

Balance y Fertilidad Fosforada en Suelos Productivos de la Región Pampeana *

Mabel E. Vázquez

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP)

mevazquez@infovia.com.ar

Publicado en Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N°16, Diciembre 2002

Introducción

La región pampeana se caracteriza por poseer contenidos variables de fósforo total en función de su material original (Vázquez, 1986; Morrás, 1996 a y b; Díez et al., 2000). Sin embargo, la intensificación agrícola, el aumento considerable de los rendimientos y el bajo empleo de fertilizantes, han contribuido a generar deficiencias del elemento en zonas tradicionalmente bien provistas para gran parte de los cultivos extensivos. En el presente texto se desarrollarán algunos conceptos vinculados al balance neto total y de diferentes fracciones del P del suelo en sistemas productivos, con especial hincapié en la región pampeana argentina.

apatita es muy lenta, se la considera prácticamente un resistato (Ollier, 1975). En la Tabla I se muestran algunos datos de meteorización química de P citados en la literatura internacional, demostrándose que las cifras no superan el $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. Parte del P liberado a partir de los minerales primarios será incorporado a minerales secundarios, en especial de Fe, Al y Ca. Parte se adsorberá en óxidos y óxidos hidratados de Fe, Al, Ti y Mn, donde reemplaza a los OH^- , en las arcillas y el CaCO_3 , será incorporado a organismos vivos, se lixiviará en escasa proporción, o permanecerá en la solución del suelo.

1. Balance del Fósforo

1.1. Riqueza de los materiales originales.

Como se ha dicho, el contenido de P total en la región pampeana es variable. Esto ocurre en cierta medida por la diferencia de aporte a través de los materiales originarios. Morrás en 1996, valiéndose de los 1460 resultados de P total del trabajo de Lavenir (1910), elaboró mapas del contenido de este elemento, tanto para horizontes superficiales como subsuperficiales. Se asume que los horizontes más profundos reflejarían más fielmente los contenidos provistos por el material original, ya que éstos se encuentran menos afectados por la biota. A su vez, estos resultados permitirían una apreciación aproximada, a nivel regional, del contenido de P total con baja afectación antrópica, dada la fecha de su evaluación. En la Figura 1 se transcriben los resultados de Morrás (1996). Transformándolos a unidades de concentración en peso de P, la figura ilustra que la región poseía subsuperficialmente, desde 120,0 a 1200,0 mg kg^{-1} de P total aproximadamente.

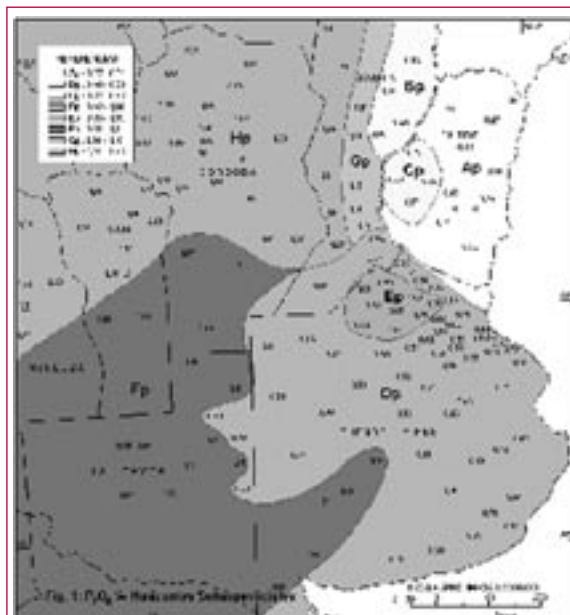


Figura 1. Contenido de P total en horizontes subsuperficiales (Morrás, 1996a).

Los valores mayores de este rango constituyen cifras considerablemente superiores a las encontradas en suelos bajo producción en la actualidad, en la mayoría de los casos.

1.2.- Meteorización.

La mayor parte del P en las rocas está como apatita, siendo ésta un componente minoritario. La meteorización de la

Tabla I. Meteorización química de P según diferentes autores.

UBICACIÓN	FUENTE	P ($\text{kg. ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)
South Carolina.USA	Gardner (1990)	0,05
Río Negro. Brasil	..	0,08
Amazonas. Brasil	..	0,14
Nueva Zelanda	Walkers y Syers (1976)	
Aluvión		0,06
Dunas arenosas		0,30
Lixiviados glaciares		1,00

1.3. Aporte de P atmosférico.

Se produce a través de las precipitaciones o mediante las deposiciones de partículas sólidas suspendidas en el aire por procesos erosivos eólicos o en forma de aerosoles (Tabla 2). Los procesos erosivos pueden significar pérdidas de P de importancia variable de acuerdo a la magnitud del proceso, a la vez que aportes igualmente variables en sus fases de deposición. Para ilustrar posibles flujos por vía eólica en la región pampeana, se utilizarán algunos resultados publicados por Aimar et al. (1996) y Hepper et al. (1996) (Tabla 3). Estas cifras ilustran cuál puede ser la dimensión del fenómeno en una región donde la erosión es relevante. El aporte de P vía aerosoles, es decir formando parte de partículas sólidas inorgánicas u orgánicas que permanecen en suspensión por un tiempo prolongado, es ilustrado en la Tabla 4.

