

## INDICES DE SORCION DE FOSFORO EN ALGUNOS MOLISOLES DE LA PRADERA PAMPEANA

LIDIA GIUFFRE de LOPEZ CAMELO y OLGA S. HEREDIA (\*)

Recibido: 17-8-88

Aceptado: 4-5-89

### RESUMEN

Se utilizaron 26 índices de desorción, adsorción, capacidad buffer y parámetros de las ecuaciones de Freundlich, Langmuir y Temkin en 16 suelos de la región triguera Norte y Oeste de la pradera pampeana.

Los valores obtenidos, estuvieron dentro de los rangos normales para Molisoles.

Entre los índices utilizados, figuran algunos más adaptables a estudios de rutina que las isotermas de adsorción, como el P adsorbido con un agregado de 25 µg P, en 2 horas.

**Palabras claves:** fósforo, índices de sorción, Molisoles.

### P SORPTION INDEXES IN SOME MOLLISOLS OF PRADERA PAMPEANA

#### SUMMARY

Twenty six desorption, adsorption and buffer capacity indexes, and Freundlich, Langmuir and Temkin equations parameters, were utilized on sixteen soils from North and West wheat region of Pradera Pampeana. Values obtained were on the normal ranges for Mollisols. Among these indexes, there were some more suitable for routine procedures than adsorption isotherms, like P adsorbed with 25 µg P added, in two hours.

**Key words:** phosphorus, sorption indexes, Mollisols.

#### INTRODUCCION

Es común observar que la efectividad de un fertilizante aumenta con la disminución del nutriente respectivo. Sin embargo, pueden ocurrir excepciones ya que los análisis químicos convencionales no diferencian entre intensidad y capacidad de renovación.

Suelos que poseen igual contenido de P asimilable pueden presentar distinto comportamiento de acuerdo a su capacidad buffer; es por ello que los métodos de rutina deberían complementarse con estudios de adsorción al

realizar la caracterización de suelos de un área.

Las isotermas de adsorción son los elementos más utilizados en estudios de adsorción. Permiten distinguir entre intensidad y capacidad, mediante el cálculo de su pendiente se estima la capacidad buffer de fosfatos, y puede evaluarse la cantidad de fertilizante necesaria para mantener una cierta concentración de P en la solución de equilibrio, siendo aplicables a todo tipo de suelos (sin limitaciones en cuanto a su pH, contenidos de óxidos, etc., como ocurre con los extractantes químicos).

(\*) Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía, UBA.

Avda. San Martín 4453. (1417) Buenos Aires - Argentina -

A pesar de ello, presentan una serie de inconvenientes, entre los cuales se pueden citar:

- . Se requiere un gran número de determinaciones para definir una curva de adsorción, por lo tanto son costosas y se requiere mucho tiempo.
- . Las bajas concentraciones de P en solución de equilibrio pueden crear dificultades analíticas.
- . La medición de P de la fase sólida es difícil debido a la naturaleza compleja de las reacciones del P del suelo.
- . En cuanto al ajuste de las isothermas, siempre es posible encontrar una curva que ajuste de manera perfecta a los datos, pero puede ser estrictamente artificial y desprovista de significado físico o biológico (Little y Hill, 1979).

Al realizar un análisis crítico en cuanto a la practicidad del empleo de las isothermas de adsorción, surgió la necesidad de la búsqueda de una metodología simple, más adaptada a análisis de rutina, y que permitiera reflejar mediante un índice o valor puntual, las propiedades diferenciales de retención de P de un suelo.

En el presente trabajo se propuso la utilización de 26 índices para caracterizar suelos de importancia productiva de la pradera pampeana. Se incluyeron medidas clásicas de adsorción e índices puntuales en concentraciones críticas, con adiciones elevadas y en tiempo reducido de equilibrio como un medio de adaptar estos estudios a condiciones de rutina.

#### MATERIALES Y METODOS

##### Suelos

Se analizaron muestras superficiales (0-20 cm) de suelos provenientes

de ensayos correspondientes al Plan Trigo (convenio Facultad de Agronomía, Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, AACREA y LAQUIGE).

