

# DETERMINACION DE LA CAPACIDAD REGULADORA Y CONCENTRACION AJUSTADA DE FOSFORO, EN SUELOS DE LA REGION PAMPEANA \*

Amalia A. Bolaño de Daniel

Unidad de Edafología Agrícola. Depto. de Suelos I.N.T.A., Cerviño 3101 - (1425) Buenos Aires

## RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo son: 1) Determinar la capacidad reguladora de fósforo, CRF, en suelos de la región pampeana, y los principales factores del suelo que influyen en la dinámica de este elemento. 2) Determinar la "concentración ajustada" o cantidad de fósforo en la solución del suelo en equilibrio con el fósforo sorbido por el mismo, que sea la mínima cantidad necesaria para obtener la máxima producción de plantas, en ensayos hechos en macetas.

Se realizaron isotermas de adsorción de fósforo en 49 muestras, correspondientes al horizonte superficial.

Los resultados obtenidos para la CRF, están entre 64,33 mg P.kg<sup>-1</sup> de suelo para un suelo arcilloso con mucha materia orgánica y 9,46 mg P.kg<sup>-1</sup> de suelo para un suelo arenoso con escasa materia orgánica, con una media de 33,10 mg P.kg<sup>-1</sup> de suelo. Probablemente, debido a que los minerales constituyentes de la fracción arcilla en los suelos estudiados son en general illitas, no se observan grandes variaciones en la CRF. Relacionando los datos de arcilla, materia orgánica y pH de los suelos, con su CRF se obtuvo una ecuación de regresión lineal múltiple de la forma:

$$CRF = 21,886 + 0,851 (\% \text{ arcilla}) + 1,799 (\% \text{ M. O.}) - 2,159 (\text{pH}),$$

la cual es significativa al 1 %, con un  $r = 0,874$  para los 49 suelos analizados.

Para determinar la "concentración ajustada" de fósforo, se utilizaron 4 suelos: para dos de ellos se usó ray grass (*Lolium multiflorum*) como planta índice; para los otros dos se usó achicoria (*Cichorium intybus*), debido a que esta especie se adapta mejor a suelos alcalinos. La "concentración ajustada" de P que dio máximo rendimiento en materia seca en las macetas de 0,2 mg P.L<sup>-1</sup>.

Palabras Clave: Isoterma de adsorción de fósforo. Capacidad reguladora de fósforo. Concentración ajustada de fósforo.

## PHOSPHATE BUFFER CAPACITY AND ADJUSTED CONCENTRATION DETERMINATION, IN PAMPEAN SOILS

### ABSTRACT

The objects of the present paper are: i) To determine the phosphate buffer capacity (PBC) in soils of the pampean region, and the principal factors in soil which influence the dynamics of this element. 2) To determine the "adjusted concentration" or quantity of phosphate in the soil solution in equilibrium with the sorbed

\* Trabajo presentado en el X Congreso Argentino y VIII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. 1983.

phosphates of the soil, which will be the minimum quantity of phosphate necessary to obtain maximum plant production, as determined in greenhouse experiments.

Adsorption isotherms of phosphorus were determined in 49 surface soil samples.

Results obtained for PBC were between 64,33 mg Pkg<sup>-1</sup> for a soil with high clay and organic matter content, and 9,46 mg Pkg<sup>-1</sup> for a sandy soil with low organic matter, making an average of 33,1 mg Pkg<sup>-1</sup>. Probably, because the mineral constituents of the clay fraction in the studied soils were mainly illites, no big changes in PBC could be observed. Relating the clay content, organic matter and pH with the PBC, it was possible to obtain the following multiple linear regression:

$$\text{PBC} = 21,886 + 0,851 (\% \text{ clay}) + 1,799 (\% \text{ O. M.}) - 2,159 (\text{pH})$$

This relationship is significant at the 0.01 level with a correlation coefficient of  $r = 0.874$  for the 49 soils studied.