Tabla 2. Deposiciones atmosféricas de P.

DEPOSICIONES ATMOSFÉRICAS DE P	
I.- PRECIPITACIONES (lluvia, nieve, granizo)	
Newman (1995) ---- P: 10 – 100 ug L ⁻¹	
Cálculos:	
PRECIPITACIÓN (mm año ⁻¹)	APORTE DE P (g año ⁻¹)
500	50 – 500
1000	100 – 1000
2.- PARTÍCULAS SÓLIDAS (aerosoles, erosión)	
FUENTE	APORTE DE P ATMOSFÉRICO (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)
Graham y Duce (1979)	0,5
Reichle (1981)	0,3 – 0,5
Parker (1983)	0,15 – 0,08
Mabberley (1992)	0,25 – 0,65

Tabla 3. Cálculo del flujo de P por vía eólica derivado de procesos erosivos en la región semiárida pampeana central

EROSION EÓLICA DE SUELOS REGIÓN SEMIARIDA PAMPEANA (RSPC) (Aimar et al., 1996)	
5800(Fr-A) 8440 (A) kg ha ⁻¹	
Estimativamente 11600 (fr-A) – 16880 (A) kg .ha ⁻¹ año ⁻¹	
CONTENIDO DE P TOTAL EN RSPC (suelos agrícolas) (Hepper et al. , 1996)	
	P (10 cm sup) (mg.kg ⁻¹)
Haplustol	617
Haplustol	530
Ustipsamment	540
MOVIMIENTO DE P POR VÍA EÓLICA EN RSPC (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	
Haplustol	7,2
Haplustol	6,2-9,0
Ustipsamment	9,1

1.4. Erosión hídrica

De la misma manera que se planteó la existencia de flujos atmosféricos de P, a causa de la erosión eólica, es posible efectuar cálculos debidos a la erosión hídrica. La Tabla 5 ilustra el posible impacto de la erosión en la Cuenca del Río Carcarañá sobre la pérdida de P, calculada a partir de los resultados de Maccarini (1996). La magnitud de las cifras consignadas son elocuentes para dimensionar el posible perjuicio de este proceso sobre el balance fosfórico.

1.5. Exportación a través de la producción.

Con el objetivo de dimensionar esta vía, en la Tabla 6 se realiza un cálculo aproximado de la pérdida de P,

Tabla 4. Origen de los aerosoles y algunos datos de aportes de P por esta vía.

Aerosoles
Fino spray a partir de océanos, ríos, etc.
Cenizas volcánicas
Fragmentos orgánicos (polen, restos vegetales, etc.)
Quemado de combustibles fósiles
Algunos Datos
Newman (1995): intercambio de P en canopías forestales
0,3 – 3,2 kg ha ⁻¹ año ⁻¹
Vitousek y Sanford (1986): intercambio de P en bosques tropicales
< 7,5 kg ha ⁻¹ año ⁻¹
Lewis et al. (1985): aporte de P vía polen en <i>Pinus contorta</i>
0,16 kg ha ⁻¹ año ⁻¹
Kaufman et al. (1994): quemado de <i>Eucalyptus sp.</i>
0,3 – 0,4 kg ha ⁻¹ año ⁻¹

Tabla 5. Cálculo de la pérdida de P producido por la erosión hídrica.

PÉRDIDAS DE P POR EROSIÓN HÍDRICA
Cuenca Nro. 3 del Río Carcarañá (Maccarini, 1996) (USLE)
29,90 – 122,72 tn ha ⁻¹ año ⁻¹ (Media: 43,5 tn ha ⁻¹ año ⁻¹)
Asumiendo contenido de P total de 500 mg kg ⁻¹
Pérdida: 21,75 kg ha ⁻¹ año ⁻¹

como promedio nacional, causada por la exportación de los principales cultivos, durante el período 1957-87. El cálculo señalaría una reposición de sólo 1 kg de cada 20 kg de P exportados por esta vía. El período señalado se caracterizó por un bajo consumo de fertilizantes: maíz, trigo, soja y girasol utilizaron, en promedio, 0,61 kg P/ha. En el período 1994-2001 (Tabla 7), a pesar de un aumento de aproximadamente 10 veces en el consumo de fertilizante (6,4 kg P/ha/año), el balance sigue siendo negativo. Actualmente se repondría 1 de cada casi 4 kg de P removidos.