El área estudiada comprende, dentro de la pradera pampeana, ocho establecimientos dentro de la Pampa Arenosa (suelos 1 al 8) y otros ocho dentro de la Pampa Ondulada (suelos 9 al 16). En Pampa Arenosa predominan los Haplustoles típicos, thaptoárgicos y énticos, mientras que en la Pampa Ondulada tienen preponderancia Argiudoles vérticos y típicos y Argialboles argiácuicos. Estos mismos suelos fueron objeto de estudio en trabajos anteriores sobre análisis de respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada (Barberis, 1983) y métodos de medición del fósforo extractable (Vázquez et al., 1987). Sus principales características figuran en el Cuadro N° 1.

##### Isotermas de adsorción

Se empleó la técnica utilizada en un trabajo anterior (López Camelo et al., 1984), donde figuran además las ecuaciones de Langmuir, Freundlich y Temkin, utilizadas para el ajuste de los datos experimentales. Se utilizaron 10 puntos por isoterma, con agregados entre 0 y 500 µg de P.

##### Indices de Sorción

El detalle de los mismos es el siguiente:

- 1 - Intensidad o desorción: P en solución de equilibrio, sin agregado del mismo.
- 2 - P ads a 0,15 ppm en solución de equilibrio.
- 3 - P ads a 0,20 ppm en solución de equilibrio.
- 4 - P ads a 0,30 ppm en solución de equilibrio.
- 5 - P ads con un agregado de 500 µg P.

Cuadro N° 1: Características generales de los suelos estudiados.

Suelo N°	Establecimiento	(1)	Clasificación Taxonómica	Clase Textural	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	La Unión	Las Toscas	Hapludol éntico	Franco-arenosa	13,2	6,3	2,7	17,5	9,2	16,1	8,8	0,19
2	La Suerte	Arenaza	Hapludol thaptoárgico	Franco	19,6	6,1	1,0	14,8	6,3	18,2	11,4	0,19
3	San Jorge	Luro	Hapludol éntico	Franco	19,7	6,1	2,8	31,9	14,9	26,6	18,0	0,23
4	La Margarita I	Albariños	Hapludol éntico	Franco	21,5	6,3	3,0	16,5	8,8	20,8	11,3	0,22
5	La Margarita II	Albariños	Hapludol éntico	Franco-arenosa	16,2	6,5	3,7	15,2	10,0	22,1	16,3	0,21
6	Sauce Có	Pirovano	Hapludol éntico	Franco-arenosa	15,9	6,4	4,3	20,5	9,8	19,1	13,3	0,19
7	San Claudio	Hortensia	Hapludol thaptoárgico	Franco	20,0	6,4	4,4	12,5	11,9	26,0	21,0	0,26
8	La Cautiva	Los Toldos	Hapludol éntico	Franco	23,3	6,3	3,5	10,4	5,0	15,4	10,0	0,25
9	El Bañadito	Rojas	Argiudol típico	Fr-arcillo-limosa	28,3	6,2	3,9	17,0	12,5	21,5	14,5	0,21
10	San Eusebio	Ramallo	Argiudol vértico	Fr-arcillo-limosa	31,7	6,2	3,7	9,3	7,5	23,7	17,3	0,24
11	Sta. Elena (R)	Rojas	Argiudol típico	Franco	26,4	6,1	3,5	10,0	5,6	25,6	20,5	0,20
12	Sta. Elena (CH)	Chacabuco	Argiudol típico	Franco	25,8	6,3	4,3	47,7	33,7	20,1	14,5	0,21
13	Kirgluman	Monte Buey	Argiudol típico	Franco	26,8	6,4	2,9	15,3	8,5	22,2	16,0	0,24
14	El Pilar	Arroyo Dulce	Argiudol típico	Fr-arcillo-limosa	29,4	6,5	3,6	18,7	14,4	30,0	25,0	0,25
15	La Lucila	Ramallo	Argiudol típico	Franco-limosa	25,0	6,1	3,7	55,3	42,5	19,5	14,1	0,24
16	La Dolores	Venado Tuerto	Argiudol típico	Franco	26,4	6,5	3,1	39,7	25,2	25,0	18,8	0,22

(1) Localidades para los establecimientos de Pampa Arenosa (suelos 1 a 8) que carecen de relevamiento cartográfico a nivel Serie, y Series de suelos para los establecimientos de Pampa Ondulada; (2) % arcilla; (3) pH; (4) % MO (5) P Bray-Kurtz (ppm); (6) P extractable con resinas de intercambio aniónico (ppm); (7) CIC mmol kg<sup>-1</sup>; (8) Ca mmol kg<sup>-1</sup>; (9) Oxidos libres de Fe (%).