To determine the "adjusted concentration" of phosphorus, 4 soils were used. In two of them ray grass (*Lolium multiflorum*) was grown and in the other two chicory (*Cichorium intybus*) was used, because the last one is well resistant to alkaline soils. The "adjusted concentration", which gave the maximum dry matter yield, was found to be 0.2 mg P.L<sup>-1</sup>.

Key Words: Phosphorus adsorption isotherm, phosphorus buffer capacity, adjusted concentration of phosphorus.

## INTRODUCCION

Para determinar los requerimientos de fósforo de un cultivo, la técnica más comúnmente usada es el ensayo en el campo. Esta es lenta, laboriosa y de validez local. Por esta causa se desarrollaron métodos de laboratorio cuyos resultados se correlacionaron con el fósforo que las plantas toman o con la cantidad de materia seca obtenida. Otras líneas de investigación miden el fósforo extraído con resinas de intercambio o usando P<sub>32</sub> y midiendo el intercambio isotópico.

Todos estos métodos dan una medida de la cantidad (Q) de fosfato que está presente en el suelo en relación con el grado de utilización por las plantas, mediante la correlación con la magnitud de la respuesta que se espera en un ensayo en el campo, pero no toman en cuenta la capacidad reguladora de fósforo (CRF) que tiene el suelo. El conocimiento de este parámetro sirve para estimar que proporción de fósforo, aplicado como fertilizante, queda retenido en el suelo y cuánto quedará disponible para las plantas con una determinada dosis de fertilización fosfatada.

Así, cuando un suelo se enriquece o empobrece en fósforo, hay cambios tanto en la composición de fósforo en la solución (I), como en las reservas de fósforo asimilable (Q), por lo tanto la habilidad del suelo para suministrar el fósforo a las plantas depende fundamentalmente de estos dos parámetros. Cuando esta relación Q/I, o sea C, es baja, significa que la capacidad del suelo para retener el fósforo asimilable, natural del suelo o agregado como fertilizante, es baja, y entonces estas reservas de fósforo se agotan fácilmente; en cambio, si es demasiado, alta, se corre el peligro que si el suelo tiene una concentración de fósforo en

la solución del mismo (I) baja, gran parte del fósforo agregado como fertilizante, sea adsorbido por el suelo y la parte que queda en solución no alcance para abastecer el normal desarrollo de las plantas.

La capacidad y la energía con que el fósforo es sorbido es una característica propia de cada suelo; las causas de estas diferencias están relacionadas a las condiciones físico-químicas de ellos. Una alta CRF está relacionada con altos contenidos de óxidos libres de hierro y aluminio y alofanos (Rajan, 1973). También se comprobó que a mayor cantidad de arcilla, mayor es la CRF del suelo (Fox y Kamprath, 1970). Variaciones en el pH conducen a cambios en la CRF, aumentando la sorción del mismo al disminuir aquel (Parfitt, 1977 y Holford y Patrick, 1979).

Diversos autores ajustaron las concentraciones de fósforo en la solución del suelo, de tal manera de obtener una concentración óptima para el crecimiento de las plantas; para lo cual se agrega fósforo al suelo, teniendo en cuenta la capacidad de retención del fósforo en la fase sólida. Fox y Kang (1978) encontraron que para el maíz (*Zea mays*) la concentración óptima de P en la solución del suelo era de 0,01 mg P.L<sup>-1</sup>, en cambio Nishimoto y col. (1977) usando lechuga (*Lactuca sativa*); lograron máximos rendimientos cuando ajustaron la concentración de P a 0,3 mg.L<sup>-1</sup>, la misma concentración encontró Mendoza (1982) como óptima, para el crecimiento de ray gras (*Lolium multiflorum*) en ensayos en macetas. En cambio Fox y Kamprath (1970) lograron rendimientos máximos usando mijo (*Panicum miliaceum*) a una concentración ajustada de 0,2 mg P.L<sup>-1</sup>.

