

Retención de fósforo en suelos del sur y del norte de la región pampeana¹

Flavio H. Gutiérrez Boem^{a,b}, Maria Julia Cabello^a, Cesar Quintero^c y Gerardo Rubio^{a,b}

^a Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA.

^b INBA – CONICET

^c Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER

Introducción

En la Región Pampeana, las recomendaciones de fertilización fosforada se basan en los umbrales críticos de disponibilidad de fósforo en el suelo determinados para cada cultivo. Existen consistentes estimaciones de los umbrales críticos a partir de los cuales los cultivos satisfacen sus requerimientos de P, pero es insuficiente la información disponible para predecir la dosis necesaria en cada suelo particular para alcanzar esos umbrales críticos. Para el caso de soja y girasol, los umbrales críticos oscilan entre 8 y 13 (Bray 1) y para el caso de trigo y maíz entre 13 y 18 mg kg⁻¹ (Echeverría y García, 1998; Echeverría et al., 2002; García, 2003; Gutiérrez Boem et al., 2006). Si bien constituyen la base de la recomendación de fertilización, los umbrales críticos son insuficientes para determinar la dosis de fertilizante a aplicar. La información sobre umbrales debe ser complementada con modelos que permitan predecir la dosis necesaria en cada suelo particular para alcanzar esos umbrales críticos. La mayoría de los trabajos internacionales que trataron de construir modelos de este tipo, lo han hecho en base a suelos que presentaban una alta variabilidad en las características del suelo que hacen a la dinámica del P (ej. cantidad y tipo de arcilla) e incluso suelos que pertenecían a diferentes órdenes (Cox, 1994; Burkitt et al., 2002; Haden et al., 2007). Por lo tanto esa información no es tan útil para nuestros suelos agrícolas pampeanos, que presentan una relativa homogeneidad en su origen y en su mayoría pertenecen al orden Molisoles. Existen antecedentes de esta información para algunas áreas específicas de la Región Pampeana (Quintero et al., 2003), pero no existen modelos que abarquen una mayor amplitud geográfica.

En estudios previos, hemos determinado que la cantidad de P a agregar en un suelo para elevar su disponibilidad en 1 ppm (medida por el método Bray1) está relacionada con algunas características del suelo. Es necesario agregar más fósforo cuanto más arcilla tiene el suelo y cuanto menos P inicial tenga el suelo (Rubio et al., 2004, 2006, 2007, 2008). Además, hemos observado que los suelos del Sur de la región pampeana poseen mayor fijación de fósforo que los del Norte, es decir se requiere agregar más fósforo en los suelos del Sur que en los del Norte para elevar en 1 ppm la disponibilidad de fósforo (Rubio et al., 2008). No se sabe aún con qué característica del suelo se asocian estas diferencias entre zonas de la región pampeana. La dilucidación del origen de las diferencias halladas entre ambas subregiones permitiría ajustar el modelo ya desarrollado de requerimiento de fertilizante fosforado y enriquecer el conocimiento de la dinámica del fósforo en los suelos Pampeanos.

Se hipotetiza que el mayor requerimiento de fertilizante fosforado de los suelos del Sur de la región Pampeana se debe a características específicas de la fracción arcilla. Este trabajo tiene por objetivo evaluar la capacidad de retención máxima de los suelos y

¹ Informe correspondiente al Convenio específico entre la Facultad de Agronomía (UBA) y Fertilizar Asociación Civil (Exp.150029/08). Estos resultados se presentarán en el XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo a realizarse en Rosario en el 2010.

determinar qué características de los suelos explican la diferente retención de P observada en suelos del Norte y Sur de la región.

Materiales y métodos

Se utilizaron los 71 suelos de la región Pampeana analizados previamente en otro trabajo (Rubio et al. 2007, Fig. 1). En el trabajo previo se realizaron varias mediciones de propiedades del suelo: P disponible (Bray 1), carbono total, composición textural, pH, y dos índices de retención de P (Quintero et al. 1999 y Sims 2000). En cuanto al incremento de la disponibilidad de P (Bray1) por el agregado de P, se evaluaron muestras extraídas 45 días desde el momento de fertilización. Las dosis de fertilizante fueron 5 (0, 8, 16, 32 y 64 mg P kg⁻¹ de suelo). Se relacionó el incremento en el P disponible del suelo con la dosis de P agregado al suelo (Fig. 2). Para cada suelo se ajustó una regresión lineal simple $y = bx$, donde y es el incremento en P disponible (diferencia entre el P disponible a los 45 días en cada dosis de fertilizante agregado y el P disponible del tratamiento sin agregado de P), b es la pendiente y x es la dosis agregada de P (Fig. 2). El coeficiente b queda definido entonces como el incremento en el P disponible en el suelo ante la adición de un mg P kg⁻¹ en el suelo (1 ppm).

