

VARIACION DE LA ADSORCION DE FOSFORO Y PARAMETROS EDAFICOS EN UNA CLIMOSECUENCIA DE SUELOS DE LA REGION SEMIARIDA PAMPEANA CENTRAL

D. E. Buschiazzo; G. G. Hevia y E. N. Hepper

Laboratorio de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa.
CC 300, 6300 Santa Rosa, La Pampa.

RESUMEN

Se evaluó la incidencia del edafoclima sobre: a) algunas propiedades del suelo (granulometría, calcáreo, materia orgánica, pH en agua y en NaF, arcilla soluble en Na_2CO_3 , Fe y Al solubles en oxalato ácido en oscuridad —Feo y Alo— y en ebullición —Feos y Alos—), b) el parámetro X_m de la isoterma de Langmuir y las constantes a , b y C 0,3 de la isoterma de Freundlich, así como los contenidos de P asimilable (Bray 1, Pa), P orgánico (Po) y P soluble en H_2SO_4 0,2N (Pi) y c) sus interrelaciones, en una climosecuencia conformada por cinco suelos (regímenes de humedad údico, ústico y arídico) de la Región Semiárida Pampeana Central, dentro de la provincia de La Pampa.

Los resultados muestran que los valores de X_m están correlacionados positivamente con los contenidos de Alo, probablemente derivado de la meteorización de la ceniza volcánica ($r = 0,74$, $P < 1\%$) y de CaCO_3 ($r = 0,55$, $P < 5\%$) aumentando en profundidad en cada perfil y en suelos con regímenes de humedad ústico.

La capacidad relativa de adsorción de P del suelo (valor a) y la cantidad de fósforo adsorbido a una concentración en la solución de equilibrio de 0,3 ppm (C 0,3), se correlacionaron positivamente ($r = 0,56$ y $r = 0,62$, respectivamente, en ambos $P < 5\%$) con el contenido de arcilla, mientras que la inversa de la afinidad de adsorción (valor b) lo hizo negativamente ($r = -0,53$, $P < 5\%$). Los contenidos de Pa y el cociente de Pa:Pi (disponibilidad de P) son negativamente influenciados por los valores de pH en agua ($r = -0,67$ y $-0,70$) respectivamente, $P < 1\%$ en ambos y en mayor medida por los de pH en NaF ($r = -0,84$ y $-0,88$ respectivamente, $P < 1\%$ en ambos). Esto indicaría una mayor influencia de los compuestos amorfos que del CaCO_3 sobre la retención de los fosfatos. Los contenidos de Pa y los cocientes Pa:Pi son positivamente influenciados por los óxidos amorfos de Fe ($r = 0,57$ y $0,56$ respectivamente, $P < 5\%$ en ambos) y los contenidos de MO ($r = 0,86$ y $0,87$, respectivamente, $P < 0,1\%$ en ambos) con valores máximos en los Hapludoles. Esto se debería al desplazamiento y solubilización de los fosfatos adsorbidos a los óxidos de Fe por parte del NH_4F del extractante Bray-Kurtz 1 y al complejamiento del Al amorfo por parte de la MO. A favor de esto habla la correlación altamente significativa del factor "Feo. MO:Alo" con Pa ($r = 0,94$, $P < 0,1\%$) y con Pa:Pi ($r = 0,98$, $P < 0,1\%$).

Palabras clave: Adsorción de fósforo, climosecuencias, suelos de zonas semiáridas.

VARIATION OF P-SORPTION AND SOIL PROPERTIES IN A SOIL CLIMOSEQUENCE OF THE SEMIARID ARGENTINIAN PAMPAS

ABSTRACT

The influence of soil climate on: a) some soil properties (particle size, lime, organic matter, pH—in H_2O and in NaF—, Na_2CO_3 —soluble clay, acid oxalate soluble Fe and Al in darkness at room temperature—Feo and Alo— and boiled—Feos and Alos—, b) the X_m value derived from Langmuir isotherm, a , b and $C_{0.3}$ from Freundlich and P Bray-Kurtz 1 (Pa), organic P (Po) and 0.5 N H_2SO_4 soluble P (Pi) and c) their relationships was studied in a 5 soil climosequence (udic, ustic and aridic moisture regimes) from the Semi-arid Argentinian Pampas (La Pampa province).

The results show that X_m values are positively correlated with Alo contents, probably derived from volcanic ash weathering, ($r = 0.74$, $P < 1\%$) and $CaCO_3$ ($r = 0.55$, $P < 5\%$), with maximum values in the subsoil and in soils with ustic moisture regime.