Los objetivos del presente trabajo son: 1) Determinar la CRF de suelos de la región pampeana y los principales factores de estos que influyen en la diná-



mica de este elemento. 2) Determinar la "concentración ajustada" o cantidad de fósforo en la solución suelo en equilibrio con el fósforo sorbido por el mismo, que sea, la mínima cantidad necesaria para obtener la máxima producción de plantas en ensayos hechos en macetas.

## MATERIAL Y METODOS

### Suelos utilizados

Los suelos utilizados pertenecen al horizonte superficial (0-25 cm) de muestras compuestas, secadas al aire y tamizadas por malla de 0,5 ó 2 mm, según los análisis a realizar. Dichos suelos fueron seleccionados en la región pampeana y están clasificados de acuerdo al Soil Taxonomy (Tabla 1).

### Capacidad reguladora de fósforo, CRF:

Se usaron 2,5 g de suelo, (tamizados por 0,5 mm), que se agitaron en forma intermitente durante 24 horas a 25°C, con 25 ml de solución de  $\text{Cl}_2 \text{Ca}$  0,1 M conteniendo cinco concentraciones crecientes entre 0,1 y 10 mg  $\text{P L}^{-1}$  (como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) de manera de alcanzar entre 0,1 y 2,5 mg  $\text{P L}^{-1}$  en los 25 ml finales. La actividad microbiana se inhibió mediante el agregado de dos gotas de tolueno. Una vez finalizada la agitación, se separó el suelo por centrifugado durante 10 minutos a 1.500 rpm. Se consideró como sorbida la cantidad de fósforo que desapareció de la solución, tomando como referencia la concentración de fósforo inicialmente agregada.

Para calcular la CRF se utilizó el método de Beckett y White (1964) que grafica el fósforo sorbido por el suelo en función de la concentración de P en la solución del mismo, la que se determina colorimétricamente por el desarrollo del complejo azul fosfomolibdico y se calcula utilizando la fórmula del potencial fosfato, desarrollada por Shofield (1955), que tiene en cuenta la formación de complejos de fosfato de calcio y la actividad de los iones calcio en la solución del suelo, con lo que se llega a la siguiente expresión:

$$c_{\text{H}_2\text{PO}_4} = \frac{c_p}{1 + 10^{\text{pH} - \text{pK}_2} + c_{\text{Ca}^{++}} \times 10^{\text{pH} + \text{pK}_c} - \text{pK}_2}$$

El potencial fosfato por lo tanto se expresa de la siguiente forma:

$$I = \frac{1}{2} \text{P}_{\text{Ca}} + \text{P}_{\text{H}_2\text{PO}_4}, \quad \text{siendo} \quad \frac{1}{2} \text{P}_{\text{Ca}} = 1,13$$

Beckett y White (1964) definen la CRF, como la cantidad de fósforo que puede ser desorbida o sorbida por la fase sólida del suelo, necesaria para elevar en una unidad su potencial fosfato, y se expresa en mg de P sorbido por kg de suelo.

### Métodos de análisis de suelos

pH: en suelo: agua de 1: 2,5; Materia orgánica: método de Walkley y Black, modificado por Richter (1981); Análisis granulométrico: método de la pipeta.