En este trabajo se completó la caracterización de los suelos con el objetivo de identificar las eventuales diferencias entre los suelos del Norte y del Sur de la región Pampeana que expliquen las diferencias en el *coeficiente b* observadas entre zonas en el trabajo previo. Se determinaron P total (digestión con ácido perclórico) y P orgánico (digestión seca), lo que permitió calcular el P inorgánico total por diferencia.

En 63 suelos se determinaron Aluminio amorfo y Hierro amorfo. Para ello se pesó 500 mg de suelo previamente tamizados a 100 mesh y se lo colocó en frascos plásticos de 50 ml con tapa. A cada frasco se le agregó 30 ml de una solución de oxalato de amonio (0.175M de oxalato de amonio y 0.1 M ácido oxálico) a pH 3. Se agitó por 2 horas en un agitador recíproco en completa oscuridad. Luego se filtró y colocó el extracto en envases plásticos oscuros. El contenido de Fe y Al en el extracto se determinó con un espectrofotómetro de absorción atómica (Loeppert & Inskeep, 1996).

En un subset de 18 suelos (9 de la zona Sur y 9 de la zona Norte) se determinaron curvas de adsorción de fósforo. Para ello se colocó 1 g de suelo en tubos plásticos para centrifuga de 50ml. En cada tubo se agregaron 25 ml de solución (0.02M CaCl₂) con 0, 5, 19, 15, 20, 40, 70, 100, 140 y 200 mg P l⁻¹ (KH₂PO₄). Luego se agregaron 2 gotas de

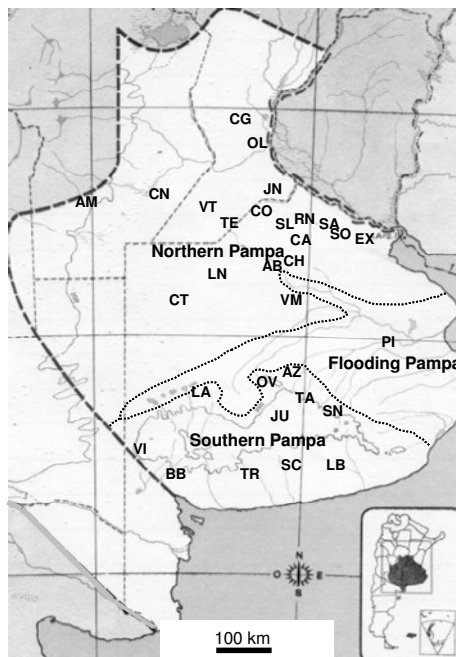


Figura 1: Sitios de donde se muestrearon los suelos (Rubio et al., 2008).

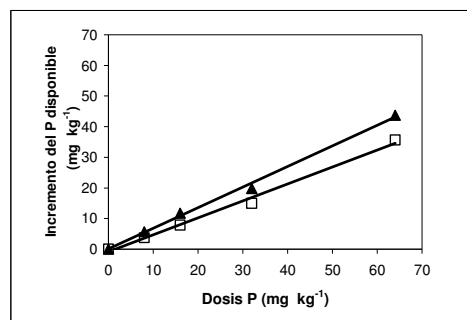


Figura 2: Incremento de la disponibilidad en función del agregado de P. La pendiente de cada recta es el 'coeficiente b' de ese suelo (Rubio et al., 2006).

cloroformo en cada tubo para inhibir la actividad microbiana. Se agitó durante 24hs a $25^{\circ} \pm 1$ en un agitador recíproco. Se centrifugó y filtró con membranas de $0.45\mu\text{m}$ de diámetro de poro. En la solución remanente filtrada se determinó el concentración de fósforo por colorimetría (Graetz & Nair, 2000). A partir de la diferencia entre el contenido de P en la solución remanente y el contenido de P en la solución inicial, se calculó el P adsorbido por el suelo. En cada suelo con los datos obtenidos de P en la solución remanente y el P adsorbido en el suelo, se ajustó la ecuación de Langmuir:

$$S = \frac{k \times S_{\max} \times C}{1 + k \times C}$$

Donde S es el P adsorbido (mg kg^{-1}), C es el P en la solución remanente (mg L^{-1}), $S_{\max}$ es la capacidad máxima de adsorción de P del suelo (mg kg^{-1}), y k es una constante relacionada con la energía de unión del P a las partículas.