The relative P sorption capacity (a) and the amount of sorbed P at a concentration of 0.3 ppm in the equilibrium solution ($C_{0.3}$ value) correlated positively ($r = 0.56$ and $r = 0.62$, respectively, $P < 5\%$), while the inverse of the sorption affinity (b) correlated negatively ($r = -0.56$, $P < 5\%$) with clay contents. Pa contents and Pa:Pi quotients are negatively correlated with pH in water ($r = -0.67$ and -0.70 respectively, $P < 1\%$) and with higher significance with pH in NaF ($r = 0.84$ and 0.88 respectively, $P < 0.1\%$). That should mean that amorphous compounds have higher influence on P retention than lime. Pa contents and Pa:Pi values are positively correlated with Feo ($r = 0.57$ and 0.56 , respectively, $P < 5\%$), and OM contents ($r = 0.86$ and 0.87 , respectively, $P < 0.1\%$) with maximum values in Hapludolls. That is probably due, on one hand, to the solubilization of phosphates displaced from Fe oxides by NH_4F of the Bray Kurtz 1 extractant, and on the other to the complexing of amorphous Al by OM. The good correlations of Pa ($r = 0.94$, $P < 0.1\%$) and Pi ($r = 0.98$, $P < 0.1\%$) with the factor "Feo:OM:Alo", favour this probability.

Key words: phosphate sorption, climosequences, soils of semi-arid regions.

INTRODUCCION

La información existente acerca de la fertilidad fosforada de los suelos de la Región Semiárida Pampeana Central es escasa y confusa. Simultáneamente ocurre que en estos suelos existe variabilidad areal de los niveles de P asimilable detectados por Loewy y Puricelli (1982) y Fagioli y Bono (1984). Por otro lado, Bariggi et al. (1975) en un ensayo en macetas con suelos de la zona de Anguil, y Culot (1986) para suelos de la zona de Gral. Pico, observaron declinaciones en los rendimientos de alfalfa ante la carencia de P y respuestas significativas de su productividad ante la fertilización fosforada, respectivamente. Estas variaciones podrían ser debidas a la falta de predicción de los niveles de P asimilable por parte del método de extracción utilizado. Según Smilie y Syers (1972), la formación de CaF_2 producido de la reacción entre la calcita y el extractante Bray, produce disminución de la extracción de fosfatos. Las tendencias erráticas anteriormente apuntadas pueden responder también a variaciones en los contenidos de P de reserva o a la presencia de cantidades variables de sustancias sorbentes de P que afectarían la cantidad disponible de este elemento.

Se ha comprobado que los contenidos de P soluble en H_2SO_4 0.2 N (fósforo inorgánico meteorizable) son poco variables en estos sedimentos (Buschiazio y Parodi, 1986). Por otro lado las res-

puestas del trigo a la fertilización con fósforo se manifiesta, en algunos suelos, sólo luego de ser superadas dosis de más de 200 Kg P_2O_5 /ha (Fagioli et al., 1985). También se ha comprobado que las respuestas a la fertilización fosforada por parte de alfalfa bajo riego, se evidencian recién después de agregar durante 3 años consecutivos 200 Kg de P_2O_5 /ha (Hernández et al., 1983). Estos resultados hablan a favor de la existencia de procesos de retención de fosfatos y de una uniformidad en los niveles de P de reserva.

Como probables complejos sorbentes habría que considerar a los compuestos amorfos de Al, cuya aparición en estos suelos es aún discutible (Morrás, 1985) y sesquióxidos de Fe. Las potenciales fuentes litogénicas de estos compuestos (vidrios volcánicos y magnetita) se encuentran en forma abundante en los materiales originales (Bidart, 1987). Su distribución areal puede ser sin embargo no homogénea, debido a procesos de sedimentación primaria y secundaria variable, y a posibles grados de transformación distintos en condiciones edafoclimáticas diferentes.

El objetivo de este estudio es intentar comprobar si existen diferencias en algunos aspectos de la dinámica de P en suelos de una climosecuencia de Región Semiárida Pampeana Central y en caso afirmativo determinar qué características edáficas las condicionan.

MATERIALES Y METODOS

Se estudiaron cinco perfiles de planicie ordenados según una secuencia (Perfil 1: Hapludol éntico, perfiles 2 y 3: Haplustoles énticos, Perfil 4: Ustortent típico y perfil 5: Torripsament típico) y una muestra de ceniza volcánica (CV) depositada debajo de un horizonte A de un Haplustol éntico. La ubicación de los lugares de muestreo se detalla en la Fig. 1.