### Concentración ajustada de fósforo

1) **Ensayo en macetas:** Se llevó a cabo utilizando el horizonte superficial de 4 suelos, dos de ellos correspondientes a la localidad de Bordenave (7 y 8 de la Tabla 1) y los otros dos pertenecientes a Cañuelas (20 y 28 de la Tabla 1). Para encontrar la "concentración ajustada" de fósforo, se ajustaron las concentraciones a: 0; 0,2; 0,3; 0,5 y 1,0 mg  $\text{P L}^{-1}$ . Para el Natracualf de Cañuelas se amplió la concentración hasta 2,0 mg  $\text{L}^{-1}$  debido a que, según algunos autores, al tener menor CRF necesita una concentración ajustada mayor. Estas concentraciones se calcularon mediante el uso de las isoterms correspondientes a cada suelo (Fig. 1), utilizando el potencial fosfato como concentración de fósforo en la solución del suelo, y observando que cantidad de fósforo sorbe el suelo a esa concentración fijada previamente; de esta manera se obtienen las cantidades de P al agregar a cada suelo (bajo la forma de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) disuelto en agua (Tabla 2). Se usaron 550 g de suelo, pasado por tamiz 2 mm, que luego de agregada la solución de P se dejaron con humedad a campo durante 7 días, al cabo de los cuales, se colocó en macetas por triplicado. Se sembraron 300 mg de semillas de ray gras (*Lolium multiflorum*) en los suelos de Bordenave, y 300 mg de semillas de achicoria (*Cichorium intybus*) en los de Cañuelas, el cambio de especie se debe a que en los suelos muy alcalinos el ray gras germina con dificultad. En todos los casos se agregó una solución de 200 mg  $\text{N L}^{-1}$  (como  $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ ). Para los suelos de Cañuelas se agregó también una solución de sulfato de cobre (3 mg  $\text{Cu L}^{-1}$ ), debido a la falta generalizada de ese elemento en este tipo de suelo. Las plantas se cultivaron en cámaras de crecimiento durante 20 días, se les mantuvo la humedad por subrigación, se cortaron y secaron en estufa a 70°C para determinar la cantidad de materia seca obtenida.

TABLA 1. Ubicación, características y capacidad reguladora de fósforo de los suelos usados.

Suelo	Provincia	Localidad	Clasificación según Soil Taxonomy	Arcilla %	Materia orgánica %	pH	CRF mgP . kg <sup>-1</sup> suelo
1	La Pampa	Anguil	Haplustol	19,70	1,00	6,7	18,78
2	La Pampa	Anguil	Calcistol	24,80	2,30	7,6	28,28
3	La Pampa	Anguil	Haplustol	21,70	1,51	6,5	28,30
4	La Pampa	Anguil	Haplustol	21,10	2,13	6,1	29,01
5	La Pampa	Anguil	Haplustol	22,00	2,20	5,5	36,86
6	Bs. Aires	Dorrego	Hapludol	26,60	4,10	5,8	38,82
7	Bs. Aires	Bordenave	Argiustol	18,30	3,20	6,3	35,52
8	Bs. Aires	Bordenave	Haplustol	24,40	2,70	6,4	28,28
9	Bs. Aires	Ascasubi	Paleortid	21,20	0,56	7,5	23,48
10	Bs. Aires	Ascasubi	Haplustol	14,50	2,30	6,8	28,00
11	Bs. Aires	San Pedro	Argiudol	28,80	2,60	5,6	44,16
12	Bs. Aires	San Pedro	Argiudol	38,30	3,47	6,2	52,88
13	Bs. Aires	Villegas	Haplustol	16,00	2,19	5,6	24,40
14	Bs. Aires	Villegas	Hapludol	22,20	3,00	5,8	35,10
15	Bs. Aires	Pergamino	Argiudol	25,40	3,80	5,9	29,52
16	Bs. Aires	Pergamino	Hapludol	17,10	2,50	6,1	24,91
17	Bs. Aires	Pergamino	Argiudol	14,80	3,20	5,8	22,81
18	Bs. Aires	Pergamino	Argiudol	30,20	4,60	5,3	37,55
19	Bs. Aires	Pringles	Argiudol	39,10	7,85	6,1	64,33
20	Bs. Aires	Cañuelas	Natracualf	19,10	1,76	9,0	18,60
21	Bs. Aires	Cañuelas	Argialbol	28,39	7,81	6,3	36,63
22	Bs. Aires	Cañuelas	Natracuol	16,50	3,27	7,6	23,38
23	Bs. Aires	Cañuelas	Argialbol	20,90	3,81	5,7	31,15
24	Bs. Aires	Cañuelas	Argialbol	22,20	5,20	6,5	32,58
25	Bs. Aires	Cañuelas	Argialbol	33,60	6,20	5,7	47,96
26	Bs. Aires	Cañuelas	Argialbol	29,10	7,40	5,6	49,61
27	Bs. Aires	Cañuelas	Natralbol	20,50	4,00	7,3	24,33
28	Bs. Aires	Cañuelas	Natralbol	21,10	5,50	7,2	24,29
29	Bs. Aires	Cañuelas	Argialbol	20,80	4,46	5,6	22,69
30	Bs. Aires	Cañuelas	Natracuol	20,50	3,76	7,8	27,90
31	Bs. Aires	Cañuelas	Natracuol	19,40	3,20	7,6	24,00
32	Bs. Aires	Chascomús	Natracuol	16,50	2,74	8,0	23,00
33	Santa Fe	Rafaela	Argiudol	29,00	3,04	6,1	33,56
34	Santa Fe	Rafaela	Argiudol	21,80	1,70	5,9	22,98
35	Santa Fe	Rafaela	Argiudol	24,60	2,80	6,1	33,98
36	Santa Fe	Rafaela	Natracuol	21,10	2,90	8,0	23,19
37	Córdoba	Manfredi	Haplustol	25,80	2,70	5,5	31,60
38	Córdoba	Manfredi	Haplustol	17,60	1,81	5,8	27,10
39	Córdoba	Marcos Juárez	Argiudol	34,10	3,85	5,8	33,43
40	Córdoba	Marcos Juárez	Haplustol	39,10	2,56	6,2	36,78
41	Entre Ríos	C. del Uruguay	Peludert	39,70	3,60	5,8	49,16
42	Entre Ríos	C. del Uruguay	Peludert	50,90	3,20	7,4	41,94
43	Entre Ríos	C. del Uruguay	Ocracualf	30,50	3,20	6,8	44,00
44	Entre Ríos	C. del Uruguay	Peludert	32,50	5,18	5,8	46,10
45	Entre Ríos	C. del Uruguay	Peludert	30,00	3,77	6,3	43,00
46	Entre Ríos	Concordia	Hapludol	22,00	2,40	5,4	25,28
47	Entre Ríos	Concordia	Udifluvent	0,20	0,60	5,8	9,46
48	Entre Ríos	Paraná	Argiudol	39,90	2,50	6,3	52,02
49	Entre Ríos	Paraná	Peludert	30,20	4,75	6,4	49,57



