

EFFECTO DEL FOSFORO Y DEL *Rhizobium phaseoli* EN FRIJOL COMUN INTERCALADO CON CAFETO ^{1/}*

Rodolfo Araya **
Oscar Acuña ***
Carlos Ramírez ****

ABSTRACT

Effect of phosphorus and of *Rhizobium phaseoli* on common bean intercropped with coffee. The effect of four doses of phosphorus (0, 55, 110 and 165 kg of P_2O_5 /ha) and three nitrogen treatments (*Rhizobium phaseoli* strains: 'CR-402' (127 K 12 b, Nitragin) and CR-409 (CIAT-166) and 0 kg of N/ha) were tested on common bean (*Phaseolus vulgaris* L., 'Negro Huasteco' and 'Talamanca' cultivars). Three bean rows were intercropped between unshaded rows of coffee bushes (spaced 0.9 m. , between plants and 1.6 m between rows) in an orchard ('Caturra' cultivar) located in Alajuela, Costa Rica. The bean cultivars showed an increased grain yield when the phosphorus dosage was raised from 0 to 55 kg P_2O_5 /ha. The dry weight of the nodules was different among the bean cultivars, and was affected by the added phosphorus. The foliage dry weight was increased by the *Rhizobium* strains only when the phosphorus doses were 110 and 165 kg/ha. The presence of a native *Rhizobium* was considered efficient based on the node formation and dry weight of nodules and foliage. The strains inoculated on the 'Negro Huasteco' outyielded the control on dry weight of nodules, but on the 'Talamanca' cultivar, the 'CR-409' strain was surpassed by the 'CR-402' strain and the control.

INTRODUCCION

El manejo tecnificado de cafetales en Costa Rica a plena exposición solar, permite la siembra de frijol intercalado por un período de 18 meses en plantaciones de café recién establecidas, y de hasta ocho meses, luego de la poda por hilera, en cafetales formados.

Las fórmulas comerciales de fertilizantes que comúnmente se emplean en los cafetales, incluyen fósforo (Salazar, 1969), y aunque el café, por lo general, no responde a la adición de este elemento (Handog, 1964; Pérez y Gutiérrez, 1963; Rodríguez, 1964), el frijol intercalado puede favorecerse por la presencia de fósforo adicional. Los suelos en que se siembra café en el Valle Central

1/ Recibido para publicación el 19 de noviembre de 1987.

* Investigación financiada por el Convenio UCR-MAG Programa Incremento a la Productividad Agrícola, Subprograma de Investigación EEFBM y Proyecto 736-84-145 de Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

** Programa Leguminosas de Grano, Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Apartado 183-4050, Alajuela, Costa Rica.

*** Centro de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. Apartado 34, San Pedro, San José, Costa Rica.

**** Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

de Costa Rica son ricos en arcillas alofánicas que fijan este elemento en exceso (Sánchez, 1981; IMDP, 1983). Además, se ha determinado que la fertilización fosfórica puede aumentar el peso de los nódulos bacterianos (Graham y Rosas, 1979; Trigo y Fassbender, 1973).

La respuesta del frijol común a la inoculación con cepas de *Rhizobium phaseoli* es variable (Graham, 1976) debido a la especificidad de algunas cepas hacia diferentes variedades de frijol, a la diferente capacidad de nodulación y fijación (Graham, 1981) y a factores edáficos relacionados con la disponibilidad de fósforo (Morales, 1987).

Existe la posibilidad que una exitosa nodulación en frijol beneficie también al café (Suárez, 1975; Suárez y Carrillo, 1976), como se ha determinado para maíz (Willey, 1979a; Willey, 1979b) y otras gramíneas (Haynes, 1980).