- 6 - P ads 500  $\mu\text{g}/\log$  P solución.  
 7 - P ads con un agregado de 1550  $\mu\text{g}$  P.  
 8 - P ads 1550  $\mu\text{g}/\log$  Ps.  
 9 - P ads con un agregado de 3750  $\mu\text{g}$  P.  
 10- P ads 3750  $\mu\text{g}/\log$  Ps.  
 11- CBF (Ozanne y Shaw, 1967).  
 12- S (Holford, 1982).  
 13- P ads con un agregado de 25  $\mu\text{g}/\log$  -2 hs.  
 14- P ads 25  $\mu\text{g}/\log$  Ps - 2 hs.  
 15- P ads con un agregado de 500  $\mu\text{g}$  -2 hs.  
 16- P ads 500  $\mu\text{g}/\log$  Ps - 2 hs.  
 17- P ads con un agregado de 1550  $\mu\text{g}$  - 2 hs.  
 18- P ads 1550  $\mu\text{g}/\log$  Ps - 2 hs.  
 19- P ads con un agregado de 3750  $\mu\text{g}$  - 2 hs.  
 20- P ads 3750  $\mu\text{g}/\log$  Ps - 2 hs.  
 21- K Langmuir.  
 22- Xm Langmuir.  
 23- a Temkin.  
 24- b Temkin.  
 25- a Freundlich.  
 26- b Freundlich.

#### RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos al aplicar las distintas metodologías se resumen mediante la estadística descriptiva de las variables consideradas en el Cuadro N° 2.

Puede observarse que las medidas de adsorción (1 a 26) presentan un coeficiente de variabilidad bastante alto, lo que da idea de su sensibilidad.

#### Intensidad o desorción

La extracción con  $\text{CaCl}_2$  0,01 M ha sido utilizada por Olsen *et al.* (1983) y Keramidas y Polyzopoulos (1983), quienes la consideraron un indicador del factor intensidad de fosfatos.

En este caso se intentó la obtención de un valor puntual inicial de liberación de P sin entrar a considerar sucesivos períodos de desorción que evidencian descensos más o menos bruscos del P liberado en función del tiempo.

Todos los suelos estudiados liberaron fósforo a la solución, correspondiendo los mayores valores de desorción a Santa Elena (R) y La Dolores, ambos bien provistos de P, y La Unión.

Los valores obtenidos son muy semejantes a los hallados por Ibrahim y Pratt (1982) que estudiaron la concentración de P en  $\text{CaCl}_2$  en suelos sin agregados de fosfatos a la solución.

La importancia de este índice radica en que proporciona una idea acerca de la intensidad de P en solución. Suelos con valores altos estarían en buenas condiciones para que se obtengan máximos rendimientos y en este caso, los mejores provistos serían los suelos 1, 11 y 16; y los que necesitarían fertilización para aumentar el nivel de P en solución, los suelos 3, 7, 9, 10, 12 y 13.

**P adsorbido correspondiente a soluciones de equilibrio de 0,15 - 0,20 y 0,30 ppm de P.**

Estos valores son importantes ya que corresponden a concentraciones críticas de P en el suelo.

Para Ozanne y Shaw (1967) y Mendoza (1980), 0,3 ppm en solución de equilibrio resultaron óptimos para obtener máximos rendimientos. Bolaño (1984)

Cuadro N°2: Estadística descriptiva de los índices de sorción considerados.

Indices de Sorción	n	Media	Desv. St.	Mínimo	Máximo	CV
1	16	0,2000	0,1329	0,1000	0,4500	66,4
2	16	5,9125	3,6597	1.00000E-07	13,5000	61,8
3	16	7,2313	4,7479	1.00000E-07	18,0000	65,6
4	16	10,9063	6,1866	1.00000E-07	22,5000	56,7
5	16	90,9375	13,0740	62,0000	114,0000	14,3
6	16	89,0375	17,2121	54,8600	122,5800	19,3
7	16	222,0125	76,5992	2,1000	340,0000	34,5
8	16	152,4519	41,7968	93,3700	263,1100	27,4
9	16	378,6000	145,6078	2,6000	620,0000	38,4
10	16	189,9569	71,5510	1.00000E-08	319,5800	37,6
11	16	3,4094	2,0363	1.00000E-06	6,5000	59,7
12	16	44,0000	25,5993	3,1400	105,8200	58,1
13	16	4,3750	2,8077	-4,5000	6,5000	64,1
14	16	-14,2463	11,6230	-25,0000	28,1200	81,5
15	16	65,4063	11,4152	48,0000	89,0000	17,4
16	16	57,9088	11,6301	40,6700	85,5700	20,0
17	16	145,3125	38,4911	90,0000	210,0000	26,4
18	16	87,4894	25,0344	52,3200	130,4300	28,6
19	16	221,8750	104,3691	50,0000	430,0000	47,0
20	16	110,0731	49,9065	23,1400	212,8700	45,3
21	16	0,5119	0,3897	-0,2200	1,2700	76,1
22	16	87,2163	37,0344	-14,2800	144,9200	42,4
23	16	33,2600	10,4069	4,8900	51,6300	31,2
24	16	19,4688	3,8113	14,6600	28,8800	19,5
25	16	23,0263	7,6360	3,4900	37,3200	33,1
26	16	0,6531	0,1507	0,4300	1,0700	23,0

