
RITMO DE LA REACCION ENTRE EL FOSFORO Y EL SUELO Y SU RELACION CON EL VALOR RESIDUAL DEL FOSFORO APLICADO PARA EL CRECIMIENTO DEL TREBOL

Rodolfo E. Mendoza

Centro de Ecofisiología Vegetal (CONICET).
Serrano 665. 1414 Buenos Aires (Argentina).

RESUMEN

Se estudió la relación existente entre el ritmo de la reacción entre el fósforo y seis suelos, con el valor residual del fósforo aplicado para el crecimiento de trébol subterráneo. Las medidas del ritmo de la reacción habían sido realizadas anteriormente empleando la ecuación de Freundlich modificada que incluye la variable tiempo. El ritmo de la reacción en cada suelo se caracterizó por el valor de los coeficientes de la ecuación. El valor residual del fósforo aplicado para el crecimiento del trébol se obtuvo a partir de un ensayo de invernáculo en el cual se midió la respuesta del trébol al agregado de fósforo en muestras de suelo que habían tenido distinto período de reacción con el fósforo.

El valor del coeficiente que describe el efecto del período de reacción entre el fósforo y el suelo sobre el fósforo retenido, estuvo correlacionado con el valor residual para el crecimiento del trébol. Esta correlación permite relacionar las medidas de laboratorio realizadas a nivel de suelo con medidas de invernáculo realizadas a nivel de planta.

Palabras clave: P retenido, P en solución, valor residual, P nativo.

ABSTRACT

RELATIONSHIP BETWEEN THE RATE OF REACTION BETWEEN SOIL AND PHOSPHATE AND THE RESIDUAL VALUE OF PHOSPHATE APPLIED FOR CLOVER GROWTH

The relationship between the rate of reaction between soil and phosphate and the residual value of phosphate applied for subterranean clover growth was studied on six different soils. The rate of reaction had been measured by a modified Freundlich equation which includes a time component. The coefficients of the equations were used as a measure of the characteristic of the reaction between soil and phosphate. The residual value was measured in a pot trial in glasshouse conditions to compare the response curve of freshly applied phosphate with that of phosphate incubated previously with the soil.

The value of the coefficient which describes the effect of the period of reaction between soil and phosphate on phosphate retained was correlated with the residual value of phosphate for clover growth. This correlation permits to relate laboratory experiments to glasshouse experiments.

Key words: P retained, P in solution, residual value, native P.

INTRODUCCION

Las aplicaciones de fertilizantes fosforados en suelos de un determinado sistema agrícola no permanecen totalmente efectivas a través del tiempo; por lo tanto es necesario realizar subsecuentes aplicaciones a los efectos de mantener un nivel máximo de producción.

Son varios los factores que están involucrados en la disminución de la disponibilidad de fósforo para el crecimiento a través del tiempo; sin embargo, el ritmo mediante el cual el fósforo continúa reaccionando con el suelo en el tiempo es uno de los factores más importantes debido a que tiene una directa influencia sobre el valor residual del fósforo aplicado (Barrow, 1980 a).

El ritmo de la reacción entre el fósforo y algunos suelos ha sido descripto mediante la ecuación de Freundlich modificada, incorporando la variable tiempo de reacción (Barrow y Shaw, 1975; Probert, 1983):

$$Pr = ac^b t^{b_2} \quad (1)$$

donde Pr es el fósforo retenido, c es la concentración de fósforo en la solución, t es el período de reacción y a , b_1 y b_2 son coeficientes que tienen valores específicos para cada suelo. En otros tipos de suelos, particularmente en aquellos que poseen altos niveles de fósforo nativo, se encontró que la reacción fue mejor descripta cuando se consideró el efecto del fósforo nativo durante la reacción (Mendoza y Barrow, 1987 a):

$$Pr = ac^b t^{b_2} - q \quad (2)$$

donde q representa a la cantidad retenida por el suelo estimada a partir de la ecuación.

El efecto de la reacción entre el fósforo y el suelo sobre el crecimiento se puede obtener comparando las respuestas de una planta índice al agregado de fósforo en muestras de suelo que han tenido distinto período de contacto con el fósforo (Barrow y Campbell, 1972).

A pesar de la información que podría obtenerse de la comparación entre el ritmo de la reacción entre el fósforo y el suelo, y el valor residual del fósforo aplicado para el crecimiento, resultaba sorpresivo que existan pocos trabajos al respecto. Uno de ellos fue realizado con suelos de distintos lugares del mundo (Barrow, 1980a).

