

COMPARACION DE METODOS RADIOISOTOPICOS PARA LA EVALUACION DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

Laura Bezzola, C. ⁽¹⁾; Silvia López C. ⁽²⁾; Néstor O. Barbaro, . ⁽²⁾

⁽¹⁾Facultad Ciencias Agrarias (UCA), Ramón Freire 183. (1426) Buenos Aires,

⁽²⁾ Comisión Nacional de Energía Atómica, Avda. del Libertador 8250 (1429) Buenos Aires

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la eficiencia de absorción de dos fertilizantes fosfóricos (fosfato diamónico e hiperfosfato) en condiciones de invernáculo empleando dos métodos radioisotópicos (método del fertilizante patrón o de las tres fuentes y método de la dilución isotópica inversa), en dos suelos Argiudoles.

El superfosfato triple fue empleado como fertilizante de referencia. El método del fertilizante patrón permitió evaluar el fósforo absorbido por las plantas que provenía de cada uno de los fertilizantes empleados. La actividad específica en plantas disminuyó en función de la dosis de fertilizante aplicada, de acuerdo a la siguiente expresión matemática:

$$As = b e^{-c d}$$

donde *As* es la actividad específica en plantas; *b* y *c* son constantes y *d* es la dosis de fertilizante no marcado aplicado. La aplicación del método de la dilución isotópica inversa ofreció dificultades debido a la fijación del trazador utilizado para marcar el suelo. El fósforo que proviene de los fertilizantes estudiados actuó, en el sistema suelo-solución, como portador isotópico dando lugar a una disminución de la adsorción diferencial del fósforo ³²P en razón de la solubilidad del fertilizante, la dosis de aplicación y las características del suelo.

Palabras claves: eficiencia de los fertilizantes; ³²P; dilución isotópica inversa; método de las tres fuentes; fertilizantes marcados.

COMPARISON OF ISOTOPIC METHODS FOR FERTILIZERS PHOSPHORUS EVALUATION

ABSTRACT

The efficiency of different doses of phosphoric fertilizers was studied in greenhouse conditions using two radioisotopic methods: inverse isotope dilution and three sources methods. Triple superphosphate was used as reference fertilizer.

The standard fertilizer or three sources method allowed to evaluate the phosphorus absorbed from each fertilizer.

The specific activity in plants decreased according to the dose of the studied fertilizer. This fact is mathematically expressed in the following way:

$$As = b e^{-c d} \quad (As: \text{specific activity}; b \text{ and } c: \text{constante}, d: \text{rate}).$$

The use of the inverse isotope dilution was limited because of the adsorption of ³²P by the soil solid phase. The phosphorus from studied fertilizers acted, in the soil-solution system, as isotopic carrier and in this way less adsorption of ³²P was produced, according to fertilizer solubility, application rate and soil characteristics.

Key words: fertilizer efficiency; ³²P; inverse dilution method; three sources method; unlabeled fertilizers.

INTRODUCCION

El uso de trazadores radiactivos permite conocer la eficiencia de los fertilizantes en la nutrición de las plantas (Guity, 1979), determinar la fracción de fósforo total absorbido por las plantas que proviene de los fertilizantes (Ghelfi et al. 1984) y cuantificar el efecto residual de fertilizaciones previas (Sharpley, 1987).

Cuando un fertilizante no es susceptible de ser marcado con fósforo radiactivo en forma homogénea, se puede recurrir a la aplicación del principio de la dilución isotópica inversa (Mekhael et al. 1965; Ghelfi et al. 1984) o del método de las tres fuentes (Ghelfi et al. 1984). En el primer caso, el trazador radiactivo es utilizado para marcar el fósforo del suelo. En el método de las tres fuentes se utiliza un fertilizante marcado de referencia. En ambos métodos, el fósforo que proviene del fertilizante estudiado produce la dilución del fósforo que proviene de la fuente marcada. En el presente trabajo se discute la aplicación de los dos métodos mencionados, empleando diferentes dosis de fertilizantes.

MATERIALES Y METODOS

Se emplearon muestras del horizonte superficial (0-20 cm) de dos suelos Argiúdules (Tabla 1), uno proviene de San Andrés de Giles (A) y el otro de Ezeiza (B). Los datos analíticos de la Tabla 1 fueron obtenidos por los siguientes métodos: pH, en agua 1:2.5; fósforo extractable: Bray y Kurtz 1; N total: por método Kjeldhal; Ca intercambiable: por EDTA.

