

ADSORCION DE FOSFORO EN ALGUNOS SUELOS ARGENTINOS

1 - Condiciones experimentales e isotermas de adsorción

Lidia Giuffré de López Cameló; Olga S. Heredia; A. Nervi y Zulema M. Massani de Sese (1)

Recibido: 28/11/83

Aceptado: 10/4/84

RESUMEN

Se estudió la influencia sobre los procesos de adsorción de las siguientes condiciones experimentales: relación suelo-solución, tiempo de agitación, tratamientos con cloroformo y temperatura.

La mayor adsorción correspondió a la menor relación suelo: solución, al mayor tiempo de agitación, al tratamiento sin cloroformo y a la mayor temperatura.

Siguiendo la técnica de Ozanne y Shaw se efectuaron las curvas de adsorción de 16 suelos y se calculó la capacidad reguladora de fosfatos de los mismos.

Los datos experimentales obtenidos presentaron mejor ajuste con las ecuaciones de Freundlich y Temkin que con la de Langmuir.

PHOSPHORUS ADSORPTION IN ARGENTINE SOILS

1 - Experimental conditions and adsorption isotherms

SUMMARY

The influence of experimental conditions (soil: solution ratio, shaking time, use of chloroform, temperature) on adsorption processes was studied.

Highest adsorption was obtained with the narrowest soil solution relationship, greatest shaking time, treatment without chloroform, and highest temperature.

Adsorption curves for 16 soils were obtained using Ozanne and Shaw's technique, and the phosphate buffering capacity of these soils was calculated.

Experimental data showed a better fit to Freundlich and Temkin equations than to the Langmuir one.

INTRODUCCION

Hay consenso entre numerosos autores que para describir el estado del fósforo del suelo no es suficiente el valor de fósforo asimilable (Olsen y Khasawneh, 1980).

Los estudios de adsorción son útiles ya que el fosfato adsorbido da una estimación del fósforo requerido para mantener valores adecuados en la solución del suelo. Estos deberán desarrollarse de modo de poder complementar los análisis químicos y servir co-

1) Cátedras de Edafología y Fertilidad y Fertilizantes, Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.

mo elementos predictivos en las prácticas de fertilización.

En la Argentina existen zonas donde el contenido de fósforo aprovechable es bajo. Algunas de ellas son bien conocidas, como las de Corrientes, los mallines de la Patagonia y el Sudeste de la provincia de Buenos Aires (Mizuno, 1981); mientras que otras, como el oeste y norte de la misma provincia, se están revelando como deficitarias debido a extracciones realizadas por los cultivos en áreas con valores límites.

El único recurso para compensar la falta y exportación de este nutriente es el empleo de fertilización fosforada, cuya aplicación en nuestro país se está expandiendo aceleradamente.

Es por ello que se impone encarar el diagnóstico del estado general de fósforo en suelos agrícolas y ganaderos, complementando el conocimiento del nivel de fósforo disponible logrado mediante el empleo de extractantes con la aplicación de otros parámetros físico-químicos.

Al respecto, se presta en la actualidad especial atención a los procesos de adsorción, tema sobre el que existen pocos antecedentes en el país (Bolaño de Daniel, 1976; Mendoza, 1980).

El objetivo de este trabajo es el estudio de las variaciones de las condiciones experimentales sobre las curvas de adsorción en 3 suelos, así como el trazado de las isotermas de adsorción, el cálculo de la capacidad buffer de fosfatos y la interpretación de las curvas experimentales mediante las ecuaciones de Freundlich, Langmuir y Temkin en 16 suelos argentinos.

MATERIALES Y METODOS

Suelos

Se trabajó con muestras superficiales de 16 suelos argentinos. Las características de las mismas figuran en el Cuadro 1.

