

Efecto del Fósforo Nativo Adsorbido en el Suelo sobre la Medida de la Capacidad "Buffer" de Fosfato¹

R. Mendoza*

ABSTRACT

Twelve unfertilized Argentinean soils were used to study the effect of the native adsorbed phosphate on both the description of the phosphate adsorption by the Freundlich equation and the measure of the buffering capacity of the soil for phosphate. Two measures of the native adsorbed phosphate were used: an extra coefficient of the Freundlich equation and the isotopically exchangeable phosphate. They were included in the equation as an intercept term. The inclusion of the two measures of the native sorbed P to the sorption data improved the description of the phosphate adsorption by the soil. In most cases not only was a downward displacement of the adsorption curve observed but also an increase of the slope when any of the two measures were taken into account. As a consequence, appreciable differences in the values of the phosphate buffering capacity were obtained among adsorption curves, especially when buffering was measured at low phosphate concentrations in solution. This suggests that before characterizing soils for buffering, an estimation of the native sorbed P should be considered prior to deciding on the inclusion of the measure of native sorbed P to the sorption data.

INTRODUCCION

La característica de la reacción entre el fósforo agregado y el suelo se estudia corrientemente mediante la "isoterma de adsorción". Los motivos que originaron el empleo de las isotermas de adsorción de fósforo, y su aplicación en estudios de suelo y en relaciones suelo-planta, han sido ampliamente descritos por distintos investigadores (3, 7, 8, 11, 15). Gran parte de los estudios de esta naturaleza han coincidido en que la ecuación de Freundlich resultó ser, por su simplicidad y precisión, una de las más adecuadas para describir la partición del fósforo agregado entre la fase sólida y líquida del suelo.

Uno de los problemas, en el ajuste de los valores experimentales mediante una ecuación de adsorción, ha sido la dificultad de considerar el fósforo nativo adsorbido en el suelo por medio de una adecuada medición, puesto que el fósforo nativo también forma parte de la

COMPENDIO

Se estudiaron doce suelos argentinos, sin fertilización, en los que se determinó el efecto de los fosfatos nativos adsorbidos sobre la descripción de la adsorción de fosfatos según la ecuación de Freundlich y la capacidad amortiguadora del suelo hacia los fosfatos. Se usaron dos tipos de medidas de los fosfatos nativos adsorbidos: un coeficiente adicional de la ecuación de Freundlich y los fosfatos isotópicos intercambiables. Ambos fueron incluidos en la ecuación como un término interceptor. La inclusión de las dos medidas mejoró la descripción de la adsorción de los fosfatos en la mayoría de los suelos. Cuando se tomó en consideración cualquiera de las dos mediciones, se observó un desplazamiento hacia abajo de la curva de adsorción y un aumento en la inclinación de esa curva. Consecuentemente se observaron diferencias apreciables en los valores de capacidad "buffer" de fosfatos obtenidos entre las curvas de adsorción, especialmente cuando se midió la capacidad amortiguadora a bajas concentraciones de fosfatos. Esto sugiere que al caracterizar la capacidad "buffer" de los suelos, se debe considerar la estimación del fósforo nativo adsorbido, antes de decidir su inclusión en los cálculos.

reacción durante el período de equilibrio. Generalmente, este inconveniente ha sido sobrepasado asumiendo la posibilidad de un pequeño efecto del fósforo nativo en la reacción, como consecuencia de la utilización de suelos no fertilizados o con bajos niveles de fósforo extractable; sin embargo, el efecto del fósforo nativo sobre el trazado de la isoterma y sobre la medida de la capacidad "buffer" de fosfato ha sido poco estudiado.

Es razonable pensar que en suelos con altas deficiencias de fósforo y con bajos niveles de fósforo extractable, el efecto del fósforo nativo sobre el ajuste de la ecuación de adsorción podría resultar despreciable; en consecuencia, la línea de ajuste en un gráfico de fósforo adsorbido (Pd) versus concentración de fósforo en solución (c) pasaría por el origen. En este caso se tiene:

$$Pd = a c^b \quad \text{Ecuación (1)}$$

¹ Recibido para publicación el 13 de diciembre de 1989.

* Centro de Ecofisiología Vegetal, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, Arg.

donde a y b son coeficientes. Sin embargo, existen suelos en los cuales, luego de un período de agitación con una solución libre de fósforo y aún en algunos casos

con soluciones que contienen bajas concentraciones de fósforo, se obtienen apreciables cantidades de fósforo en la solución final; por tanto, los primeros puntos experimentales, y especialmente el primer punto de la curva de adsorción, se encuentran notablemente desplazados respecto del origen. En estos casos debería considerarse el efecto del fósforo nativo en el ajuste.

Una de las formas más simples es incluir una ordenada al origen en la Ecuación (1) y estimar el valor del fósforo nativo a partir de un coeficiente:

$$P_d = a c^b - q \quad \text{Ecuación (2)}$$

donde q es el coeficiente que representa el valor del fósforo nativo adsorbido por el suelo. El empleo de la Ecuación (2) implica aceptar que la ecuación de Freundlich puede ser extrapolada hasta el eje de ordenadas; sin embargo, algunos investigadores han expuesto algunas reservas sobre este aspecto.