Las muestras fueron secadas al aire, tamizadas con tamiz de 2 mm y acondicionadas en macetas de 450 g de capacidad. Se realizaron 17 tratamientos con seis (6) repeticiones cada uno. Para el método de la dilución isotópica inversa se marcó el suelo con una solución de ^{32}P (15 μCi /maceta), prácticamente sin portador (60 μgP /maceta), distribuyendo la solución radiactiva sobre el suelo extendido en una capa de 1 cm de espesor mezclando posteriormente en caja de guantes. Luego de efectuar la marcación se agregó superfosfato, fosfato diamónico o hiperfosfato molidos (gránulos menores a un 1 mm) en cantidad

equivalente a 0, 30, 60 o 90 kg de P_2O_5 /ha (0,5,8; 11,6; 17,4 mg P.kg suelo), es decir: 0; 13; 26 y 39 mg de superfosfato triple y fosfato diamónico; y 0; 20; 40 y 60 mg de hiperfosfato por maceta.

Para aplicar el método de las tres fuentes se agregó a cada maceta 26 mg de superfosfato marcado con 15 μCi de ^{32}P y luego se incorporó el fertilizante a evaluar (fosfato diamónico o hiperfosfato) en cantidades equivalentes a dosis de 0; 30; 60 o 90 kg P_2O_5 /ha $^{-1}$.

Para ambos métodos las macetas fueron suplementadas con nitrógeno (como NH_4NO_3) de manera de alcanzar, para todos los tratamientos la misma dosis de nitrógeno agregado, es decir la correspondiente a la dosis mayor de fosfato diamónico. Se sembró trigo (*Triticum aestivum* variedad Victoria INTA) a razón de 8 semillas por maceta. Se mantuvo las plantas en condiciones controladas de luz, temperatura y humedad durante 45 días. El material vegetal cosechado fue secado y calcinado, y las cenizas fueron retomadas en $\text{H}_2\text{SO}_4\text{2N}$.

El contenido de fósforo total fue determinado por el método del complejo vanadomolibdofosfórico (Jackson, 1976) y el ^{32}P por efecto Cerenkov en contador de centelleo líquido (L'Annunziata, 1979).

La actividad específica en plantas fue calculada como la relación entre el fósforo radiactivo y el fósforo total presente en hojas y tallos y fue expresada en $\text{cpm mg}^{-1}\text{P}$.

La fracción de fósforo proveniente del fertilizante no marcado (y) fue calculada aplicando el método de las tres fuentes, utilizando la siguiente ecuación:

$$y = 1 - \frac{\text{As} (\text{Ps} + \text{Pp} + \text{Px})}{\text{As} (\text{Ps} + \text{Pp})} \quad (1)$$

donde: As ((Ps + Pp + Px) es la actividad específica de las plantas cultivadas en un ámbito que tiene tres fuentes de fósforo, a saber, el suelo (Ps), el fertilizante patrón (Pp) y el fertilizante no marcado (Px); y

As (Ps + Pp) es la actividad específica de las plantas cultivadas en el ámbito que tiene dos fuentes de fósforo, a saber: el suelo (Ps) y el fertilizante patrón (Pp).

El fósforo en plantas que proviene del fertilizante estudiado (Pfx) fue calculado de acuerdo con:

$$\text{Pfx} = y \text{ Pt} \quad (2)$$

donde Pt es el fósforo total en plantas.

Tabla 1: Datos analíticos de muestras superficiales de los suelos empleados.

Suelo	Textura	pH	MO (%)	P Bray (ppm)	N total (%)	Ca Interc. (cmol kg $^{-1}$)
A	Franco arcillo limoso	6,24	4,35	3,50	0,217	9,38
B	Franco-arcilloso	8,10	8,87	4,48	0,297	21,38

Tabla 2: Método de las tres fuentes: fósforo total (Pt); fracción (y); contenido de fósforo en las plantas (Pp f_x) que proviene del fertilizante.