Este trabajo tiene tres objetivos principales: primero, relacionar las medidas del ritmo de la reacción obtenidas a nivel de suelo en laboratorio, con el valor residual del fósforo aplicado para el

crecimiento de trébol subterráneo; segundo, comparar los resultados obtenidos en suelos argentinos con otros resultados obtenidos en suelos provenientes de otros lugares del mundo y tercero, evaluar el efecto de los cambios en el fósforo nativo durante el período de reacción sobre el crecimiento del trébol.

MATERIALES Y METODOS

Suelos

Se trabajó con muestras de cinco suelos recolectados del horizonte superficial provenientes de distintos lugares de la República Argentina. Los suelos elegidos abarcaron distintas características físicas, químicas y mineralógicas (Tabla 1). Ninguno de los suelos elegidos había recibido fertilización. Mayores detalles acerca de los mismos se pueden encontrar en trabajos anteriores (Mendoza y Barrow, 1987a y 1987b).

Además de los cinco suelos argentinos, se trabajó con un suelo australiano que había manifestado una extrema deficiencia de fósforo para el crecimiento del trébol, a punto tal que la producción obtenida en este suelo sin fertilización con fósforo fue sustentada exclusivamente por el fósforo contenido en la semilla (Barrow, 1975). Este suelo fue utilizado en este trabajo con dos propósitos. Primero, porque había sido utilizado en un trabajo similar al presente (Barrow y Shaw, op. cit.; Barrow 1980a); y por lo tanto podía ser empleado como control en este experimento, y segundo, porque debido a su extrema deficiencia en fósforo podía también ser empleado como inerte en cuanto al aporte de fósforo para el crecimiento, según se discutirá más adelante.

Medida del ritmo de la reacción

La reacción entre el fósforo y el suelo es una reacción química que involucra diferentes pasos. Una de las formas de medir el ritmo de la reacción es medir los cambios producidos a través del tiempo en los productos de la reacción. En este caso y de acuerdo con las Ec. (1) y (2), se trata de considerar los cambios en la concentración de fósforo en la solución a través del tiempo (Barrow, 1983).

Las medidas del ritmo de la reacción utilizadas en este experimento fueron obtenidas en trabajos anteriores a partir de la incubación del suelo con el fósforo durante distintos períodos y temperaturas. En el suelo australiano se empleó la Ec. (1), mientras que en los argentinos la Ec. (2) resultó

Tabla 1. Algunas características de los suelos utilizados^a.

Suelo	Clasificación y localidad	pH	P extract. ^c ($\mu\text{g P} \cdot \text{g}^{-1}$)	Capac. rel. de retención ($\mu\text{g P} \cdot \text{g}^{-1}$) ^d
1	Oxisol (San José, Misiones)	4,5	3,1	346
2	Vertisol (C. del Uruguay, Entre Ríos)	7,4	5,7	66
3	Alfisol (C. del Uruguay, Entre Ríos)	4,8	6,3	45
4	Vertisol (Alvarez Jonte, Bs. As.)	5,0	8,3	47
5	Molisol (Chascomús, Bs. As.)	5,2	12,3	37
6 ^b	Bakers Hill, Western Australia	5,4	2,2	227

a. Mendoza y Barrow (1987a)

b. Franco-arenoso de clasificación desconocida; Barrow y Shaw (1975).

c. Bray I

d. Fósforo retenido a una concentración de 1 $\mu\text{g P/ml}$ de solución luego de 1 día de reacción a 25° C.

más satisfactoria debido al efecto del fósforo nativo durante la reacción (Barrow y Shaw, op. cit.; Mendoza y Barrow, 1987a).

Incubación de los suelos

Se mezclaron homogéneamente muestras de suelo de 100 g de peso seco al aire con soluciones diluidas de fosfato de potasio (KH_2PO_4), en distintos niveles, de manera tal de poder definir claramente la respuesta del trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* cv. Northan) al agregado de fósforo. El volumen de las soluciones agregadas fue el mismo para cada suelo y en cantidad suficiente como para elevar el contenido de humedad a niveles comprendidos entre coeficiente de marchitez y capacidad de campo. Las muestras así preparadas se pusieron a incubar en un ambiente saturado de humedad durante veinticuatro días a 60° C. Se empleó esta temperatura para acelerar el ritmo de la reacción (Barrow y Shaw, op. cit.). Este tratamiento se denominó "incubado con fósforo" (I).

