

EFICIENCIA DE APLICACIONES DE FOSFORO EN LOS SISTEMAS FRIJOL TAPADO Y ESPEQUEADO A TRAVES DE TRES AÑOS

*Martha E. Rosemeyer*¹

RESUMEN

Eficiencia de aplicaciones de fósforo en los sistemas frijol tapado y espequeado a través de tres años. Los factores culturales, tales como la presencia de un mantillo, puede influenciar la capacidad de la planta para tolerar condiciones de suelos bajos en fósforo (P). El objetivo de este experimento de tres años fue comparar la eficiencia en el uso de fósforo, en sistemas de siembra con mantillo, "frijol tapado" (FT), y sin mantillo, "frijol espequeado" (FE). El fósforo se aplicó como 10(N)-30(P)-10(K) al voleo a los tratamientos de FT en dosis de 0, 14,58, 29,16 y 43,86 kg de P/ha. Estudios factoriales previos muestran que en el FT no hubo respuesta al N y al K cuando se usaron estas dosis. En el FE, se aplicó fertilizante de la fórmula comercial 10-30-10 en banda, en dosis de 0 y 325 kg/ha (equivalente a 43.74 kg P/ha). La Eficiencia en el Uso del Fósforo sobre Rendimiento (EUFR) se define como el Rendimiento con fertilizante - Rendimiento sin fertilizante / Kg P/ha aplicado. La EUFR del FT con aplicaciones de 29,16 kg P/ha fue significativamente mayor que el del FE con 43.86 kg P/ha en todos los años. La EUFR en el sistema de FT usando los dos niveles más bajos de P es significativamente mayor que el del FE usando la dosis de fertilización recomendada más alta. Parece que la aplicación de dosis discretas de fertilizante al mantillo de FT es más eficiente que la aplicación de mayores cantidades al suelo en el sistema espequeado, debido a la mayor disponibilidad de P en el mantillo que un suelo Andisol con alta fijación de P.

ABSTRACT

The phosphorus use efficiency of the slash mulch vs. conventional bean production systems. Cultural factors, such as presence of a mulch layer, can influence plant ability to tolerate low P soil conditions. An objective of this three-year experiment was to compare the nutrient use efficiency, especially of phosphorus, under slash mulched ("frijol tapado," FT) and unmulched ("frijol espequeado," FE) cropping systems. Phosphorus was applied broadcast to the FT treatments at 0, 14.58, 29.16 and 43.74 kg elemental P/ha in 10(N)-30(P)-10(K) fertilizer. Previous studies had shown that in FT there was no response to N and K at these rates. Under FE, 10-30-10 fertilizer was band applied at 0 and the recommended rate of 43.74 kg P/ha in a hole near the seeds. The Phosphorus Use Efficiency of the Yield (PUEY) is defined as = Yield with fertilization - yield without fertilization / kg P applied. The PUEY of FT with 29.16 kg P/ha applied was significantly higher than that of FE with 43.74 kg P/ha in all years. Integrated over 3 years, FT PUEYs are

¹ Organización para Estudios Tropicales, Jardín Botánico Wilson, Aptdo 73, San Vito de Coto Brus, Costa Rica. Dirección actual: Programa de Agricultura con Cobertura de América Central de la Universidad de Cornell, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San Pedro.

significantly higher at the lower two P levels than the FE at the higher recommended fertilization rate. Applying judicious amounts of fertilizer to the FT mulch appears to be more P efficient than applying larger amounts to the FT soil due to the higher P availability in the mulch layer than in the P-fixing Andisol soil below it.



INTRODUCCION

Las condiciones de suelo de baja disponibilidad de fósforo son el mayor problema de nutrimentos en el cultivo de frijol en América Latina (Swartz and Galvez 1980). Para poder superar los problemas de deficiencia de P en frijol, existen varios formas de enfrentarlos, que pueden apoyarse mutuamente: producir variedades tolerantes a bajos niveles de P y cambiar el sistema bajo el cual se cultivan los frijoles para evitar las condiciones de bajo fósforo o aumentar la disponibilidad de P.