Curvas de adsorción

Se realizaron según la técnica de Ozanne y Shaw (1967, 1968) que consiste en lo siguiente: 2,5 g de suelo se colocan en recipientes plásticos y se agitan durante 17 horas con 25 ml de una solución de CaCl_2 0,01 M a la cual se le incorporan cantidades crecientes de fósforo bajo la forma de $\text{CaPO}_4\text{H.2H}_2\text{O}$, para obtener en la solución de equilibrio niveles de fósforo entre 0,1 y 17,20 $\mu\text{g/mL}$. Concluida la agitación se centrifugan las muestras a 2.000 rpm (el tiempo varía según el tipo de suelo). Se determina fósforo en el sobrenadante con la reacción colorimétrica que utiliza ácidos ascórbico y sulfomolibdico (Schlichting y Blume, 1966). Por diferencia entre el fósforo incorporado y el fósforo determinado en la solución de equilibrio, se obtiene la cantidad absorbida por el suelo.

1. Estudio de las condiciones experimentales

Se utilizaron 3 suelos de características muy distintas: un Brunizem de la provincia de Buenos Aires (Nº 1), un Vertisol de Entre Ríos (Nº 7), y un Latosol de Misiones (Nº 10).

a) Relación suelo-solución

Se emplearon las siguientes relaciones suelo-solución: 1:6; 1:10 y 1:14, aplicando a todas ellas los métodos ya explicados.

b) Tiempo de agitación

Se utilizaron solamente dos niveles de fósforo agregado, 125 y 500 μg y se estudiaron los tiempos de extracción de 2, 8, 17, 24 y 48 horas.

c) Tratamiento con cloroformo

Se realizó el experimento de acuerdo a las condiciones estipuladas por Ozanne y Shaw (1967), con 1 por ciento de cloroformo y sin incorporación del mismo.

CUADRO 1: Características de los suelos.

Suelo Nº	Localidad	Clasificación taxonómica y Textura	pH en agua (1)	pH en Ca Cl ₂ 0,01 M (2)	% Ct (3)	P extrac. table (ppm) (4)
1	Gral. Belgrano, Buenos Aires	Hapludol tapto argílico, S. Udaondo (franco limosa gruesa)	5,2	5	1,91	3,85
2	Azul, Buenos Aires	Argiudol típico, S. Mar del Plata (franco)	5,8	5	3,20	6,30
3	San Antonio de Areco, Buenos Aires	Argiudol típico (franco limoso)	5,9	4,7	2,63	3,50
4	Junín, Bs. As.	Hapludol típico (franco arenoso)	5,4	4,5	1,00	4,20
5	Rincón Chico Virasoro, Corrientes	Udult, Flia. Timbauva (franco arcillo arenoso)	5,1	4,4	2,03	9,10
6	Concordia, Entre Ríos	Fluvent (arenoso-arenoso franco)	6,1	5,7	0,21	8,70
7	La Paz, Entre Ríos	Peludert (franco arcillo limoso)	7,4	6,7	2,34	5,60
8	Sta. Cecilia 1, Candelaria, Misiones	Udult, S. Urunday (franco arenoso)	4,7	4,2	0,71	8,60
9	Sta. Cecilia 2, Candelaria, Misiones	Udult, S. Posadas (franco)	4,9	4,7	1,60	1,60
10	Cerro Azul, Cerro Azul, Misiones	Udult, S. Cerro Azul (franco arcillo arenoso)	5,5	5,1	1,56	3,50
11	Carlos Navaja 2, Candelaria, Misiones	Udult, S. Urunday (franco arenoso)	4,8	4	0,46	3,50
12	Parecita, V. Castelli, La Rioja	Torriorthent típico (franco arenoso)	8,8	6,9	0,21	7,70
13	D. Pueblo, V. Unión, La Rioja	Torriorthent típico (franco arcilloso)	8,7	7,3	0,67	7,70
14	El Infiernillo, V. Castelli, La Rioja	Torriorthent (capa I) (arcillo arenoso)	7,7	6,8	0,27	30,10
15	El Infiernillo, V. Castelli, La Rioja	Torriorthent (capa IV y V) (arenoso)	8,1	6,3	0,70	9,80
16	Anguinan, La Rioja	Torriorthent típico (arenoso)	8,3	6,3	0,27	12,60

(1) pH en agua: relación suelo-agua de 1: 2,5.

(2) pH en Ca Cl₂ 0,01 M: relación suelo-Ca Cl₂ 0,01 M de 1: 2.

(3) Carbono total: método de Walkey y Black modificado.