Otras muestras de 100 g se mezclaron con volúmenes iguales de agua desmineralizada iguales a los utilizados en el tratamiento I; se incubaron en las mismas condiciones y al finalizar el período de incubación se les incorporó fósforo en solución en iguales niveles a los empleados en I. Este tratamiento se denominó "incubado con agua y luego agregado de fósforo" (IP).

Finalmente, otras muestras de 100 g se mezclaron con soluciones de fósforo en iguales niveles a los utilizados en los tratamientos I e IP, pero en

este caso las muestras no fueron incubadas. Este tratamiento se denominó "no incubado" (N), y el fósforo se incorporó momentos antes de la siembra de semillas de trébol subterráneo para el ensayo de invernáculo.

Todas las muestras preparadas de la manera descripta precedentemente se utilizaron luego como fuente de fósforo en un ensayo de invernáculo.

Ensayo de invernáculo

Se mezclaron 850 g del suelo control (Suelo 6) con una dosis basal de nutrientes exceptuando fósforo y se pusieron en macetas sin drenaje. Se removieron aproximadamente 200 ml de suelo de la parte superior de cada maceta y a continuación se agregaron las muestras de 100 g de los tratamientos I, IP y N correspondientes a los seis suelos en estudio. Las muestras tratadas con fósforo se cubrieron con 100 ml del suelo control y sobre éste se sembraron las semillas de trébol que habían sido previamente inoculadas con cepas apropiadas. Finalmente se cubrieron las semillas con los 100 ml de suelo control remanente y se regaron luego las macetas con una cantidad de agua desmineralizada que había sido calculada previamente hasta niveles cercanos a la capacidad de campo.

El suelo control había mostrado una extrema deficiencia de fósforo (Barrow, 1975), y fue utilizado de la manera descripta precedentemente por tres razones. Por un lado, al ocupar el mismo el 90 % del contenido en peso de la maceta, se logró una menor variabilidad entre las máximas produc-

ciones obtenidas. Por otra parte, se aumentó el volumen de exploración de las raíces sin alterar el aporte de fósforo para las plantas, debido a que la cantidad que pudiera haber aportado el suelo control para el crecimiento será extremadamente pequeña en relación con la cantidad aportada por los suelos en estudio. Finalmente, se incrementó la extracción de fósforo de los suelos por las plantas debido a que alrededor del 40 % de las raíces se encontraron en los 100 g de los suelos en estudio.

Después de la germinación, se ralearon las plantas dejando seis por maceta. Se dejaron crecer las plantas durante cuarenta días, al cabo de los cuales se cosecharon los vástagos, se secaron y se pesaron.

Curva de respuesta y valor residual

La ecuación utilizada para describir la respuesta del trébol al agregado de fósforo fue la siguiente:

$$\ln y = A - B / (1 + m c x^{1/m}) \quad (3)$$

donde y es la máxima producción, x es el fósforo aplicado y A , B , m y c son coeficientes. El valor de A representa el máximo valor del $\ln y$, $A - B$ es el valor del $\ln y$ sin el agregado de fósforo, m determina la tendencia de la relación a ser hiperbólica ($m = 1$) o exponencial del tipo Mitscherlich ($m = 0$) y c es el coeficiente de curvatura. La Ec. (3) fue propuesta por Barrow y Mendoza (1989), deriva de la hipérbola de Campbell y Keay (1970) y fue elegida dentro de un grupo de curvas de respuesta, demostrando ser la que mejor describió los resultados.

Los valores de A , B y m estimados se mantuvieron constantes dentro de cada suelo, de manera que la variación entre los tratamientos de un mismo suelo está reflejada por el coeficiente c . La eficiencia relativa entre dos aplicaciones (valor residual) se calculó a partir de la relación entre los coeficientes c de las curvas de respuesta.

$$\ln y = A - B / (1 + m((c_1 x_1^{1/m}) + (c_2 x_2^{1/m}))) \quad (4)$$

donde x_1 y x_2 representan los niveles de aplicación de fósforo en los tratamientos IP e I, respectivamente. La relación c_2/c_1 determina una medida del valor residual (V.R.). Una discusión respecto a la aplicación de esta relación ha sido publicada por Barrow y Campbell (op. cit.).

Para evaluar el efecto de los cambios en el fósforo nativo durante la incubación sobre la producción del trébol, se incluyó un coeficiente más en la Ec. (4).

$$\ln y = A - B / (1 + m((c_1 (x_1 + d)^{1/m}) + (c_2 x_2^{1/m}))) \quad (5)$$

donde el valor de d , que puede ser positivo o negativo, representa la cantidad de fósforo que debería ser restada (d positivo) o sumada (d negativo) al tratamiento IP para igualar la producción del tratamiento N. El valor de d refleja entonces el efecto de los cambios en el fósforo nativo durante la incubación sobre el crecimiento.

