

Avances de Investigación

EFFECTOS DE LOS CULTIVOS EN CALLEJONES Y OTRAS ENMIENDAS ORGÁNICAS SOBRE LAS FRACCIONES DE FÓSFORO DEL SUELO ¹

Jeferson L. Vasconcelos²
Donald L. Kass³
Eduardo Somarriba³
Jorge A. Morera³

Palabras clave: Cultivos en callejones, rotación de cultivos, enmiendas orgánicas, fracciones de fósforo, poró (*Erythrina poeppigiana*), maíz, frijol

RESUMEN

La dinámica de las fracciones de fósforo en el suelo fue evaluada en un cultivo en callejones y en tratamientos de adición de otras enmiendas orgánicas, con y sin P inorgánico. El experimento fue realizado en un suelo Andic Eutropept, donde se alternó maíz y frijol durante quince años. La adición de estiércol de vaca resultó con el contenido de P más alto en todas las fracciones, efecto más marcado con la adición de P inorgánico. Fracciones estables inorgánicas y orgánicas de P constituyen una fuente para los cultivos cuando no se incluye P inorgánico. P residual y P orgánico extraído con NaHCO₃ fueron las fracciones más variables, funcionando como fuentes de P durante el ciclo de maíz y fuentes de P durante el ciclo de frijol.

EFFECT OF ALLEYFARMING AND OTHER ORGANIC AMENDMENTS ON SOIL P FRACTION

ABSTRACT

Dynamics of soil P fractions were studied under alley cropping systems or using organic amendments in a fifteen year experiment on an Andic Eutropept in which maize and beans were alternated with and without the addition of inorganic P. The addition of cattle manure resulted in the highest contents of P in all fractions, especially when inorganic P was added. Stable organic and inorganic fractions constitute sources of P to the crops when no inorganic P is added. Residual P and organic P extracted with NaHCO₃ were the most variable fractions, acting as sinks during the maize cropping cycle and as sources of P in the following bean cropping cycle. ♦

El fósforo (P) es uno de los principales nutrimentos que limitan la producción de los cultivos (Sánchez, 1987). En los suelos tropicales, la "fijación" de P por formas de aluminio, hierro y/o alófanos, disminuye su disponibilidad. El conocimiento de la naturaleza, proporción y distribución de las fracciones de fósforo es fundamental para estimar la disponibilidad de este elemento para las plantas. Según Olsen y Khasawneh (1980), en el suelo existen básicamente dos formas de P: el fósforo orgánico (Po) y el fósforo inorgánico (Pi). Ambas formas también pueden estar presentes en la solución del suelo (Frossard *et al.*, 1989). Aunque las plantas absorben el Pi, la importancia del Po como una fuente potencial de Pi disponible a la planta, ha sido bien documentada (Tate, 1984; Beck y Sánchez, 1994).

El suelo de los sistemas de producción agrícola recibe anualmente fósforo de los residuos vegetales y/o de la aplicación de fertilizantes. Dependiendo de la cantidad de fósforo aportado y del removido por los cultivos, pueden suceder variaciones estacionales en el contenido de fósforo del suelo.

En este estudio se evaluaron los cambios que ocurrieron en el contenido de las fracciones de fósforo del suelo de sistemas tratados con enmiendas orgánicas y cultivados con una rotación maíz-frijol durante 13 años.

¹ Basado en: VASCONCELOS, J.L. 1996. Efecto de enmiendas orgánicas sobre las formas y la disponibilidad de fósforo en un suelo Inceptisol de origen volcánico.

² M.Sc. en Agroforestería, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

³ Profesor/investigador, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

E-mail: dkass@CATIE.ac.cr y esomarri@catie.ac.cr

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Finca Experimental La Montaña del CATIE, Turrialba, Costa Rica (9° 53' latitud norte y 83° 34' longitud oeste, a 602 msnm). La temperatura promedio y la precipitación anual fueron de 22° C y 3250 mm, respectivamente, en el año de estudio. El suelo es Inceptsol, Typic Humitropept, fino Halloysitic, Isohyper-thermic, que en la camada superficial posee un 25% de arena, un 34% de limo y un 41% de arcilla. El suelo del área de estudio se caracteriza por presentar una alta capacidad de retención de fósforo. La isoterma de absorción de fósforo de este suelo, determinada por el método de Fox y Kamprath (1970), demostró que para aumentar la concentración de P en la solución al 0.2 mg/kg son necesarios 350 mg de P/kg (Paniagua, 1991).