(4) P extrafle: método de Kurtz y Bray Nº 1.

d) Temperatura

La temperatura a la cual se realizaron los experimentos fue de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Se compararon con los datos obtenidos al regular la temperatura a $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

2. Curvas de adsorción y capacidad reguladora de fosfatos

Se utilizó la técnica ya descripta. Las cantidades de fósforo agregado para obtener los valores requeridos en solución de equilibrio, variaron entre 1,5 μg y 1.000 μg de fósforo, excepto para el suelo N° 11 donde debieron incorporarse entre 500 μg y 3.500 μg de fósforo.

La capacidad reguladora de fosfatos se calculó sobre las curvas experimentales. Según Ozanne y Shaw (1968) este parámetro se obtiene interpolando el fósforo sorbido por el suelo cuando el fósforo en solución de equilibrio se incrementa de 0,25 $\mu\text{g/mL}$ a 0,35 $\mu\text{g/mL}$.

3. Isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción describen la adsorción de solutos por sólidos a una temperatura constante en términos cuantitativos.

Se basan en la ecuación fundamental:

$$q = f(c)$$

donde:

q : es el fósforo adsorbido y
 c : es el fósforo en solución.

En esta ecuación se supone que es posible alcanzar el equilibrio y se da un formalismo matemático a la relación fósforo lável \rightleftharpoons fósforo en solución (Olsen y Khasawneh, 1980).

Para la descripción de los datos de adsorción existen varios modelos matemáticos en vigencia, considerándose en este trabajo dos ecuaciones clásicas: las de Freundlich y Lang-

muir, y una propuesta en los últimos años: la ecuación de Temkin.

La ecuación de Freundlich (Russell y Prescott, 1916) se ajusta a la siguiente expresión:

$$X = K C^{1/n}$$

donde:

X : es la cantidad de fósforo sorbido ($\mu\text{g/g suelo}$),

C : es la concentración de fósforo en la solución ($\mu\text{g/ml}$).

K y $1/n$: son calculados usando la transformación lineal:

$$\log X = \log K + 1/n \log C$$

La ecuación de Langmuir (Olsen y Watanabe, 1957), puede ser escrita de la siguiente forma:

$$X = \frac{K X_m C}{(1 + K C)}$$

donde.

X_m : es la capacidad máxima de adsorción y

K : el índice de afinidad que pueden ser calculados usando la transformación lineal obteniendo una recta cuya pendiente es $\frac{1}{X_m}$

$$\frac{C}{X} = \frac{1}{X_m} \cdot \frac{1}{C} + \frac{1}{K X_m}$$

La ecuación de Temkin (Bache y Williams, 1971) deriva de la anterior y su forma es:

$$\frac{X}{X_m} = \frac{R \cdot T \ln A \cdot c}{b}$$

A y b son constantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Condiciones experimentales

a) Relación suelo-solución

Los resultados se presentan en la Figura 1. Coincidieron con lo expuesto por Barrow, Ozanne y Shaw (1965) ya que a una mayor concentración de fósforo en la solución extractora y a una relación suelo: solución más estrecha corresponde mayor adsorción.

b) Tiempo de agitación

Como puede observarse en la Figura 2, el fósforo adsorbido aumentó con el tiempo de agitación.

La adsorción es una reacción rápida, ya que en las primeras 2 horas se observó un valor elevado en todos los casos. Luego de 8 horas de agitación la sorción se tornó más lenta.

c) Tratamiento con cloroformo

Los resultados de los tratamientos con y sin cloroformo están representados en la Figura 3. Se evidenció que el fósforo aparentemente adsorbido es mayor en el tratamiento sin cloroformo.

Según Barrow, *et al.* (1965), la aplicación de cloroformo al suelo es necesaria para eliminar la actividad microbiana, causando una rápida desfosforilación del fósforo orgánico de los microorganismos, lo que determina un aumento en el fósforo presente en la solución de equilibrio y una disminución en la cantidad de fósforo aparentemente adsorbido.

d) Temperatura

El efecto de la misma puede verse en la Figura 4. Una mayor temperatura durante el tiempo de agitación produjo una disminución del fósforo en la solución de equilibrio,

y en consecuencia un aumento en el fósforo aparentemente adsorbido respecto a la menor temperatura de agitación.