Se analizaron las asociaciones entre variables medidas mediante análisis de correlación y regresión, y se compararon características de los suelos del norte y sur de la región mediante test de t de Student.

Resultados y Discusión

En la tabla 1 se muestran los contenidos de Al y Fe amorfo, y de P inorgánico total determinados en los suelos del norte y sur de la región.

Tabla 1: Contenido de Al y Fe amorfo y P inorgánico total en suelos del norte y sur de la región pampeana.			
	Al	Fe	P inorgánico
	----- mg g^{-1} -----		---- mg kg^{-1} ----
Suelos del norte			
Media	0.85	1.37	128
Desvío estándar	0.14	0.37	44
Mínimo	0.51	0.88	51
Máximo	1.31	2.68	218
n	37	37	42
Suelos del sur			
Media	1.21	1.94	125
Desvío estándar	0.29	0.77	56
Mínimo	0.61	0.58	34
Máximo	1.82	3.52	219
n	26	26	28
Test de t	----- valor de p -----		
Norte vs. Sur	<0.001	0.001	0.77

Los dos grupos de suelos no se diferenciaron en cuanto a su contenido de P inorgánico total. Por otro lado, se observó que los suelos del Sur tenían concentraciones de Al y Fe amorfo un 40 % mayor que las de los suelos del Norte. Este mayor contenido de Al y Fe estuvo relacionado con los menores valores de coeficiente b observados en los suelos del Sur en un estudio previo. En ese estudio los suelos del norte tuvieron un valor promedio de coeficiente b de 0.58 mientras que los en los del sur fue de 0.41 (Rubio et al., 2008). El

coeficiente b de los suelos se correlacionó negativamente con la concentración de Fe amorfo ($r = -0.83$, $p < 0.001$) y Al amorfo ($r = -0.60$, $p = 0.008$).

En el subset de suelos donde se evaluó la capacidad de adsorción de P, se observó que los suelos del sur tuvieron una capacidad máxima de adsorción de más del doble que los suelos del norte (Tabla 2, Figura 3). También difirieron en el poder buffer de P, presentado los suelos del sur valores mayores a los del norte (Tabla 2).

Tabla 2: Parámetros de las curvas de adsorción y poder buffer de fósforo de los suelos del norte y sur de la región					
	Parámetros de las curvas de adsorción		Poder buffer de P*		
	S_{max} mg kg ⁻¹	k	C=0	C=1	C=3.1
Suelos del norte					
Media	304	0.0716	20.3	17.6	13.4
Desvío estándar	92	0.0263	5.55	4.14	2.56
Mínimo	218	0.033	12.1	10.9	8.9
Máximo	507	0.121	29.1	24.1	17.0
n	9	9	9	9	9
Suelos del sur					
Media	704	0.0452	30.5	27.8	23.2
Desvío estándar	180	0.017	12.3	10.5	7.95
Mínimo	365	0.026	16.4	15.6	14.1
Máximo	960	0.072	57.9	51.1	40.2
n	9	9	9	9	9
Test de t	----- valor de p -----				
Norte vs. Sur	<0.01	0.02	0.04	0.02	<0.01
* PBP: Pendiente de la curva para distintos valores de C					

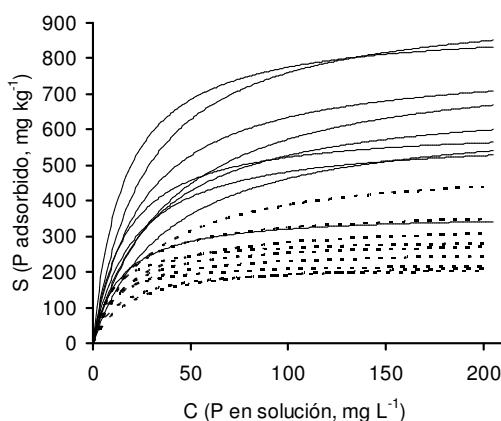


Figura 3: Curvas de adsorción para suelos del sur (líneas llenas) y del norte de la región (líneas punteadas).

