

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DEL FOSFORO EN SUELOS ACIDOS DEL NOROESTE DE ESPAÑA. II. RELACIONES ENTRE VALORES REPRESENTATIVOS DEL P DEL SUELO, OBTENIDOS POR INCUBACION O AGITACION CON SOLUCION 0.01 M DE CaCl_2 , Y SU ABSORCION POR TREBOL VIOLETA¹

J. ARINES*
Ma. TERESA ALVAREZ*

Abstract

P-adsorption uptake by red clover grown in an acid brown soil heavily fertilized 6 years before sampling, was correlated with soil P estimated after the procedure followed to obtain their adsorption isotherm, with the value $X/\log C$ proposed by Bache and Williams, and with the p extracted by shaking soil samples during 1 h with 0.01 M CaCl_2 solution.

The high determination coefficient ($R^2 = 0.9847$) between P uptake and P extracted with 0.01 M CaCl_2 , suggest the possibility of using this extractant to test soil P status. A diagram to estimate fertilizer needs is showed.

Introducción

El estudio del problema de las relaciones suelo-planta con respecto al fósforo, ha puesto de manifiesto que: a) la estimación del P asimilable con extractores químicos varía, tanto con el tipo de suelo como con el cultivo, de modo que ningún extractor puede considerarse como universal; b) las propiedades de adsorción del suelo tienen una gran influencia sobre las necesidades de fertilización de los cultivos.

Ambos aspectos están directamente relacionados con la diagnosis y terapia de producción y, por tanto, tienen un gran interés práctico. Es necesario disponer de un método rápido y confiable para estimar la fertilidad actual del suelo y, al mismo tiempo poder determinar la fertilización adecuada para elevar aquel nivel al valor óptimo.

Entre los distintos extractores empleados para estimar el P asimilable, llama nuestra atención la solución 0.01 M de CaCl_2 (utilizado para obtener el factor intensidad) a pesar de que Williams (17) lo considera inferior a otros extractores. Dalal y Hallsworth (7) obtuvieron resultados que están en la misma línea, mientras que Baker y Hall (3) y Soltanpour *et al.* (15) lo consideran muy aceptable, habiendo obtenido el último una buena correlación ($r = 0.97$) entre el P absorbido por sorgo y el P extraído con solución 0.01 M de CaCl_2 .

El estudio de las isotermas de adsorción por incubación del suelo con solución 0.01 M de CaCl_2 conteniendo cantidades crecientes de fosfato, en condiciones que difieren según autores, ha puesto de manifiesto que la concentración óptima de P en la solución, una vez alcanzado el equilibrio, debe estar entre 0.2-0.3 ppm de P (3, 8, 11, 18) variando los niveles críticos con la capacidad tampón del suelo y el tiempo de cultivo (9). Por otro lado, buscando una simplificación al problema del conocimiento de las características de adsorción del suelo, Bache y Williams (2) encuentran como adecuado el valor de $X/\log C$ (X = concentración de P en la fase sólida o P adsorbido, y C = concentración de P en la solución en equilibrio) para una adición de 50 μmoles P/g suelo, aunque no expresan la variación de este parámetro ($X/\log C$) en la zona de adiciones prácticas de fosfato.

¹ Recibido para publicación el 4 de enero de 1980.

Los autores agradecen al Dr. D. Ramón Fábregas, Jefe de la U. E. I. de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal, la supervisión del manuscrito.

* Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia, del CSIC. U. E. I. de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Apartado 122. Santiago de Compostela España.

El problema de P del suelo ha sido globalmente abordado y revisado por Larsen (10).

A pesar de los inconvenientes expuestos por Williams (17) con respecto al empleo del CaCl_2 , hemos querido ensayar su aplicación. Al mismo tiempo, es nuestro interés estudiar la variación del parámetro $X/\log C$ propuesto por Bache y Williams (2), y comprobar la validez del óptimo de concentración de P en equilibrio con el suelo, establecido en 0.2-0.3 ppm de P, en un suelo típico de nuestra región (aunque con un nivel de fertilidad elevado) y para el cultivo de trébol violeta.