El experimento de campo fue establecido según un diseño de bloques al azar con parcelas divididas en el tiempo, con seis tratamientos y tres repeticiones. El área total de la unidad experimental fue de 54 m² (6 m x 9 m). Los tratamientos fueron:

1) Control +P: Tratamiento sin aplicación de enmiendas orgánicas, que durante diez años (1982-1992) recibió 38.4 kg de P/ha/año, como triple superfosfato;

2) Mulch -P: Consistió en la aplicación de ramas y hojas de poró (*Erythrina poeppigiana*) procedentes de árboles fuera del sitio experimental. En cada parcela se aplicaron 20 t de materia verde/ha/poda una semana antes de la siembra de los cultivos y no se aplicó fósforo inorgánico;

3) Mulch +P: El tratamiento anterior (2), que durante diez años recibió una aplicación adicional de 38.4 kg de P/ha/año, como triple superfosfato;

4) Callejón +P: Este tratamiento consistió en el empleo de mulch de poró de árboles que fueron sembrados en el sitio experimental en 1982, a una distancia de 6 m entre las franjas y 3 m entre los árboles (555 árboles/ha). Una semana antes de la siembra de los cultivos, se aplicó en la superficie del suelo una cantidad promedio de 20 t de ramas verdes/ha/poda. Durante diez años, este tratamiento recibió una aplicación adicional de 38.4 kg de P/ha/año;

5) Estiércol -P: Consistió en el empleo de 20 t de estiércol de ganado/ha/aplicación, una semana antes de la siembra de los cultivos y no se utilizó fósforo inorgánico;

6) Estiércol +P: El mismo tratamiento anterior (5), que durante diez años recibió una aplicación adicional de 38.4 kg de P/ha/año, como triple superfosfato. En estos tratamientos se cultivó maíz y frijol en rotación, durante 13 años.

Para evaluar las formas de fósforo, se efectuaron tres muestreos de suelo durante un año, el primer muestreo antes de la siembra del maíz; el segundo después de la cosecha del maíz y antes de la siembra del frijol y el último después de la cosecha del frijol. Los muestreos fueron hechos a una profundidad de 0 a 5 cm. En cada parcela, se tomaron 30 submuestras, las cuales se mezclaron y se homogenizaron para sacar una muestra compuesta, la cual fue secada al aire, tamizada en malla de 0.2 mm y almacenada en recipientes plásticos para su posterior análisis.

Las formas de fósforo del suelo fueron determinadas utilizando la metodología propuesta por Hedley *et al.*, (1982), modificada para adecuarla a las condiciones del suelo estudiado. En esta metodología, los extractores son seleccionados de tal manera que primeramente se extraen las formas relativamente lábiles de fósforo inorgánico y orgánico, después las moderadamente lábiles y finalmente, las formas más estables de fósforo en el suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los tratamientos sobre el contenido de las fracciones de fósforo

Los tratamientos con estiércol de ganado presentaron los mayores contenidos de fósforo en las fracciones extraídas (Cuadro 1). Cantarella *et al.* (1992), consideraron que la mineralización previa que sufre el fósforo de los tejidos vegetales durante el proceso de digestión de los animales (principalmente herbívoros), hace que gran parte del fósforo proveniente de sus heces se encuentre en forma inorgánica. Además, el material fibroso presente en el estiércol libera una cantidad consi-

derable de fósforo a medida que se descompone. Zech *et al.* (1990) sugirieron que las enmiendas orgánicas de origen animal, al poseer en su fracción orgánica compuestos aromáticos fosforados, son más estables que los residuos vegetales en el suministro de fósforo al suelo.