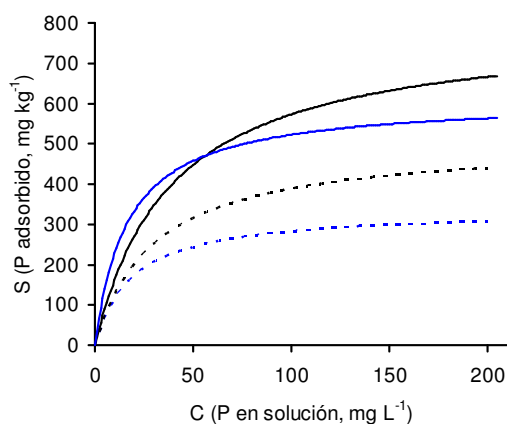


Figura 4: Curvas de adsorción para suelos del sur (líneas azules) y del norte (líneas negras), con 23% (azul) y 25% (negro) de arcilla.

Las diferencias observadas en las curvas de adsorción entre suelos de las dos zonas no se debieron a diferencias en el contenido de arcilla de estos suelos, ya que estas se mantuvieron cuando se compararon suelos de ambas zonas con el mismo contenido de arcilla (Figura 4).

La capacidad máxima de adsorber P ($S_{\max}$) de los suelos estuvo asociada a su contenido de Fe amorfo y al nivel de P disponible ($S_{\max} = -20.24 + 351.52 \text{ Fe} - 8.74 \text{ P}_{\text{Bray1}}$, $r^2 = 0.73$). En este grupo de suelos, los suelos de las dos zonas no diferían en sus niveles de P disponible ($p=0.59$). Por lo tanto, las diferencias en la capacidad máxima de adsorber P observadas entre suelos de las dos zonas estuvieron relacionadas con sus distintos niveles de Fe amorfo (Figura 5). El efecto del nivel de P disponible sobre la capacidad de adsorber P se debería a una mayor saturación con P en los suelos con mayor P disponible. A mayor nivel de P disponible, menor la capacidad del suelo de adsorber el P agregado.

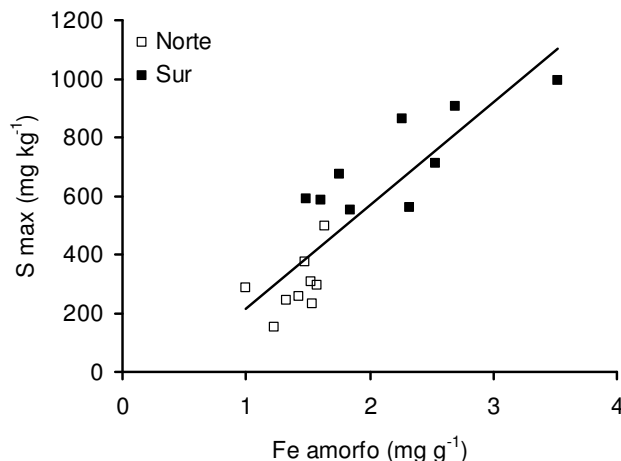


Figura 5: Relación entre la capacidad máxima de adsorción de los suelos y su contenido de Fe amorfo. Los valores de $S_{\max}$ fueron corregidos para un valor promedio de P_{Bray1} .

Las diferencias observadas en el poder buffer de P (PBP) de los suelos provenientes de las dos zonas estuvieron relacionadas con su contenido de Fe amorfo ($r = 0.87$).

El Fe amorfo comprende óxidos e hidróxidos de Fe no cristalinos (algunos autores la denominan Fe pseudocristalino), que están dentro de la fracción arcilla cuando se analiza la distribución de tamaño de las partículas del suelo (textura). Estos óxidos tienen mayor capacidad de adsorber fósforo que muchas arcillas cristalinas. Nuestros resultados muestran que los suelos del Sur tienen más Fe no cristalino en su fracción arcilla que los suelos del Norte, lo que sugiere que los suelos de una y otra zona presentan diferencias en los tipos de arcilla que predominan.