Materiales y métodos

Las propiedades y características de adsorción del suelo han sido descritas previamente (1). Para este experimento se ha utilizado la capa superficial (15 cm) del mismo. Se trata de una tierra parda limosa sobre esquistos, muy fertilizada hasta el año 1973. El suelo se recogió en 1979, y se determinaron sus características de adsorción antes de ser cultivado con trébol.

Para el cultivo se prepararon, sin adición de fertilizantes, 28 macetas con 2 kg cada una de suelo seco al aire mezclado con 1.25 kg de arena gruesa lavada con ácido clorhídrico. Durante 15 días, se estabilizaron con agua hasta un 50 por ciento de su capacidad máxima de retención. Entonces se aplicaron 7 tratamientos (4 repeticiones cada uno) consistentes en la adición de 0, 50, 100, 200, 300, 400 y 500 kg P/ha (se considera el peso de 1 ha igual a 2×10^6 kg). A los 7 días se sembró trébol violeta (*Trifolium pratense* L.) a razón de 1 g de semillas por maceta. Después de 38 días se recolectó la parte aérea de las plantas, determinándose la concentración de P en las mismas y la producción de materia seca por maceta.

Después, se tomaron muestras de suelo de todas las macetas, y en la fracción menor de 0.5 mm se determinó el P mediante agitación de 3 g de suelo con 30 ml de solución 0.01 M de CaCl_2 durante 1 h. En el extracto obtenido se determinó también la concentración de Ca, lo que permitió calcular el potencial fosfato de Schofield siguiendo el procedimiento de White y Beckett (16).

Para la determinación del P en la solución se utilizó el reactivo sulfomolibdico y SnCl_2 como reductor (1). La concentración de P en las cenizas vegetales con el reactivo nitrovanadomolibdico de Barton (5).

El análisis estadístico de los resultados se realizó según métodos descritos por Snedecor y Cochran (14).

Resultados y discusión

Valores de P del suelo

Los valores obtenidos del P del suelo, no corregidos ya que serán más adecuados para relacionar con la absorción por la planta, se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores del P del suelo para distintas adiciones de fosfato.

P añadido (kg/ha)	C (ppm)	X/logC	Ce (ppm)	pP
0	0.13	-	0.14	6.16
50	0.24	0.89	0.13	6.16
100	0.27	0.94	0.17	6.04
200	0.72	2.19	0.33	5.78
300	1.02	2.97	0.62	5.52
400	1.91	3.26	0.83	5.39
500	3.10	3.53	0.85	5.37

C = concentración de P obtenida por incubación del suelo durante 8 días con solución 0.01 M de CaCl_2 conteniendo la cantidad de $\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$ correspondiente al valor de P añadido.

Ce = concentración de P obtenida por agitación de una muestra de suelo, después del cultivo, con solución 0.01 M de CaCl_2 durante 1 h.

pP = potencial fosfato, basado en los datos Ce. Para X/logC las unidades de X son μmoles de P/g de suelo y las de C son μM .

Relaciones del P añadido con el cultivo.

Considerando al P añadido como variable independiente se han calculado las regresiones polinómicas de segundo grado de la producción de materia seca (g/maceta) y de la cantidad de P absorbido por las plantas (μg P/g suelo). Las ecuaciones obtenidas han sido:

$$\begin{aligned} \text{materia seca} &= 3.28 - 0.11 \times \log P \text{añad.} \div 0.10 \times \\ &(\log P \text{añad.})^2 \\ R^2 &= 0.8469 \end{aligned} \quad (a)$$

$$\begin{aligned} P \text{ absorbido} &= 8.77 - 5.86 \times \log P \text{añad.} \div 2.34 \times (\log \\ &P \text{añad.})^2 \\ R^2 &= 0.9967 \end{aligned} \quad (b)$$

donde en (a) la regresión es significativa al 5 por ciento y los coeficientes de la ecuación son no significativos, y en (b) la regresión es significativa al 1 por ciento y los coeficientes son significativos también al 1 por ciento.

