

DINAMICA DEL PROCESO DE SORCION DE FOSFORO EN SUELOS DEFINICION DE INDICADORES

T. Crisanto y P. P. Iturbe

*Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología
Apto. 257. 37071, Salamanca*

RESUMEN

Se estudia el proceso de sorción de fósforo en 20 suelos naturales de la provincia de Salamanca. Se hace un estudio preliminar de sus principales características: a) fósforo asimilable, b) distintas fracciones activas de fósforo y c) contenido en hierro y aluminio.

Se estudia la cinética de sorción con distintas concentraciones de fosfatos, se calcula la función potencial que se ajusta a dicho proceso y se establecen algunos Indicadores de sorción en función del tiempo de contacto.

Se halla la relación entre estos Indicadores y las características del suelo y puede afirmarse que el fósforo sorbido depende fundamentalmente del Aluminio de cambio existente en el suelo, y en menor grado del contenido en arcilla, en hierro de cambio y en materia orgánica.

Palabras clave: Sorción. Fósforo. Suelos.

SUMMARY

DYNAMICS OF THE PROCESS OF PHOSPHORUS SORPTION IN SOILS. DEFINITION OF INDICATORS

The process of phosphorus sorption in 20 natural soils from the province of Salamanca was studied. A preliminary study of their principal characteristics was carried out: a) available phosphorus, b) different active phosphorus fractions and c) aluminium and iron content.

The kinetics of sorption in different phosphorus concentrations was studied and the function potential related to this process was calculated. Sorption Indicators were established as a function of contact time.

The relationship between these Indicators and the soil characteristics was established and can be interpreted as further evidence that the sorption of phosphorus depends fundamentally on the level of exchangeable Aluminium existing in the soil and, to a lesser degree, on the clay content, exchangeable iron content and organic matter.

Key words: Sorption. Phosphorus. Soils.

INTRODUCCION

El fósforo ha sido siempre un elemento fundamental en el estudio del suelo, debido a su importancia como macronutriente de las plantas. Sin

embargo, la mayor parte del fósforo presente en el suelo se encuentra en forma de especies químicas que no permiten su participación en los procesos de nutrición, y de aquí que sólo una pequeña parte del fósforo total que se encuentra en el suelo sea asimilable por las plantas.

Se considera que existen dos procesos, adsorción y precipitación, que retienen el fósforo del suelo si bien los mecanismos de dichas reacciones no han sido bien definidos. La mayoría de los estudios sobre este tema se orientan hacia el primer aspecto, y consisten en ajustar los resultados de un proceso experimental de sorción a ecuaciones cinéticas modelo (Sparks, 1986). Los parámetros obtenidos en dichas ecuaciones facilitan la interpretación de los mecanismos de la sorción de fósforo por el suelo (Bolan, 1985; Barrow, 1980).

En este trabajo y dentro de las vías experimentales indicadas por Barrow (1983), se utiliza el sistema de agitación del suelo con una solución de fósforo, y se valora el incremento de la sorción en función del tiempo de contacto. Se varía, asimismo, la concentración de la solución, con objeto de conocer las constantes cinéticas a distintas concentraciones iniciales.

De los resultados obtenidos, según este planteamiento, sobre 20 suelos de praderas naturales de la provincia de Salamanca se deducen varios Indicadores de sorción, que se relacionan con las distintas características de los suelos.

La finalidad última de este estudio es informar sobre la actitud del suelo respecto a la adición de fosfatos al mismo, y su influencia sobre los cultivos.

MATERIAL Y METODOS

Características de los suelos

Las principales características de los suelos sobre los que se desarrolla el estudio del proceso de sorción se resumen en la Tabla 1.

Se calculan también otros parámetros que contribuyen al estudio, como: fósforo asimilable por el método de resinas de cambio iónico (Hislop and Cooke, 1969) (P-res); Índice de sorción ($I = P \text{ sorb.}/\log C$), (Bache, 1971); y así mismo, se determinan las distintas formas de fósforo en el suelo natural, utilizando el método de fraccionamiento de fósforo (Chang and Jackson,

1957), modificado por Gachon (1972). Los valores de cada una de las distintas fracciones se indicarán por un nombre abreviado, a saber, fosfatos solubles (P-sol), fosfatos de Aluminio (P-NH₄F), fosfatos de hierro (P-OHNa), fosfatos de Calcio (P-H₂SO₄) y fosfatos residuales (P-resd.), si bien sólo se presentan los valores correspondientes a los fosfatos de Aluminio, de Hierro y de Calcio. (Tabla 2).