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el efecto de cuatro dosis de fósforo y la inoculación con dos cepas de *R. phaseoli* sobre el desarrollo del cultivo y la nodulación del frijol intercalado con café.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en el período comprendido entre el 16 de mayo y el 29 de agosto de 1986 en el lote Chepita 1, propiedad de la Hacienda Cafetalera "Cacao, S.A.", ubicada en Cacao, Alajuela, a una altitud de 870 msnm. La lluvia durante el período experimental fue de 742 mm (327 mm en mayo, 176 mm en junio, 80 mm en julio y 159 mm en agosto), y se presentó una temperatura promedio de 23°C. El café tenía un año de edad, se maneja a plena exposición solar y está sembrado con el cultivar 'Caturra', a una separación promedio de 1,6 m entre hileras de 0,9 m entre plantas. El análisis físico y químico del suelo donde se realizó el experimento indica que es un suelo franco (arena 44%, limo 36% y arcilla 20%) con un pH 6,1. Los contenidos de K, Ca, Mg y Al en cmol (+)/L de suelo fueron 0,51; 2,0; 0,8 y 0,15, respectivamente. El Cu, Mn y Zn presentaron valores de 10, 10 y 2,8 mg/L, respectivamente.

Se evaluó el efecto de cuatro dosis de fósforo: 0, 55, 110 y 165 kg de P₂O₅/ha, usando Triple Superfosfato como fuente. Estas dosis se establecieron con base en la curva de fijación de fósforo, que indicó que había que adicionar 38 ppm para extraer

el nivel crítico del elemento (12 ppm). Además se evaluó el efecto de la inoculación con dos cepas de *R. phaseoli*: 'CR 402' (127 K 12b, Nitragin U.S.A.) y 'CR 409' (CIAT 166), y un tratamiento testigo sin inocular y sin nitrógeno, en dos cultivares de frijol: 'Negro Huasteco' y 'Talamanca'. El 'Negro Huasteco' ha mostrado la mejor nodulación bajo condiciones de campo (Acuña, O. 1986. Comunicación personal, CIA, Universidad de Costa Rica), y 'Talamanca' es un cultivar utilizado en la asociación frijol café a nivel comercial (Gutiérrez, 1986).

Los inoculantes se prepararon con turba en el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

Entre las hileras de café se sembraron tres hileras de frijol distanciadas 0,5 m entre sí. Los surcos se abrieron con azadón y se depositaron 15 semillas por metro lineal. No se efectuó ningún combate de plagas o enfermedades. Las malas hierbas se combatieron con paraquat en preemergencia y a prefloración.

La cosecha se realizó cuando los cultivares alcanzaron la maduración fisiológica en vaina, que se definió como el cambio de color en un 85% de las vainas. Las variables evaluadas fueron:

1. Rendimiento de frijol en kg/parcela y en kg/ha de café, al 13% de humedad de grano.
2. Altura de planta, que se obtuvo con base en el promedio de 25 plantas por parcela.
3. Peso seco de nódulos y peso seco foliar/planta a prefloración y posfloración que se obtuvo con base en un muestreo al azar de cinco plantas por parcela.

El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 4 X 3 X 2 y seis repeticiones. El área de la parcela útil fue de 6,4 m² (1,6 m x 4 m). El ancho de las parcelas lo determinó la distancia entre las hileras de café. Estas hileras estaban orientadas de este a oeste.

RESULTADOS

Sólo hubo efecto de interacción significativa para rendimiento, y para el peso seco de nódulos a posfloración entre los cultivares de frijol y las do-

Cuadro 1. Efecto de la interacción dosis de fósforo y cultivares sobre el rendimiento y el peso seco de nódulos/planta de frijol intercalado con café, Alajuela, 1986.