Ambas ecuaciones se representan en la Figura 1 después de transformar los valores logarítmicos del P añad., en números naturales.

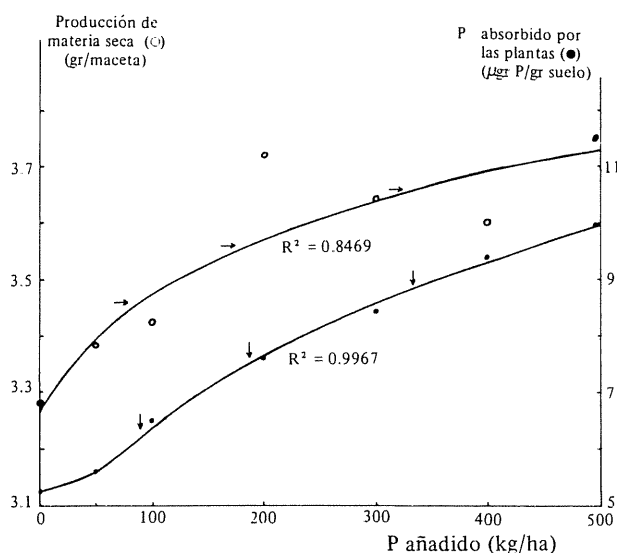


Fig. 1. Variación de la producción de materia seca, y del P absorbido por la planta, con el añadido.

La curva teórica del P absorbido se ajusta mucho mejor a los datos experimentales que la de producción. En la curva de producción se observan desviaciones importantes para adiciones de P superiores a los 200 kg/ha, cuya distribución sugiere un máximo. Ello estaría de acuerdo con resultados obtenidos por Ozanne *et al.* (11) para *Trifolium subterraneum* y *T. hirtum*. La curva de absorción, que no presenta máximo, está de acuerdo con resultados obtenidos por Barrow (4) para los tréboles.

Los valores medios de concentración de P en las plantas se presentan en el Cuadro 2.

Para 3 especies de trébol, Ozanne *et al.* (11) encuentran que la concentración para una producción

máxima debe estar entre 0.7-0.8 por ciento a los 29 días de emergencia. Por otro lado, Biddiscombe *et al.* (6), también en plantas de 29 días, observan que para una adición de 25 ppm P se obtiene un 60 por ciento del máximo de producción y la concentración en la planta es de 0.30-0.33 por ciento. Por otro lado, Barrow (4) encuentra que el peso total de la planta a los 33 días de emergencia no aumenta apreciablemente para valores de concentración en la parte aérea superiores a un 0.4 por ciento.

La comparación de los datos de concentración obtenidos con los citados, permite indicar que con los valores encontrados se puede obtener una producción de materia seca de, al menos, un 60 por ciento del máximo en todos los casos.

Teniendo en cuenta el buen ajuste encontrado cuando se relaciona la absorción de P con el P añadido, y que además la absorción es muy importante para una buena producción y desarrollo de la planta, hemos relacionado los parámetros representativos del P del suelo con la absorción del nutrimento por la planta.

Relaciones entre el P absorbido por la planta y los parámetros representativos elegidos del P del suelo

En los Cuadros 3 y 4 se presentan, respectivamente, las ecuaciones de regresión lineal y polinómica de 3er grado. Las líneas de regresión polinómica se representan en la Figura 2.

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión lineal

		y = a ÷ b.x		
y	x	a	b	r
P abs.	C	5.89**	1.57**	0.9198**
P abs.	Ce	5.08**	5.64**	0.9690**
P abs.	pP	37.78**	-5.24**	-0.9854**
P abs.	X/logC	4.64**	1.44**	0.9738**

** = significativo al 1%.

P abs. = P absorbido en μg de P/g de suelo.