El fósforo se mide por espectrofotometría visible por los métodos de Murphy - Riley (1962), o de Barton (1948) según sea el rango de fósforo a determinar.

TABLA 1

Características de los suelos.

Suelos	pH	M.O. %	Arcilla %	CCC cmol _c kg ⁻¹	Tipo de suelo
1	6.0	4.20	14.7	15.90	Cambisol húmico
2	6.2	2.00	10.0	6.30	Cambisol húmico
3	5.9	3.80	9.0	7.16	Cambisol húmico
4	5.3	1.70	9.3	4.9	Cambisol gleyco
5	5.4	4.00	10.7	7.56	Cambisol húmico
6	5.9	0.90	6.9	5.07	Cambisol húmico
7	5.5	9.80	16.1	13.13	Cambisol déstrico
8	5.8	4.70	18.6	9.65	Cambisol déstrico
9	6.4	2.60	12.4	8.85	Cambisol déstrico
10	6.2	6.10	14.4	12.23	Cambisol déstrico
11	6.1	4.40	13.4	9.25	Cambisol déstrico
12	7.0	6.20	52.5	33.80	Cambisol cálcico
13	6.6	3.90	13.8	11.14	Cambisol cálcico
14	5.7	1.60	18.3	6.76	Luvisol crómico
15	7.6	6.20	24.2	19.10	Luvisol crómico
16	7.0	3.00	36.6	17.81	Luvisol crómico
17	6.7	10.10	29.7	18.30	Luvisol crómico
18	5.5	1.46	9.8	4.18	Luvisol crómico
19	6.8	3.38	25.4	11.80	Luvisol crómico
20	6.3	0.86	8.5	9.26	Luvisol crómico

Con objeto de ver la influencia del hierro y del aluminio en los procesos de sorción de fósforo se determinan los contenidos de dichos elementos bajo dos de sus formas posibles: a) los llamados Fe y Al móviles, o de cambio (Fe-cmb y Al-cmb) según el método de Ballard and Fiskell (1974), y b) los denominados óxidos libres (Fe-óx y Al-óx) para lo que se utiliza el método combinado de Duchafour and Sourier (1975). Los valores de ambos elementos en sus dos formas consideradas se exponen en la Tabla 3.

Sorción de fósforo

Se estudian los procesos de sorción, es decir, lo que ocurre en el suelo ante un aporte externo de fosfato. Para ello se parte de un gramo de suelo al que se añaden 20 mL de solución acuosa de KH_2PO_4 (pH = 7.7). Se utilizan tres concentraciones distintas de fosfato, que se tienen en contacto con el suelo durante tiempo variable desde 6 horas hasta 21 días, como se indica en la Tabla 4. Cada experiencia está representada por una letra que indica la concentración de la solución y un

TABLA 2

Valores característicos de fósforo.

Suelo	Indice de Adsorción	P-resina mg kg ⁻¹	P-OHNa mg kg ⁻¹	P-NH ₄ F mg kg ⁻¹	P-H ₂ SO ₄ mg kg ⁻¹
1	174.5	6.7	23.95	5.75	404.0
2	63.3	40.5	71.35	122.55	377.1
3	179.0	6.5	51.65	19.40	248.6
4	104.9	20.5	85.90	123.15	701.6
5	196.6	6.7	36.90	19.05	12.9
6	222.6	2.0	68.55	15.50	34.5
7	438.6	10.6	77.20	20.00	26.7
8	341.4	5.4	44.60	3.90	24.7
9	83.7	37.0	183.35	51.65	101.2
10	113.7	25.2	81.30	43.55	41.7
11	95.9	15.3	61.75	21.50	45.5
12	290.1	15.2	36.25	16.55	22.7
13	43.2	10.5	14.15	8.00	11.7
14	85.8	21.2	54.40	31.00	14.7
15	104.2	15.6	25.30	14.65	27.0
16	138.4	45.9	51.60	57.15	79.1
17	141.8	20.6	54.60	8.20	26.2
18	35.1	9.6	33.00	14.90	11.4
19	44.8	21.3	26.25	15.10	27.4
20	39.9	65.2	40.40	40.15	49.9
Er. st. (gl)	11.35(20)	1.08(40)	2.227(20)	1.394(20)	4.80(20)
% CV	7.73	5.38	3.97	4.28	4.2
DSM	23.69	1.78	4.65	2.91	10.0

número que representa el tiempo en días.