Cultivar	Dosis de fósforo (P ₂ O ₅ kg/ha)	Rendimiento del frijol		Peso seco de nódulos
		(g/parcela)	(kg/ha)	(g)
Negro Huasteco	0	675ef*	1056	0,398ab
	55	888ab	1388	0,262bc
	110	931a	1456	0,468a
	165	909a	1422	0,230c
Talamanca	0	643f	1005	0,323abc
	55	735de	1150	0,406abc
	110	785cd	1227	0,319abc
	165	831bc	1300	0,410ab

* Tratamientos con igual letra, son estadísticamente iguales según prueba de Duncan al 1% para el rendimiento de grano y 5% para el peso seco de nódulos.

sis de fósforo (Cuadro 1). El mayor peso de nódulos/planta se obtuvo con la variedad 'Negro Huasteco' en la dosis de 110 kg P₂O₅/ha (0,468g/planta). Los mayores rendimientos en grano se obtuvieron con la variedad 'Negro Huasteco' y los niveles de 110 kg P₂O₅/ha (931 g/parcela) y 165 kg P₂O₅/ha (909 g/parcela). En la variedad 'Talamanca' el aumento significativo sólo se dió al pasar de 0 a 55 kg P₂O₅/ha.

También hubo interacción entre los tratamientos de nitrógeno y las dosis de fósforo, para el peso seco de nódulos a prefloración y peso seco foliar a posfloración (Cuadro 2). El mayor peso seco de nódulos se obtuvo con la cepa 'CR 409' y 165 kg P₂O₅/ha (0,309 g/planta); este mismo tratamiento presentó un alto peso foliar (15,82 g/planta), sin embargo, hubo otros que la superaron (Cuadro 2).

La altura de planta y el peso seco de nódulos a posfloración fueron afectados por la interacción entre los cultivares de frijol y los tratamientos de nitrógeno (Cuadro 3).

La variedad 'Talamanca' no respondió a la inoculación con las cepas evaluadas, mientras que en la 'Negro Huasteco' se aumentó el peso de nódulos con las dos cepas evaluadas y el mayor peso se obtuvo con la 'CR 409' (0,395 g/planta).

DISCUSION

Comportamiento de los cultivares

Los dos cultivares de frijol mostraron el mayor incremento en la producción de grano, cuando se aumentó la dosis de fósforo de 0 a 55 kg P₂O₅/ha (Cuadro 1), observándose una mayor productividad con el cultivar 'Negro Huasteco'. Similar comportamiento se ha obtenido en otra localidad de siembra intercalada con cafeto y bajo dosis crecientes de fósforo, con los cultivares 'Talamanca' y 'Huetar' (Rodríguez y Araya, 1987).

El 'Negro Huasteco' presentó la mayor altura de planta, factor ligado a su genotipo (Cuadro 3), sin embargo, las cepas de *Rhizobium*, o las nativas (tratamiento testigo) no afectaron la altura de planta de los dos cultivares de frijol evaluados.

Las variedades respondieron de una manera diferente a la inoculación. La 'Negro Huasteco' fue la que mostró mayor efectividad de la simbiosis y respondió mejor a la aplicación de fósforo. Además mostró el mayor peso seco de nódulos/planta con la dosis de 110 kg P₂O₅/ha, mientras que en 'Talamanca' el peso seco de nódulos no fue afectado (Cuadro 1), lo cual coincide con la nodulación observada para estos cultivares a nivel de invernadero

Cuadro 2. Efecto de las dosis de fósforo y los tratamientos de nitrógeno sobre el peso de nódulos a prefloración y el peso seco foliar a posfloración, de frijol intercalado con café. Alajuela, 1986.

Dosis de fósforo (kg/ha)	Cepas	Peso seco (g/planta)	
		Nódulos	Foliar
0	Sin bacteria	0,245 ^{abc*}	15,113 ^{ab}
	CR-402	0,223 ^{abc}	16,491 ^{ab}
	CR-409	0,206 ^{abc}	12,812 ^{ab}
55	Sin bacteria	0,300 ^{ab}	19,415 ^a
	CR-402	0,197 ^{bc}	9,865 ^b
	CR-409	0,269 ^{abc}	13,651 ^{ab}
110	Sin bacteria	0,261 ^{abc}	12,509 ^b
	CR-402	0,262 ^{abc}	14,949 ^{ab}
	CR-409	0,167 ^c	12,364 ^b
165	Sin bacteria	0,219 ^{abc}	11,417 ^b
	CR-402	0,235 ^{abc}	14,826 ^{ab}
	CR-409	0,309 ^a	15,816 ^{ab}

* Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales según prueba de Duncan al 5%.