Fertilizante (mgP kg ⁻¹ suelo)	Suelo A			Suelo B		
	Pt (mg)	y	Pp f _x (mg)	Pt (mg)	y	Pp f _x (mg)
SPT 0	2,42a			0,94a		
SPT 11,6	2,88b			1,06ab		
PDA + 5,8	2,97bc	0,24	0,71	1,19b	0,14	0,17
PDA +11,6	2,76b	0,32	0,89	1,21b	0,34	0,41
PDA +17,4	3,13c	0,34	1,07	1,27b	0,41	0,52
HP + 5,8	2,80b	0,14	0,41	1,19b	0,12	0,14
HP +11,6	2,90b	0,21	0,61	1,21b	0,32	0,39
HP +17,4	2,82b	0,24	0,68	1,23b	0,42	0,51

Referencias:
 SPT = superfosfato triple
 PDA = fosfato diamónico
 HP = hiperfosfato
 Letras iguales en la misma columna indican diferencias no significativas (P < 0,05).

Tabla 3: Fósforo total en plantas. Método de la dilución isotópica inversa.

Fertilizante (mgP kg ⁻¹ suelo)	Suelo A Pt (mg/maceta)	Suelo B Pt (mg/maceta)
SPT 0	2,42ab	0,94a
SPT 5,8	2,51ab	1,21bc
SPT 11,6	2,65ab	1,33c
SPT 17,4	2,92b	1,47c
PDA 5,8	2,55ab	1,12b
PDA 11,6	2,70ab	1,19bc
PDA 17,4	2,89ab	1,32bc
HP 5,8	2,32a	1,18bc
HP 11,6	2,30a	1,16bc
HP 17,4	2,35a	1,12b

Referencias:
 SPT = superfosfato triple
 PDA = fosfato diamónico
 HP = hiperfosfato
 Letras iguales en la misma columna indican diferencias no significativas (P < 0,05).

RESULTADOS Y DISCUSION

El fósforo absorbido por las plantas (Tablas 2 y 3) es mayor para los tratamientos fertilizados que para los tratamientos testigos. Sin embargo, la respuesta a la fertilización, fue en todos los casos considerados, relativamente baja, debido probablemente a que la experiencia en macetas, se realizó durante estadios iniciales del desarrollo vegetal (Islam, 1985).

Utilizando la relación entre fósforo radiactivo y fósforo total, (actividad específica expresada en $\text{cpm mg}^{-1} \text{P}$), es posible evaluar la absorción del fósforo proveniente de los fertilizantes, aún para los estudiados, es esperada la disminución de la actividad específica en plantas, en razón del incremento de la dosis del fertilizante empleado. Esta disminución de la actividad específica se debe a la dilución del ^{32}P producida por el fósforo (^{31}P) absorbido desde los fertilizantes no marcados cuya eficiencia se desea evaluar.

En los tratamientos correspondientes al método del fertilizante patrón (superfosfato triple marcado con ^{32}P), la actividad específica decrece cuando la dosis del fertilizante no marcado aumenta (Fig. 1c y 1d). La relación hallada se expresa de la siguiente manera:

$$As = b e^{-c d} \quad (3)$$

donde As es la actividad específica, b y c son constantes, y d es la dosis del fertilizante no marcado. Para ambos suelos los valores de r^2 obtenidos son altos.

Para el método de la dilución isotópica inversa, la expresión matemática (3) se verificó en el suelo A fertilizado con superfosfato triple y fosfato diamónico (Fig. 1a). El hiperfosfato no produjo disminución de la actividad específica, es decir, no habría sido absorbido por las plantas de trigo.

En el suelo B la aplicación de la menor de las dosis de los fertilizantes empleados, produjo un incremento de la actividad específica en relación a los tratamientos testigos (Fig. 1b).

Para dosis mayores de superfosfato y fosfato diamónico, la actividad específica disminuyó en razón de la dosis aplicada, mientras que en el caso del hiperfosfato la actividad específica fue, para todas las dosis empleadas, constante.

Kucey y Bole (1984), utilizaron el método de la marcación del suelo con soluciones con portador isotópico hallaron, para algunas rocas fosfatadas estudiadas, que la actividad específica de los testigos era menor a la actividad específica de los tratamientos fertilizados. En estos casos, la fracción de fósforo que proviene del fertilizante es negativa.

El método de la dilución isotópica inversa se basa en la marcación homogénea del fósforo lábil del suelo. Cuando el suelo tiene una alta capacidad fijadora, el ^{32}P puede ser retenido bajo formas no lábiles. Este hecho ha sido estudiado en condiciones *in vitro* (Amer, et al. 1969; López, et al. 1990). El uso de ^{32}P en soluciones con portador isotópico, puede disminuir o aún evitar la absorción del ^{32}P por la fase sólida del suelo, pero también puede modificar el valor de fósforo lábil obtenido, fundamentalmente cuando el contenido de fósforo en el suelo es bajo (Wolf et al. 1986).