Estos resultados explican por qué en el estudio previo (Rubio et al., 2008) no se pudieron explicar las diferencias observadas en el 'coeficiente b' de los suelos del norte y sur de la región considerando sólo el contenido de arcilla, ya que los materiales que comprendían esta fracción en los suelos de una y otra zona diferían en su capacidad de adsorber fósforo.

Conclusiones

Los suelos del Sur de la región presentaron valores más altos de Fe y Al amorfo, así como también una capacidad de adsorber fósforo mucho mayor que los suelos del Norte de la región. La mayor capacidad máxima de adsorber fósforo que mostraron los suelos provenientes del Sur de la región se pudo explicar por su contenido de Fe amorfo. Esta característica también explicó las diferencias observadas en el poder buffer de fósforo de los suelos. Estos resultados explican por qué es necesario aplicar más fósforo para elevar la disponibilidad de fósforo en una ppm en los suelos del Sur que en los del Norte.

Referencias

- Burkitt, L.L., P.W. Moody, C.J.P. Gourley, and M.C. Hannah. 2002. A simple P buffering index for Australian soils. *Aust. J. Soil Res.* 40: 497-513.
- Cox, F.R. 1994. Predicting increases in extractable P from fertilizing soils of varying clay content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1249-1253.
- Echeverría E., G. Ferraris, G. Gerster, F.H. Gutierrez Boem y F. Salvagiotti. 2002. Fertilización en soja y trigo-soja: respuesta a la fertilización en la región pampeana resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar– INTA Campaña 2000/2001 y 2001/2002. EEA INTA Pergamino, 44 p.
- Echeverría H.E. y F.O. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín técnico 149, INTA, EEA Balcarce.
- García F.O. 2003. El manejo de fósforo en la producción de trigo y maíz. Simposio El fósforo en la agricultura argentina. INPOFOS, pág.55-61.
- Graetz, D.A. & V.D. Nair. 2000. Phosphorus sorption isotherm determination. pp. 35-38. En: G.M. Pierzynski (ed.) *Methods of Phosphorus analysis for soils, sediments, residuals and waters*. Southern cooperative series bulletin no. 396, North Carolina State University.
- Gutiérrez Boem, F.H., P. Prystupa & C.R. Alvarez. 2006. Comparación de dos redes de ensayos de fertilización fosforada de soja en la región pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta, Septiembre.
- Haden, V.R., Q.M. Ketterings, and J.E. Kahabka. 2007. Factors affecting the change in soil test P levels following manure and fertilizer application. *Soil Sci. Soc. Amer.J.* 71:1225-1232.
- Loeppert, R.H. & W.P. Inskeep. 1996. Iron. pp. 639-663. En: D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical methods*. Soil Science Society of America – Agronomy Society of America, Madison, WI.
- Quintero C.E., G.N. Boschetti & R.A. Benavidez. 1999. Phosphorus retention in some soils of the argentinean mesopotamia. *Com Soil Sci Plant Anal.* 30: 1449-1461.
- Quintero C., G. Boschetti y R.A. Benavidez. 2003. Effect of soil buffer capacity on soil test phosphorus interpretation and fertilizer requirement. *Comm Soil Sci Pl Anal*, 34:1435-1450.
- Rubio, G., F.H. Gutiérrez Boem & M.J. Cabello. 2004. ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? I. Cálculo a partir de propiedades básicas del suelo. *Informaciones Agronómicas (INPOFOS)*, agosto, no. 23, pp. 5-8.
- Rubio, G., M.J. Cabello & F.H. Gutiérrez Boem. 2006. Estimando la dosis de fósforo necesaria para alcanzar los niveles críticos. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta, Septiembre.
- Rubio, G., M.J. Cabello & F.H. Gutiérrez Boem. 2007. ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? II Cálculos para las zonas sur y norte de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (IPNI)*, no. 35, pp. 6-10.
- Rubio, G., M.J. Cabello, F.H. Gutierrez Boem & E. Munaro. 2008. Estimating available soil phosphorus increases after phosphorus additions in Mollisolls. *Soil Science Society of America Journal*, 72: 1721-1727.
- Sims J.T. 2000. A phosphorus Sorption Index. En G.M. Pierzynski (ed.) *Methods of P analysis for soils, sediments, residuals and waters*. Pg 22-23. USDA. Southern Cooperative series bulletin no. 396, North Carolina State University.