Otros investigadores han estudiado el fósforo nativo adsorbido directamente de manera experimental mediante el fósforo extraído por resinas (5, 18), el fósforo intercambiable (6, 11) y el fósforo desplazado por soluciones extractantes (17). Fitter y Sutton (5) encontraron que el valor de q , obtenido a partir de la Ecuación (2), estuvo correlacionado con el fósforo extraído por resinas, y Barrow (3) obtuvo correlación entre q y el fósforo intercambiable.

Una de las propiedades más importantes del suelo relacionadas con la dinámica de fósforo es, sin duda, la capacidad "buffer" de fosfato. Esta propiedad puede medirse derivando la ecuación de adsorción y obteniendo el valor de la pendiente de la curva a una concentración definida de fósforo en solución.

Comparando las ecuaciones (1) y (2) se observa que la pendiente en cada punto de la curva es independiente del valor de fósforo nativo medido. Sin embargo, existen evidencias de que previas incorporaciones de fósforo al suelo provocan un desplazamiento de la isoterma de adsorción y disminuyen el valor de la pendiente (2, 12).

Este trabajo tiene por fines: estudiar el efecto del fósforo nativo adsorbido sobre el ajuste de la ecuación de Freundlich en un grupo de suelos de distintas características y diferentes niveles de fósforo nativo, y sobre la base de esos ajustes; cuantificar las diferencias en la medición de la capacidad "buffer" de fosfato como consecuencia de la inclusión de mediciones del fósforo nativo adsorbido en la ecuación de adsorción.

MATERIALES Y METODOS

Suelos, isotermas de adsorción y fósforo nativo

Se emplearon doce suelos de distintas características (Cuadro 1), diez de los cuales habían sido utilizados previamente (3, 14, 15) y los otros dos (suelos nos. 11 y 12) se recolectaron de una loma y de un bajo salino de la Depresión del Río Salado en el partido de Chascomús (Buenos Aires, Arg.).

La metodología de rutina empleada para la obtención de las isotermas de adsorción ha sido descrita anteriormente (13). Se emplearon once valores experimentales que se repitieron una vez y se ajustaron mediante la ecuación de Freundlich.

El fósforo nativo adsorbido en el suelo se estimó de dos maneras: a partir del coeficiente q , de acuerdo con la Ecuación (2), y mediante la medición del fósforo isotópicamente intercambiable (P_i). El P_i se determinó en las mismas condiciones utilizadas para la obtención de las isotermas, pues su valor es dependiente de las condiciones de medición (9). Finalizado el período de equilibrio utilizado (17 h), se agregó a la suspensión 0.5 ml de una solución que contenía $1 \mu\text{Ci}$ de p^{32} y, luego, se continuó la agitación por 30 min más; finalmente se determinó el p^{32} en la solución.

Ajuste de los datos experimentales

Para el trazado de la isoterma de adsorción, el valor de c se obtiene directamente a partir de la medición de la concentración de fósforo en la solución; y, a partir de éste, se obtiene P_d en forma indirecta por diferencia respecto del fósforo inicialmente agregado. De aquí entonces que c y P_d no sean independientes. Si se supone un error por exceso en la medición de c ; de acuerdo con la Ecuación (2), esto determinaría también un error por exceso en la estimación de P_d . Sin embargo, si se relacionan P_d y c , mediante las variables experimentales, tales como fósforo agregado (P_a) y relación solución:suelo (S), se obtiene también otra ecuación de adsorción:

$$P_d = P_a - cS \quad \text{Ecuación (3)}$$

De acuerdo con la Ecuación (3), un error por exceso en la medición de c determina otro por defecto en la estimación de P_d . Resulta, entonces, que a partir de un determinado valor de c , sea por exceso o por defecto, se obtienen distintos valores de P en cada una de las ecuaciones de adsorción. Este efecto tiene más importancia cuando se utilizan altas relaciones solución:suelo, como consecuencia del aumento en el error de la medición de c .

Cuadro 1. Algunas características de los suelos utilizados.

Suelo (núm.)	Clasificación	pH ¹	M.O.(%)	P extractado (ppm)		P interc. (ppm)	P resina (ppm)	CBF ² (ml.g ⁻¹)	valor de q ³
				Bray I	Olsen				
1	Albacualf	4.8	4.3	5.8	4.9	14.6	4.5	16.3	0.02
2	Udifluvent	4.9	2.2	4.7	2.4	18.6	2.3	8.3	70.57
3	Oxisol	4.5	4.8	2.2	2.3	24.3	7.7	115.6	114.16
4	Oxisol	4.2	2.8	2.9	3.2	26.1	4.1	89.5	114.48
5	Pelludert	7.4	4.4	4.4	4.4	7.0	8.6	35.7	0.83
6	Pelludert	5.1	5.0	8.0	4.4	26.8	5.0	27.5	119.17
7	Chromudert	5.0	4.9	11.3	7.9	28.9	17.8	30.8	61.84
8	Natraquoll	5.2	4.0	12.4	8.6	24.2	13.2	20.6	58.08
9	Arguidol	5.2	4.2	11.4	7.9	15.9	13.2	21.5	52.28
10	Natraquoll	7.9	2.3	12.7	9.7	16.3	18.4	8.2	21.39
11	Argialbol	4.7	4.4	13.2	6.9	25.3	11.4	35.5	44.30
12	Natraquoll	5.4	5.4	12.9	7.5	11.6	15.9	10.8	27.62

