológico del frejol. Sobre este punto, es conveniente señalar, que

Cuadro 5 — Materia seca expresada en gramos por planta.

Suelo	Tratamiento	Materia seca ¹	
Pirque	Nivel bajo	1,235	a
	Nivel medio	1,203	a
	Nivel alto	1,270	a
Santiago	Nivel bajo	1,180	ab
	Nivel medio	1,230	a
	Nivel alto	1,242	a
Lo Herrera	Nivel bajo	1,030	bc
	Nivel medio	0,965	cd
	Nivel alto	0,815	de
Maipo	Nivel bajo	0,787	e
	Nivel medio	0,767	e
	Nivel alto	0,830	de

¹Los valores con igual letra no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

hubo una estrecha relación entre el rendimiento biológico de las plantas y los contenidos de materia orgánica de los suelos. Ello se basa en el hecho, que los suelos donde se lograron los máximos rendimientos fueron, precisamente, los que tenían un nivel más alto de materia orgánica (Cuadro 3).

Los niveles originales de fósforo de los suelos fueron suficientes para un desarrollo normal de las plantas, a pesar que se trabajó con suelos con diferentes contenidos de fósforo asimilable.

Análisis de Planta

En el Cuadro 6 se aprecia que en los cuatro suelos, el porcentaje de fósforo en las plantas aumentó con las aplicaciones de este elemento, con respecto a las plantas que se desarrollaron en el nivel bajo de fósforo. El análisis estadístico de los resultados de contenidos de fósforo en las plantas, indicó diferencias significativas para el factor dosis de fósforo y para el factor suelos. En el suelo Lo Herrera, se observó una correlación negativa entre el porcentaje de fósforo de las plantas y su producción de materia seca. Esto se puede deber al efecto de concentración del fósforo en el tejido al no darse las condiciones para un mayor desarrollo de las plantas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Fris-Nielsen (1969), señalando que la acumulación de un elemento nutritivo en una planta es mayor, mientras mayor sea el suministro y la absorción y menor sea el efecto sobre el rendimiento de materia seca de este elemento, en relación con los demás factores del desarrollo. Las conclusiones de este investigador inducen a no descartar la posibilidad de la intervención de un factor limitante de la planta misma o del suelo, que estaría influenciando esta falta de respuesta de la planta a pesar de tener un mayor contenido de fósforo en sus tejidos, como consecuencia de la fertilización aplicada.

En el Cuadro 6 se presentan los contenidos absolutos de fósforo, los cuales se obtuvieron a partir del rendimiento biológico de la planta y su respectivo porcentaje de fósforo. En los cuatro suelos el contenido absoluto de fósforo aumentó con las aplicaciones de este nutriente. El análisis estadístico de los valores absolutos indica diferencias significativas para el factor suelo y para el factor dosis de fósforo. En ninguno de los tres suelos sometidos al análisis estadístico se observaron diferencias significativas para el contenido ab-

Cuadro 6 — Porcentaje de fósforo en las plantas y contenidos absolutos expresado en mg de fósforo por planta.

Suelo	Tratamiento	Fósforo (%) ¹	Contenidos ² absolutos
Pirque	Nivel bajo	0,192 de	2,347 bc
	Nivel medio	0,213 bcd	2,538 ab
	Nivel alto	0,220 b	2,810 a
Santiago	Nivel bajo	0,175 e	2,075 c
	Nivel medio	0,195 cde	2,417 abc
	Nivel alto	0,192 de	2,380 bc
Lo Herrera	Nivel bajo	0,217 bc	2,230 bc
	Nivel medio	0,262 a	2,517 ab
	Nivel alto	0,277 a	2,260 bc
Maipo	Nivel bajo	0,192	
	Nivel medio	0,207	
	Nivel alto	0,220	

¹Los valores con igual letra no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

soluto de fósforo en las plantas de los niveles medio y alto de cada suelo. Esto indicaría que para estos suelos el nivel de fósforo dado por la aplicación de 100 Kg/ha de superfosfato triple, fue suficiente para que las plantas alcanzaran el máximo contenido absoluto en este nutrimento, en el presente estudio.