El proceso consiste en agitar la suspensión, a 200 rpm y a temperatura de 22 ± 2 °C, durante una hora cada seis horas, y pasado el tiempo

fijado se centrifuga y se determina fósforo en el extracto. El fósforo sorbido se calcula por diferencia entre el fósforo añadido y el determinado en el extracto.

RESULTADOS Y DISCUSION

Con el conjunto de resultados obtenidos sobre sorción de fósforo se hace en primer lugar un estudio

de las curvas de sorción, analizando dichos valores, que proceden de poner en contacto los suelos con tres

TABLA 3

Contenido en Hierro y Aluminio.

Suelo	Fe-cmb	Fe-ox	Al-cmb	Al-ox
	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
1	104.60	7.58	75.2	2.35
2	4.20	8.34	16.2	2.60
3	174.35	8.17	81.6	1.45
4	22.25	7.03	62.8	2.00
5	41.35	8.27	148.8	2.30
6	75.95	4.43	123.0	2.35
7	31.25	19.01	327.2	5.30
8	79.80	13.76	75.3	3.10
9	6.35	18.23	21.3	3.35
10	9.50	11.50	51.7	2.24
11	21.25	12.68	49.8	2.34
12	14.30	10.18	20.2	2.51
13	9.45	2.66	0.1	0.82
14	8.90	10.02	35.3	1.98
15	15.30	11.53	1.0	2.57
16	3.15	13.41	11.9	3.44
17	35.50	17.31	8.1	1.68
18	7.95	5.94	38.7	1.26
19	3.15	13.48	5.9	2.60
20	3.80	10.36	8.7	1.19
Er. st. ((gl)	2.708(20)	0.334(20)	4.03(20)	0.204(20)
% CV	8.06	3.12	6.94	8.45
DSM	5.65	0.70	8.41	0.43

soluciones de fosfato de distinta concentración y durante tiempos comprendidos entre 6 horas y 21 días.

Curvas de sorción

Se estudian las ecuaciones que describen la cinética de las reacciones que tienen lugar en el suelo (Sparks, 1988), y se ajustan los resultados a una función del tipo $Y = KC_0 X^b$ (Kuo and Lotse, 1973),

en donde Y = fósforo sorbido (mg P kg⁻¹), X = tiempo (días), a = KC_0 coeficiente de la ecuación, donde C_0 es la concentración inicial de cada solución, y b el exponente que ha de ser < 1. Es la función que da mejor correlación entre todas las estudiadas, y puede observarse que los coeficientes de correlación de todos los suelos y con las tres soluciones citadas tienen una significación superior al 99.9% (**), y solamente el nivel de significación es

TABLA 4

Soluciones de KH₂ PO₄.

Tiempo (días)	(a) 12.5 mg P L ⁻¹	(b) 25.0 mg P L ⁻¹	(c) 37.5 mg P L ⁻¹
0.25	a - 0.25	b - 0.25	c - 0.25
0.5	a - 0.5	b - 0.5	c - 0.5
1.0	a - 1	b - 1	c - 1
3.0	a - 3	b - 3	c - 3
7	a - 7	b - 7	c - 7
21	a - 21	b - 21	c - 21

superior al 99% (*) en algunos de los suelos estudiados (Tabla 5).

Los suelos pueden clasificarse de acuerdo con su coeficiente K en dos grandes grupos: el grupo A es aquel en el que $K > 8$ ($C_0 = 12.5$ mg P L⁻¹), $K > 5$ ($C_0 = 25$ mg P L⁻¹) y $K > 4$ ($C_0 = 37.5$ mg P L⁻¹) y el grupo B corresponde a suelos en los que dicha constante es inferior a los valores citados.