El efecto de la inclusión del coeficiente d sobre el ajuste se realizó comparando la suma residual de cuadrados de la desviación entre los valores observados y calculados del $\ln y$ (Nelder y Mead, 1965).

RESULTADOS

Ritmos de la reacción

Los coeficientes de las Ec. (1) y (2) resumen la característica del ritmo de la reacción entre el fósforo y el suelo (Tabla 2).

El coeficiente a representa la cantidad de fósforo retenida por el suelo a valores de c y t iguales a la unidad. El valor de a permite entonces realizar comparaciones entre suelos en relación con la capacidad de retención de fósforo. El valor de b_1 proporciona información acerca del efecto de los cambios en la concentración de fósforo en solución sobre el fósforo retenido a un determinado período de reacción. En un gráfico log-log el valor de b_1 representa a la pendiente de la relación entre Pr y c (A título de ejemplo esto se ilustra para los suelos 4 y 5 en la Fig. 1). El valor de b_2 describe el efecto del período de reacción sobre el fósforo retenido a un valor de c constante. En la Fig. 1, el valor de b_2 determina la distancia entre las curvas. Un alto valor de b_2 indica que el suelo continúa reteniendo fósforo a través del tiempo, mientras que un valor de b_2 bajo indica que la reacción disminuye rápidamente con el tiempo. Los valores de b_2 de los suelos empleados en este estudio estuvieron entre 0,125 y 0,267 (Barrow y Shaw, op. cit.; Mendoza y Barrow, 1987a).

Curva de respuesta

La incubación del fósforo con el suelo disminuyó el crecimiento del trébol subterráneo (Fig. 2). La disminución en el rendimiento fue diferente en cada suelo y refleja el efecto de la reacción entre el fósforo y el suelo durante la incubación.

La ecuación utilizada describió los resultados satisfactoriamente, aún en los casos en donde la respuesta fue claramente sigmoidea (Fig. 2).

Tabla 2. Resumen de la característica de la reacción entre el fósforo y los suelos estudiados a través de los coeficientes a , b_1 y b_2 de las Ec. (1)^b y (2)^a.

Suelo	a	b_1	b_2	b_2/b_1
1	346	0,271	0,154	0,57
2	66	0,403	0,125	0,31
3	45	0,403	0,163	0,41
4	47	0,464	0,197	0,43
5	37	0,401	0,137	0,34
6	227	0,408	0,267	0,65

a. Mendoza y Barrow (1987a). (Suelos 1-5)
b. Barrow y Shaw (1975). (Suelo 6)

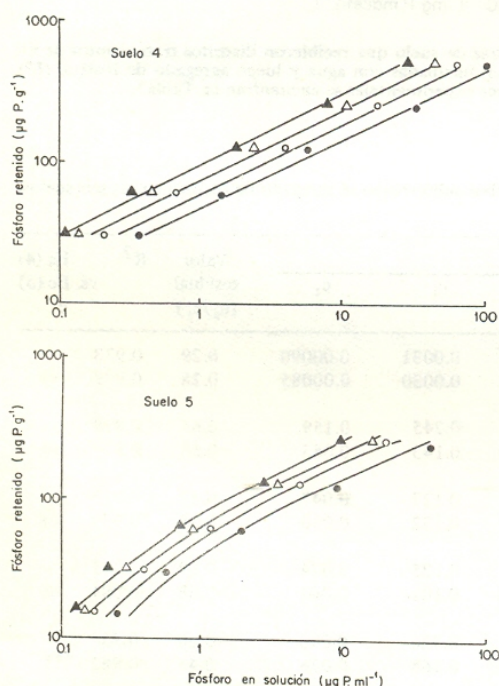


Fig. 1.

Gráfico log - log de los cambios de la concentración de fósforo en la solución y el fósforo retenido por los suelos 4 y 5, luego de ser incubados con cinco niveles de fósforo durante 1 (●), 3 (○), 10 (△) y 30 (▲) días a 25 °C. Datos descriptos por la Ec. (2) obtenidos de Mendoza y Barrow (1987 a).