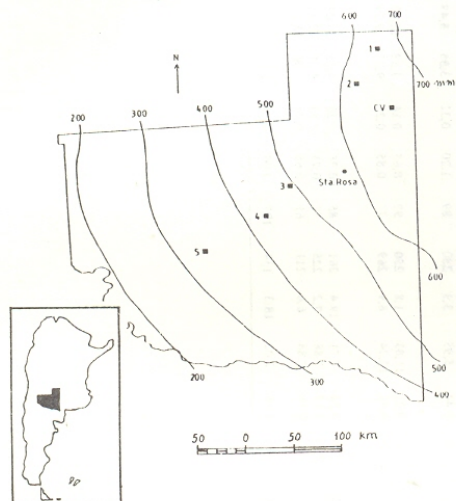


Fig. 1: Ubicación de los perfiles (■) y de la muestra de ceniza volcánica (CV) estudiados e isohietas anuales de la provincia de La Pampa.

Las muestras de cada horizonte fueron secadas al aire, tamizadas por 2 mm y les fueron efectuadas las siguientes determinaciones analíticas:

Granulometría: (Schlichting y Blume, 1966) diferenciando las fracciones (< 2, -20, -50, -73, -100, -250, -500, -2000 μm). Calcáreo: por calcimetría. pH en H_2O de un extracto 1:2,5 por el método potenciométrico. pH en NaF por el método potenciométrico eliminando previamente los carbonatos para determinar cualitativamente los amorfos por el método de Fieldes y Perrot (1966). Materia orgánica: método de Walkley y Black. Capacidad de Intercambio Catiónico: extracción de cationes intercambiables con solución 1 N de acetato de sodio a pH 8,2, desplazamiento del sodio adsorbido con solución 1 N en acetato de amonio a pH 7 y posterior determinación por fotometría de llama. Fósforo asimilable (Pa): método de Bray Kurtz 1. Fósforo orgánico (Po) que incluye P soluble en H_2SO_4 0,2 N (Pi) (Schlichting y Blume,

op. cit.). Fe y Al extractables con oxalato de amonio (Feo y Alo) y con oxalato de amonio en ebullición (Feos y Alos) según Fischer y Fechter (1982), determinados por absorción atómica. Compuestos amorfos de la fracción arcilla disueltos con Na_2CO_3 al 2 % y determinados gravimétricamente (Wada y Wada, 1976). Las isotermas de adsorción de fósforo se realizaron poniendo 2,5 g de suelo, en un volumen final de 25 ml y a una temperatura de $21^\circ \pm 1^\circ \text{C}$, en contacto con soluciones de cinco concentraciones crecientes de KH_2PO_4 , necesarias para obtener en el equilibrio, como máximo, soluciones de 30 ppm. A cada muestra se le agregó, para llevar a volumen y mantener constante la fuerza iónica, CaCl_2 0,01 M y dos gotas de cloroformo para evitar el desarrollo de microorganismos. El contacto suelo-solución se prolongó por 48 horas, agitándose durante dos períodos de 6 horas cada uno. El fósforo adsorbido por el suelo fue calculado por diferencia entre el fósforo agregado y el determinado en la solución de equilibrio, por el método del molibdato de amonio y ácido ascórbico, espectrofotométricamente.

De las isotermas se obtuvo el valor de adsorción máxima (X_m) deducido de la ecuación de Langmuir (Olsen y Watanabe, 1957), y las constantes a , b y la cantidad de fósforo adsorbido a una concentración en la solución de equilibrio de 0,3 ppm ($C_{0,3}$) de la ecuación de Freundlich. Estos parámetros se utilizaron para analizar la adsorción de fósforo y la relación con los parámetros característicos de cada suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características de los suelos de la climosecuencia

De la Tabla 1 se desprende que los contenidos de arcilla son más o menos uniformes a lo largo de cada perfil aunque varían entre los mismos debido, probablemente, a sedimentaciones eólicas primarias diferentes de los materiales originales.

La ceniza volcánica (CV) posee mayores contenidos de limo (más del 40 %) que los materiales loésicos, en general en detrimento de las fracciones arcilla (< 2 μm) y arena fina (50-73 μm) coincidiendo con observaciones de Camilión e Imbellone (1984).

Los contenidos de MO de los horizontes A disminuyen hacia los perfiles del suroeste, en concordancia con condiciones climáticas más secas, mientras que los valores de pH en agua y en NaF

Tabla 1. Características de los suelos estudiados.