El sistema de labranza cero, donde los residuos de cosecha se dejan sobre la superficie del suelo, muestran un aumento en la disponibilidad del fósforo aplicado y otros nutrimentos en comparación con labranza convencional. La absorción de P fue mayor en maíz con cero labranza que con labranza convencional, probablemente debido a la mayor disponibilidad de agua. El maíz fertilizado bajo cero labranza mostró una mayor respuesta a los fertilizantes, especialmente en niveles bajos de fertilización, y el maíz sin fertilizante bajo cero labranza produjo rendimientos significativamente mayores que cuando se usó labranza convencional en la costa Atlántica de Costa Rica (Weed Control Systems 1981). En Africa, Kang y Yunasa (1977) encontraron que hubo una mayor absorción de P en maíz con aplicaciones de fertilizante en la superficie del suelo que cuando el fertilizante fue incorporado al suelo en sistemas convencionales de labranza.

El sistema de frijol tapado es un sistema tradicional de cero labranza común en América Central y la parte norte de América del Sur. En Costa Rica en 1994, contribuía en un 30% de la producción nacional de frijol (estimación de Consejo Nacional de Producción). El aspecto clave del sistema es un mantillo de vegetación secundaria. Después de cortar pasillos en la vegetación de uno o dos años, las semillas se volean y la vegetación se corta y se repica. La semilla germina en el mantillo y emerge a través de él.

Investigadores han reportado que los fertilizantes (10-30-10) aumentaron el rendimiento (Corella 1982; Alfaro y Waaijbergen 1992; Rosemeyer y Gliessman 1992), pero en otros estudios hubo respuesta a los fertilizantes pero no fue significativa (von Platen y Rodríguez 1982; Araya y Kass 1984). Aunque en Bijagua de Upala se reportó una respuesta a N, P y K (Corella 1982), en experimentos en el sur de Costa Rica, se encontró que el fósforo es el nutrimento limitante, sin respuesta a N y K o interacción con N en suelos de más de 20% de materia orgánica (Rosemeyer y Gliessman 1992).

La eficiencia de los Nutrimentos en la Planta se ha definido de varias formas por muchos autores, pero puede dividirse en 2 categorías: las que enfatizan productividad por unidad de nutrimentos absorbido y las que enfatizan la demanda interna de nutrimentos de la planta (Gourley *et al.*, 1994). Se realizaron estudios de la primera categoría para determinar cuáles niveles de aplicación de nutri-

mentos en el sistema de frijol tapado serían los más eficientes para estimular rendimientos y comparar estos niveles con el nivel recomendado para el sistema de frijol espequeado, el cual no usa martillo.

MATERIALES Y METODOS

El sitio experimental, Finca Loma Linda, Coto Brus, Costa Rica está localizado a una elevación de 1200 m y tiene una precipitación anual promedio de 3600 mm. El suelo es un Andisol que fijan un promedio de 86% de fósforo (Rosemeyer 1990). Los experimentos que aquí se reportan se llevaron a cabo en un período de 3 épocas de cultivo de frijol, octubre-enero 1990-91, 1991-92 y 1992-93.

Un experimento de bloques completos al azar con seis repeticiones se inició después de 1.75 años en barbecho. La parcela experimental de 4 x 4 m tiene un área de muestreo de 3 x 3 m permitiendo 0,5 m de borde. La semilla es una variedad local tradicional de frijol negro Tipo II (López *et al.* 1985), "Chimbolo negro," usada por los agricultores en los sistemas de tapado y espequeado. El sistema de frijol tapado se modificó para obtener una distribución uniforme en parcelas experimentales pequeñas de la siguiente manera: En lugar de volear la semilla en la vegetación secundaria, la vegetación se cortó y picó, retirándola toda de la parcela menos una capa de 2-3 cm. Las semillas y el fertilizante se volearon y la materia vegetativa se devolvió a su sitio. En otros experimentos (que no se reportaron aquí) con parcelas más grandes, el frijol tapado se sembró normalmente, la vegetación se cortó y el fertilizante se aplicó encima del mantillo, obteniendo resultados similares (Schlather 1995).

Los tratamientos con el frijol tapado incluyeron aplicaciones de 10-30-10 a los siguientes niveles: 0, 108, 216, 325 kg/ha. Estos niveles

son equivalentes a 0, 14,58, 29,16 y 43,74 kg/ha de P elemental. La densidad de siembra fue de 36 semillas/m². No se efectuaron labores culturales hasta la cosecha, cuando se arrancaron las plantas dentro de la área de muestreo para luego ser aporreadas. Una muestra de las semillas se secó para obtener un peso constante a 65 °C por 48 horas. Las parcelas se dejaron en barbecho hasta la siguiente temporada de siembra.