En el Cuadro 7 se puede observar que los porcentajes de nitrógeno no presentan variación entre los suelos y tampoco con respecto a los niveles de fósforo. El análisis estadístico señala que la concentración de nitrógeno en las plantas sería independiente del factor suelo y dosis de fósforo, cuando no se fertiliza

con nitrógeno. Además, no se obtuvo una correlación significativa entre el porcentaje de nitrógeno de la planta y su peso seco, siendo los porcentajes de nitrógeno en las plantas muy similares en todos los tratamientos.

En el Cuadro 7 se puede ver claramente que los contenidos absolutos de nitrógeno de las plantas fueron muy similares en todos los tratamientos para cada suelo, pero variaron entre suelos, ya que no hubo diferencias significativas para el efecto del factor dosis de fósforo, sobre los contenidos de nitrógeno, pero sí para el factor suelo.

En el Cuadro 8 se puede ver que el por-

Cuadro 7 — Porcentaje de nitrógeno en las plantas y contenidos absolutos expresado en mg de nitrógeno por planta.

Suelo	Tratamiento	Nitrógeno (%) ¹	Contenidos absolutos ²
Pirque	Nivel bajo	2,503	31,002 ab
	Nivel medio	2,673	31,965 ab
	Nivel alto	2,490	31,618 ab
Santiago	Nivel bajo	2,605	30,920 ab
	Nivel medio	2,492	30,495 ab
	Nivel alto	2,617	32,558 a
Lo Herrera	Nivel bajo	2,633	27,103 bc
	Nivel medio	2,647	25,538 cd
	Nivel alto	2,638	21,583 d
Maipo	Nivel bajo	2,432	18,862
	Nivel medio	2,372	17,948
	Nivel alto	2,458	20,427

¹No difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

²Los valores con igual letra no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

Cuadro 8 — Porcentaje de potasio en las plantas y contenidos absolutos expresados en mg de potasio por planta.

Suelo	Tratamiento	Potasio (%) ¹	Contenidos ¹ absolutos
Pirque	Nivel bajo	2,142 cde	26,380 ab
	Nivel medio	2,078 de	24,885 ab
	Nivel alto	2,013 e	25,573 ab
Santiago	Nivel bajo	2,295 ocd	27,047 a
	Nivel medio	2,192 bede	26,920 ab
	Nivel alto	2,340 abc	29,188 a
Lo Herrera	Nivel bajo	2,573 a	26,532 ab
	Nivel medio	2,412 ab	23,177 bc
	Nivel alto	2,593 a	21,110 c
Maipo	Nivel bajo	2,452	19,237
	Nivel medio	2,567	19,653
	Nivel alto	2,606	21,665

¹Los valores con igual letra no difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

centaje de potasio en las plantas, no varió con la aplicación de fósforo, pero presentó diferencias entre los suelos. Se encontró una correlación negativa significativa ($P \leq 0,01$), entre el porcentaje de potasio y el peso seco de las plantas ($r = -0,479$), lo cual se podría deber a un efecto de concentración del potasio, razón ya señalada en la discusión del porcentaje de fósforo. Esta hipótesis también explicaría el alto porcentaje de potasio de las plantas del suelo Maipo, valor que estaría relacionado con el escaso desarrollo alcanzado.

No existió efecto de la aplicación de fósforo sobre el contenido relativo de potasio, hecho que tampoco se produjo en el caso del porcentaje de nitrógeno. Para el contenido absoluto de potasio de las plantas el análisis estadístico indicó diferencias significativas ($P \leq 0,01$) para el factor suelo pero no para el factor dosis de fósforo. El contenido absoluto de potasio de las plantas no varió apreciablemente entre los distintos niveles de fósforo en los suelos, con la sola excepción del suelo Lo Herrera, entre las plantas de los niveles altos y bajos de fósforo.