Horiz.	Prof. (cm)	(2	-20	-50	-73	-100	-250	-500	-2000	pH NaF (°)	pH H ₂ O	CaCO ₃ (%)	M. O. (%)	ClC meq 100 g	Pa	Pi (ppm)	Po	Alo	Feo (g/kg)	Alto	Feos (g/kg)	Xm (µg/g)	a	b	C 0,3 (ppm)	
Tabla 1. Características de los suelos estudiados.																										
Perfil 1: Hapludol éntico																										
A1	5-18	14,05	10,51	11,91	4,12	31,29	19,75	5,73	2,58	8,70	6,40	0,000	1,64	14,70	126,8	323	136	0,70	1,12	7,75	13,94	0,37	194,55	13,78	0,61	6,58
AC	25-40	13,45	7,92	8,72	5,38	24,19	30,00	6,36	2,50	9,10	6,80	0,000	0,79	13,44	43,5	210	112	0,60	0,96	6,13	16,71	0,42	155,28	27,62	0,44	16,19
C1	53-70	12,61	6,37	7,35	6,27	21,44	34,39	8,04	3,61	9,71	7,50	0,000	0,26	10,59	0,0	0	0	0,55	0,34	5,88	21,11	0,00	163,93	19,55	0,53	11,74
C2ca	90-106	8,37	6,41	7,36	6,07	25,21	36,23	7,41	3,92	9,65	8,90	vest.	0,08	10,14	7,2	212	30	0,50	0,24	5,13	15,23	0,00	139,47	21,81	0,44	11,42
Perfil 2: Haplustol éntico																										
A1	5-17	19,64	13,25	17,81	11,52	18,32	17,23	0,64	1,49	9,25	6,50	0,000	0,99	13,46	22,1	185	92	0,70	0,86	4,96	10,83	0,42	123,76	53,67	0,23	40,67
C	23-40	18,48	11,80	14,22	23,34	13,45	18,48	0,77	1,41	9,84	7,60	0,000	0,41	14,46	3,3	178	118	1,30	0,43	12,88	13,66	2,76	164,47	62,52	0,26	45,49
Perfil 3 : Haplustol éntico																										
A1	0-16	11,04	8,34	9,48	19,67	23,29	25,32	0,33	1,71	9,72	6,60	0,340	1,03	5,52	31,8	277	78	1,00	0,67	4,85	10,94	0,87	189,46	18,40	0,54	9,55
ACca	16-40	10,14	8,22	13,27	10,76	19,40	35,12	0,85	1,56	9,85	8,00	1,740	0,52	5,87	3,8	265	107	1,35	0,40	4,88	13,86	0,24	223,71	49,06	0,41	29,79
Cca	40+	10,95	7,99	16,26	17,64	21,62	22,45	0,31	1,55	10,10	8,15	2,270	0,44	5,95	3,3	280	89	1,20	0,32	3,95	8,49	2,81	251,89	34,37	0,52	18,12
Perfil 4 : Ustortent típico																										
(A)ca	5-20	7,87	3,94	10,70	5,16	37,86	30,25	4,06	0,85	9,95	8,20	1,630	0,21	11,83	1,8	250	92	0,65	0,14	3,68	11,80	0,15	174,21	45,67	0,38	28,72
Cca	60-80	9,4	5,21	10,32	17,80	21,69	29,87	4,72	0,83	9,70	8,00	0,020	0,42	12,24	8,9	269	77	0,85	0,22	9,75	9,74	1,49	179,85	23,15	0,49	12,79
Perfil 5: Torripsament típico																										
(A)	2-10	8,65	4,20	5,01	10,85	17,12	40,54	11,6	1,90	9,91	8,20	0,250	0,33	7,71	19,4	261	85	0,75	1,20	4,55	20,05	0,03	185,19	15,35	0,59	7,56
C1ca	20-35	7,44	2,92	5,35	9,87	16,14	42,04	13,0	2,22	10,20	8,50	1,300	0,17	7,88	7,2	225	72	0,75	0,85	4,35	20,33	nd	171,23	19,21	0,52	10,11
C2ca	50-65	7,99	3,65	4,77	11,82	15,95	40,47	12,7	2,45	10,00	8,50	1,500	0,16	7,88	6,6	211	61	0,65	0,73	7,00	15,20	0,00	132,45	35,71	0,32	24,31
Centiza	20-25	6,29	28,02	21,90	5,39	18,82	24,45	2,45	0,14	9,81	8,30	0,004	0,54	2,02	18,3	134	197	0,00	0,19	2,49	5,40	nd	112,00	4,24	0,67	1,89

*) eliminados los carbonatos

**) arcilla soluble en Na₂CO₃, 2 %

umentan en esa dirección a causa de la mayor proporción de CaCO_3 y de sustancias amorfas (tal como lo indican los valores de pHNaF 9,2), respectivamente.