Para los tres tratamientos de espequeado, el terreno se limpió de vegetación. En uno de los tratamientos, se sembraron 3-4 semillas a una profundidad de 3 cm con un espeque a una distancia 30 x 30 cm. Esto proporcionó la misma densidad de semilla que las parcelas de frijol tapado. Los 325 kg 10-30-10/ha (43,86 kg P/ha) se colocaron en 2 huecos a 2 cm de las semillas al tiempo de la siembra. El segundo tratamiento espequeado, recomendado por el Consejo Nacional de Producción, se sembró usando una separación de 30 x 50 cm, raleando a 2 plantas y fertilizando con 325 kg 10-30-10/ha, colocado en la misma manera que se señaló con anterioridad. El tercer tratamiento espequeado fue sin fertilizante con distancia de siembra de 30 x 30 cm raleando a tres plantas. Las parcelas espequeadas se deshierbaron a mano a los 30 días. No se realizaron otras prácticas culturales y no se presentaron brotes de enfermedades o plagas severas, excepto conejos en algunas parcelas. El rendimiento se registró como perdido para estas parcelas y el experimento se cercó el segundo año. El procedimiento de cosecha fue similar al del tratamiento de frijol tapado.

El análisis estadístico de los datos involucró probar la homogeneidad de las varianzas (Prueba de BarHett) para no significancia, análisis de varianza (ANDEVA) con la prueba de rango múltiple de Duncan para separar las medias.

La EUFR se definió como el rendimiento con fertilización - el rendimiento sin fertilización

/ kg P/ha aplicado. Donde la homogeneidad de las varianzas lo permitió (con o sin una transformación de raíz cuadrada), las ANDEVAS con rango múltiple de Duncan compararon los EUFR para cada año y durante los 3 años. Los contrastes ortogonales compararon los tratamientos tapados agrupados y los tratamientos espequeados agrupados. Donde no fue posible realizar ANDEVAS, los tratamientos se compararon con pruebas T.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los rendimientos de todos los tratamientos, excepto el espequeado sin fertilizante, mostraron un incremento en el período de 3 años (Cuadro 1, Figura 1). En todos los años, los rendimientos del sistema de frijol tapado sin fertilizantes fueron equivalentes a los rendimientos del sistema espequeado con 325 kg/ha 10-30-10 (43,86 kg P/ha). También, en todos los años, los rendimientos del sistema de frijol tapado con 216 y 325 kg/ha de 10-30-10 (29,16 y 43,86 kg/ha) fueron significativamente mayores que el espequeado con 325 kg/ha 10-30-10. En el primer año el tratamiento

tapado con 108 (14,58 kg P/ha) no fue significativamente diferente al espequeado, pero en los años siguientes fue mayor, debido probablemente a la acumulación de fertilizantes residuales.

La EUFR aumentó con el tiempo en todos los tratamientos (Cuadro 2). Esto puede deberse a una combinación de condiciones climatológicas favorables y al P residual en la vegetación o el suelo. Para los 3 años, las EUFR en frijol tapado son significativamente mayores en los 2 niveles menores de P que en el frijol tapado y espequeado con las dosis altas de fertilización recomendadas. Esto también fue sustentado por las pruebas T cada año. La EUFR del sistema de frijol tapado con 29,16 kg P/ha fue significativamente mayor que el del espequeado con 43,86 kg P/ha para ambas densidades de siembra todos los años (1990 $p=0,00034$, $p=0,025$; 1991 $p=0,045$, $p=0,031$; 1992 $p=0,0476$, $p=0,0282$). Probablemente esto es tanto un efecto del sistema como un efecto del nivel de fertilización. Las pruebas de contraste ortogonal separaron significativamente los sistemas tapado y espequeado en un período de 3 años (Cuadro 2). Un estu-

Cuadro 1. El rendimiento de frijol bajo los sistemas de tapado y espequeado, con fertilizante. Coto Brus, Costa Rica. 1990-1992.

Sistema	P aplicado kg/ha ¹	1990-91	1991-92	1992-92
Tapado	0	717 b	710 c	1094 c
Tapado	14.58	944 b	990 b	1565 b
Tapado	29.16	1431 a	1265 a	2093 a
Tapado	43.86	1324 a	1306 a	2226 a
Espequ.	0	300 c	317 e	220 d
Espequ. 30x30 ²	43.86	753 b	726 c	1041 c
Espequ. 30x50 ²	43.86	726 b	521 d	878 c

¹ El P fue aplicado como componente de 10(N)-30(P)-10(K).

² El espacio entre sitios de siembra en cm.