Cuadro 2. Variación de la concentración de P en la planta con el P añadido.

P añadido (kg/ha)	0	50	100	200	300	400	500
P en planta (g %):	0.32	0.33	0.38	0.41	0.47	0.52	0.54

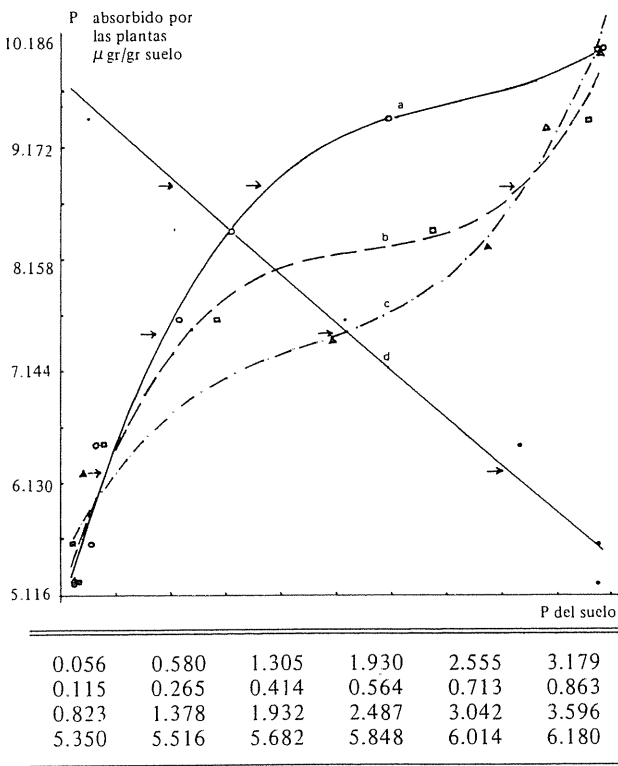
Cuadro 4. Ecuaciones de regresión polinómica de 3er grado.

$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3$						
y	x	a_0	a_1	a_2	a_3	R^2
P abs.	C	4.64	5.78	-2.39	0.35	0.9846
P abs.	Ce	1.98	33.98	-63.21	40.27	0.9847
P abs.	pP	91.98	-31.70	4.28	-0.23	0.9710
P abs.	X/logC	1.36	7.83	-3.49	0.56	0.9756

Comparando las ecuaciones lineales se observa significación en todos los coeficientes. Por lo tanto, para establecer un orden de ajuste, consideraremos el valor del coeficiente de correlación, según el cual:

$$pP > X/\log C > Ce > C$$

El orden de ajuste de los puntos experimentales a cada uno de los factores resulta ser:



Clave.— Puntos experimentales:
 C(o), Ce(□), x/logC(Δ), 1/2 pCa + pPO₄H₂⁻(●).
 Curvas ajustadas: a b c d

————— : intersección de las absorciones óptima, intermedia y máxima con las curvas ajustadas.

Fig. 2. Regresiones polinómicas de 3er grado entre el P absorbido por la planta y valores representativos del P del suelo.

$$C = Ce > X/\log C \approx pP$$

En primer lugar es de señalar el carácter sigmoide de las curvas a, b y c (Figura 2), con puntos de inflexión para valores de absorción próximos a 9.5, 8.2 y 7.3 μg P/g suelo, respectivamente.

Dado que $Y_m = (Y_i^2 - Y_j \cdot Y_k) / (2Y_i - Y_j - Y_k)$ y siendo $Y_i = 3.73$; $Y_j = 3.63$; $Y_k = 3.47$ resulta $Y_m = 3.66$ y $Y_{\text{ópt.}} (95\%) = 3.46$

Para concretar los valores de los distintos parámetros para valores fijos de absorción, conviene determinar previamente los valores de producción que interesan. Como la curva de producción no presenta un máximo definido, podemos calcular éste haciendo uso de la ecuación de Mitscherlich [citado en Peaslee (13)] tomando para ello los valores de producción de materia seca que en la curva (Figura 1) corresponden a adiciones de 100, 300 y 500 kg P/ha.