encontró que la concentración ajustada para rye grass y achicoria, fue de 0,2 ppm; y otros autores como De Holanda y De Medeiros (1984) consideraron como niveles críticos 0,1 ppm P en solución para textura arcillosa y 0,2 ppm para franco arenosa.

Las muestras de Santa Elena, (Rojas) y La Dolores, que presentaron altos valores de desorción, no permitieron la evaluación de P adsorbido a 0,15 y 0,20 ppm en solución de equilibrio. La existencia de P nativo no permite adsorción, sino que existe liberación de P.

Los valores registrados están en el mismo orden que los obtenidos por Mendoza (1980) para Molisoles, siendo ligeramente inferiores. También resultaron menores que los obtenidos por De Holanda y De Medeiros (1984), en suelos brasileros de mayor capacidad de retención.

Datos de este tipo han sido utilizados para calcular la cantidad de fertilizante a agregar para mantener una concentración adecuada de P en solución, teniendo en cuenta la concentración crítica para cada especie vegetal (Sánchez y Uehara, 1980).

Como es lógico, los índices de retención a bajas concentraciones, por hallarse en la zona lineal de las isothermas, presentaron altos valores de correlación entre sí, por lo que en caso de problemas analíticos por las bajas concentraciones de P en solución, podría estimarse, por ejemplo, el P 0,15 a partir del P 0,3 ( $r = 0,92$ ;  $P < 0,01$ ).

Si se considerara a 0,2 ppm la concentración requerida para obtener máximos rindes, los suelos 11 y 16 no requerirían de P por estar bien provistos (lo que coincide con el índice anterior). Los suelos que requerirían agregados más altos de P serían el 2, 7, 8 y 13, que también presentaron bajos valores de intensidad.

**P adsorbido con adiciones elevadas de P**

Existen diversos antecedentes sobre la utilización de agregados altos de P: Fassbender (1969); Harter (1969); Bache y Williams (1971); Gil Sotres y Díaz Ferros (1982).

Su uso se preconizó para relacionarlo con propiedades de los suelos y

estudiar qué sucede en sitios cercanos a los gránulos del fertilizante.

El P adsorbido aumentó siempre, pero no ocurrió lo mismo al considerar los porcentajes de adsorción. De los 16 suelos, en 12 decreció el porcentaje de adsorción a medida que se incrementaba el P agregado, siendo este efecto poco marcado en San Claudio. Hay un caso en que los valores se mantuvieron constantes: La Dolores, y 3 casos donde aumentaron hasta 1550 ppm de P agregado para luego decrecer bruscamente: La Cautiva, Santa Elena Rojas, El Pilar. El porcentaje de adsorción varió entre 31 y 57% para 500  $\mu\text{g}$  P; 24,7 y 54,8 para 1550  $\mu\text{g}$  y 11,3 y 34,7 para 3750  $\mu\text{g}$ . Fassbender (1969), encontró un promedio para la capacidad de adsorción relativa de 37,1 % con suelos de diversas características.

Si se consideran las relaciones: P; ads/log P en solución, propuestas por Bache y Williams (1971) y Gil Sotres (1982), se observó que éstas aumentaron con el incremento en el agregado de P.

Los índices de adiciones elevadas fueron efectuados utilizando dos tiempos de agitación: 2 y 17 horas. Pudo observarse que, al contrario de lo expresado por Fitter y Sutton (1975), las curvas no resultaron paralelas y las pendientes se alteraban.