Dichos grupos corresponden a una clasificación de los suelos en función de su capacidad de sorción de fósforo en solución acuosa (superior o inferior al 50%). Si se representan los valores medios de fósforo sorbido de la solución de cada una de las tres concentraciones y para cada grupo se obtiene la figura 1, en la que se observa claramente como la pendiente de las curvas se aproxima a cero, cuando el tiempo de contacto se acerca a los 21 días.

El grupo A comprende 8 suelos de sorción fuerte, en el que los porcentajes promedios de fósforo sorbido frente al añadido varían para 21

días, entre el 84, 67, y 53% en cada una de las tres soluciones. Estos suelos son los que tienen un Índice de Bache (1971) alto y el fósforo asimilable es bajo. El grupo B lo componen 12 suelos de sorción media, y en él los porcentajes de sorción son del 43 al 20% al tiempo máximo con las tres soluciones estudiadas. Las curvas correspondientes a las soluciones de 25 mg P L⁻¹ y 37.5 mg P L⁻¹ se superponen, lo que indica que la concentración inferior es suficiente en relación a la capacidad de sorción del suelo.

Indicadores

Sobre estas mismas curvas se estudia la variación de la sorción (Fig. 2), término que analiza la relación entre la cantidad de fósforo sorbido en un tiempo dado y la cantidad total sorbida en el tiempo máximo de 21 días.

Puede observarse que en el grupo A la sorción es más intensa dentro de las primeras 24 horas de contac-

TABLA 5

Coefficientes de las ecuaciones de regresión de las curvas de sorción de fósforo.
(Y = aX^b Y = fósforo sorbido, mg P · kg⁻¹; X = tiempo en días).

Suelo	Grupo	Sol. a 12.5 mg P L ⁻¹			Sol. b 25.0 mg P L ⁻¹			Sol. c 37.5 mg P L ⁻¹		
		a	b	r ²	a	b	r ²	a	b	r ²
1	A	109.2	0.21	0.981**	145.9	0.24	0.986**	163.7	0.24	0.987**
2	B	10.3	0.63	0.893*	24.3	0.37	0.807	30.6	0.34	0.967**
3	A	99.5	0.22	0.970**	140.5	0.21	0.960**	158.4	0.23	0.981**
4	B	55.2	0.25	0.978**	78.4	0.20	0.957**	85.6	0.24	0.985**
5	A	111.8	0.19	0.990**	150.0	0.21	0.980**	172.7	0.19	0.965**
6	A	142.9	0.17	0.950**	194.0	0.19	0.983**	210.9	0.21	0.996**
7	A	191.5	0.09	0.992*	322.3	0.14	0.976**	383.8	0.18	0.990**
8	A	110.5	0.22	0.997**	52.3	0.26	0.969**	170.3	0.25	0.991**
9	B	36.5	0.32	0.947*	53.1	0.31	0.973**	66.1	0.25	0.991**
10	B	52.4	0.41	0.992**	78.7	0.37	0.986**	91.5	0.29	0.982**
11	B	47.0	0.37	0.985**	69.8	0.35	0.979**	79.1	0.28	0.990**
12	A	151.9	0.12	0.921*	225.6	0.18	0.965**	244.3	0.25	0.924*
13	B	33.0	0.28	0.941*	45.0	0.38	0.982**	51.9	0.24	0.912*
14	B	61.1	0.16	0.993**	80.6	0.19	0.957**	83.2	0.19	0.997**
15	B	61.0	0.31	0.978**	81.4	0.36	0.993**	107.8	0.26	0.971**
16	B	86.8	0.12	0.981**	123.4	0.19	0.975**	135.7	0.15	0.984**
17	A	102.0	0.25	0.986**	143.4	0.33	0.984**	158.9	0.32	0.982**
18	B	38.0	0.16	0.962**	43.6	0.25	0.967**	43.5	0.25	0.974**
19	B	36.2	0.26	0.919**	47.7	0.40	0.961**	52.7	0.23	0.864*
20	B	39.8	0.18	0.920*	50.0	0.23	0.932*	55.5	0.21	0.831

(**) P > 99.9%; (*) P > 99.0%.