Los otros dos tratamientos que también incluyen un aporte externo de nutrientes (mulch de poró con y sin adición de fosfato mineral), presentaron niveles intermedios de fósforo en todas las fracciones, en comparación con los tratamientos sin aportes externos (Control +P y Callejón de poró +P). Las enmiendas que recibieron fosfato mineral, tienden a presentar mayores contenidos de fósforo en sus fracciones (Cuadro 1)

Efecto de los cultivos sobre el contenido de las fracciones de fósforo

Todas las fracciones de fósforo cambiaron sus contenidos a lo largo del tiempo (Cuadro 2). El contenido de fósforo de las fracciones Pi resina, Pi NaHCO₃, Pi NaOH, Pi HCl y Po NaOH, disminuyó significativamente entre el primero y el segundo muestreo de suelo, durante el ciclo del maíz. Este cultivo es muy exigente en nutrientes y al producir una mayor cantidad de biomasa que el frijol, extrajo considerables cantidades de P de las fracciones lábiles y moderadamente lábiles del suelo (Cuadro 3).

Cuadro 2. Variación en el contenido de fósforo (mg P/kg de suelo) de las fracciones en diferentes épocas de muestreo, Costa Rica.

FRACCIONES	MUESTREOS		
	1°	2°	3°
Pi resina	21.2b	17.8c	26.4a
Pi NaHCO ₃	36.5b	31. c	45.3a
Pi NaOH	466.7b	350.1c	502.9a
Pi HCl	23.0b	18.1c	30.7a
Po NaHCO ₃	61.2b	107.9a	41.3c
Po NaOH	588.1b	543.2c	619.1a
P residual	992.7b	1057.3a	923.3c
P Total	2189.4a	2125.6a	2189.0a

Medias seguidas por la misma letra en la horizontal, son estadísticamente iguales (Duncan, p < 0.05)

Las fracciones Po NaHCO₃ y P residual fueron las únicas formas de P que presentaron aumentos significativos entre el primero y el segundo muestreo. Aparentemente, el fósforo recirculado por los residuos del maíz y del fósforo aportado por las enmiendas, contribuyeron a aumentar el contenido de P en estas dos fracciones. Durante el ciclo del maíz, éstas se comportaron como "depósitos" de fósforo.

Una situación totalmente distinta se observó entre el segundo y el tercer muestreo de suelo, durante el ciclo del frijol. Este cultivo, por ser menos exigente en nutrientes y por producir una menor cantidad de biomasa que el maíz, extrajo una cantidad de fósforo menor de la que estaba

Cuadro 1. Contenido (mg P/kg de suelo) de fósforo por fracciones y tratamientos evaluados, Costa Rica, 1996

Fracciones	Tratamientos					
	Estiércol +P	Estiércol -P	Mulch +P	Mulch -P	Callejón +P	Control +P
Pi resina	40.6a	36.9a	21.5b	12.1b	10.4b	11.2b
Pi NaHCO ₃	57.6a	47.4a	38.3b	34.9b	32.7b	20.6c
Pi NaOH	550.1a	449.7ab	430.6ab	305.1b	441.0ab	472.2ab
Pi HCl	42.1a	30.3a	19.4b	17.4b	19.1b	17.8b
Po NaHCO ₃	79.5a	74.1a	68.8ab	59.2b	73.1a	66.1ab
Po NaOH	620.4a	610.5a	580.9ab	517.7a	613.9a	537.4b
P residual	1013.4a	1001.1a	988.6a	975.2a	940.7a	1027.3a
P Total	2403.7a	2250.0ab	2148.1ab	1921.6b	2130.9ab	2152.6ab

Medias seguidas por la misma letra en la misma hilera son estadísticamente iguales (Duncan, p < 0.05)

"disponible" en el suelo, en este período (Cuadro 3).