La aplicación sería una estimación de potencialidad de adsorción en determinadas condiciones. Los suelos con máxima capacidad de adsorción para P 3750 serían el 7 en Pampa Arenosa y el 10 en Pampa Ondulada.

#### Índices de capacidad buffer

Los valores obtenidos son bajos y están en el orden de las CBF obtenidas para Molisoles por Mendoza (1980) y López Camelo et al., (1984) en Molisoles de la región pampeana. En La Dolores no pudo medirse la capacidad buffer, por su buena provisión de P nativo.

Asimismo, resultaron bajos los valores del índice S ( $= K \cdot X_m$ ) de Holford (1982). Los valores de S son mayores que los de CBF ya que representan la máxima pendiente de la curva de adsorción, cuando la concentración de la solución tiende a cero. Podría estimarse a partir de CBF mediante una regresión potencial:  $r=0,85$  ( $P < 0,01$ ).

Su utilidad radica en cuantificar la capacidad de regulación del P de la solución. La CBF estuvo asociada en forma negativa con la intensidad o desorción en Pampa Ondulada ( $r = -0,72$ ,  $P < 0,01$ ).

#### Índices de bajo agregado (25 $\mu\text{g}$ ) y 2 horas de agitación

Este es un índice empírico propuesto para Molisoles ya que es un indicador del P adsorbido en concentraciones críticas, mediante el empleo de una cantidad fija de P agregado, adecuada para estos suelos.

Presenta características de interés:

- a) es relevante desde el punto de vista de relación suelo-planta, ya que se encuentra en la parte de la curva de bajas concentraciones.
- b) es sumamente importante desde el punto de vista de metodología de rutina por acortar en forma notoria los tiempos de extracción.

Estuvo negativamente correlacionado con: desorción ( $r = -0,77$ ,  $P < 0,01$ ) y asociado en forma positiva a medidas similares en concentraciones críticas = P adsorbido a 0,15 ( $r=0,64$ ,  $P < 0,01$ ) P adsorbido a 0,20 ( $r=0,64$ ,  $P < 0,01$ ) y P adsorbido a 0,3 ( $r= 0,60$ ,  $P < 0,05$ ) mejorando las regresiones logarítmicas. En la subzona de Pampa Ondulada se obtuvo un  $r = -0,85$  ( $P < 0,01$ ) con desorción y  $r= 0,63$  ( $P < 0,01$ ),  $r=0,64$  ( $P < 0,01$ ) y  $r=0,70$  ( $P < 0,01$ ) con P adsorbido a 0,15; 0,20 y 0,30 ppm en