Leyenda:1 1:5; CaCl₂ 0:01 M

2 (a.b) en Ecuación (1)

3 Valor de q estimado por Ecuación (2)

Para emplear la ecuación de Freundlich y relacionar c y P_d con las variables experimentales P_a y S , es necesario combinar las ecuaciones (2) y (3). La sustitución de la Ecuación (3) en Ecuación (2) por P_d genera otra difícil de resolver por c . Sin embargo, es posible tratar ambas ecuaciones simultáneamente hasta encontrar por iteración el valor estimado de c para cada observación que determina iguales valores de P_d en ambas ecuaciones. Este método simultáneo de ajuste genera una ecuación de adsorción con menores desviaciones que el método simple de ajuste. Una discusión acerca de los métodos simple y simultáneo de ajuste ha sido publicada anteriormente por Barrow (3) y un estudio específico sobre diez suelos, por Mendoza (13).

Efecto del fósforo nativo en el ajuste

El efecto del fósforo nativo sobre el ajuste de los valores experimentales se evaluó al estudiar tres casos diferentes:

- Sin la inclusión del fósforo nativo, tal es el caso de Ecuación (1):

$$P_d = a c^b \quad \text{Ecuación (1)}$$

- inclusión del fósforo nativo estimado por el valor del coeficiente q en Ecuación (2):

$$P_d = a c^b - q \quad \text{Ecuación (2)}$$

- inclusión del fósforo nativo estimado por la medición del fósforo intercambiable (P_i):

$$P_d = a c^b - P_i \quad \text{Ecuación (4)}$$

Estrictamente, la variable medida en la experimentación fue c ; por lo tanto, ésta debe ser tratada como variable dependiente. De aquí que las ecuaciones (1), (2) y (4) se reformularon llevando a c como variable dependiente, ajustando cada una de ellas en forma simultánea con la Ecuación (3). La comparación estadística entre estas ecuaciones se realizó sobre la base de la diferencia entre la suma residual de cuadrados de las desviaciones entre los valores observados y calculados de c , utilizando el método simple x de Nelder y Mead (16); y teniendo en cuenta el efecto del distinto número de coeficientes entre ecuaciones. La Ecuación (4) se consideró con dos coeficientes, debido a que P_i es una constante ex-

perimental determinada independientemente de los datos de c obtenidos en el ensayo.

RESULTADOS

Efecto del fósforo nativo en el ajuste

La estimación del fósforo nativo adsorbido mediante el coeficiente q (Ecuación (2)) mejoró significativamente el ajuste de los datos experimentales con respecto a la Ecuación (1) en ocho de los suelos (ej.: suelos 9 y 12 en Cuadro 2); en los cuatro restantes la mejora encontrada en el ajuste no fue significativa, al tomar en cuenta el número de coeficientes distintos que poseen las dos ecuaciones comparadas (ej.: suelos 1 y 3, Cuadro 2).

En la Ecuación (4), la estimación del fósforo nativo adsorbido en el suelo se determinó experimentalmente (fósforo intercambiable) y su valor se incluyó en la ecuación como una constante experimental. En diez casos la Ecuación (4) disminuyó la desviación residual del ajuste respecto de la Ecuación (1) (Ej.: suelos 3, 9 y 12 en Cuadro 2) y en dos casos la desviación residual

aumentó (Cuadro 2). En dos casos (suelos 1 y 5), el valor de q estimado por la Ecuación (2) fue cercano a cero y, por lo tanto, la Ecuación (2) no fue superior en ajuste a la Ecuación (1). Los altos valores de P_i respecto de q en estos dos suelos determinaron un aumento de la desviación total del ajuste cuando se incluyó a P_i como estimación del fósforo nativo (suelo 1 en Cuadro 2).

Finalmente, la comparación entre las dos ecuaciones que incluyen estimaciones del fósforo nativo adsorbido (ecuaciones (2) y (4)) demuestra que la Ecuación (2) fue significativamente superior a la Ecuación (4) en sólo dos casos (ej.: suelo 12 en Cuadro 2 y suelo 6), mientras que en los diez casos restantes las ecuaciones (2) y (4) no evidenciaron entre sí diferencias significativas en el ajuste.

El Cuadro 2 también muestra que en los suelos donde la inclusión de q fue significativa (suelos 9 y 12), la diferencia relativa en los valores de los coeficientes a y b entre las ecuaciones comparadas (Ecuaciones (1) y (2)) fue alta en relación con las diferencias observadas en los suelos donde la inclusión de q no fue significativa (suelos 1 y 3).

Cuadro 2. Coeficientes obtenidos para la descripción de la adsorción de fósforo en los suelos números 1, 3, 9 y 12, mediante el ajuste de las ecuaciones (1), (2) y (4)¹, con c como variable dependiente.