Estos valores confirman lo expuesto por Barrow (1979), Barrow y Shaw (1975), y Olsen Khasawneh (1980).

El suelo N° 10 (Ultisol) presentó diferencias porcentuales que oscilaron entre 1 y 3 por ciento, el N° 7 (Vertisol) entre 2 y 12 por ciento. El suelo N° 1 (Molisol) mostró diferencias muy apreciables, entre 2,5 y 21 por ciento.

Según Burchil (1981) el efecto de la temperatura en la adsorción puede ser muy significativo, y las tasas pueden llegar a duplicarse o triplicarse con un aumento de 10°C en la temperatura.

2a. Curvas de adsorción

Los resultados pueden observarse en la Figura 5.

Para comparar la distinta capacidad de adsorción de fósforo de los suelos se tomó una concentración en solución de equilibrio de 0,3 µg/mL como referencia, siguiendo el cri-

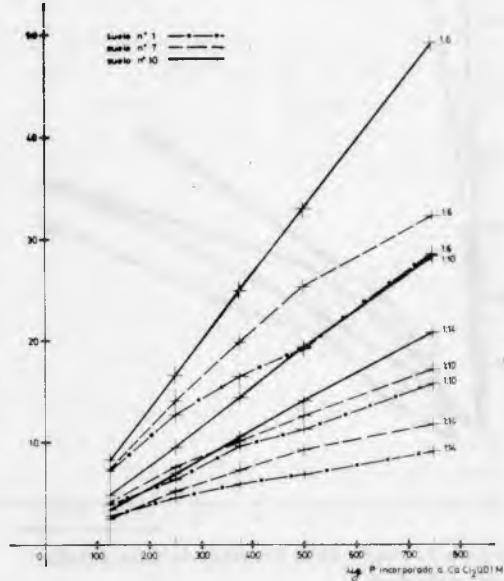


Figura 1: Variación del fósforo adsorbido $\mu\text{g/mL}$ de solución en función del fósforo incorporado a CaCl_2 0,01 M.

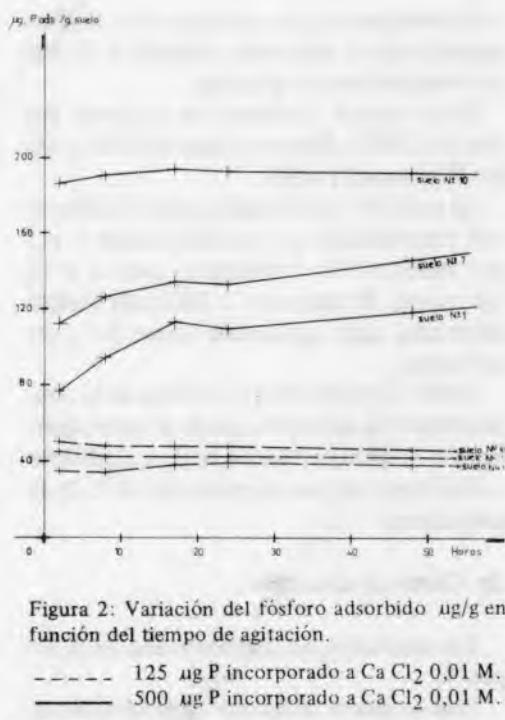


Figura 2: Variación del fósforo adsorbido ug/g en función del tiempo de agitación.

— - - - 125 ug P incorporado a Ca Cl_2 0,01 M.
— — — 500 ug P incorporado a Ca Cl_2 0,01 M.

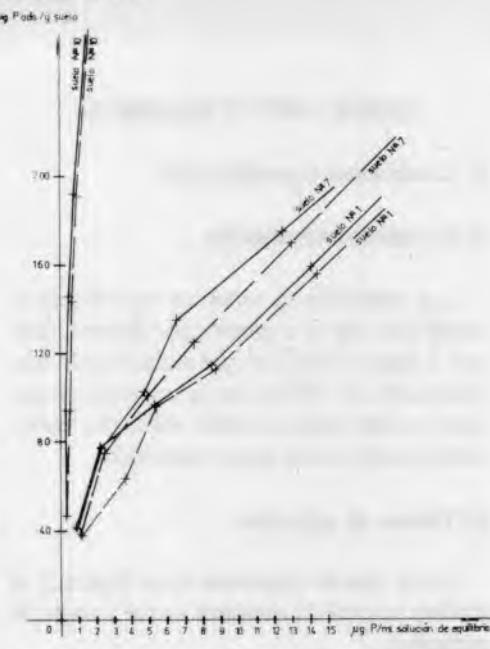


Figura 3: Variación del fósforo adsorbido ug/g en función del contenido de cloroformo.