R E S U M E N

Se realizó un ensayo en macetas para estudiar los efectos de tres niveles de fósforo en la producción de materia seca y los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en las plantas de frejol, Red Kidney c.v., bajo condiciones de invernadero.

Las plantas fueron cultivadas en muestras de cuatro suelos aluviales de la provincia de Santiago: Pirque, Maipo, Lo Herrera y Santiago.

Las aplicaciones de fósforo elevaron el contenido de este elemento en forma considerable en todos los suelos y también aumentaron los contenidos absolutos y relativos en las plantas, hecho que sin embargo no se tradujo en un incremento de la producción de materia seca.

No se encontraron diferencias significativas en los contenidos relativos y absolutos de fósforo entre las plantas que recibieron 10 y 20 ppm de fósforo. Esto significa que las plantas llegaron a su máximo contenido de fósforo con la aplicación de 10 ppm lo que equivale aproximadamente a una dosis de 50 Kg/ha de P_2O_5 .

Los contenidos relativos y absolutos de nitrógeno y potasio en las plantas no fueron afectados por las aplicaciones de fósforo.

El tipo de suelo fue el factor que más influyó sobre la producción de materia seca, produciéndose los mayores rendimientos en los suelos con más alto contenido de materia orgánica.

S U M M A R Y

EFFECT OF THE PHOSPHORUS APPLICATION ON THE BIOLOGICAL YIELD AND NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM CONTENT IN THE BEAN PLANT (*Phaseolus vulgaris* L.)

A potted trial was carried out in order to study the effects of three phosphorus levels on dry matter production and nitrogen, phosphorus and potassium content in Red Kidney c.v. bean plants under greenhouse conditions.

Plants were grown in four alluvial soils: Pirque, Maipo, Lo Herrera and Santiago, from the Santiago Province.

Phosphorus applications increased considerably the phosphorus content in each soil, and also increased the relative and absolute contents in the plants. However, the dry matter production did not increase.

Significant differences were not found in the percent and absolute phosphorus content between the plants which received 10 and 20 ppm of phosphorus.

This suggests that plants reached the maximum phosphorus levels with the addition of 10 ppm of phosphorus (50 Kg/ha of P_2O_5).

The relative and absolute contents of nitrogen and potassium in plants were not affected by phosphorus applications.

The type of soil was the most influencing factor on dry matter production, and the greatest biological yields were observed in soils with the highest organic matter contents.

LITERATURA CITADA

- BLACK, C. A. (Ed.). 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. U.S.A. 1572 p.
- BOUYOUCOS, G. 1951. Recalibration of the hydrometer method of mekin mechanical analysis of soils. Agron. J. 43: 434-438.
- CHAPMAN, H. y PRATT, P. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas, México. 195 p.
- DOMÍNGUEZ, E. 1961. Fertilización con abonos minerales. Universidad Católica de Chile. (Tesis Ing. Agr., mimeografiada).
- FRIS-NIELSEN, B. 1969. Interpretation of chemical plant analysis and content of nutrient status of growing plants exemplified by tomato plant. Plant and Soil xxx (2): 183-209.
- JACKSON, M. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega. España. 662 p.
- MARÍN, F. 1963. Ensayo factorial de nitrógeno y fósforo en frejol en tabla y maíz en la Comuna de Pirque. Universidad Católica de Chile. (Tesis Ing. Agr., mimeografiada).
- MORALES, G. 1966. Estudio de fertilidad del suelo para frejol. Universidad Católica de Chile. (Tesis Ing. Agr., mimeografiada).
- ROBERTS, S., WEAVER, V. y PHILLIPS, J. 1972. Effect of nitrogen and rate and method of phosphorus fertilization on yield and nutrient content of dry beans. Bulletin, Washington Agricultural Experiment Station. Nº 762. 5 p.
- WALLACE, D. y MUNGUER, H. 1966. Studies of the physiological basis for yield differences. II. Variations in dry matter distribution among aerial organs for several dry bean varieties. Crop Science. 6. (6): 503-507.