Estos dos valores, y otro intermedio, así como los correspondientes de absorción, se indican con flechas en las Figuras 1 y 2.

Los valores de los parámetros del suelo para tales puntos, así como los valores de producción, fertilización, y absorción correspondientes, se indican en el Cuadro 5.

El valor óptimo de C es (0.23 ppm) está prácticamente dentro de los límites citados por la bibliografía, así como el de pP. Con respecto de los valores de Ce, el encontrado por nosotros como intermedio es muy próximo al citado por Soltanpour *et al.* (15) como crítico (0.37 ppm).

Aunque cualquiera de los factores estudiados se correlaciona de forma altamente significativa con el P absorbido por la planta, la facilidad de obtención del valor Ce nos inclina a considerarlo como útil para controlar de forma rutinaria el nivel de P asimilable, al menos para el suelo estudiado.

Con esta idea, se ha elaborado el diagrama que se presenta en la Figura 3 (los círculos representan puntos experimentales) en el que se establecen las relaciones entre el P asimilable (extraído con solución 0.01 M de CaCl₂), la producción, y la cantidad de P añadido o fertilización, el cual puede ser empleado para diagnóstico y estimación de la fertilización necesaria para alcanzar la producción que se desea, todo ello dentro de los límites impuestos por el experimento. Proyectamos comprobar la validez del diagrama, y su extensión a otros valores de producción y rebrotes de la planta.

Cuadro 5. Valores seleccionados de los parámetros del P del suelo.

Criterio	Mat. seca (g/mac)	P añad. (kg/ha)	P abs. (μg/g)	C (ppm)	Ce (ppm)	X/logC	pP
Optimo (95%)	3.46	90	6.25	0.23	0.18	0.99	6.02
Intermedio	3.56	190	7.50	0.65	0.29	1.89	5.78
Máximo	3.66	335	8.85	1.27	0.74	3.13	5.52

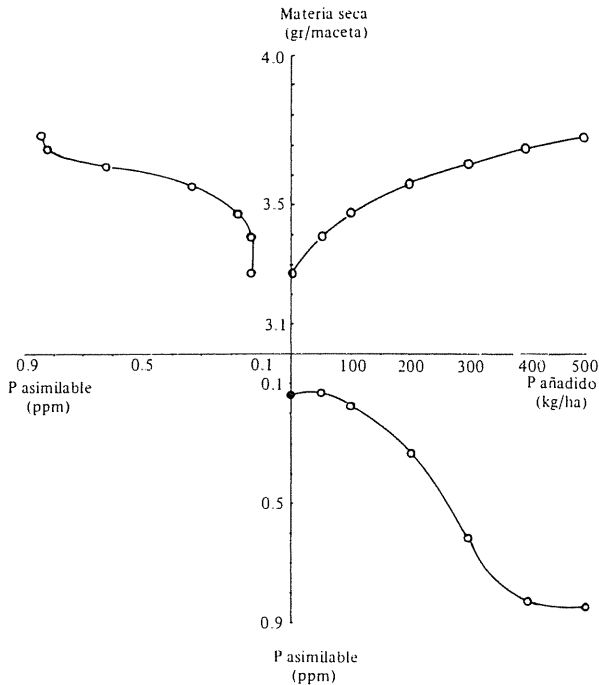


Fig. 3. Relaciones entre materia seca, fósforo añadido, y fósforo asimilable (extraído por agitación del suelo con solución 0.01 M de Cl₂Ca durante 1 h).