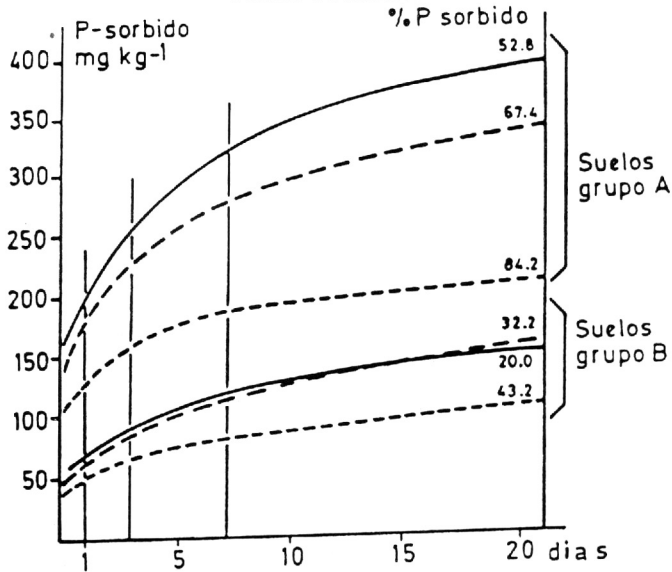


FIG. 1.—Curvas de sorción
solución: a (-----), b (-----), c (————).

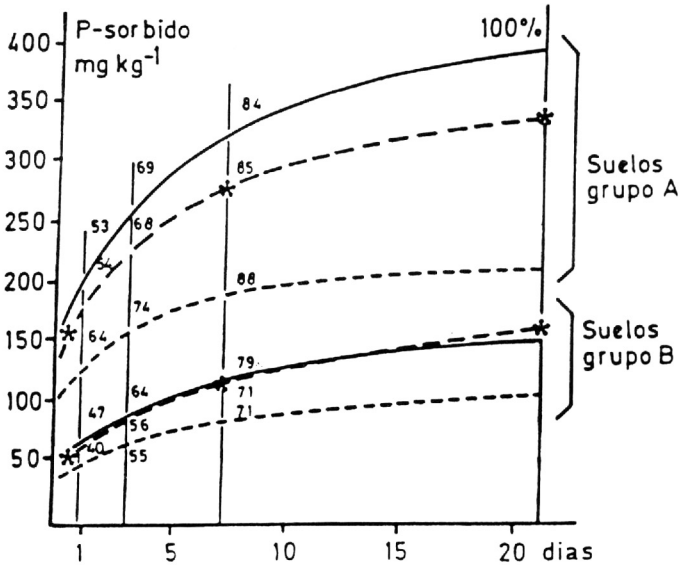


FIG. 2.—Curvas de sorción. Indicadores
soluciones: a (-----), b (-----), c (————).

to, lo que se cuantifica en unos valores promedios de 64, 54, o 53% del fósforo sorbido en 21 días, que puede llegar en algunos suelos hasta el 84%. Estos resultados concuerdan con los de Rajan y Fox (1972), quienes encuentran que

el 85% de sorción tiene lugar dentro de las 24 o 48 horas en suelos ácidos. La sorción sigue con cierta intensidad en el intervalo de 3 a 7 días, con promedios del 88, 85, y 84% y un máximo individual del 96.5%, lo que coincide con los resultados de Ryan

(1983) que se acerca a la saturación después de seis días de contacto.

Respecto al grupo B, en un día se alcanzan porcentajes de fósforo sorbido del 46, 40, y 47%, que van aumentando hasta los 7 días en los que se obtienen 71, 71 y 79%.

Ambos grupos presentan en el último período de contacto, de 7 a 21 días, curvas de baja pendiente, manteniéndose más alta en los suelos de sorción fuerte. Ibrahim y Pratt (1982) afirman que los suelos pueden acercarse a la saturación en tiempos de contacto comprendidos entre 3 días y 21 o 42 días, dependiendo de la riqueza en fósforo asimilable.