El coeficiente d en la Ec. (5) refleja el efecto de la incubación sobre la disponibilidad del fósforo nativo para la planta. Un valor positivo de d indica un incremento en la disponibilidad durante la incubación, mientras que uno negativo una disminución. En la mayoría de los casos, la inclusión de coeficiente d no fue significativa (Tabla 3). Solamente en un suelo (Suelo 5), la inclusión de d mejoró el ajuste significativamente. En este caso el valor de d fue negativo e indicó que la incubación del suelo disminuyó la disponibilidad del fósforo nativo para el crecimiento en 2,05 mg de fósforo por maceta (Tabla 3).

Valor residual

La medida del valor residual (V. R.) calculada a partir de la relación entre los coeficientes c de las curvas de respuesta (c_2/c_1) fue diferente entre los suelos (Tabla 3). El V. R. en el suelo control (Suelo 6) fue de 0,42, similar al V. R. de 0,43 obtenido por Barrow (1980a) en otro experimento con el mismo suelo. Este resultado permitió conocer la confiabilidad de la metodología empleada en el experimento.

El V. R. puede variar entre cero y uno. Un V. R. igual a la unidad indicaría que no existe efecto del período de incubación sobre la reacción entre el fósforo y el suelo, y que todo el fósforo incorporado permanece disponible a pesar del transcurso del tiempo. El V. R. de 0,65 correspondiente al Suelo 2 indicó que el período de incubación disminuyó la eficiencia del fósforo aplicado para el crecimiento del trébol en un 35 %. En otro extremo en cuanto al valor de V. R. se ubica el suelo 1

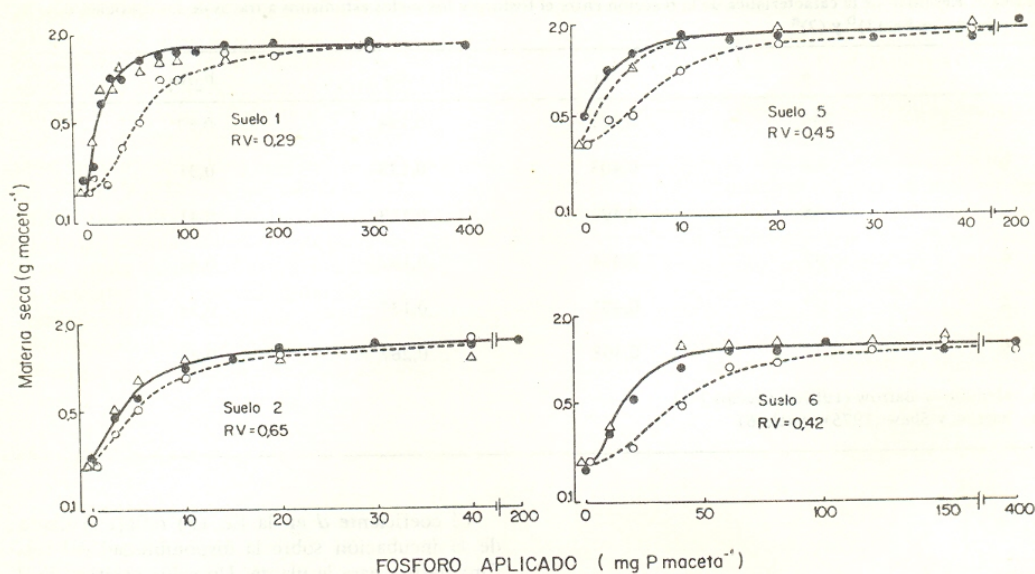


Fig. 2.

Respuesta del trébol subterráneo al agregado de fósforo en muestras de suelo que recibieron distintos tratamientos de incubación durante 20 días a 60 °C: incubadas con fósforo (I) (O); incubadas con agua y luego agregado de fósforo (IP) (Δ) y no incubadas (●) (N). Las ecuaciones que describen los valores experimentales se encuentran en Tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes obtenidos para describir la respuesta del trébol subterráneo al agregado de fósforo en los seis suelos, empleando las Ec. (4)^a y (5)^b.

Suelo	Nº de obs.	coeficientes						Valor residual (c ₂ /c ₁)	R ²	Ec (4) vs. Ec (5)
		A	B	m	d	c ₁	c ₂			
1	31	0.42	-2.10	0.419	—	0.0031	0.00090	0.29	0.978	
		0.42	-2.17	0.425	2.11	0.0030	0.00085	0.28	0.979	ns
2	31	0.37	-1.87	0.680	—	0.245	0.159	0.65	0.979	
		0.35	-1.84	0.525	0.81	0.143	0.083	0.58	0.979	ns
3	31	0.48	-1.94	0.548	—	0.127	0.047	0.37	0.977	
		0.47	-1.98	0.555	-0.47	0.132	0.050	0.38	0.979	ns
4	31	0.62	-2.08	0.523	—	0.125	0.074	0.59	0.979	
		0.63	-2.08	0.514	-0.52	0.101	0.064	0.63	0.981	ns
5	30	0.62	-1.58	0.576	—	0.320	0.096	0.30	0.955	
		0.62	-1.74	0.514	-2.05	0.168	0.076	0.45	0.982	***
6	30	0.23	-1.92	0.447	—	0.0045	0.0019	0.42	0.975	
		0.24	-1.97	0.450	-2.12	0.0043	0.0018	0.41	0.975	ns