Los contenidos de Fe y Al solubles en oxalato ácido (Feo y Alo) —fracciones amorfas de los mismos— poseen, en general, tendencias inversas dentro de cada perfil (el Fe disminuye y el Al aumenta en profundidad). El Al se encuentra en mayores proporciones en los perfiles intermedios (2 y 3) de la secuencia climática, mientras que el Fe no presenta un patrón de distribución definido.

Las fracciones cristalinas de los óxidos de Fe y Al (Feos y Alos, solubles en oxalato ácido hervido) presentan tendencias semejantes a sus fracciones amorfas dentro del perfil (aumento del Al y disminución del Fe en profundidad) aunque no entre perfiles, donde no presentan tendencias definidas.

Los contenidos de Fe, Feos, Alo y Alos son menores que los indicados para Andisoles (Hunter et al., 1987; Turian, 1986 o Ping y Michaelson, 1986) y similares a los de suelos loésicos con acumulaciones de cenizas volcánicas de Alaska (Ping y Michaelson, op. cit.).

La CV contiene las menores proporciones de Feo y carece prácticamente de Alo, lo que se debe a la baja proporción de óxidos activos en los vidrios volcánicos frescos, y posee también los más bajos contenidos de Feos y Alos, dado el carácter amorfo de estos minerales. Probablemente la mayor proporción de estos elementos, así como de Si, sean extractables con bases fuertes (Wada, 1977).

Una medida del grado de cristalinidad, y por lo tanto de evolución de los óxidos de Fe y Al, lo constituyen los cocientes de Feo: Feos y Alo: Alos, denominados índices de actividad por Blume y Schwertmann (1969). Para el Al son constantes en cada perfil, pero aumentan hacia la mitad de la climosecuencia (perfiles 3 y 4), lo que indica una mayor proporción de Al activo en esa posición. Esto puede responder a mayores contenidos iniciales de vidrios volcánicos en estos perfiles o a condiciones edafoclimáticas propicias para su meteorización y transformación en compuestos amorfos. Los índices de actividad para Fe disminuyen en profundidad en cada perfil, aunque no poseen una tendencia definida entre los mismos. La existencia de índices de actividad más elevados en superficie respondería a la inhibición que la materia orgánica produce sobre la transformación de óxidos de Fe amorfos en cristalinos (Schwertmann et al., 1968).

La CV muestra índices de actividad muy pequeños para ambos elementos, lo que respondería a su bajo grado de meteorización. La proporción de sustancias amorfas, posiblemente de carácter

alofánico, se puede evaluar al tratar la fracción arcilla con Na_2CO_3 (Wada, op. cit.). Estos análisis muestran que dichos compuestos se encuentran en mayor proporción (aproximadamente un 2,8%) en horizontes subsuperficiales de suelos con regímenes de humedad ústico. Estos valores pueden ser considerados bajos.

Parámetros de las isothermas y fracciones de fósforo (Tabla 1)

Los valores de capacidad de adsorción máxima de fósforo (X_m) calculados de la transformación lineal de la isoterma de Langmuir (Olsen y Watanabe, op. cit.) no poseen tendencias definidas dentro de cada perfil, aunque aumentan en perfiles ubicados hacia la mitad de la climosecuencia, en coincidencia con la mayor proporción de amorfos de Al. Los valores de X_m hallados son mayores que para Natracuoles o Argiudoles típicos de la provincia de Buenos Aires y Alfisoles de Entre Ríos (Mendoza, 1986) y Molisoles de Costa Rica (Pagel y Van Huay, 1976). Vale acotar sin embargo la variabilidad de estos valores, al ser obtenidos en condiciones experimentales diferentes (Barrow, 1978). El valor de X_m de CV es menor que los de las muestras de los diferentes horizontes, lo que coincide con sus bajos contenidos de Alo ante una posible baja meteorización de los vidrios.

Los valores de las constantes de la isoterma de Freundlich a y b (asociadas directa e inversamente a la afinidad y por lo tanto directa e inversamente con la disponibilidad de fósforo para las plantas, respectivamente), así como la cantidad de P adsorbida por el suelo cuando la concentración en la solución es 0,3 ppm ($C_{0,3}$) (según diversos autores, por ejemplo Mendoza, 1980, la concentración mínima requerida para el desarrollo de algunas especies vegetales) no presentan tendencias definidas en función de la profundidad en cada perfil ni entre estos. El valor de $C_{0,3}$ aparenta ser un índice confiable para predecir la capacidad relativa de adsorción (a) ya que ambos parámetros se correlacionan entre sí en forma altamente significativa ($r = 0,986$, $P < 0,1\%$), aún habiendo considerado, en un intervalo de 0 a 30 ppm de P en la solución de equilibrio, sólo 5 niveles intermedios.