Cuadro 3. Efecto de la interacción *Rhizobium* x cultivar sobre la altura de planta y el peso seco de los nódulos a posfloración, de frijol intercalado con café. Alajuela, 1986.

Cultivar	Cepas	Altura de planta (cm)	Peso seco de nódulos (g/planta)
Negro Huasteco	Sin bacteria	58,38a*	0,303b
	CR-402	58,78a	0,320ab
	CR-409	52,38a	0,395ab
Talamanca	Sin bacteria	52,94b	0,452a
	CR-402	53,06b	0,346ab
	CR-409	50,03b	0,295b

* Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales según prueba de Duncan al 5%.

por Acuña (1986. Comunicación personal, CIA., Universidad de Costa Rica.

Comportamiento de las cepas

Las cepas empleadas respondieron de una manera irregular o diferencial a las aplicaciones de fósforo; la cepa 'CR 409', por ejemplo, se vio aparentemente estimulada por este elemento al presentar mayor nodulación con la dosis alta de fósforo (Cuadro 2).

Sin embargo, los resultados de nodulación (Cuadro 2) no fueron los esperados, según la respuesta previa obtenida en condiciones de invernadero. Estos sugieren la presencia de *Rhizobium* nativo eficiente bajo las condiciones en que se efectuó el experimento, que pudo actuar en los testigos. Nodulación natural efectiva ha sido observada en otras investigaciones (Cordero, 1982; Acuña, 1986), pero además, como el peso de nódulos fue inferior al esperado (0,6-0,7 g/planta en condiciones de invernadero) (Acuña, O. 1986. Comunicación personal. CIA, Universidad de Costa Rica), es posible también que en el suelo experimental hubiera nitrógeno disponible que redujo la nodulación o, que se presentara una competencia de las bacterias nativas hacia las inoculadas que disminuyera las tasas de nodulación. De esta manera, aunque varios autores han indicado el efecto benéfico del fósforo en la nodulación (Chaves, et al., 1978; Edwards 1975; Grahan y Rosas, 1979) los factores antes mencionados pudieron ocultar la utilidad de este nutrimento. Se podría esperar respuesta en nodulación y rendimiento en grano en suelos con baja disponibilidad de nitrógeno y con cultivares de frijol que nodulen efectivamente con las cepas seleccionadas y con una capacidad genética mejorada de fijación de N₂.

RESUMEN

En un cafetal (cv. 'Caturra') ubicado en Alajuela, Costa Rica, (0,9 m entre plantas, 1,6 m entre hileras) a plena exposición solar, se intercalaron tres hileras de frijol (cv. 'Negro Huasteco' y 'Talamanca') entre las hileras de café. Se evaluó el efecto de cuatro dosis de fósforo: 0, 55, 110 y 165 kg de P₂O₅/ha y el efecto de la inoculación con dos cepas de *Rhizobium phaseoli*: 'CR 402' (127K12b, Nitragin) y 'CR 409' (CIAT 166) y 0 kg de N/ha.

Durante el período experimental la lluvia total fue de 742 mm y la temperatura promedio fue de 23°C.

Los cultivares de frijol mostraron un incremento en la producción de grano de frijol cuando se aumentó la dosis de fósforo de 0 a 55 kg P₂O₅/ha. El peso seco de nódulos/planta fue diferente entre los cultivares de frijol y se afectó por el fósforo adicionado. El peso seco foliar/planta fue incrementado por las cepas de *Rhizobium* solo en las dosis de 110 y 165 kg P₂O₅/ha. Hubo presencia de *Rhizobium* nativo el cual se consideró eficiente con base en la nodulación observada, peso seco de nódulos y peso seco foliar en los testigos. Las cepas inoculadas superaron el testigo en peso seco de nódulos para 'Negro Huasteco', pero en 'Talamanca' la cepa 'CR 409' fue superada por la cepa 'CR 402' y el testigo.