García (2001) realizó estimaciones comparativas de la exportación y aplicación de P en suelos de la región pampeana para el período 97/99, revelando igualmente el saldo deficitario del elemento para la región mencionada. Cabría preguntarse cuál será la repercusión de las modificaciones cambiarias, en los años venideros. Por su parte la producción pecuaria, que en general es considerada menos extractiva, tiene igualmente incidencia negativa en la fertilidad fosforada. La producción lechera, en especial, provocaría pérdidas comparables a las agrícolas.

1.6. Lixiviación.

En la Tabla 8 se ilustra el proceso a través de información recogida en la literatura internacional. La escasa solubilidad de las sales fosforadas presentes en el suelo, incide en la baja concentración del elemento en la solución del mismo y, por ende, en sus posibilidades de lixiviación.

2. Cambios Cualitativos del P del Suelo

El P del suelo se encuentra bajo la forma de compuestos inorgánicos (Pi) y orgánicos (Po), con distintas proporciones relativas, de acuerdo a otros factores edáficos y del ambiente. Estos compuestos se encuentran interrelacionados con una dinámica variable. Las diferentes formas del P del suelo no constituyen entidades discretas, existen integradas y las transformaciones son dinámicas y continuas, restableciendo el

6. Cálculo de la reposición de P extraído por la producción a través de la fertilización (1957/87). Fuente: SAGPyA

BALANCE DE P (1957-1987)	
Producción (maíz, trigo, soja)	750 mill. tn grano (25 mill. tn/año)
↓	
Exportación	2,25 -3 mill.tn P
Uso de fertilizantes	367.000 tn P (30% cultivos extensivos)
↓	
140.000 tn P	
Exportación neta	2,14 - 2,89 mill. tn P
Superficie agrícola 20 mill ha	
Pérdida 107- 145 kg P ha ⁻¹	
REPOSICION 1 DE CADA 20 kg P	

equilibrio. Las distintas formas de Pi y Po pueden ser estimadas a través de extracciones con ácidos y álcalis. A continuación ilustraremos con algunos ejemplos de la región pampeana, las modificaciones registradas en los contenidos de P total, así como en sus componentes inorgánicos y orgánicos, bajo actividad productiva.

En un trabajo realizado en suelos de la Serie Calsilda (Vázquez et al., 1991) se evaluaron 3 lotes con diferente intensidad de uso (Tabla 9). Los resultados son significativos, acerca del deterioro de la fertilidad química general y especialmente fosforada. Tanto el P total como el extractable (Pe) han sufrido un detrimento, cuantitativamente muy importante, a causa del uso. Sin embargo, el contenido de Pe del lote "C" se encuentra aún por sobre los niveles críticos de respuesta al agregado de P para la mayoría de los cultivos, especialmente extensivos. En estos casos, el deterioro será inadvertido por el productor. También se realizó la extracción secuencial de Hedley et al. (1982) (Tabla 10), con evaluación de P en resina de intercambio (RA), Pi/Po-NaHCO3 (Bi/Bo) y Pi/Po-NaHO (HOi/HOo). Estos contenidos son considerados decrecientes, en el sentido expuesto, en su aptitud para restablecer P a la solución del suelo.

Como se aprecia en la Tabla, el P en los extractos de RA así como Bi/Bo, disminuyeron en cantidades absolutas con la intensidad de uso de los suelos. Sin embargo, mientras que las formas más lábiles como

Tabla 7. Cálculo de la reposición de P extraído por la producción a través de la fertilización (1994/2001). Fuentes: SAGPyA, SENASA

Balance de P (1994-2001)	
Producción (maíz, trigo, girasol, soja)	282 mill. tn grano (40 mill. tn/año)
↓	
Exportación	1,28 mill.tn P
Uso de fertilizantes (40 % cultivos extensivos)	898.440 tn P
↓	
359.400 tn P	
Exportación neta	0,92 mill. tn P
Superficie agrícola 20 mill ha	
Pérdida 46 kg P .ha ⁻¹	
Reposición 1 de cada 3,6 kg P	

Tabla 8. Algunos datos bibliográficos acerca de la lixiviación de P.