TABLA 2: Efecto de las distintas concentraciones de P en la solución de suelo en equilibrio (concentración ajustada) sobre la cantidad de materia seca obtenida y la concentración de P en las plantas.

Suelo	Concentración ajustada de P mgP kg <sup>-1</sup>	Potencial fosfato	Cantidad de P agregado mgP kg <sup>-1</sup>	MS/maceta (*) g	Conc. P en MS mg g <sup>-1</sup> (*)
Argiustol (Bordenave, 7)	0,0	7,00	0,00	0,1547	3,16
	0,2	6,33	23,80	0,1612	5,92
	0,3	6,16	29,84	0,1586	6,54
	0,5	5,93	38,09	0,1600	6,84
	1,0	5,63	48,60	0,1484	7,62
Haplustol (Bordenave, 8)	0,0	6,75	0,00	0,1299	5,56
	0,2	6,33	11,88	0,1553	6,63
	0,3	6,15	16,97	0,1423	7,02
	0,5	5,93	23,19	0,1327	7,60
	1,0	5,63	31,67	0,1261	7,63
Natracualf (Cañuelas, 20)	0,0	6,73	0,00	0,0349	10,16
	0,2	5,93	14,88	0,1236	6,52
	0,5	5,53	22,32	0,0821	10,31
	1,0	5,23	27,90	0,0538	13,32
	2,0	4,93	31,48	0,0385	13,80
Natrabol (Cañuelas, 28)	0,0	7,00	0,00	0,2192	4,35
	0,2	6,25	18,21	0,2732	3,71
	0,3	6,07	21,59	0,2646	4,64
	0,5	5,85	27,93	0,2639	5,00
	1,0	5,55	35,22	0,2598	5,23

(\*) Promedio de tres repeticiones.

2) **Análisis de P de las plantas:** Se realizó mediante calcinación en mufla a 530°C, disolución de las cenizas en HCl 1N y colorimetría del complejo amarillo vanadofosfo-molibdico.