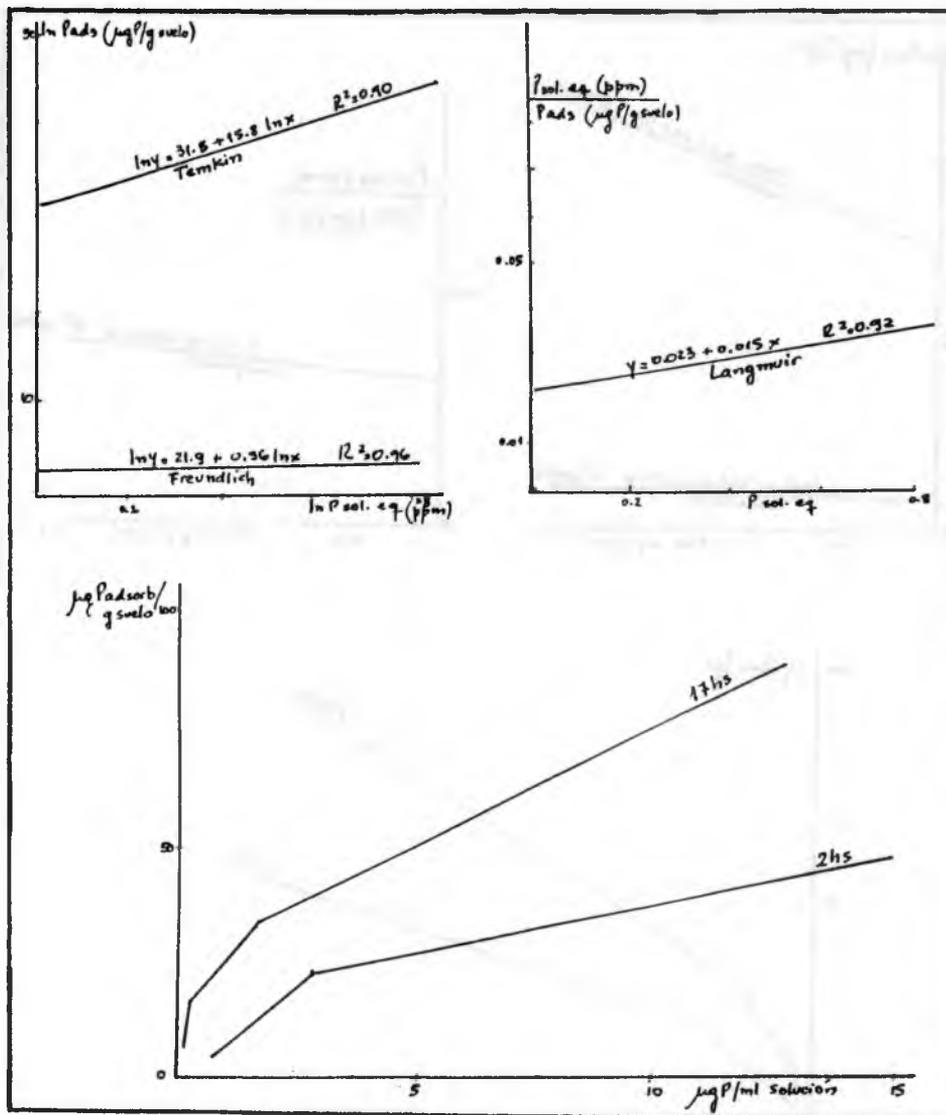


Figura 1: Isotermas de adsorción y curvas de adsorción para 2 y 17 hs de agitación. 1: La Unión.

solución de equilibrio, respectivamente. Su relación lineal con el P extraído por Bray - Kurtz fue  $r = -0,52$  ( $P < 0,05$ ) en la Pampa Arenosa.

Como indicador del P requerido para llegar a concentraciones críticas podría marcar los suelos que no necesitarían fertilización, con bajos valores de P 25 - 2 hs (11 y 16) y los que requerirían mayores agregados de P

(2,7,8 y 10), figurando los demás suelos en un estado intermedio, lo que en líneas generales concuerda con las tendencias observadas para P 0,2.

Sería importante además como complemento de los análisis de rutina. En el caso del suelo 16, con alto Bray - Kurtz y alta intensidad, todo coincide en la no necesidad de fertilización; pero para el suelo 11, según este in-