En esta misma figura 2 se resaltan 6 puntos, que corresponden a los valores de fósforo sorbido obtenidos en la solución b, a tres tiempos distintos. Estos valores han sido elegidos como *Indicadores* de la cantidad sorbida que se indicará como alta, media y baja, y que se estudiarán como tales conjuntamente con el Índice de Bache (1971) (Tabla 2), y que se definen como:

b-0.5 = fósforo sorbido en 12 horas, solución de 12.5 mg P L⁻¹.

b-7 = fósforo sorbido en 7 días, solución de 25.0 mg P L⁻¹.

b-21 = fósforo sorbido en 21 días, solución de 37.5 mg P L⁻¹.

Tratamiento estadístico

Se efectúa el tratamiento estadístico de los resultados, para determinar las relaciones que pueda haber entre la sorción de fósforo por el suelo y las características del mismo.

Relación de indicadores entre sí

En primer lugar se halla la matriz de correlación entre los indicadores (Tabla 6), que da valores muy significativos, ($P > 99.9\%$), lo que confirma la posibilidad de alternativa en la elección de cualquiera de dichos parámetros.

Relación de indicadores con otras variables

Se relacionan cada uno de los indicadores con las restantes características del suelo, y se hallan coeficientes de correlación lineal con distinta significación en los casos que se exponen en la Tabla 7, y en la que pueden observarse dos grupos:

Un primer grupo formado por los distintos indicadores b-0.5 e índice, que están relacionados ambos con las

TABLA 6

Matriz de correlación entre Indicadores.

	Índice	b - 7	b - 21
b - 0.5	0.9463**	0.9596**	0.8860**
	Índice	0.9170**	0.8878**
		b - 7	0.969 **

(*) $P > 99\%$; (**) $P > 99.9\%$.

TABLA 7

Relación de indicadores con otras variables. Coeficientes de correlación lineal.

Variables depend.	Variables independientes				
	Al - cmb	Al - óx.	M. O.	P - res	P - Al
b - 0.5	0.8027**	0.6019*	0.5163		
Indice	0.7553**	0.6614*	0.5403		
b - 7	0.6923**	0.5472	0.6625**	-0.4685	
b - 21	0.6314*	0.5222	0.7612**	-0.5148	-0.4818

(*) $P > 99\%$; (**) $P > 99.9\%$.

mismas variables: aluminio de cambio, óxidos de aluminio, y en menor grado con el contenido en materia orgánica. La correlación más alta la da el aluminio de cambio, siguiendo los óxidos de aluminio. Estas variables son indicativas de un proceso de sorción rápido en el que el aluminio es el responsable fundamental. Este hecho concuerda con las teorías de Sarpley (1983), Arines (1986), Arines (1987) y Mamo (1987) quienes afirman que la influencia del aluminio en la sorción del fósforo es más importante que la del hierro, aunque este último esté presente en mayor cantidad.

En un segundo grupo que incluye las variables b-7 y b-21 se observa correlación muy significativa con el contenido en materia orgánica, así como con aluminio de cambio, disminuyendo la significación de r en el caso de los óxidos de aluminio lo que indica que su participación

disminuye en los procesos de adsorción media o lenta. Ballard y Fiskell (1974) indican que la correlación entre fósforo sorbido y aluminio es mayor con el aluminio móvil o de cambio que con los óxidos de aluminio. Existe asimismo correlación inversa y de baja significación de dichas variables con el fósforo extraído por resinas de cambio, y de b-21 con los fosfatos de aluminio del suelo, valores que representan el fósforo fácilmente extraíble, y que son por lo tanto opuestos por naturaleza a los primeros, lo que se refleja en dicha correlación inversa entre los mismos, de acuerdo asimismo con Sharma, (1984) y Tripathi (1970).