— - - - 1 % de cloroformo.
— — — 0 % de cloroformo.

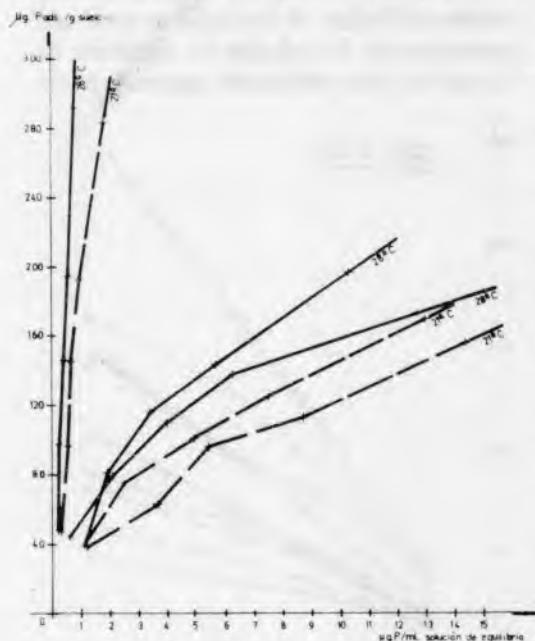


Figura 4: Efecto de la temperatura sobre la adsorción de fósforo.

— - - - 21°C.
— — — 28°C.

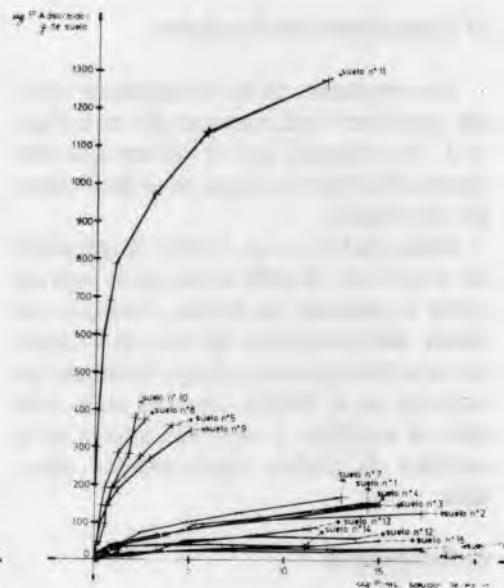


Figura 5: Efecto del aumento de la concentración de fósforo en la solución de equilibrio, sobre el fósforo adsorbido por los suelos.

terio de Ozanne y Shaw (1967, 1968) y de Mendoza (1980) que consideran ese valor adecuado para obtener máximos rendimientos para algunos cultivos.

Los Molisoles (1, 2, 3, 4) a dicha concentración en solución de equilibrio adsorberon entre un 70 y 85 por ciento del fósforo incorporado. En estos suelos existen varias de las posibilidades citadas por Gaucher (1971) para la adsorción de este nutriente. minerales arcillosos, iones de calcio del complejo y humatos de calcio.

El suelo N° 7 pertenece al orden de los Vertisoles, con alto contenido de arcillas expansibles y gran actividad del calcio, lo que disminuye la posibilidad de asimilación de fósforo por las plantas. El fósforo adsorbido a 0,3 $\mu\text{g/mL}$ en solución de equilibrio fue un 90 por ciento de fósforo incorporado.

En el caso de los Ultisoles (5, 8, 9, 10, 11), su elevado contenido de arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, son características que permiten inferir un alto grado de adsorción (Gaucher, 1971; Hsu, 1965; Fassbender, 1966, 1969). En efecto, los valores de adsorción oscilaron entre 94 y 97 por ciento del fósforo incorporado, y para el suelo 11 fueron de un 99,3 por ciento del mismo.