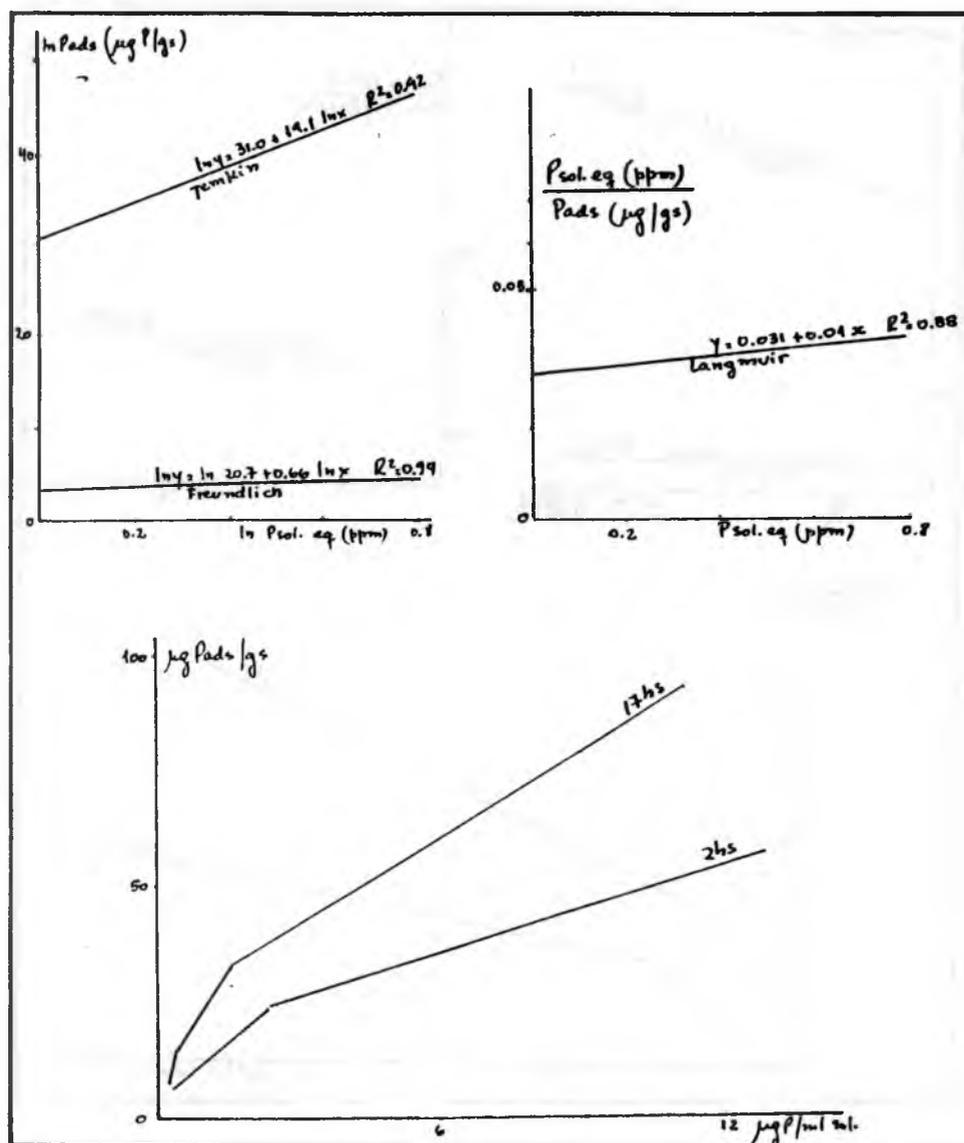


Figura 2: Isothermas de adsorción y curvas de adsorción para 2 y 17 hs de agitación. 12: Santa Elena, Chacabuco.

dice no haría falta agregado, lo que se corrobora por la alta intensidad: 0,45 ppm en solución.

Para los suelos 2, 7, 8 y 10 con valores de Bray entre 9,3 y 14,8 sería necesario un agregado de P para llegar a concentraciones de P en solución que permitan un óptimo rendimiento, lo que estaría de acuerdo con sus bajos valores de intensidad.

#### Parámetros de las ecuaciones de adsorción

La tendencia observada fue un mejor ajuste con la ecuación de Freundlich, lo que coincide con lo expresado por Mendoza (1986,1) y López Camelo et al., (1984) que encontraron buen ajuste con Freundlich y Temkin.

Los coeficientes de las tres ecuaciones estuvieron en un rango de valores semejante al obtenido por Mendoza (1986,1) e inferior al presentado por De Holanda y De Medeiros (1984) en suelos brasileiros y Ping y Michaelson (1986) en suelos agrícolas de Alaska derivados de loess.

Por razones de espacio, se presentan solamente las curvas correspondientes a un suelo de Pampa Arenosa (Figura 1) y otro de Pampa Ondulada (Figura 2).

Los parámetros que expresan afinidad (K de Langmuir, b de Freundlich y b de Temkin) no se asociaron entre sí en forma positiva; por el contrario b de Freundlich y K de Langmuir estuvieron asociados con un  $r = -0,82$  en la correlación general ( $P < 0,01$ ).

Además existe otro hecho contradictorio: b estuvo asociado en forma positiva con el P adsorbido por las plantas. Esto coincide con lo expresado por Holford (1982), quien sugirió la posibilidad de considerar la recíproca del exponente b de Freundlich como parámetro de afinidad. Al utilizar el valor  $1/b$  en los análisis de regresión se obtuvieron valores más lógicos:  $r = 0,79$  ( $P < 0,01$ ) con K de Langmuir y  $R = -0,30$  (n.s.) con P adsorbido.

K de Langmuir estuvo además correlacionada con CBF ( $r = 0,70$  x en Pampa Arenosa).

Los índices de capacidad o extensivos son: a de Freundlich y Temkin y  $X_m$  de Langmuir. La mejor correlación se

obtuvo entre  $X_m$  de Langmuir y a de Temkin en Pampa Ondulada ( $r = 0,64$ ) sin llegar a los niveles de significación estadística prefijados.

Los parámetros a de Freundlich y Temkin estuvieron mejor relacionados con K de Langmuir que con  $X_m$ , lo que está de acuerdo con lo expresado por Holford (1982) en el sentido del uso de a como índice intensivo y extensivo.