En las condiciones operativas de este trabajo (fertilizantes comerciales molidos, homogéneamente mezclados con el suelo y mantenidos en condiciones de capacidad de campo), el fósforo de los fertilizantes puede actuar como portador isotópico. Esta función la cumplen más eficientemente los fertilizantes más solubles (superfosfato triple y fosfato diamónico) que el de menor solubilidad (hiperfosfato), (Fig. 1a). Además en el suelo B de dosis de fertilizante necesaria para disminuir la absorción de ^{32}P en forma sensible es mayor que en el suelo A. Por este motivo, en el suelo B la actividad específica empieza a disminuir sólo con las dosis más elevadas de superfosfato y fosfato diamónico (Fig. 1b).

El análisis de la variación de la actividad específica en razón de las dosis empleadas, muestra que es posible calcular el fósforo en plantas que proviene del fertilizante, empleando el método de las tres fuentes.

En los dos suelos se produjo absorción de fósforo de los fertilizantes estudiados (Tabla 2). En el suelo A la eficiencia del fosfato diamónico fue mayor. En el suelo B el fósforo en las plantas de trigo proveniente del fosfato diamónico es similar al proveniente del hiperfosfato. Este hecho es difícilmente explicable porque las características del suelo (pH : 8.1; Ca intercambiable $21.4 \text{ cmole kg}^{-1}$ suelo), hacen suponer baja eficiencia del hiperfosfato. Chien et al. (1987) hallaron que el empleo en forma conjunta de superfosfato y roca fosfórica aumentaba, para experiencias con maíz, la absorción de la roca fosfatada. López et al. (1990) encontraron, para un suelo similar al empleado en esta ocasión, que el fósforo lábil en la superficie de la fase sólida era mayor cuando el suelo había sido fertilizado con superfosfato triple. Sin embargo, el suelo fertilizado con superfosfato e hiperfosfato simultáneamente presentaba valores de fósforo lábil similares a los correspondientes al testigo sin fertilizar.

Estos hechos sugieren la necesidad de continuar los estudios referidos a la forma de aplicación de ambos fertilizantes en relación con las características propias de los suelos analizados.

CONCLUSIONES

El empleo de trazadores radiactivos permite evaluar la absorción, por las plantas, del fósforo de los fertilizantes.

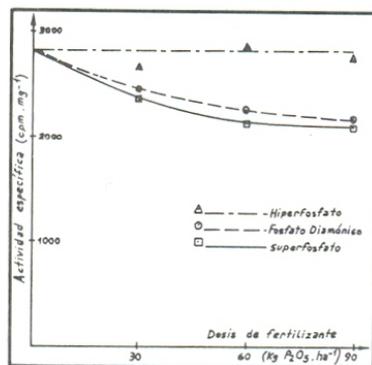


fig.1a: 'Dilución Isotópica Inversa'
Suelo San Andrés de Giles (A)

○ $As = 2777 e^{-0.004 \text{ dosis}}; r^2 = 0.947$
 ■ $As = 2708 e^{-0.003 \text{ dosis}}; r^2 = 0.808$

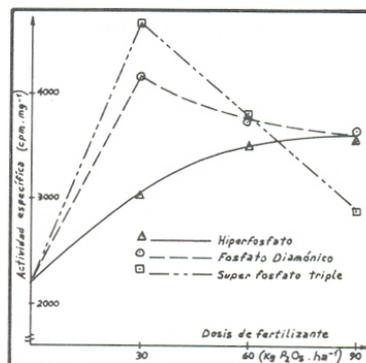


fig.1b: 'Dilución Isotópica Inversa'
Suelo Ezeiza (B)

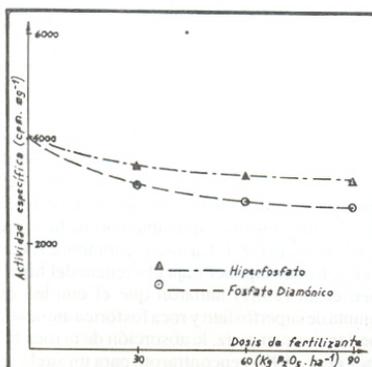


fig.1c: 'Fertilizante Patrón'
Suelo San Andrés de Giles (A)