Suelo (núm.)	Observaciones (núm.)	Ecuación	coeficientes			R	F	
			a	b	q		(2)	(3)
1	11	1	35.06	0.47	-	0.9975		
	11	2	35.07	0.46	0.02	0.9975	ns	ns
	11	4	50.33	0.34	-	0.9960	ns	
3	10	1	346.36	0.33	-	0.9967		
	10	2	461.26	0.26	114.16	0.9985	ns	ns
	10	4	371.07	0.32	-	0.9973	*	
9	11	1	44.11	0.49	-	0.9957		
	11	2	97.24	0.25	52.28	0.9987	*	ns
	11	4	60.21	0.38	-	0.9980	*	
12	11	1	17.00	0.63	-	0.9922		
	11	2	45.23	0.28	27.62	0.9981	*	*
	11	4	28.92	0.41	-	0.9974	*	

Leyenda:

1 Ecuación (1) $c = (Pd/a)^{1/b}$

Ecuación (2) $c = (Pd + q/a)^{1/b}$

Ecuación (4) $c = (Pd + P_i/a)^{1/b}$

2 Diferencia significativa en favor de las ecuaciones (2) y (4) respecto de la ecuación (1).

3 Diferencia significativa en favor de la ecuación (2) respecto de la ecuación (4). Probabilidad del 5% (*); ns (no significativo).

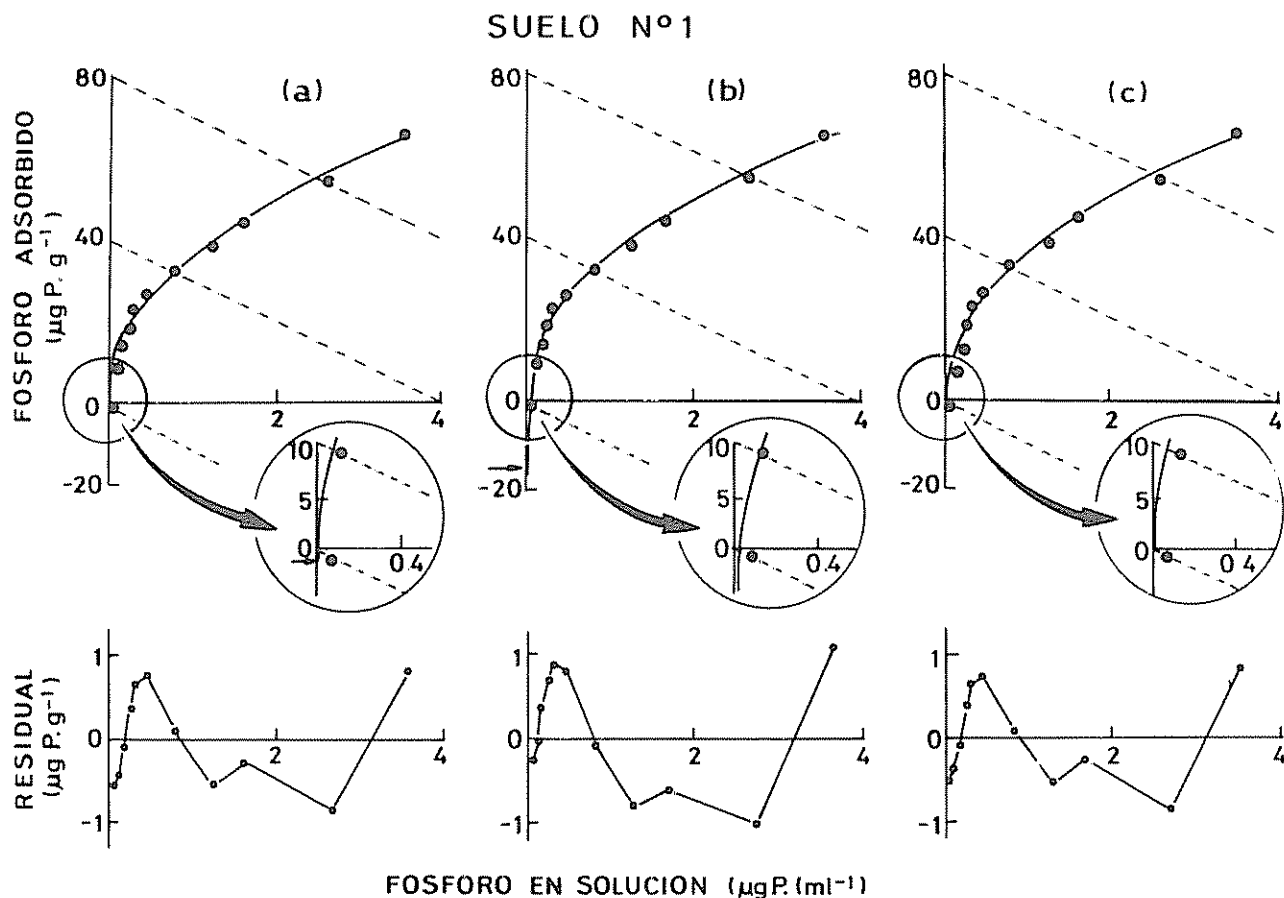


Fig. 1. Relación entre el fósforo adsorbido y de solución en el suelo no. 1 descrita por: c) Ecuación 1; a) Ecuación 2, y b) Ecuación 4, en forma simultánea con la Ecuación 3

Notas: Las líneas punteadas representan la Ecuación 3 para cada valor de fósforo agregado (0.40 ppm y 80 ppm P), y su intersección con la línea de ajuste corresponde a la resolución simultánea de ajuste de ambas ecuaciones. La flecha indica el valor de q ó de P_i en cada caso.