Los valores de a y b son semejantes a los obtenidos para Alfisoles y Vertisoles de Entre Ríos y Molisoles de Buenos Aires, pero menores que para Oxisoles de Misiones (Mendoza, 1986).

De estos resultados se podría deducir que la capacidad de adsorción de los suelos estudiados presenta valores mayores que los correspondien-

tes a suelos evolucionados sobre materiales parentales eólicos de la región húmeda y subhúmeda pampeana, aunque la afinidad y la capacidad buffer son semejantes.

Los contenidos de P Bray-Kurtz I (Pa) y P orgánico (Po), se comportan en forma similar a los contenidos de MO, disminuyendo abruptamente en profundidad dentro de cada perfil y hacia el SW entre los mismos. El P soluble en H_2SO_4 0,2 N (Pi), se mantiene constante dentro de cada perfil aunque es variable entre los mismos. Sin embargo, no se pudo comprobar una correlación entre los contenidos de Pi y alguna fracción granulométrica, lo que habría sido indicio de su dependencia del tipo de material original.

Los contenidos de Pa y Po de CV son relativamente elevados, aunque los de Pi son los menores de todas las muestras estudiadas, lo que indica una alta disponibilidad de P.

Correlaciones:

En la Tabla 2 se presenta la matriz de los coeficientes de correlación lineal existente entre las variables comparadas. De ésta se puede deducir que los valores de X_m no se correlacionan con los contenidos de arcilla ni con los de limo fino + arcilla, lo que indica, a priori, que este parámetro no dependería de la cantidad sino de la calidad de las arcillas. X_m se correlaciona positivamente y con significancias decrecientes con los contenidos de Alo y $CaCO_3$. Esto indicaría que la retención de fosfatos se debe a la adsorción de P a cargo de amorfos de Al y a la precipitación de fosfatos de Ca, respectivamente. Esto coincide en cierta medida con los resultados obtenidos por Bolaño de Daniel (1984) quien comprobó que la capacidad buffer de P de suelos de la Región Pampeana está condicionada por contenidos variables de $CaCO_3$, arcilla y materia orgánica.

Tabla 2. Matriz de los coeficientes de correlación lineal (r) entre las características edáficas estudiadas con los parámetros de las isotermas, contenidos de fósforo B-KI (Pa) y cocientes Pa : P inorgánico total (Pi).

	Arcilla	<20 μm	$CaCO_3$	pH H_2O	pH NaF	M.O.	Alo	Feo	Alos	Feos	Arc.solub. Na ₂ CO ₃ 2%	(Feo,MO) Alo
X_m	0,03 (15)	-0,35 (15)	0,55* (15)	0,04 (15)	0,16 (15)	0,13 (15)	0,74*** (15)	0,002 (15)	0,001 (15)	0,005 (15)	0,48 (13)	-0,44 (15)
a	0,56* (15)	0,20 (15)	0,30 (15)	-0,28 (15)	0,11 (15)	-0,11 (15)	0,60* (15)	-0,16 (15)	0,39 (15)	-0,09 (15)	0,36 (13)	-0,47 (15)
b	-0,53* (15)	-0,14 (15)	-0,12 (15)	0,07 (15)	-0,03 (15)	0,17 (15)	-0,37 (15)	0,08 (15)	-0,40 (15)	-0,01 (15)	-0,12 (13)	0,49 (15)
Pad Ce _q 0,3	0,62* (15)	0,29 (15)	0,19 (15)	-0,14 (15)	-0,06 (15)	-0,08 (15)	0,53 (15)	-0,13 (15)	0,41 (15)	-0,01 (15)	0,32 (13)	-0,11 (14)
Pa	0,27 (14)	0,02 (14)	-0,40 (14)	-0,67** (14)	-0,84*** (14)	0,86*** (14)	-0,17 (14)	0,57* (14)	0,12 (14)	0,06 (14)	-0,22 (12)	0,94*** (13)
Pa:Pi	0,27 (14)	0,36 (14)	-0,51 (14)	-0,70** (14)	-0,88*** (14)	0,87*** (14)	-0,33 (14)	0,56* (14)	0,04 (14)	-0,009 (14)	-0,25 (12)	0,98*** (13)

() número de muestras

* P < 0,05 ** P < 0,01 *** P < 0,001

La constante a y el valor $C 0,3$ de la ecuación de Freundlich se correlacionan positivamente, aunque con bajo valor de significancia ($P < 5\%$) con los contenidos de arcilla, mientras que la constante b de la misma ecuación lo hace negativamente. Los valores de a y $C 0,3$ se correlacionan también débilmente con Alo ($P < 5\%$), lo que habla a favor de una actividad sorbente a cargo de amorfos de Al, siendo esto coincidente con los resultados de Mendoza (1980).