Utilizando una ecuación de regresión múltiple para relacionar los datos de arcilla, materia orgánica y pH de cada suelo, con la CRF se obtiene una ecuación de forma:

$$CRF = 21,886 + 0,851 (\% \text{ arcilla}) + 1,799 (\% \text{ materia orgánica}) - 2,519 (\text{pH}) \quad (1)$$

## RESULTADOS

De acuerdo con la Tabla 1, hay una variación relativamente baja en los tenores de arcilla, que oscila en general entre un 20 y 30 por ciento, excluyendo los casos extremos; lo mismo ocurre con el contenido de materia orgánica que se encuentra alrededor de un 3 por ciento, con valores máximos de 7,85 y mínimos de 0,60. El pH está alrededor de 6,0 para los suelos ácidos y 7,5 para los alcalinos. La CRF, tiene una medida de 33,10 mg P kg<sup>-1</sup> de suelo, con un valor máximo de 64,33 y un mínimo de 9,46 mg P kg<sup>-1</sup> de suelo.

esta expresión es significativa al 1 por ciento para las tres variables utilizadas, con un  $r = 0,874$  para los 49 suelos analizados.

Los valores de "concentración ajustada" de fósforo para los cuatro suelos utilizados, según la Tabla 2, dan como óptima la cantidad de 0,2 mg P L<sup>-1</sup> en la solución de suelo en equilibrio, pues a esta concentración se encuentran los valores más altos de materia seca, tanto usando ray gras para los suelos de Bordenave, como achicoria, para los suelos de Cañuelas (Fig. 2).

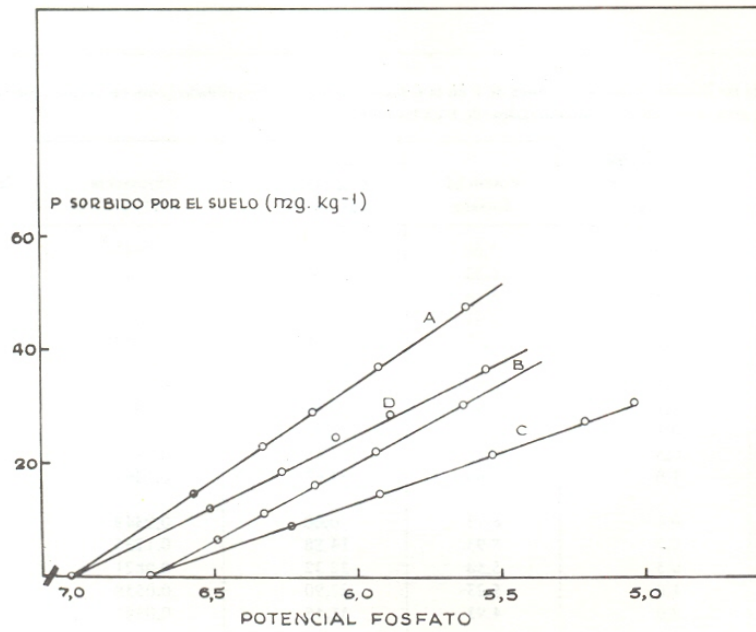


Fig. 1: Isotherma de sorción de P: A, Argiustol (7); B, Haplustol (8); C, Natracualf (20); D, Natralbol (28).