Los suelos N° 6, 12, 13, 14, 15, 16 pertenecen al Orden Entisoles. Son suelos que en algunos casos pueden presentar alta intensidad, pero cuya capacidad es baja.

En los suelos 12, 13 y 16 los valores de adsorción representan un 45 a 56 por ciento del fósforo incorporado. En el suelo 14 no se produjo adsorción a la concentración de referencia, sino que hubo una adsorción de fósforo, probablemente por el alto valor de fósforo extraíble de dicho suelo, lo que confirma lo expuesto por Barrow (1978), que sostiene que sería incorrecta la utilización de este método sin tener en cuenta el fosfato presente en el suelo.

El suelo 6 presentó un comportamiento atípico ya que los valores de adsorción alcanzan el 70 por ciento del fósforo incorporado.

2b. Capacidad reguladora de fosfatos

Los resultados pueden observarse en el Cuadro 2.

Los suelos con alta capacidad de retención de fósforo presentaron mayores valores de capacidad reguladora.

Ambaras variables se encuentran relacionadas ($r = 0,985 \text{ xx}$).

Los Ultisoles mostraron los mayores valores de capacidad reguladora, los Molisoles y el Vertisol valores intermedios, y los Entisoles los valores más bajos.

Es importante destacar que suelos con valores de fósforo extraíble semejantes (1, 3, 10, 11) poseen valores de capacidad reguladora muy distintos, los que indica que la interpretación de valores de fósforo asimilable en suelos requiere medidas adicionales para efectuar diagnósticos de fertilización y prever el comportamiento de los fertilizantes.

CUADRO 2: Capacidad reguladora de fosfatos de todos los suelos estudiados.

Clasificación Taxonómica	Suelo Nº	CRF $\mu\text{g P/g suelo}/0,1 \mu\text{g/mL}$ en solución de equilibrio
Ultisoles	5	28,00
	8	32,50
	9	28,00
	10	12,00
	11	90,00
Vertisoles	7	5,00
Molisoles	1	4,00
	2	3,25
	3	4,00
	4	6,00
Entisoles	6	2,50
	12	1,00
	13	1,50
	14	-
	15	0,50
	16	1,00

CUADRO 3: Valor del Coeficiente de Determinación en los distintos suelos, obtenido con las ecuaciones estudiadas.

Clasif. taxo- nómica	Suelo Nº	R ²		
		Freundlich	Langmuir	Temkin
Ulti- soles	5	0,979 ++	0,980 ++	0,956 ++
	8	0,872 ++	0,021 °	0,964 ++
	9	0,963 ++	0,983 ++	0,958 ++
	10	0,970 ++	0,381 °	0,811 ++
	11	0,948 ++	0,996 ++	0,995 ++
Verti- soles	7	0,974 ++	0,931 ++	0,900 ++
	1	0,921 ++	0,722 ++	0,921 ++
Moli- soles	2	0,917 ++	0,536 ++	0,950 ++
	3	0,929 ++	0,932 ++	0,932 ++
	4	0,888 ++	0,401 ++	0,910 ++
	6	0,877 ++	0,970 ++	0,925 ++
Enti- soles	12	0,980 ++	0,681 ++	0,759 ++
	13	0,884 ++	0,018 °	0,901 ++
	14	0,760 ++	0,003 °	0,982 ++
	15	0,848 ++	0,551 ++	0,920 ++
	16	0,769 ++	0,807 ++	0,917 ++

(°): no significativo.

(+): significativo al 5 %.

(++): significativo al 1 %.

CUADRO 4: Comparación de los valores del Coeficiente de Determinación de los distintos suelos, obtenidos con la ecuación de Langmuir con la inclusión de todos los datos y con rango restringido de concentración de fósforo en la solución de equilibrio.