a. Ec. (4). $\ln y = A - B / (1 + m ((c_1 x_1^{1/m}) + (c_2 x_2^{1/m})))$

b. Ec. (5). $\ln y = A - B / (1 + m ((c_1 (x_1 + d)^{1/m}) + (c_2 + x_2^{1/m})))$

c. Diferencia significativa entre la Ec. (4) y la Ec. (5); ns = no significativa; *** P < 0.001.

(V. R. = 0,29), en el cual el período de incubación disminuyó la eficiencia de aplicación para el crecimiento en un 71 %.

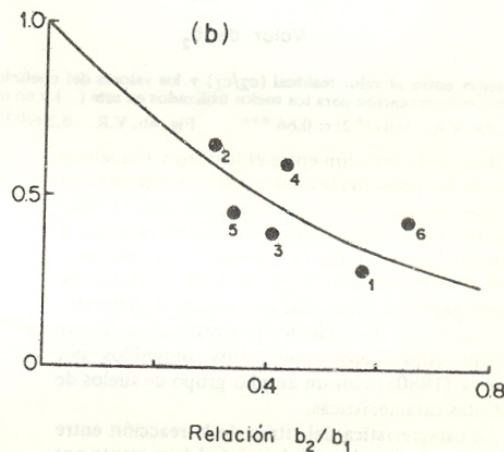
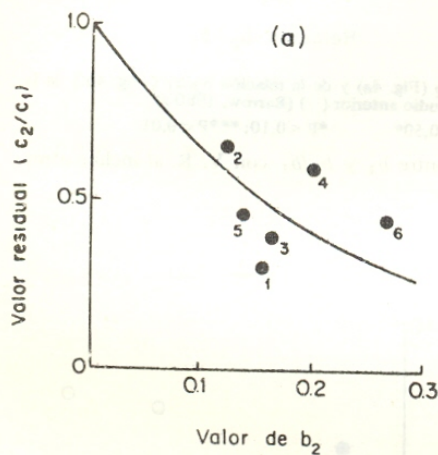
Relación entre ritmo de reacción y valor residual

La relación entre el ritmo de reacción y el valor residual se estudió empleando los valores de los coeficientes a , b_1 y b_2 y el valor de V. R. obtenido en los suelos. Estos valores reflejan el efecto residual del fósforo medido a nivel de suelo y planta, respectivamente.

Para relacionar las medidas b_2 y V. R. fue necesario utilizar una función coincidente conceptualmente con la definición de ambas medidas. Un

valor de b_2 muy próximo a cero indicaría que la reacción entre el fósforo y el suelo sería instantánea y no se prolongaría en el tiempo; o sea, no existiría un ritmo de reacción. Por lo tanto, el valor residual (c_2/c_1) entre dos aplicaciones de fósforo distantes en el tiempo sería igual a la unidad. Resumiendo, la función por elegir debería pasar por un punto definido por $b_2 = 0$ y V. R. = 1. La tendencia de la relación entre b_2 y V. R. fue inversa a pesar de la dispersión de los valores (Fig. 3 a).

Otra posibilidad de relacionar el ritmo de la reacción con el valor residual sería sabiendo en qué condición dos aplicaciones de fósforo distantes en el tiempo producirían igual rendimiento; una alternativa podría ser cuando la concentración



Relación entre el valor residual (c_2/c_1) y los valores del coeficiente b_2 (Fig. 3a) y de la relación b_2/b_1 (Fig. 3b) de la ecuación de retención para los seis suelos en estudio.