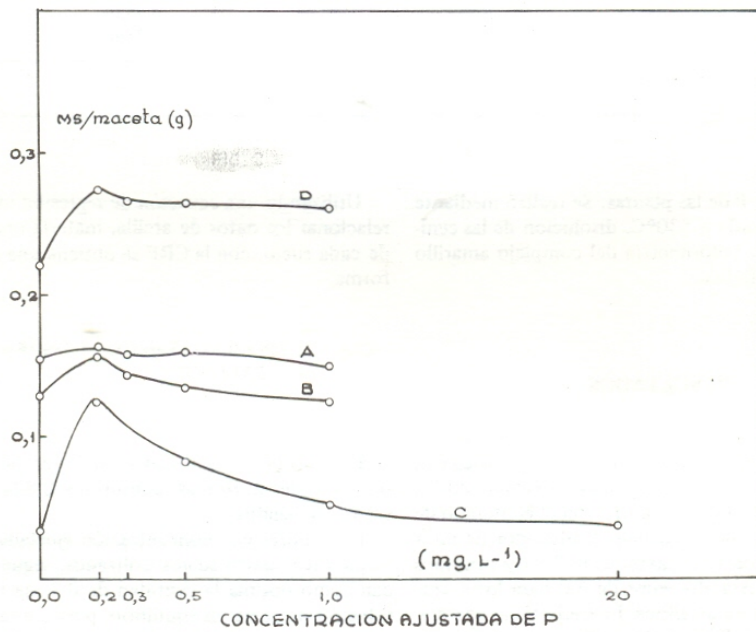


Fig. 2: Relación entre materia seca obtenida y "concentración ajustable" de P, en ensayo en macetas. A, Argiustol (7); B, Haplustol (8); C, Natracualf (20) y D, Natralbol (28).

## DISCUSION

La ecuación de regresión múltiple obtenida (1), confirma la asociación que existe entre los contenidos de arcilla, materia orgánica y pH, con la CRF del suelo. Particularmente con el primero de estos parámetros, se puede observar en la Tabla 1 que suelos con alto contenido de materia orgánica y arcilla, poseen una alta capacidad reguladora de fósforo y viceversa. El pH, dentro de los valores estudiados, influye negativamente sobre la CRF, como lo indica la ecuación (1).

Los minerales que constituyen la fracción arcilla en los suelos estudiados, son en general illitas (Scoppa, 1974; Lutens, 1982), y es éste probablemente el motivo fundamental para que la CRF no tenga grandes variaciones entre los suelos utilizados. En general dichos valores están dentro del nivel de los encontrados por Jensen (1970) para suelos de Dinamarca, los cuales oscilan entre 4,34 y 69,75 mgP.kg<sup>-1</sup> de suelo; en cambio Elrashidi y Larsen (1978) obtuvieron valores más altos, trabajando con suelo areno-limoso de Dinamarca (CRF de 92,70 mgP.kg<sup>-1</sup>), como con otro arcillo-arenoso de Tailandia (29,96) y con un tercero, arcillo-limoso de Egipto (75,1 mgP.kg<sup>-1</sup>).

La "concentración ajustada" de fósforo que más se adecúa a los requerimientos de las plantas es de 0,2 mg Pkg<sup>-1</sup>, tanto para ray gras como para achicoria (Fig. 2) y está de acuerdo con los datos encontrados por Beckwith (1965) y Fox y Kamprath (1970), aunque se probaron concentraciones mayores, (Mendoza, 1982; Ozanne y Shaw, 1968; Nishimoto et al., 1977). Rajan (1973) indicó que se deben agrupar los suelos según su CRF, para determinar su concentración ajustada de fósforo, pues encontró que los rendimientos máximos para suelos con CRF bajas correspondían a altas concentraciones ajustadas y a la inversa para los suelos con CRF altas, esto se debe probablemente a que no se tuvo en cuenta el efecto de la concentración de Cl<sub>2</sub> Ca usada para construir la isoterma de sorción de fósforo ni los complejos de fosfato de calcio que están presentes en la solución de suelo e interfieren con mayor o menor intensidad de acuerdo al pH del suelo usado, según lo demostrado por Jensen (1970). Por este motivo, al hacer el cálculo de la concentración de fósforo en la solución del suelo, hay

una sobreestimación del P, especialmente en suelos alcalinos, lo cual no ocurre si se utiliza para el cálculo el potencial fosfato. Esta sería la razón por la cual se obtuvo la misma concentración ajustada para los cuatro suelos utilizados. De los resultados de la Tabla 2 se deduce que concentraciones superiores de fósforo conducen a un rendimiento menor en la materia seca obtenida en el Natracualf y el Argiustol, posiblemente debido a algún desequilibrio mineral, pues las concentraciones de fósforo en la materia seca aumentan en detrimento de la misma. En los otros suelos no se observa este efecto, pues la materia seca permanece casi constante al aumentar la dosis de fósforo aumentando también la concentración de fósforo en la materia seca de las plantas, o sea que se produce un consumo de lujo.