Clasif. taxo- nómica	Suelo Nº	R ²		
		(1)	(2)	(3)
Ultisoles	5	0,980 ++	0,955 +	0,988 ++
	8	0,021 °	0,217 °	0,813 ++
	9	0,983 ++	0,837 +	0,984 ++
	10	0,381 °	0,741 °	0,025 °
Vertisoles	11	0,996 ++	0,995 ++	0,999 ++
	7	0,931 ++	0,994 ++	0,916 ++
Molisoles	1	0,722 ++	0,498 °	0,051 °
	2	0,536 +	0,000 °	0,234 °
	3	0,932 ++	0,644 °	0,980 ++
	4	0,401 +	0,038 °	0,722
Entisoles	6	0,970 ++	0,997 +	0,855 ++
	12	0,681 ++	0,932 +	0,233 °
	13	0,018 °	0,410 °	0,037 °
	14	0,003 °	0,447 °	0,293 °
	15	0,551 +	0,581 °	0,734 +
	16	0,807 ++	0,641 °	0,203 °

(°): no significativo.

(+): significativo al 5 %.

(++): significativo al 1 %.

CUADRO 5: Valor de algunos parámetros obtenidos con las ecuaciones estudiadas.

Clasificación taxonómica	Suelo Nº	Freundlich		Langmuir		Temkin	
		log. K	$\frac{1}{n}$	K	X _m	A	b
Ultisoles	9	2,177	0,646	0,667	500,0	194,557	168,486
Vertisoles	7	1,629	0,555	0,333	200,0	62,027	69,519
Molisoles	2	1,267	0,931	0,109	200,0	43,986	58,250
Entisoles	12	0,991	0,798	0,001	111,1	20,185	29,455

3. Isotermas de adsorción

A partir de los datos experimentales con los cuales se trazaron las curvas de adsorción se estudió el ajuste de los mismos a las ecuaciones de Freundlich, Langmuir y Temkin.

Los coeficientes de determinación figuran en el Cuadro 3, y algunos parámetros obtenidos con las ecuaciones en el Cuadro 5.

La ecuación de Freundlich presenta un alto grado de ajuste. Esta es una isoterna empírica y las constantes que se obtienen no tienen un significado físico (Olsen y Khasawneh, 1980). Sin embargo, implica que la energía de adsorción decrece a medida que la adsorción se incrementa (Bohn *et al.*, 1979).

Esta ecuación ha demostrado buen ajuste en muchos suelos y por su simplicidad es apropiada para análisis de rutina (Holford, 1982).

La ecuación de Langmuir es la que menos se ajusta a los datos experimentales. La ventaja de la misma es que permite calcular la adsorción máxima de fosfatos, valor que podría utilizarse como comparativo entre distintos suelos (Fassbender, 1966), pero en realidad Barrow (1978) discute su aplicabilidad debido a que en ella se considera a la energía de adsorción como constante.

Al restringir el rango de concentración de fósforo en solución del suelo, siguiendo las sugerencias de algunos autores (Holford, 1982; Barrow, 1978), se observa en el Cuadro 4 que los datos no reflejan un comportamiento general hacia un mejor ajuste.

En los suelos estudiados, la ecuación de Langmuir sobrevalúa la concentración o subvaloría la adsorción en los rangos de bajas concentraciones (hasta 0,15 µg/mL). Con altas concentraciones no describiría adecuadamente el proceso de adsorción ya que desde el punto de vista físico-químico no puede hablarse de una afinidad constante del intercambiador por el fósforo.

La ecuación de Temkin fue propuesta por Bache y Williams (1971) y deriva de la de Langmuir insertando la condición que la

energía de adsorción decrece linealmente con el incremento de la cobertura de la superficie adsorbente. Los valores obtenidos en los coeficientes de determinación demuestran muy buen ajuste.

Según Barrow (1978) la elección de una ecuación de adsorción depende de que describa adecuadamente las observaciones, que se ajuste a la realidad del proceso (por ejemplo en el caso del fósforo, debe tomar en cuenta la afinidad decreciente por la adsorción), y que el modelo sea lo más simple posible (es decir que posea el menor número de coeficientes). En los suelos estudiados las ecuaciones de Freundlich y Temkin cumplen con estas premisas.

Considerando el bajo número de casos analizados para cada tipo de suelo, lo cual no permite conclusiones estadísticamente significativas, debe hablarse de tendencias en lo que a ajustes respecta.