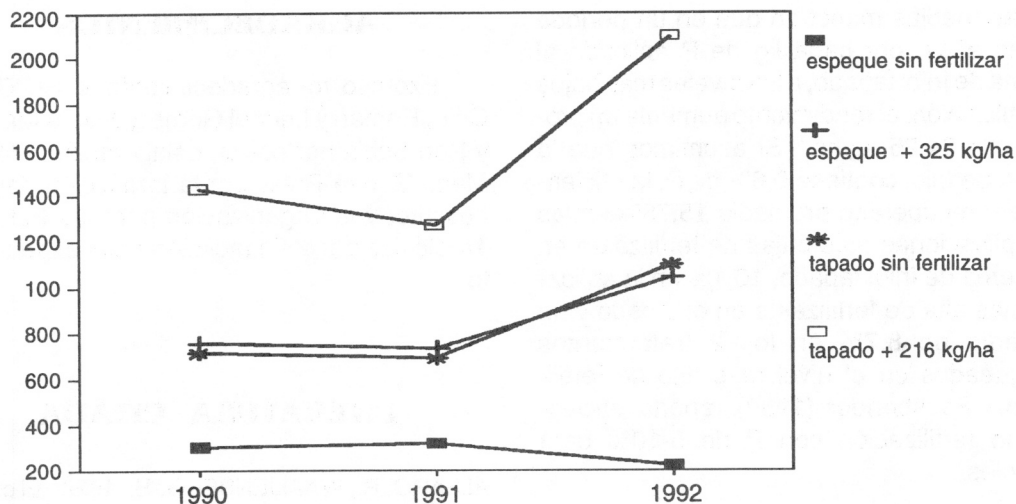


Fig. 1. El rendimiento de frijol en los sistema tapado y espequeado, 1990-1992.

Cuadro 2. La eficiencia en el uso de fósforo por el rendimiento (EUFR)¹ a través de tres años en ensayos de Coto Brus, Costa Rica.

Sistema kg/ha	P aplicado	1990-91	1991-92	1992-93	1990-92
Tapado	14.58	15.50	20.64	36.60	24.25 a
Tapado	29.16	23.88	21.24	39.88	28.33 a
Tapado	43.86	12.58	13.92	23.96	16.82 b
Espequ. 30x30 ²	43.86	10.05	10.06	27.96	16.02 b
Espequ. 30x50 ²	43.86	8.58	5.22	25.15	12.98 b
F a través de los 3 años					p = .0004
Contraste ortogonal de tapado vs. espequeado					p < .0001

¹ La EUFR se define como el Rendimiento con fertilización - Rendimiento sin fertilización del mismo sistema / kg P/ha aplicado

² El espacio entre sitios de siembra en cm.

dio previo en el mismo sitio comparó las EUFR del sistema espequeado con 162 y 325 kg 10-30-10/ha (21,67 y 43,86 kg P/ha, respectivamente). Las EUFR de 8,25 y 8,33 respectivas no son diferentes significativamente (Rosemeyer, manuscrito en preparación) lo que implica que los niveles más bajos

de aplicación de fertilizante no confiere eficiencia en el uso de los nutrimentos. Otros autores mencionan la eficiencia de cero labranza y sistemas de mantillo de residuos especialmente a niveles bajos de aplicación de fertilizantes (Kang y Messan 1983, Shenk y Locatelli 1980).

Las medias muestran que en un período de tres años, por cada kg de P aplicado al sistema de frijol tapado, a los niveles más bajos de fertilización, el rendimiento aumenta un promedio de 24,25 kg/ha. Si asumimos que la semilla de frijol contiene 0,6% de P, la eficiencia de P recuperado promedia 15,75% en las dos aplicaciones más bajas de fertilizante en el sistema de frijol tapado, 10,1% en la aplicación más alta de fertilizante en el tapado y un promedio de 8,7% en los 2 tratamientos espequeados en el nivel más alto de fertilización. Fassbender (1969) reporta eficiencias de fertilización con P de 5-10% para Andisoles.

CONCLUSIONES

En un experimento de tres años, el sistema de frijol tapado con 14,58 y 29,16 kg P/ha fue más eficiente para canalizar los nutrimentos hacia mayores rendimientos que los tratamientos de frijol tapado o frijol espequeado con 43,86 kg P/ha. Esto es una combinación del efecto del sistema y el nivel de fertilización.