## CONCLUSIONES

- a) De acuerdo con los datos obtenidos se puede decir que, para algunos suelos de la región pampeana, existe una estrecha relación entre el contenido de arcilla, materia seca y pH del suelo y la CRF, que puede expresarse a través de la ecuación:  $CRF = 21,886 + 0,851 (\% \text{ arcilla}) + 1,799 (\% \text{ materia orgánica}) - 2,519 (\text{pH})$ . Debido al predominio de la illita probablemente las CRF no han tenido grandes variaciones entre sí.
- b) La "concentración ajustada" de fósforo para los cuatro suelos estudiados, utilizando dos especies distintas, es de 0,2 mg.L<sup>-1</sup>. Dosis de fósforo superiores a la óptima son adversas en el Natracualf y el Argiustol respecto de la materia seca obtenida y en los otros dos suelos son superfluas.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Qco. Peter Daniel por su ayuda en el análisis estadístico de los resultados y al personal del Laquige, por los análisis de materia orgánica y arcilla.

## REFERENCIAS

- Beckett, P. H. T., and R. E. White, 1964. Studies on the phosphate potentials on soils. *Plant and Soil* XXI, 3: 253-282.
- Beckwith, R. S., 1965. Sorbed phosphate at standard supernatant concentrations as an estimate of phosphate needs of soils. *Aust. J. Anim. Husb.* 5: 52-58.



- Elrashidi, M. A. and S. Larsen, 1978. The effect of phosphate addition on the solubility of phosphate in soil. *Plant and Soil* 50: 585-596.
- Fox, R. L. and E. J. Kamprath, 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902-907.
- Fox, R. L. and B. T. Kang, 1978. Influence of phosphorus fertilizer placement and fertilization rate on maize nutrition. *Soil Sci.* 125: 34-40.
- Holford, I. C. R. and N. Patrick, 1979. Effects of reduction and pH changes on phosphate sorption and mobility in an acid soil. *Soil Soc. of Am. Journal*, 43: 292-297.
- Jensen, H. E., 1970. Phosphate potential and phosphate capacity of soils. *Plant and Soil*. 33: 17-29.
- Luters, J. A., 1982. Edafogénesis de la climosecuencia existente entre el sureste de la Provincia de la Pampa y el Litoral Atlántico. Tesis, Univ. Nac. del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- Mendoza, R. E., 1980. Adsorción de fosforo en el suelo y su relación con la producción de dos especies forrajeras. *Rev. Fac. Agron.* 1 (2): 19-30.
- Nishimoto R., R. L. Fox and P. E. Parvin, 1977. Response of vegetable crops to phosphorus concentrations in soil solution. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102: 705-709.
- Ozanne, P. G. and T. C. Shaw, 1968. Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soil phosphate, *Int. Cong. Soil Sci. Trans.* 9th. t. 2: 273-280.
- Parfitt, R. L., 1977. Phosphate adsorption on an oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 41: 1064-1067.
- Rajan, S. S. S., 1973. Phosphorus adsorption characteristics of Hawaiian soils and their relationship to equilibrium phosphorus concentration required for maximum growth of millet. *Plant and Soil* 39: 519-532.
- Richter M., 1981. Unterscheidbarkeit von Humusfraktionen in Böden bei unterschiedlichen Bewirtschaftung. *Z. Pflanzenern und Bodenk.* 144: 395-406.
- Schofield, R. K., 1955. Can a precise meaning be given to available soil phosphorus? *Soils and Fert.* 18: 373-375.
- Scoppa, C. O., 1974. The pedogenesis of a sequence of mollisols in the undulating pampa (Argentina). Tesis. State Univ. of Ghent, Bélgica.