Se procede posteriormente el análisis de regresión múltiple según Draper y Smith (1981) y se obtienen las siguientes ecuaciones, en donde se indica el porcentaje de participación de cada variable.

$$b - 0.5 = 22.77 + 0.82 (\text{Al cmb}) + 3.45 (\text{arcilla}) + 0.44 (\text{Fe cmb})$$

R^2 .100)	64.43 %	87.40 %	93.72 %
-------------	---------	---------	---------

$$\text{Indice} = -33.55 + 1.55 (\text{Al cmb}) + 5.07 (\text{arcilla}) + 0.70 (\text{Fe cmb})$$

R^2 .100)	57.05 %	78.51 %	85.61 %
-------------	---------	---------	---------

$$b - 7 = -7.19 + 1.03 (\text{Al cmb}) + 5.88 (\text{arcilla}) + 0.77 (\text{Fe cmb})$$

R^2 .100)	47.92 %	80.30 %	89.79 %
-------------	---------	---------	---------

$$b - 21 = 24.61 + 16.59 (\text{M.O.}) + 0.74 (\text{Al cmb}) + 3.87 (\text{arcilla}) + 0.80 (\text{Fe cmb})$$

R^2 .100)	57.94 %	73.18 %	79.41 %	88.16 %
-------------	---------	---------	---------	---------

Son variables comunes en la regresión múltiple para las cuatro funciones: aluminio de cambio, porcentaje de arcilla, y hierro de cambio, con un porcentaje de participación decreciente en el orden citado. La participación significativa del aluminio de cambio, ya se ha puesto de manifiesto en la regresión simple (Arines, 1986, 1987; Sharpley, 1983). Se añade ahora la entrada en la función del porcentaje de arcilla como segunda variable (con una participación del 20 al 30%) lo que se explica por la existencia de lugares de sorción ocupados por el aluminio en los minerales de la arcilla como indican Cox y Lins (1984), y Singh y Singpuri (1986) que encuentran correlación significativa entre la sorción máxima y el contenido en arcilla.

En cuanto a la participación del hierro de cambio en un porcentaje menor del 10% ya se apuntaba en el estudio del esquema anterior, aunque no se obtuviera regresión significativa (Sharpley, 1983; Arines, 1986 y 1987 y Mamo, 1987).

El aumento de tiempo de sorción (valores de b-21) supone la redistribución del fósforo sorbido, dentro de los lugares de sorción y da lugar a una mayor participación de la materia orgánica, como se deduce de su porcentaje de participación frente al porcentaje del aluminio de cambio, de acuerdo con Ibrahim y Pratt (1982) que indican que el aumento del tiempo da lugar a la entrada de fósforo en nuevos lugares de sorción.

En este estudio la introducción de las nuevas variables en la regresión múltiple supone para los cuatro indicadores alcanzar un grado de determinación de 85 a 94%, frente al 50 a 65% que existía al considerar la regresión lineal entre indicadores y aluminio de cambio o con materia orgánica. Asimismo, puede verse que las relaciones indicadas incluyen aluminio en una o más formas, así como hierro soluble, lo que confirma las teorías de Laverdiere (1984), que hacen de estos elementos y en especial del aluminio el principal factor determinante de la sorción de fósforo por el suelo.

CONCLUSIONES

La dinámica de sorción del fósforo con el tiempo sigue una función po-

tencial en casi todos los suelos estudiados. Los valores máximos del

exponente disminuyen cuando aumenta la concentración de la solución.

Se ha puesto de manifiesto, que la capacidad de sorción es más alta en las primeras 24 horas, moderada en el período comprendido entre 1 y 7 días, y muy baja en tiempos mayores.

Respecto a los indicadores de sorción elegidos, se observa que existe entre los mismos (Índice, b-0,5, b-7 y b-21) una correlación lineal y positiva de elevada significación.

Estos mismos indicadores presentan correlación simple, muy significativa, con el aluminio de cambio extraído por acetato amónico, lo que hace de este elemento el principal factor controlante de la sorción de fósforo.

Existe correlación múltiple entre los indicadores y algunas características físicas y químicas del suelo, siendo de destacar la encontrada con aluminio de cambio, contenido en arcilla, hierro de cambio y contenido en materia orgánica.