Los Entisoles, Molisoles y Vertisoles presentan un ajuste levemente superior con la ecuación de Temkin que con la de Freundlich, no así los Ultisoles.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenido se puede concluir que:

- 1) La mayor adsorción correspondió a la menor relación suelo: solución, al mayor tiempo de agitación, al tratamiento sin cloroformo y a la mayor temperatura.
- 2) Las curvas de adsorción reflejan un comportamiento característico según el tipo de suelo. Los Ultisoles presentaron los mayores valores de adsorción y capacidad reguladora de fosfatos, los Molisoles y Vertisoles medios y los Entisoles los menores.
- 3) Las ecuaciones de Freundlich y Temkin son las que mostraron mejor ajuste a los datos experimentales.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Bache B. W. and E. G. Williams, 1971. A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.* 22: 289-301.
- 2) Barrow N. J., 1978. The description of phosphate adsorption curves. *J. Soil Sci.* 29: 447-462.
- 3) Barrow N. J., 1979. Three effects of temperature on the reactions between inorganic phosphate and soil. *J. Soil Sci.* 30 (2): 271-279.
- 4) Barrow N. J. and T. C. Shaw, 1975. The slow reactions between soil and anions. II: Effects of time and temperature on the decrease in phosphorus concentration in the soil solution. *Soil Sci.* 119: 167-177.
- 5) Barrow N. J.; P. G. Ozanne and T. C. Shaw, 1965. Nutrient potential and capacity. I: The concepts of nutrient potential and capacity and their application to soil potassium and phosphorus. *Aust. J. Agric. Res.* 16: 61-76.
- 6) Bohn H., B. Mc Neal and G. O'Connor, 1979. Soil chemistry. John Wiley and Sons. USA. 329 pp.
- 7) Bolaño de Daniel A. A., 1976. Dinámica del fósforo en series de suelos de la cuenca del Río Samborombón. I. Estudio de la sorción, desorción y fijación de fósforo. 7º R. Arg. de la Ciencia del Suelo. *IDIA*, suplemento Nº 33 136-137.
- 8) Burchil S., M. H. Hayes and D. J. Greenland, 1981. Adsorption. In: The chemistry of soil processes, Greenland D. J.; M. H. B. Hayes (ed.). John Wiley and Sons, 221-400, 714 pp.
- 9) Fassbender H. W., 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isotermia de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana* 6 (1): 1-9.
- 10) Fassbender H. W., 1969. Estudio del fósforo en suelos de América Central. IV: Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. *Turrialba* 19 (4): 497-505.
- 11) Gaucher G., 1971. El suelo y sus características agronómicas. Ed. Omega. Barcelona. 647 páginas.
- 12) 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. *Aust. J. Soil Res.* 20: 233-242.
- 13) Hsu P. H., 1965. Fixation of phosphate by aluminium and iron in acidic soils. *Soil Sci.* 99 (6): 398-402.
- 14) Mendoza R. E., 1980. Adsorción de fósforo en el suelo y su relación con la producción de dos especies forrajeras. *Rev. Fac. Agr. UBA* 1 (2): 19-30.
- 15) Mizuno I., 1981. Fósforo en suelos argentinos. *Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*. 35 (6): 15 pp.
- 16) Olsen S. R. and F. S. Watanabe, 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21: 144-149.
- 17) Olsen S. R. and F. E. Khasawneh, 1980. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: The role of Phosphorus in Agriculture. Khasawneh F. E., E. C. Sample, E. J. Kamprath (ed.). Madison, Wisconsin, USA: 361-404, 961 pp.
- 18) Ozanne P. G. and T. C. Shaw, 1967. Phosphate sorption by soils as a measure of phosphate requirement for pasture growth. *Aust. J. Agric. Res.* 18: 601-612.
- 19) Ozanne P. G. and T. C. Shaw, 1968. Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soils phosphate. 9 th Int. Congress of Soil Sci., vol. 2: 273-280.
- 20) Russell E. J. and J. M. Prescott, 1916. The reaction between dilute acids and the phosphorus compounds of the soils. *J. Agric. Sci.* 8 (1): 65-110.
- 21) Schlichting E. und H. P. Blume, 1966. Bodenkundlicher Praktikum. Ed. Parey-Hamburgo.