○ $As = 3765 e^{-0.004 \text{ dosis}}; r^2 = 0.860$
 ▲ $As = 3954 e^{-0.003 \text{ dosis}}; r^2 = 0.926$

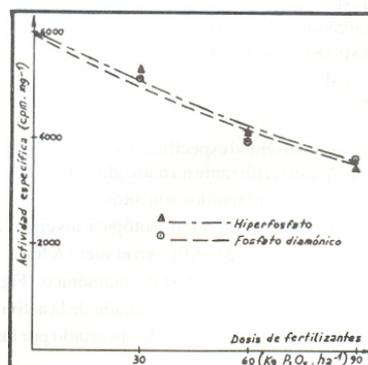


fig.1d: 'Fertilizante Patrón'
Suelo Ezeiza (B)

○ $As = 6033 e^{-0.006 \text{ dosis}}; r^2 = 0.978$
 ▲ $As = 6140 e^{-0.006 \text{ dosis}}; r^2 = 0.934$

Figura 1: Relación de la actividad específica (As) con la dosis del fertilizante empleado
(● = Fosfato Diamónico; ■ = Superfosfato Triple; ▲ = Hiperfosfato)

El método de la dilución isotópica inversa presenta la dificultad de que el ^{32}P puede, en razón de las características de cada suelo, ser fijado en forma irreversible, falseando los resultados obtenidos.

En este caso el fósforo de los fertilizantes empleados puede actuar como portador isotópico disminuyendo la capacidad de fijación del suelo.

El método de las tres fuentes permitió conocer la eficiencia de los fertilizantes estudiados.

La evaluación de la variación de la actividad específica en razón de la dosis de fertilizantes, permite detectar las dificultades en la aplicación del método de la dilución isotópica inversa y corroborar la validez de los resultados obtenidos con el método del fertilizante patrón.

REFERENCIAS

- Amer, F.; S. Mahdi y A. Alradi. 1969. Limitations in isotopic measurements of labile phosphate in soils. *J. Soil Sci.* 20.
- Chien, S.H., Adams, F.E. Khasawneh y J. Henao. 1987. Effects of combinations of triple superphosphate and a reactive phosphate rock on yield and phosphorus uptake by corn. *Soil Sci. Am. J.* 51: 1656-1658.
- Kucey, R.M.N. y J.B. Bole. 1984. Availability of phosphorus from 17 rock phosphates in moderately and weakly acidic soils as determined by ^{32}P dilution. A. value, and total P. uptake methods. *Soil Sci.* 138: 180-188.
- Ghelfi R., M.C. Quitegui y A. Buján. 1984. Métodos radioisotópicos para la evaluación de la eficiencia de fertilizantes fosfóricos no marcados. *Ciencia del suelo* 2: 107-113.
- Guity A.R. 1979. Evaluation de la valeur nutritive de l'engrais phosphate a l'aide d'une methode de dilution isotopique. Isotopes and radiation in research on soil-plant relationships. Proceedings of a Symposium, Colombo, 1978. IAEA, Vienna.
- Islam, R. 1985. Effect of phosphate fertilization on the development of root infection in some crops grown in the West Asian and North African regions and the influence of preceding crops on the development of native mycorrhizal fungi. IAEA-TECDOC - 338: 49-61.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Ed. Omega, Barcelona, pág. 662.
- L'Annunziata, M.F. 1979. Radiotracers in Agricultural Chemistry. London Academic Press.
- López, S.C.; N.O. Bárbaro y S. Rojas de Tramontini, 1990. Effect of previous fertilization on phosphorus adsorption measurement of surface phosphorus by isotopic exchange. *Soil Sci.* 150: 594-601.
- Mekhael, D.; F. Amer y L. Kadri. 1965. Comparison of plant available soil phosphorus. Isotopes and radiation in soil-plant nutrition studies. Proceedings of a Symposium IAEA, Vienna, 1964.
- Sharpley, A.N. 1987. Effect of phosphorus fertilizer on A value of soils cropped with winter wheat. *Plant and Soil* 102: 201-205.
- Wolf, A.M.; D.E. Baker y H.B. Pionke, 1986. The measurement of labile phosphorus by the isotopic dilution and anion resin methods. *Soil Sci.* 141: 60-80.