Resumen

Se estudia la absorción de P por trébol violeta cuando crece sobre una tierra parda ácida muy fertilizada 6 años antes. La absorción se correlacionó con el P del suelo estimado según el procedimiento que se sigue para obtener su isoterma de adsorción, con el valor X/logC propuesto por Bache y Williams, y con el P extraído por agitación del suelo con solución 0.01M de CaCl₂.

El elevado coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9847$) entre el P absorbido por la planta y el P extraído con CaCl₂ 0.01 M, sugiere la posibilidad de utilizar dicho extractor para estimar el P asimilable. Se presenta un diagrama que permite determinar la fertilización fosfatada conveniente.

Literatura citada

1. ARINES, J. y ALVAREZ, Ma. TERESA. Contribución al estudio del fósforo en suelos ácidos. I. Características de adsorción y fracciones de P en una tierra parda del noroeste de España. *Turrialba* 31:3. pp. 217-226. 1981.
2. BACHE, B. W. and WILLIAMS, E. G. A phosphate sorption index for soils. *Journal of Soil Science* 22:289-301. 1971.
3. BAKER, D. E. and HALL, J. K. Measurements of phosphorus availability in acid soils of Pennsylvania. *Soil Science Society of America Proceedings* 31:662-667. 1967.
4. BARROW, N. J. The response to phosphate of two annual pasture species. II. The specific rate of uptake of phosphate, its distribution and use for growth. *Australian Journal of Agricultural Research* 26:145-156. 1975.
5. BARTON, Ch. A. Photometric analysis of phosphate rock. *Analytical Chemistry* 20:1068-1073. 1948.
6. BIDDISCOMBE, E. F., OZANNE, P. G., BARROW, N. J. and KEAY, J. A comparison of growth rates and phosphorus distribution in a range of pasture species. *Australian Journal of Agricultural Research* 20:1023-1033. 1969.
7. DALAL, R. C. and HALLSWORTH, E. G. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. *Soil Science Society of America Journal* 40:541-546. 1976.
8. FOX, R. L. and KAMPRATH, E. J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Science*

- Society of America Proceedings 34:902-907. 1970.
9. HOLFORD, I. R. C. and MATTINGLY, G. E. G. Phosphate adsorption and availability plant of phosphate. *Plant and Soil* 44:377-389. 1976.
 10. LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy* 19:151-210. 1967.
 11. OZANNE, P. G., KEAY, J. and BIDDISCOMBE, E. F. The comparative applied phosphate requirements of eight annual pasture species. *Australian Journal of Agricultural Research* 20:809-818. 1969.
 12. OZANNE, P. G. and SHAW, T. C. Phosphate sorption by soils as a measure of the phosphate requirement for pasture growth. *Australian Journal of Agricultural Research* 18:601-612. 1967.
 13. PEASLEE, D. E. Relationships between relative crop yields, soil test phosphorus level, and fertilizer requirements for phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 9:429-442. 1978.
 14. SNEDECOR, G. W. y COCHRAN, W. G. *Métodos estadísticos aplicados a experimentos en agricultura y biología*. 5a. Edición CECSA, México. 1970. 626 p.
 15. SOLTANPOUR, P. N., ADAMS, F. and BENNETT, A. C. Soil phosphorus availability as measured by displaced soil solutions, calcium chloride extracts, dilute-acid extracts, and labile phosphorus. *Soil Science Society of America Proceedings* 38:225-228. 1974.
 16. WHITE, R. E. and BECKETT, P. H. T. Studies on the phosphate potentials of soils. I. The measurement of phosphate potential. *Plant and Soil* 20:1-16. 1964.
 17. WILLIAMS, D. E. G. the intensity and quantity aspects of soil phosphate status and laboratory extraction values. *Anales de Edafología y Agrobiología* 26:525-546. 1967.
 18. WOODRUFF, J. R. and KAMPRATH, E. J. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. *Soil Science Society of America Proceedings* 29:148-150. 1965.