Las diferencias en el ajuste de las tres ecuaciones se debieron principalmente a las diferencias entre las desviaciones de los primeros puntos experimentales; en el resto de los valores observados, las desviaciones respecto de la línea de ajuste fueron similares en las tres ecuaciones (Figs. 1 y 2). En el caso del suelo 1, las desviaciones de los primeros puntos no fueron tan importantes como para mejorar el ajuste general de una ecuación sobre otra (Fig. 1). Por otro lado, en el caso del suelo 12, los primeros puntos se encontraron apreciablemente desplazados respecto del origen y, en consecuencia, la inclusión de cualquiera de las medidas del fósforo nativo adsorbido (q ó P_i) mejora el ajuste de la curva de adsorción (Fig. 2).

Efecto del fósforo nativo en la medición de la capacidad "buffer" de fosfato (CBF)

El valor de la pendiente de la curva de adsorción a una concentración definida de fósforo en solución, es una medida adecuada de la CBF. En el caso de las ecuaciones (1), (2) y (4), la pendiente en cada punto está dada por:

$$\frac{dPd}{dc} = abc^{b-1} \quad \text{Ecuación (5)}$$

donde dPd/dc es el valor de la CBF con unidades de mililitro por gramo.

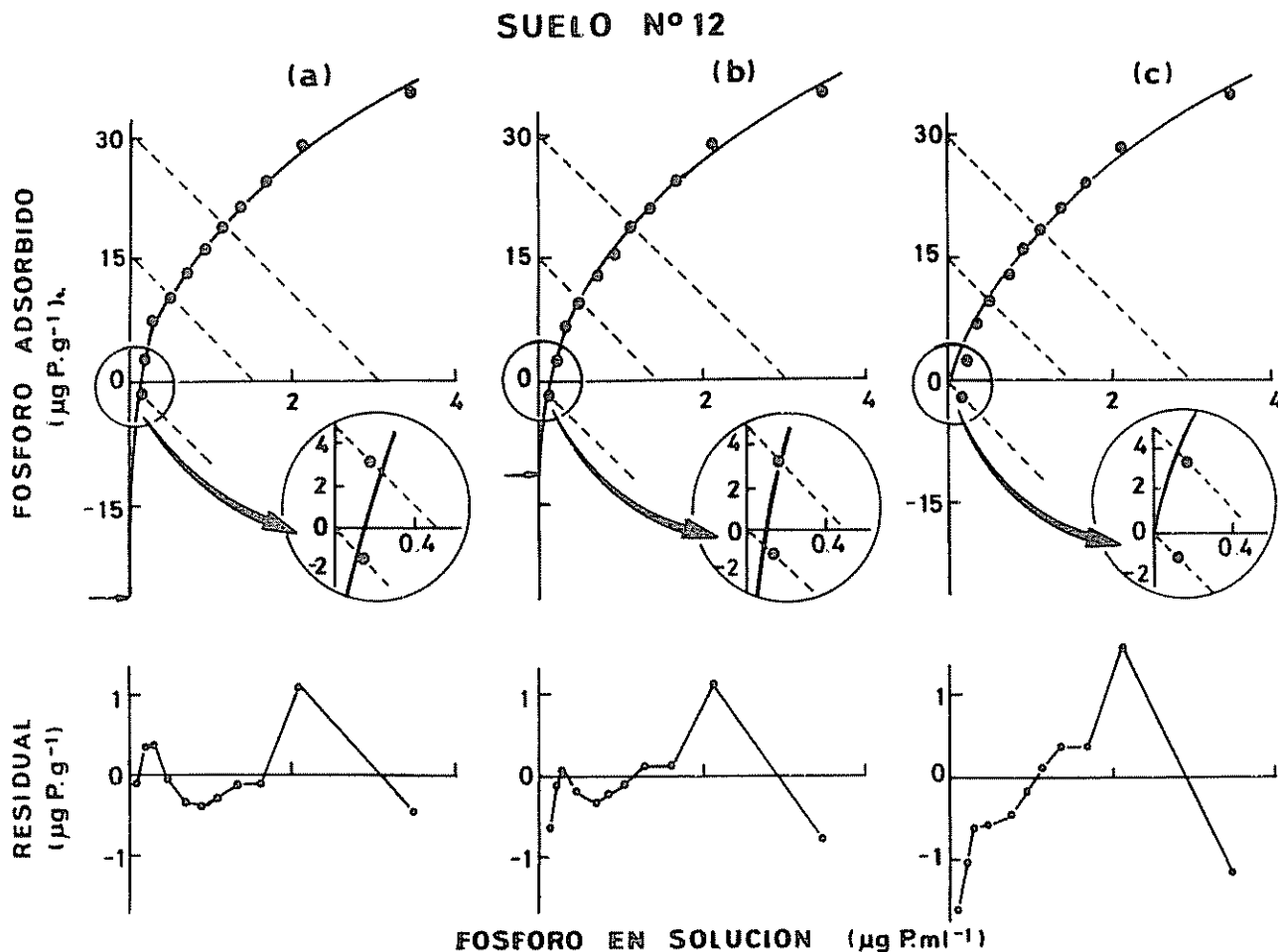


Fig. 2. Relación entre el fósforo adsorbido y de solución en el suelo no. 12 descrita por: c) Ecuación 1; a) Ecuación 2, y b) Ecuación 4, en forma simultánea con la Ecuación 3.