El sistema de frijol tapado puede obtener su eficiencia de la aplicación del fertilizante en la capa de mantillo. Estudios colaborativos han mostrado que hay menos fijación por el mantillo que el suelo y hay más fósforo en una forma "bio-disponible" en el suelo y hojarasca del sistema tapado (Schlather 1995). La mayor parte de las raíces de frijol están en esta hojarasca y mantillo (Rosemeyer 1990). La vegetación en descomposición liberó 5-6 kg/ha en estudios preliminares (Rosemeyer 1990). De este modo, las raíces están bien colocadas para absorber el P disponible y evitar la fijación de P del suelo. La sincronización de la liberación de P de la vegetación con las necesidades de absorción de la liberación del frijol o el uso de cultivares tolerantes a bajos niveles de P (experimentos en proceso) pueden hacer el sistema de frijol tapado aún más eficiente.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento al Sr. Darryl Cole, Roman y Leonel Gómez, Julieta Méndez y Ken Schlather por su colaboración. Al Ing. Mario Gadea-Rivas por la traducción del manuscrito; y la Organización para los Estudios Tropicales por el financiamiento del experimento.

LITERATURA CITADA

- ALFARO, R.; WAAIJENBERG, H. 1992. El cultivo de frijol tapado en Costa Rica: Un resumen de investigaciones 1978-91. Serie Técnica, Informe Técnico No. 190, CATIE.
- ARAYA, R.; KASS, D. 1984. Respuesta de dos variedades de frijol tapado a la fertilización con 10-30-10. En: Memorias de IV Congreso Agronómico Nacional (1984). San José, Costa Rica. pp 155-175.
- CORELLA, F. 1982 Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). En: Evaluación Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas, 1983. Dirección General de Investigación Agrícola (DGIA), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). San José, Costa Rica. pp 16-24.
- FASSBENDER, H.W. 1969. Estudio de fósforo en suelos de América Central. Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. Turrialba (C.R.) 19. En: López, M.; Fernández, F.; Van Schoonhoven, A. (Eds.) 1985. Frijol: Investigación y Producción. CIAT, Cali, Colombia.
- GOURLEY, C.J.P.; ALLAN, D.L.; RUSSELLE, M.P. 1994. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant and Soil* 158: 29-37.
- KANG, B.T.; YUNASA, M. 1977. Effect of tillage methods and phosphorus fertilization on maize in the humid tropics. *Agron. J.* 69: 291-294.

- KANG, B.T.; MESSAN, A.D. 1983. Fertilizer management for no-tillage crop production. I: Akobundu, I.O.; Deutsch, A.E. (eds). No-tillage Crop Production in the Tropics. Symposium proceedings. Published by the West African and International Weed Science Societies by the International Plant Protection Center, Oregon State University, Corvallis OR, 97331
- KUNISHI, H.; BANDEL, B.; MULFORD, F.R. 1986. Seasonal P uptake under no-till and conventional till management. Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 17(6): 591-600.
- LOPEZ, M.; FERNANDEZ, F.; VAN SCHOONHOVEN, A. (Eds.) 1985. Frijol: Investigación y Producción. CIAT, Cali, Colombia.
- ROSEMEYER, M.E. 1990. The effect of different management strategies on the tripartite symbiosis of bean (*Phaseolus vulgaris* L) with *Rhizobium* and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in two agroecosystems in Costa Rica. Tesis de Doctorado. Universidad de California-Santa Cruz.
- ROSEMEYER, M.E.; GLIESSMAN, S.R. 1992. Modifying traditional and high-input agroecosystems for optimization of microbial symbioses: a case study of dry beans in Costa Rica. Agriculture, Ecosystems and Environment 40: 61-70.
- SCHLATHER, K. 1995. Eficiencia del fósforo en frijol tapado vs. frijol espequeado. En: Garcia, J.E.; Nájera, J.M. (Eds.) Memorias del Simposio Centroamericano sobre Agricultura Orgánica 6-11 de marzo de 1995, San José, Costa Rica. pp 163-176.
- SHENK, M.D.; LOCATELLI, E.A. 1980. Three years of research with minimum and zero-tillage systems for small farmers in Central America. Weed Science Society of America. Abstracts of Papers Presented at the Annual Meeting. pp 119-120.
- SWARTZ, H.F.; GALVEZ, G.E. 1980. Bean Production Problems. CIAT, Cali, Colombia.
- VON PLATEN, H.; RODRÍGUEZ, G. 1982. La producción de frijol tapado en la región de Acosta-Puriscal, Costa Rica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Documento presentado en la 28a Reunión Anual de PCCMCA(1982), San José, Costa Rica.
- WEED CONTROL SYSTEMS. 1981. Annual Report 1979-1980. Report # 33-C-80. pp 14-16.