Los niveles de Pa se correlacionan negativa-

mente con los valores de pH en agua ($P < 1\%$), coincidiendo con las observaciones de Loewy y Puricelli (op. cit.), aunque con mayor significancia con los valores de pH en NaF ($P < 0,1\%$). Esto indicaría que los valores de P disponible disminuyen al aumentar los contenidos de $CaCO_3$ (ya que en gran medida los valores de pH entre 7 y 8,5 en estos suelos dependen de la reacción de hidrólisis del $CaCO_3$) y en mayor medida al hacerlo los óxidos amorfos (ya que en las muestras libres de $CaCO_3$ la reacción del suelo dependerá de la libe-

ración de iones hidróxidos desde estos óxidos al ser reemplazados por el F^- del NaF).

También se manifiestan correlaciones positivas de Pa con MO y con Feo. Es probable que el P adsorbido por los óxidos amorfos de Fe sea fácilmente solubilizado por el NH_4F del extractante de Bray 1, y que la mayor proporción de MO contribuya al complejamiento de los óxidos amorfos de Al, disminuyendo su capacidad sorbente (Wada, op. cit.). A favor de esta posibilidad habla la correlación lineal positiva entre el factor "Feo. MO:Alo" y Pa ($r = 0.94$, $P < 0.1\%$) la cual posee una menor significancia cuando se incluye la CV, posiblemente debido a que su muy bajo contenido de Alo aumenta la posibilidad de error. La menor adsorción de P en presencia de mayores contenidos de MO ha sido parcialmente comprobada para suelos de la pampa húmeda y subhúmeda por López Camelo et al. (1986).

Los contenidos de Pi son equivalentes al P total en estos suelos —datos inéditos—, por lo que el cociente Pa:Pi puede ser considerado como equivalente a la "disponibilidad de P". Los valores Pa:Pi poseen tendencias semejantes al Pa, aunque mejoran la significancia de las correlaciones lineales negativas con pH en H_2O y NaF, las positivas con MO y Fe, y las positivas con el factor "Feo. MO:Alo" (excluyendo CV por los motivos mencionados anteriormente).

CONCLUSIONES

La retención de fosfatos en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central aumenta en profundidad en cada perfil y en perfiles con regímenes de humedad ústico, acompañando los contenidos de sustancias amorfas (fundamentalmente de Al), que los adsorben, y de $CaCO_3$, que los precipitan.

Los niveles de P asimilable y la disponibilidad de P (cociente Pa:Pi) son más elevados en horizontes A y en suelos con regímenes de humedad ústicos, en coincidencia con los mayores contenidos de Fe activo (Feo), los valores de sus cocientes de actividad (Feo:Feos) y los contenidos de MO y los menores valores de pH en H_2O y en mayor medida en NaF.

El efectivo positivo del Feo y la MO y negativo del Alo sobre el suministro de P para las plantas en estos suelos, se deduce de las correlaciones positivas que presentan el P asimilable y la disponibilidad de P con el factor "Feo.Mo:Alo".

AGRADECIMIENTOS

Al CONICET por la financiación de este estudio.