Notas: Las líneas punteadas representan la Ecuación 3 para cada valor de fósforo agregado (0.15 ppm y 30 ppm P), y su intersección con la línea de ajuste corresponde a la resolución simultánea de ajuste de ambas ecuaciones. La flecha indica el valor de q ó de Pi en cada caso.

La Fig. 3 muestra que las líneas de ajuste correspondientes a las ecuaciones (1), (2) y (4) difirieron notablemente con bajas concentraciones de fósforo en solución, mientras que, a partir de una concentración cercana a la unidad, las líneas de ajuste fueron casi coincidentes. En consecuencia, para cada suelo, la diferencia en los valores medidos de CBF entre ecuaciones fue grande a bajas concentraciones, disminuyendo hasta acercarse a la unidad (Figs. 4 y 5).

Las Figuras 4 (en el caso de q) y 5 (en el caso de Pi) muestran, además, que la diferencia en la medida de la CBF entre las ecuaciones se incrementa con el aumento del valor del fósforo nativo en cada caso. La ecuación utilizada para describir este efecto fue:

$$\Delta \text{CBF} = z c^m P n \quad \text{Ecuación (6)}$$

donde ΔCBF representa la diferencia en el valor de la pendiente de la Ecuación (2) y de la Ecuación (4) respecto de la Ecuación (1); c es el valor de la concentración de fósforo en solución donde se realiza la medición de la pendiente; Pn es la medida utilizada de fósforo nativo en valores de q ó Pi; y z y m son coeficientes.

Las Figs. 3, 4 y 5 muestran que, a partir de una concentración de fósforo en solución cercana a la unidad, las pendientes de las ecuaciones (1), (2) y (4) son similares. De aquí entonces que los valores de

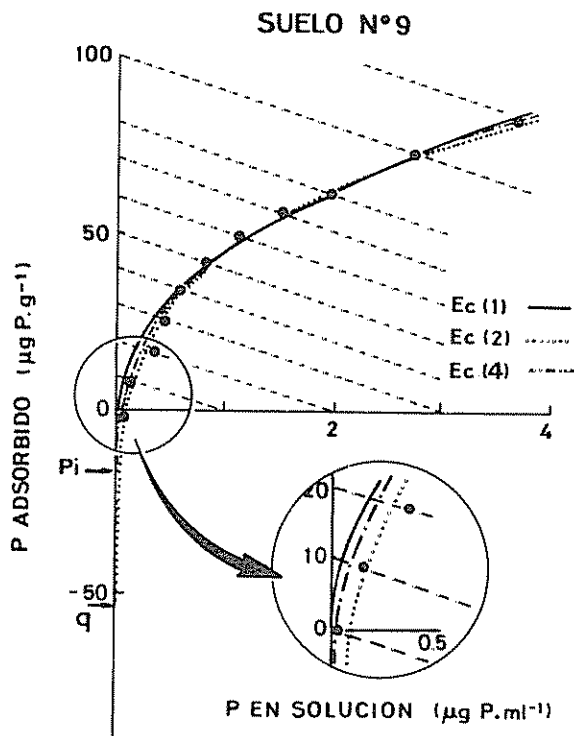


Fig. 3. Relación entre el fósforo adsorbido y de solución en el suelo no. 9 descrita por las ecuaciones (1), (2) y (3) en forma simultánea con la Ecuación (3).

Notas: Las líneas punteadas representan la Ecuación 3 para cada valor de fósforo agregado, y su intersección con la línea de ajuste corresponde a la resolución simultánea de ajuste de ambas ecuaciones. La flecha indica el valor de q ó de P_i en cada caso.

Δ CBF medidos a concentraciones iguales o superiores a la unidad resultaron cercanos a cero (Figs. 4 y 5). El ajuste de los valores de Δ CBF mediante la Ecuación (6) fue significativamente superior cuando los valores de Δ CBF calculados para las concentraciones de 1, 2 y 4 mg P/ml se fijaron a cero que cuando la Ecuación (6) ajustó libremente los datos (Figs. 4 y 5).

Relación entre las medidas del fósforo nativo

Los valores de fósforo nativo de los suelos medidos por el método de Bray I, Olsen y Resina estuvieron correlacionados entre sí; sin embargo, ninguno estuvo relacionado ni con P_i ni con q (Cuadro 3).