Fig. 3a. V.R.: 0,011 b_2 ; r: 0,66*

Fig. 3b. V.R.: 0,172 b_2/b_1 ; r: 0,83**

*P < 0,10; **P < 0,05

en la solución del suelo es igual entre tratamientos. Despejando c en la Ec. (1) se tiene:

$$c = \left(\frac{Pr}{a} \right)^{1/b_1} t^{-b_2/b_1} \quad (6)$$

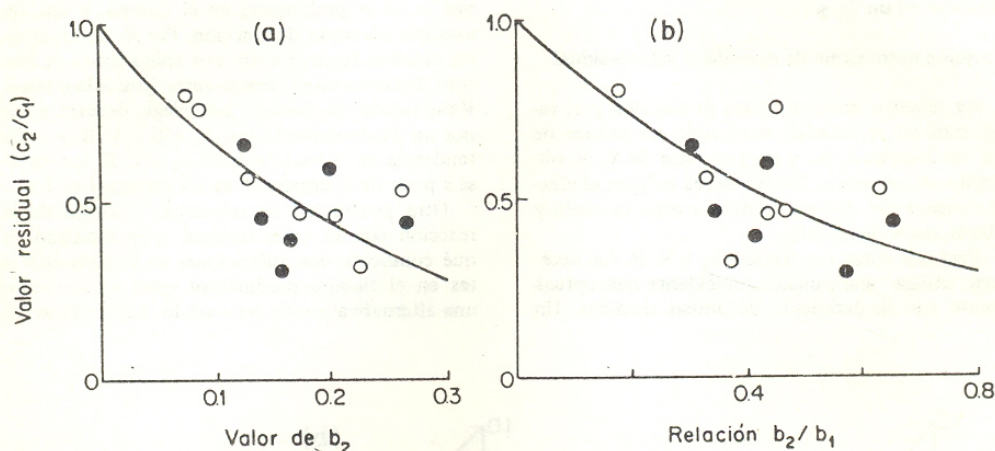
Igual valor de c entre dos aplicaciones distantes en el tiempo tendrá lugar a distintos valores de Pr y t entre tratamientos. La Ec. (6) indica que la concentración en la solución disminuye a medida que el tiempo aumenta con un ritmo definido por la relación b_2/b_1 . La figura 3 b muestra que la relación b_2/b_1 también correlacionó con V. R.

La distribución de los valores obtenidos en las relaciones estudiadas en la Fig. 3 de los suelos argentinos está dentro de los valores medios que fueron obtenidos para un amplio grupo de suelos provenientes de distintos lugares del mundo (Fig. 4).

El valor del coeficiente a , que caracteriza a la capacidad relativa de retención no estuvo relacionado con V. R., aun cuando se incluyeron otros suelos utilizados en otro trabajo (Fig. 5).

DISCUSION

Los resultados de este artículo muestran que



Relación entre el valor residual (c_2/c_1) y los valores del coeficiente b_2 (Fig. 4a) y de la relación b_2/b_1 (Fig. 4b) de la ecuación de retención para los suelos utilizados en este (○) y en otro estudio anterior (●) (Barrow, 1980 a).

Fig. 4a. V.R.: $0,016b_2$; $r: 0,66$ ***

Fig. 4b. V.R.: $0,209b_2/b_1$; $r: 0,50$ *

* $P < 0,10$; *** $P < 0,01$

el ritmo de la reacción entre el fósforo y el suelo es una de las propiedades del suelo relacionadas con el valor residual del fósforo aplicado para el crecimiento. La relación entre los coeficientes de la ecuación que describe la reacción y el valor residual (V. R.) medido a partir de la curva de respuesta permiten relacionar los ensayos de laboratorio con los de invernáculo. Los resultados de este trabajo coincidieron con otros obtenidos por Barrow (1980a) con un amplio grupo de suelos de distintas características.

La característica del ritmo de la reacción entre el fósforo y el suelo está descrita básicamente por los coeficientes de las Ec. (1) y (2). El valor de a es un índice de la capacidad relativa de retención; sin embargo no proporciona idea acerca de la evolución de la reacción en el tiempo. No existe entonces razón a priori para esperar una relación de a con V. R., que por otra parte sí es dependiente del tiempo e involucra a otras propiedades del suelo, tal como la calidad del material del suelo que reacciona con el fósforo más que la cantidad del mismo.

Los valores de b_1 y b_2 describen los efectos de los cambios en la concentración de fósforo en solución y del tiempo sobre el fósforo retenido. Los valores de b_1 y b_2 reflejan, entonces, características dinámicas de la reacción entre el fósforo y el suelo. De aquí que tanto b_2 como la relación b_2/b_1 correlacionen significativamente con V. R. No hubo consistencia en la mejora de la correla-

ción entre b_2 y b_2/b_1 con V. R. al incluir otros suelos.