Cuadro 3. Fósforo (kg/ha) incorporado en la biomasa del maíz y del frijol durante un año agrícola. HT=hojas+tallos; HTR= hojas+tallos+raíces, Costa Rica, 1996

Tratamientos	Maíz		Frijol	
	Mazorcas ¹	HT ²	Vainas ¹	HTR ¹
Estiércol +P	6.7	2.2	2.1	0.7
Estiércol -P	6.4	2.0	2.2	0.8
Mulch +P	6.3	1.8	2.5	0.9
Mulch -P	6.1	1.9	2.1	0.7
Callejón +P	3.6	1.1	2.6	0.9
Control +P	4.3	1.4	1.6	0.6

¹ Exportados del sistema. ² Recirculados en el sistema

Otra hipótesis que tal vez explica el aumento significativo en el contenido de fósforo de las fracciones Pi resina, Pi Na HCO₃, Pi NaOH, Pi HCl y Po NaOH en este intervalo, es que el fósforo aportado por las enmiendas y el recirculado por los residuos del maíz, se mineralizó y liberó Pi al suelo; mientras que la otra parte se incorporó a la fracción orgánica extraída con NaOH. Por otro lado, la disminución significativa en el contenido de P de las fracciones Po NaHCO₃ y P residual, sugiere que estas dos fracciones se comportaron como "fuentes" de fósforo al cultivo

Como señalaron Hedley *et al.* (1982), durante el desarrollo de los cultivos, procesos específicos a nivel radicular, tales como la liberación del ión H⁺ y la producción de fosfatasa, pueden solubilizar parte del fósforo presente en las fracciones orgánicas e inorgánicas más estables

CONCLUSIONES

Los sistemas tratados con estiércol de ganado presentaron los mayores contenidos de fósforo en las fracciones, especialmente cuando se adicionó P inorgánico

Las fracciones orgánicas e inorgánicas más estables representan una importante fuente de fósforo cuando se emplean enmiendas orgánicas y no se aplica fertilización fosfatada. Las fracciones Po NaHCO₃ y P residual fueron las más variables

En el ciclo del maíz, ambas fracciones se comportaron como "depósitos" del P no aprovechado por el cultivo; mientras con el frijol, estas fracciones se comportaron como "fuentes" de fósforo al cultivo ◇

BIBLIOGRAFÍA

- BECK, M.A.; SÁNCHEZ, P.A. 1994 Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. Soil Science Society of America Journal (EE UU.) 34 (6):1424-1431
- CANTARELLA, H.; ABREU, C. A.; BERTON, R. S. 1992 Fomecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: Encontro sobre Matéria Orgânica do Solo: Problemas e soluções (1. 1992, Sao Paulo, Bra.) Ed por I. A. Guerrini: L. T. Büll p. 63-122
- FOX, R.L.; KAMPRAH, E.J. 1970 Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirement of soil. Soil Science Society of America Proceedings (EE UU.) 34 (6):902-907
- FROSSARD, E.; STEWART, J.W.B.; ARNAUD, R.I. ST. 1989 Distribution and mobility of phosphorus in grassland and forest soils of Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science (Can.) 69 (2):401-416
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. 1982 Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Science Society of America Journal (EE UU.) 46 (5):970-976
- OLSEN, S. R.; KHASAWNEH, F.E. 1980 Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: The Role of Phosphorus in Agriculture (1, 1976. Alabama, EE.UU.) Trabajos. Ed. by F.E. Khasawneh; E.C. Sample; E.J. Kamprath Wisconsin. EE UU. ASA/CSSA/SSSA p. 361-410
- PANIAGUA, A.M. 1991 Metodología de fraccionamiento de fósforo del suelo, en un sistema de cultivos en callejones. Tesis (Mag. Sc.) Turrialba, C.R. CATIE 92 p.
- SÁNCHEZ, P.A. 1987 Management of acid soils in the humid tropics of Latin America. In: International Board for Soil Research and Management Incorporated (1987, Nairobi, Kenya) Proceedings Bangkok, Thailand p. 63-107
- TATE, K.R. 1984 The biological transformation of P in soil. Plant and Soil (Holland) 76 (1-3):245-256
- ZECH, W.; HAUMAIER, L.; HEMPFLING, R. 1990 Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: Humic substances in soil and crop sciences. Ed. by C.E. McCarthy; R.L. Glapp; P.R. Bloom. Madison, Wisconsin. EE UU. p. 187-202 ◇