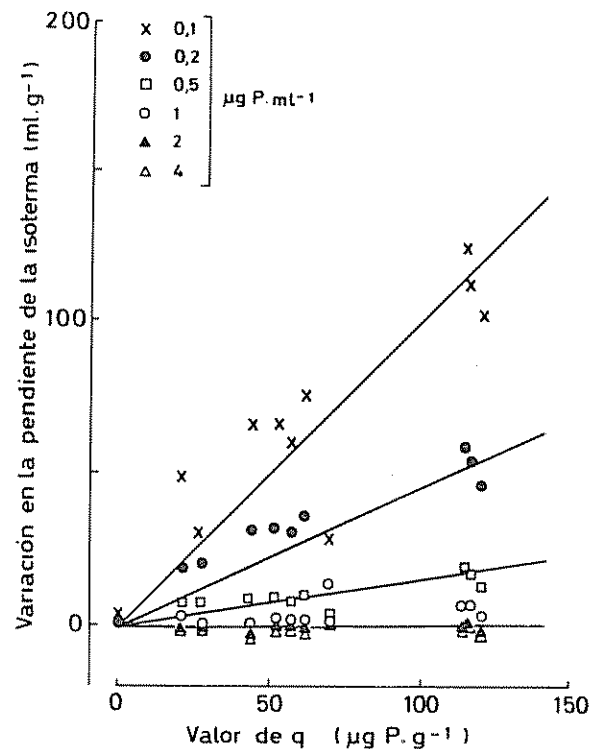


Fig. 4. Relación entre la variación en el valor de la CBF (CBF Ecuación (2) - CBF Ecuación (1)), medida en las concentraciones indicadas y el valor de q obtenido a partir de la Ecuación (2).

Por otra parte, las mediciones de P_i y q estuvieron directamente correlacionadas (Cuadro 3). Existen entonces dos grupos de medidas estimadas del fósforo nativo adsorbido bien diferenciadas; y, por otro lado, las mediciones que involucran una verdadera extracción de fósforo del suelo (Bray I, Olsen y Resina); por lo general, estos valores fueron muy inferiores a las mediciones realizadas por medio de q y de P_i que contemplan otro mecanismo de evaluación del fósforo nativo.

DISCUSION

La inclusión de la medida del fósforo nativo adsorbido por el suelo en el trazado y ajuste de la curva de adsorción de fósforo tuvo un efecto significativo en la mayoría de los suelos estudiados, tanto en el valor de la pendiente como también en el desplazamiento de la ordenada al origen. En consecuencia, este efecto provocó apreciables diferencias en la capacidad "buffer" de fosfato del suelo, medida como el valor de la pendiente de la curva de adsorción a definidos valores de concentración de fósforo en solución.

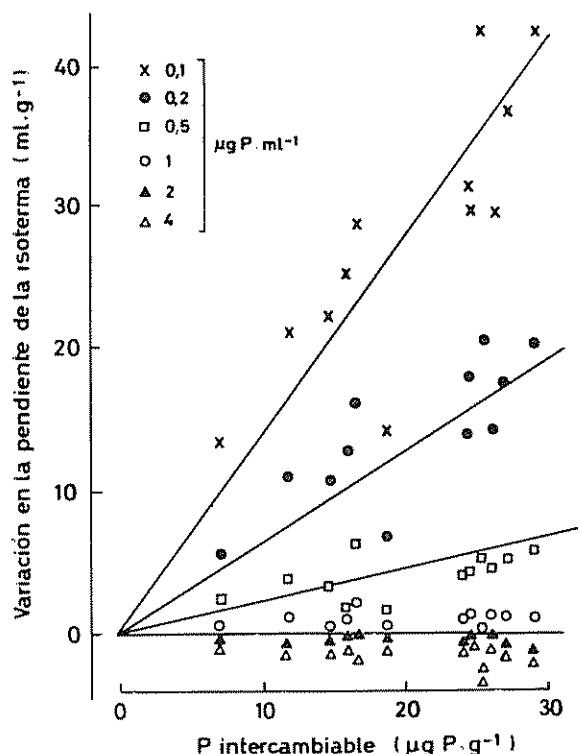


Fig. 5. Relación entre la variación en el valor de la CBF (CBF Ecuación (4) - CBF Ecuación (1)), medida en las concentraciones indicadas y el valor de P_i obtenido experimentalmente.

Cuadro 3. Matriz de correlación entre algunas de las medidas utilizadas corrientemente para estimar el fósforo nativo adsorbido en doce suelos.

	P_i	Resina	Olsen	Bray I
q	0.76	-0.37	-0.47	-0.36
P_i		-0.06	-0.07	0.03
Resina			0.89	0.80
Olsen				0.89

$P < 5\% = 0.58$; $P < 1\% = 0.71$; $P < 0.1\% = 0.82$.

En líneas generales, tanto la medida de q como la de P_i produjeron significativas mejoras en el ajuste de la curva de adsorción de fósforo en la mayoría de los suelos, por lo que no se pueden establecer ventajas a nivel estadístico de una medida sobre otra. Además, ambas medidas estuvieron correlacionadas, aunque los valores de q fueron generalmente mayores a los de P_i .

Similar relación encontró Barrow (3) en veinte observaciones sobre cuatro suelos tratados con distintos niveles de fósforo. Su interpretación fue que el valor de q , obtenido por extrapolación de la ecuación de Freundlich al eje de ordenada, genera valores que podrían sobrestimar el fósforo nativo adsorbido. De aquí entonces que la medida de P_i lograda en las mismas condiciones experimentales que las utilizadas para la obtención de los puntos de la curva de adsorción, resulta un mejor reflejo del fósforo nativo adsorbido por el suelo.

El efecto de la inclusión de la medida del fósforo nativo adsorbido sobre el valor de la pendiente de la curva de adsorción fue proporcionalmente más alto a bajas concentraciones de fósforo en solución que a altas concentraciones. Una conclusión similar obtuvo Singh (19) al estudiar el efecto del sulfato nativo adsorbido sobre el trazado de la curva de adsorción de sulfato en suelos ácidos.