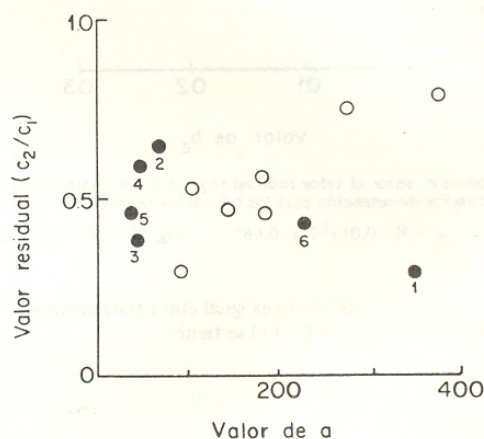


Fig. 5.

Relación entre el valor del coeficiente a de la ecuación de retención y el valor residual (C_2/C_1) de los suelos utilizados en este (●) y en un trabajo anterior (○) (Barrow, 1980 a).

Los resultados encontrados en relación con el efecto de la incubación sobre los cambios en el fósforo nativo del suelo han presentado discrepancias con otros experimentos. En este trabajo no se encontró efecto de la incubación sobre un aumento en el fósforo nativo del suelo que signifique un aumento en el rendimiento de trébol; es más, en un caso el efecto de la incubación sobre el crecimiento fue negativo. Sin embargo, en otro trabajo realizado con cuatro de los cinco suelos argentinos empleados en éste, uno de los suelos mostró un aumento de la producción de rye grass como consecuencia de la incubación del suelo sin fertilizar durante 56 días a 25° C (Mendoza y Menalled, 1988). Por lo tanto, no es posible toda-

vía concluir acerca de algún posible efecto del fósforo nativo durante la incubación que puedan afectar el crecimiento tanto en dirección como en intensidad. No obstante, esto no significa que los cambios no existan; solo podría indicar una distinta sensibilidad en la detección de los cambios en el tiempo por parte de distintos métodos, distintas especies y distintas condiciones experimentales.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. N. J. Barrow (CSIRO - Div. An Production - Western Australia), por su colaboración en el trabajo y discusión de los resultados.

REFERENCIAS

- Barrow, N. J., 1975. The response to phosphate of two annual pasture species. 1 Effect of soils ability to adsorb phosphate on comparative phosphate requirement. *Aust. J. Agric. Res.* 26 : 137 - 143.
- Barrow, N. J., 1980a. Differences amongst a wide-ranging collection of soils in the rate of reaction with phosphate. *Aust. J. Soil Res.* 18 : 215 - 224.
- Barrow, N. J., 1980b. Differences among some North American soils in the rate of reaction with phosphate. *J. Environ. Qual.* 9 : 643 - 648.
- Barrow, N. J., 1983. A discussion of the methods for measuring the rate of reaction between soil and phosphate. *Fert. Res.* 4 : 51 - 61.
- Barrow, N. J. y N. A. Campbell, 1972. Methods of measuring residual value of fertilizers. *Aust. J. Exp. Agr. An Husb.* 12 : 502 - 510.
- Barrow, N. J. y T. C. Shaw, 1975. The slow reactions between soils and anions. II. Effects of time and temperature on the decrease in phosphate concentration in soil solutions. *Soil Sci.* 119 : 301 - 310.
- Barrow, N. J. y R. E. Mendoza, 1989. Equations for describing sigmoid yield responses and their applications to some phosphate responses by lupins and by subterranean clover. *Fert. Res.* (en prensa).
- Campbell, N. A. y J. Keay, 1970. Flexible techniques in describing mathematically a range of response curve of pasture species. En: *Proceedings of the XI International Grassland Congress. Australia.* 332 - 334.
- Mendoza, R. E. y N. J. Barrow, 1987a. Characterizing the rate of reaction of some Argentinean soils with phosphate. *Soil Sci.* 143 : 105 - 112.
- Mendoza, R. E. y N. J. Barrow, 1987b. Ability of three soil extractants to reflect the factors that determine the availability of soil phosphate. *Soil Sci.* 144 : 319 - 329.
- Mendoza, R. E. y F. Menalled, 1988. Efecto de la reacción entre el fósforo y cuatro suelos sobre la producción y el fósforo extractable. *C. del Suelo* 6 : 50 - 55.
- Nelder, J. A. y R. Mead, 1965. A simplex method for function minimization. *Comput. J.* 7 : 308 - 313.
- Probert, M. E., 1983. The sorption of phosphate by soils. En: *Div. of Soils, CSIRO (Ed.). Soils. An Australian view point.* Academic Press, London. 427 - 435.