BIBLIOGRAFIA

- ARINES, J. and SAINZ, M., 1987. Phosphorus sorption by acid soils: comparative study of some parameters. *J. Agric. Sci. Camb.*, 109: 87-94.
- ARINES, J., SAINZ, M.^a J. y FABREGAS, R., 1986. Estudio de la retención de fósforo en suelos del valle de Lemos (NO de España) y estimación de las necesidades de fertilización fosfatada. *An. Edafol. Agrobiol.*, 45: 975-988.
- BACHE, B. W. and WILLIAMS, E. G., 1971. A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.*, 22: 289-301.
- BALLARD, R. and FISKEILL, J. G. A., 1974. Phosphorus retention in coastal plain forest soils: Relationships to soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38: 275-278.
- BARROW, N. J., 1980. Difference among a wide-ranging collection of soil in the rate of reaction with phosphate. *Austr. J. Soil Res.*, 18: 215-224.
- BARROW, N. J., 1983. A mechanistic model for describing the sorption of phosphate by soil. *J. Soil Sci.*, 34: 733-750.
- BARTON, C. I., 1948. Photometric analysis of phosphate rock. *Anal. Chem.*, 20: 1068-1073.
- BOLAN, N. S., BARROW, N. J. and POSNER, A. M., 1985. Describing the effect of time on sorption of phosphate by iron and aluminium hydroxides. *J. Soil Sci.*, 36: 187-197.
- COX, F. R. and LINS, I. D. G., 1984. A phosphorus soil test interpretation for corn grown on acid soils varying in crystalline clay content. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15: 1481-1491.
- CHANG, S. C. and JACKSON, M. L., 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 84: 133-144.
- DRAPER, N. R. and SMITH, H., 1981. *Applied Regression Analysis*. Eds. J. Wiley and Sons, New York.
- DUCHAFOUR, P., 1975. *Manual de Edafología*. Ed. Toray-Masson, Barcelona.
- FRANKLIN, W. T. and REISENAUER, H. M., 1960. Chemical characteristics of soil related to phosphorus fixation and availability. *Soil Sci.*, 90: 192-200.

- GACHON, L., 1972. Fractionnement du phosphate labile en relation avec le type de sol. *An. Agron.*, 4: 429-444.
- HISLOP, J. and COOKE, I. J., 1968. The anion exchange resin as a mean of assessing soil phosphate status: a laboratory technique. *Soil Sci.*, 105: 8-11.
- IBRAHIM, H. S. and PRATT, P. E., 1982. Effects of rate of application and time on phosphorus sorption by soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 926-928.
- KUO, S. and LOTSE, E. G., 1974. Kinetics of phosphate Adsorption and Desorption by Hematite and Gibbsite. *Soil Sci.*, 116: 400-406.
- LAVERDIERE, M. R. and KARAM, A., 1984. Sorption of phosphorus by some surface soils from Quebec in relation to their properties. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15: 1215-1230.
- MAMO, TEKALING and HAQUE, I., 1987. Phosphorus status of some ethiopian soils I. Sorption characteristics. *Plant and Soil*, 102: 261-266.
- MURPHY, J. and RILEY, J. P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- RAJAN, S. S. S. and FOX, R. L., 1972. Phosphate adsorption by soils I. Influence of time and ionic environment of phosphate adsorption. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 3: 493-504.
- RYAN, J., 1983. Phosphorus and its utilization in soils of dry regions. *Geoderma*. 29: 341-354.
- RYDEN, J. C. and SYERS, J. K., 1977. Origin of the labile phosphate pool in Soils. *Soil Sci.*, 123: 353-361.
- SHARMA, P. K. and TRIPATHI, B. R., 1984. Phosphorus availability indices in relation to phosphorus fractions in some Himalayan acid soils of North-west India. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 32: 292-298.
- SHARPLEY, A. N., 1983. Effect of soil properties on the kinetics of phosphorus desorption. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 462-467.
- SINGH, K. P. and SINGPURI, M. K., 1986. Sorption of phosphorus as related to properties of soils of Bihar. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 34: 603-604.
- SPARKS, D. L., 1986. *Soil Physical Chemistry*, CRC Press. 1986.
- SPARKS, D. L., 1988. *Kinetics of Soil Chemical Processes*, Academic Press.
- TRIPATHI, B. R., TANDON, H. L. S. and TYNER, E. H., 1970. Native inorganic phosphorus forms and their relation to some chemical indices of phosphate availability for soils Agra district, India. *Soil Sci.*, 109: 93-101.

Recibido: 1-2-91.
Aceptado: 22-10-91.