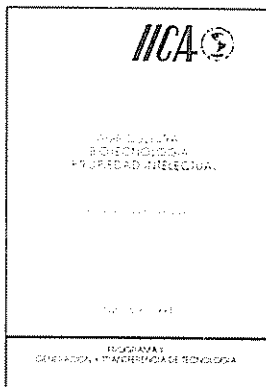
Según una revisión realizada por Kamprath y Watson (10), la concentración de fósforo en solución en suelos no fertilizados se encuentra entre valores de 0.01 a 0.05 $\mu\text{g P/ml}$; y los niveles críticos para diversas especies están entre 0.06 a 0.68 $\mu\text{g P}$ por mililitro. Surge entonces que para caracterizar suelos mediante la CBF a concentraciones de fósforo en solución entre las que se encuentran la mayoría de los suelos, es necesario conocer previamente el efecto del fósforo nativo sobre la pendiente de la isoterma de adsorción para, posteriormente, decidir acerca de su inclusión en el ajuste de los datos experimentales. Por otra parte, mediciones de la CBF a concentraciones altas (superiores a 1 $\mu\text{g P/ml}$) resultarían independientes de la consideración del fósforo nativo adsorbido. Arines y Alvarez (1) también observaron pequeños cambios en el valor de la CBF a partir de concentraciones en solución superiores a la unidad.

LITERATURA CITADA

1. ARINES, J.; ALVAREZ, M. I. 1981. 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 31:217-226.
2. BARROW, N.J. 1974. Effect of previous additions of phosphate on phosphate adsorption by soil. Soil Science 18:82-89.
3. BARROW, N.J. 1978. The description of phosphate adsorption curves. Journal of Soil Science 29:447-462.
4. BARROW, N.J. 1980. Differences among some North American soils in the rate of reaction with phosphate. J. Env. Qual. 9:644-648.

5. FITTER, A.H.; SUTTON, C.D. 1975. The use of the Freundlich isotherm for soil phosphate adsorption data. *Journal of Soil Science* 26:241-246.
6. HOLFORD, I.C.R.; WEDDERBUR, R.W.; MATTINGLY, G.E.C. 1974. A Langmuir two-surface equation as a model for phosphate adsorption by soil. *Journal of Soil Science* 25:242-255.
7. HOLFORD, I.C.R. 1982. The comparative significance and utility of the Freundlich and Langmuir parameters for characterizing sorption and plant availability of phosphate in soils. *Australian Journal of Soil Research* 20:233-242.
8. IÑIGUEZ, J.; VAL, M.R. 1984. Evaluation of phosphorus sorption by an allophanic soil. *Geoderma* 33:119-134.
9. JOSE, A.I.; DRISHNAMOORTHY, K.K. 1972. Isotopic exchange of phosphates in soil: "E" value. *Soils and Fertilizers* 35:620-627.
10. KAMPRAATHI, E.J.; WATSON, M.E. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In *The role of phosphorus in agriculture*. F.E. Khasawneh, E.C. Sample, E.J. Kamprath (Eds.), p. 433-469.
11. MEAD, J.A. 1981. A comparison of the Langmuir, Freundlich and Temkin equations to describe phosphate adsorption properties of soils. *Australian Journal of Soil Research* 19:333-342.
12. MENDOZA, R.E. 1983. Efecto residual del fósforo sobre la capacidad de fijación del suelo, el fraccionamiento del fósforo inorgánico y la producción de *Trifolium repens* L. *Agrochimica* 27:357-371.
13. MENDOZA, R.E. 1986a. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos. I. Métodos de ajuste y comparación entre ecuaciones. *Ciencia del Suelo* 2:107-116.
14. MENDOZA, R.E. 1986b. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos. II. Aplicabilidad de las isotermas e interrelación de sus parámetros con variables de suelo y planta. *Ciencia del Suelo* 2:117-124.
15. MENDOZA, R.E. 1986c. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos. III. Relación entre la capacidad reguladora de fosfato del suelo y la eficiencia de aplicación de fósforo para el crecimiento. *Ciencia del Suelo* 2:187-191.
16. NELDER, J.A.; MEAD, R. 1965. A simplex method for function minimization. *Comput. J.* 7:308-313.
17. RYDEN, J.C.; SYERS, J.K. 1977. Origin of the labile phosphate pool in soil. *Soil Science* 123:353-361.
18. SIBBESEN, E. 1981. Some new equations to describe phosphate sorption by soils. *Journal of Soil Science* 32:67-74.
19. SINGH, B.R. 1984. Sulfate sorption by acid forest soils. I. Sulfate adsorption isotherm and comparison of different adsorption equations in describing sulfate adsorption. *Soil Science* 138:189-197.

LIBRO RECOMENDADO



Agricultura, Biotecnología y Propiedad Intelectual. Fernando Suárez de Castro. Programa II. 136 p. Serie Publicaciones Misceláneas (ISSN 0534-5391) AI/SC-93-05.

Importante contribución a la protección de las innovaciones tecnológicas. Se discute ampliamente el desarrollo, su relevancia actual y el potencial de las nuevas agrobiotecnologías. Además enfoca los aspectos técnicos y legales de la evolución de estas tecnologías.

US\$6.00

Ver lista de publicaciones disponibles para la venta y boleta de solicitud en la última sección de la revista Turrialba.