La mejor asociación se dio para a de Freundlich y K de Langmuir:  $r = 0,89$   $P < 0,01$  en general.

En Pampa Ondulada  $X_m$ , que expresa potencialidad de adsorción, se asoció al P adsorbido con adiciones elevadas (3750  $\mu\text{g}$ ) con un  $r = 0,70$  ( $P < 0,05$ ).

#### CONCLUSIONES

Al evaluar distintos parámetros de sorción se encontró que los valores de los índices considerados estuvieron dentro de los rangos normales citados por la bibliografía para el tipo de suelos en estudio.

Al buscar índices rápidos de rutina que reflejen la retención de P por el suelo, se destacó el índice propuesto para Molisoles (P 25 - 2 hs), que resultó asociado al rango de concentraciones críticas y fue inversamente proporcional a la intensidad y P extractable, por lo que sería útil como complemento de los análisis convencionales de P.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) BACHE, B.W. and E.G. WILLIAMS. 1971. A phosphate sorption index for soils. *Journal of Soil Sci.*, 22:289-301.
- 2) BARBERIS, L.A. 1983. Análisis de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la Pampa Ondulada y su predicción. *Ciencia del Suelo*, 1: 51-64
- 3) BOLAÑO DE DANIEL, A. 1984. Determinación de la capacidad reguladora y concentración ajustada de fósforo en suelos de la región pampeana. *Ciencia del Suelo*, 2: 99-106.
- 4) DE HOLANDA, J.S. e A.A. DE MEDEIROS. 1984. Caracterização de solos Norte - Rio - Grandenses quanto a adsoção de fósforo. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 19:1279-1284.

- 5) FASSBENDER, H.W. 1969. Estudio del fósforo en suelos de América Central. Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. *Turrialba*, 19:497-505.
- 6) GIL SOTRES, F. y F. DIAZ FERROS VIQUEIRA. 1982. El fósforo en suelos forestales de la Sierra del Barbanza (Galicia, España). II. Estudio de la retención del P. b) Indices de la retención. *Agrochimica*, 26:213-221.
- 7) HARTER, R.D. 1969. Phosphorus adsorption sites in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33:630-632.
- 8) HOLFORD, J.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.
- 9) IBRAHIM, H.S. and P.F. PRATT. 1982. Effects of rate of application and time phosphorus sorption by soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:926-928.
- 10) KERAMIDAS, V.Z. and N.A. POLYZOPOULOS. 1983. Phosphorus intensity, quantity and capacity factors fo representative Alfisols of Greece. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:232-236.
- 11) LITTLE, T.M. y F.J. HILLS. 1979. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed. Trillas, México.
- 12) LOPEZ CAMELO, L.G.; O.S. HEREDIA; A. NERVI y Z.M.M. SESE. 1984. Adsorción de P en algunos suelos argentinos. I. Condiciones experimentales e isotermas de adsorción. *Rev. Fac. Agr.*, 5:165-174.
- 13) MENDOZA, R.E. 1980. Adsorción de fósforo en el suelo y su relación con la producción de dos especies forrajeras. *Rev. Fac. Agr.*, 1:19-30.
- 14) 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.
- 15) OLSEN, S.R.; F.S. WATANABE and R.A. BOWMAN. 1983. Evaluation of fertilizer phosphorus residues by plant uptake and extractable phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:952-958.
- 16) OZANNE, P.G. and T.C. SHAW. 1967. Phosphate sorption by soils as a measure of phosphate requeriment for pasture growth. *Aust. J. Agr. Res.*, 18:601-612.
- 17) PING, C.L. and G.J. MICHAELSON. 1986. Phosphorus sorption by major agricultural soils of Alaska. *Comm. in Soil Sci. Plant Anal.*, 17:299-320.
- 18) SANCHEZ, P. and G. UEHARA. 1980. Management consideration for acid soils with high fixation capacity. In: *The Role of P in Agriculture*. F.E. Khasawneh (ed.) Am. Soc. Agr. Madison USA. 471-513.
- 19) VAZQUEZ, M.E.; E. NOELLEMYER; A. STRUFFOLINO; L.G. LOPEZ CAMELO de y L.A. BARBERIS. 1987. Métodos de medición del P disponible en suelos de la pradera pampeana. Su evaluación biológica. *Ciencia del Suelo*, 5:19-30.