REFERENCIAS

- Bariggi, C.; N. Romero y G. Schenkel, 1975. Deficiencias nutricionales de suelos pampeanos para el cultivo de la alfalfa determinadas mediante experimentos en macetas. EEA INTA Anguil, La Pampa. Proyecto FAO-INTA 71/548. Documento de Trabajo N° 1, 17 p.
- Barrow, N. J., 1978. The description of phosphate adsorption curves. J. Soil Sci. 29: 447-462.
- Bidart, S. M., 1987. Mineralogía de las arenas de cinco perfiles de suelos de la zona Bordenave, Provincia de Buenos Aires. Actas de las III Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales: 115-130.
- Blume, H. P. y U. Schwertmann, 1969. Genetic evaluation of profile distribution of Al, Fe, and Mn oxides. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 438-444.
- Bolaño de Daniel, A. A., 1984. Determinación de la capacidad reguladora y concentración ajustada de fósforo en suelos de la Región Pampeana. Ciencia del Suelo. 2: 137-148.
- Buschiazzi, D. E. y A. Parodi, 1986. P-and OM-degradation in soils of the Semiarid Argentinian Pampa. Transactions of the 13th ISSS Congress, Hamburgo, RFA, Tomo 3: 692-693.
- Camilión, M. C. y P. A. Imbellone, 1984. Caracterización de los materiales constituyentes de algunos suelos del Partido de Carlos Tejedor, Pcia. de Buenos Aires. Ciencia del Suelo. 2: 137-148.
- Culot, J. Ph., 1986. Nutrición mineral y fertilización en el ambiente de la región pampeana. En: Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa. Colección Científica INTA, Tomo XXII: 81-117.
- Fagioli, M. y A. Bono, 1984. Disponibilidad de fósforo asimilable y métodos de muestreo del suelo en las regiones semiárida y subhúmeda pampeanas. INTA, EEA Anguil. Publicación Técnica N° 31.
- Fagioli, M.; A. Bono y H. H. Torroba, 1985. Fertilización de cultivos de trigo en las regiones semiárida y subhúmeda pampeanas. INTA EEA Anguil, Publicación Técnica N° 32.
- Fieldes, K. y K. W. Perrot, 1966. The nature of allophane in soil. Part 3: Rapid field and laboratory test for allophane. N. Z. J. Sci. 9: 623-629.
- Fischer, W. R. y H. Fechter, 1982. Analytische Bestimmung und Fraktionierung von Cu, Zn, Pb, Cd, Ni und Co in Böden und Unterwasserböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 145: 151-160.

- Hernández, O. A.; J. G. Scarone; A. R. Quiroga y N. B. Reinaudi, 1983. Efectos de la fertilización y la inoculación, sobre el rendimiento y calidad de alfalfa cv. Scatamburlo, bajo condiciones de secano y de regadío en la Región Semiárida Pampeana. IDIA. Nº 417-420: 1-7.
- Hunter, C. R.; B. E. Frazier y A. J. Busacca, 1987. Lytell Series: A Nonvolcanic Andisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 376-383.
- Loewy, T. y C. A. Puricelli, 1982. Disponibilidad de fósforo en suelos del área de la EEA Bordenave (Bs. As.). INTA, Inf. Técnica Nº 28.
- López Camelo, L. G.; O. S. Heredia y Z. M. M. Sese, 1986. Evaluación preliminar de la influencia de la materia orgánica sobre la adsorción de fósforo en algunos suelos argentinos. Ciencia del Suelo 4: 125-131.
- Mendoza, R. E., 1980. Adsorción de P en el suelo y su relación con la producción de dos especies forrajeras. Rev. Fac. Agron. UBA, 1: 19-30.
- Mendoza, R. E., 1986. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos: I. Métodos de ajuste y comparación entre ecuaciones. Ciencia del Suelo 4: 107-116.
- Morrás, H. J. M., 1985. Estado actual de la mineralogía y micropedología de suelos de la Región Pampeana Norte, con referencia particular a la provincia de Santa Fe. Iras. Jornadas de Suelos Reg. Pampeana Norte. INTA Rafaela 30: 191-214.
- Olsen, S. R. y F. S. Watanabe, 1957. A method to determine a phosphorous adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 144-149.
- Pagel, H. y H. Van Huay, 1976. Wichtige Parametern der Phosphat-Sorptionskurven einiger Böden der Tropen und Subtropen und zeitliche Veränderung durch P Düngung. Pflanzenbau u. Bodenk., 20: 765-778.
- Ping, C. L. y G. L. Michaelson, 1986. Phosphorous sorption by major agricultural soils of Alaska. Comm. Soil Sci. Plan Anal. 17: 299-320.
- Schlichting, E. y H. P. Blume, 1966. Bodenkundliches Praktikum. Paul Parey Verlag, Hamburg-Berlin, 209 p.
- Schwertmann, U.; W. R. Fischer y H. Papendorf, 1968. The influence of organic compounds on the formation of iron oxides. Transactions 9th ISSS Congress, Adelaide, Aust., I: 645-655.
- Smilie, G. W. y J. K. Syers, 1972. Calcium fluoride formation during extraction of calcareous soils with fluoride. II: Implications to the Bray P-1 Test. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 25-30.
- Turian, G., 1986. P- und Spurenelemente in der Bodendecke der Azoren (Portugal). Diss. Universität Hohenheim, RFA 94 p.
- Wada, K. y S. Wada, 1976. Clay Mineralogy of the B-horizon of two Hydrandepts, a Torrox and a Humitropept in Hawaii. Geoderma 16: 139-157.
- Wada, K., 1977. Allophane and Imogolite. En: Dixon J. B. y S. B. Weed (Ed.). Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI., USA, 603-638.