LITERATURA CITADA

- ACUÑA, O. 1986. Manejo y tecnología de la asociación simbiótica *Rhizobium*-leguminosa. In Curso de Microbiología de Suelos. San José, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. 4 p. (mimeografiado).
- CORDERO, M. 1982. Respuesta de cuatro cultivares de frijol a la nodulación con *Rhizobium phaseoli* en la zona de Alajuela, Costa Rica. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 66 p.
- CHAVES, S.; NUÑEZ, E.; ECHEGARAY, A. 1978. Efecto de la fertilización con N, P, Mo, Fe y del manejo de dos cepas de inoculante (*Rhizobium phaseoli*), sobre la nodulación, acumulación de N y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia* 27:74-94.
- EDWARDS, S. 1975. Nutritional factors limiting nitrogen fixed by rhizobia In Biological nitrogen fixation in farming systems of the tropics. Ed. by A. Ayanaba and D. Dart. New York, Wiley. p.189-204.
- GRAHAN, P. 1976. Recent development in the bean improvement program at CIAT. In Bean Improvement Corporation. Annual Report s.n.t. T. 19, p. 39-41.
- GRAHAN, P.; ROSAS, J.C. 1979. Phosphorus fertilization and symbiotic fixation in common bean. *Agronomy Journal* 71: 325.
- GRAHAN, P. 1981. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in common bean. *Agronomy Journal* 71 (6): 925-926.

- GUTIERREZ, R. 1986. Alterne frijol con la poda del café. *Agroindustrial* 11(131): 9-10.
- HANDOG, A. 1964. Coffee and phosphorus. *Coffee and Cacao Journal* 7 (5): 96-97.
- HAYNES, R.J. 1980. Competitive aspects of the grass-legume association. *Advances in Agronomy* 33: 201-227.
- INSTITUTO MUNDIAL DU PHOSPHATE. 1983. El fósforo en los suelos tropicales; evaluación de los grados de deficiencia de las necesidades de fósforo. París, Francia. 48p.
- MORALES, M. 1987. Selección y evaluación de cepas de *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* tolerantes al suministro restringido de fósforo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 97 p.
- PEREZ, V.; GUTIERREZ, G. 1963. Nutrición del café en Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 33 p. (Boletín Técnico no.43).
- RODRIGUEZ, S. 1964. Yield response of the Puerto Rico and Columnaris coffee cultivars in the two latosols of Puerto Rico, as affected by different levels of nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 48 (3): 255-262.
- RODRIGUEZ, M.; ARAYA, R. 1987. Efecto de dosis crecientes de fósforo sobre el rendimiento de dos cultivares de frijol asociados a café. *Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit* 20(2):1-8.
- SALAZAR, R. 1969. Efecto residual en la banda de fertilización del café. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 37 p.
- SANCHEZ, R. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. Trad. por E. Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 660 p.
- SUAREZ, V. 1975. Estudio de la adaptación y fijación simbiótica de nitrógeno de algunas leguminosas tropicales. 26 (1): 27-37.
- SUAREZ, V. ; CARRILLO, P. 1976. Descomposición biológica de leguminosas y otros materiales de la zona cafetalera colombiana. *Cenicafé* 27 (2): 67-77.
- TRIGOSO, R.; FASSBENDER, H. 1973. Efecto de aplicaciones de calcio, magnesio, fósforo, molibdeno y boro sobre la producción y fijación del nitrógeno en cuatro leguminosas tropicales. *Turrialba* 23 (2)173.
- WILLEY, R. 1979a. Intercropping, its importance and research needs. Part I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts* 32 (1):1-10.
- WILLEY, R. 1979b. Intercropping, its importance and research needs. Part II. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts* 32 (1):73-85.