Pérdidas de P por Lixiviación	
Bruijnzeel (1990): bosques tropicales	→ 0,01 - 0,7 kg ha ⁻¹ año ⁻¹
Crips (1996): pasturas no fertilizadas	→ 0,4 kg ha ⁻¹ año ⁻¹

Balance y Fertilidad Fosforada

RA y Bi lo hacen también en forma relativa al P total, Bo, OHi y OH o crecen porcentualmente respecto del contenido total y HOo lo hace, también, en forma absoluta. Es decir que estos suelos han perdido cantidades totales de P muy importantes. Lo que puede ser aún más inquietante, empero, es que el remanente se torna biológicamente menos disponible. De esta forma se verifica un cambio cuali-cuantitativo, en detrimento de la fertilidad fosforada.

Sobre los mismos suelos se realizaron 2 ensayos consecutivos de invernáculo, utilizando tomate (*Lycopersicon esculentum*) como planta índice. Los resultados demostraron que el contenido de P de los diferentes extractos asocia muy significativamente con variables vegetales (% P, Peso seco) en sentido positivo, a excepción del HOo donde la asociación es negativa. Se reafirma así que los suelos que padecen un deterioro de la fertilidad fosforada pueden producir aumentos de esta fracción, poco activa para restituir P a la solución del suelo.

Vázquez et al. (2001) realizaron un trabajo sobre diferentes suelos de la pradera pampeana (Argiudol Típico, Éntico y Vértico; Hapludol Thaptoárgico y Típico) consignando para cada serie taxonómica un lote de referencia, sin actividad productiva, constituido por montes, parques de cascos o bajo alambrados y un lote con uso agrícola (A), pastoril (B) o forestal (F). A partir de los resultados se evidenciaron 3 grupos de suelos. El primero con un saldo negativo del P total,

cuantitativamente de gran importancia, un grupo intermedio y el tercero, con un saldo ligeramente positivo. Los suelos más deteriorados fueron los de Pergamino, Saladillo y Gral. Pinto. En el primer caso la pérdida fue de las 2/3 partes del P total, respecto de la referencia. Los suelos de Gral. Belgrano, Barrow, Tandil y Los Hornos tuvieron saldos ligeramente positivos debido a la fertilización. La Figura 2 muestra las fracciones del P para los 2 grupos más diferenciados de suelos.

Tanto en los suelos con aumento o disminución del P total, el de las fracciones lábiles y moderadamente lábiles (RA, Bt, OHT) (Figura 2(1)) fueron, en promedio, de alrededor del 40%, confirmando los resultados encontrados por otros investigadores. Las fracciones inorgánicas medidas en los mismos extractos (RA, Bi, HOi) (Figura 2 (3)) representaron cerca del 20 % del Pi total, también en ambos casos. Las fracciones orgánicas, en cambio, alcanzaron el 54% del P orgánico total, en promedio para los suelos con balance negativo y 87% para aquellos con balance positivo (Figura 2(4)). En el caso de los suelos con pérdida de P total, ésta última proporción es mayor para la situación de uso respecto de la de referencia, confirmando lo expresado con anterioridad en el suelo de Carcarañá. Las fracciones lábiles (RA, Bi, Bo) (Figura 2(2)) son inferiores en los suelos con pérdida de P total. En los suelos con mayor pérdida, éstas ocurrieron en los extractos NaHO, NaHCO₃ y RA, en ese orden, confirmando

Tabla 9. Contenido de Carbono, Nitrógeno, pH, P extractable (Bray-Kurtz) y P total en 3 situaciones de uso en suelos de Carcarañá. (Vázquez et al., 1991).

Evolución de Parámetros Químicos en Suelo de Carcarañá			
A: pastura permanente			
B: situación intermedia (30 años agricultura continua, 4 años de pastura, 10 años de agric. continua)			
C: más de 50 años de agricultura continua			
	SITUACIONES		
	A	B	C
C (%)	2,8	1,4	1,3
N (%)	0,33	0,13	0,11
PH	6,4	6,0	5,6
P extractable (mg kg ⁻¹)	301	57	38
P total (mg kg ⁻¹)	2250	598	380

Tabla 10. Fraccionamiento de P en suelos de Carcarañá. A: pastura permanente, B: situación intermedia, C: más de 50 años de agricultura continua. Los datos porcentuales (%) están expresados respecto de P total (Vázquez et al., 1991).

Situación	Resina		NaCO ₃				NaOH			
	Pi		Pi		Po		Pi		Po	
	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%
A	470	20,9	200	8,9	27	1,2	303	13,4	54	2,4
B	48	8,1	23	3,8	22	3,6	68	11,4	109	18,1
C	38	9,8	22	5,8	19	5,0	66	17,4	82	21,4

la mayor estabilidad de estos últimos por continuas incorporaciones del elemento, a través de flujos internos en el suelo.

Si bien las mediciones de P extractable (Métodos de Bray-Kurtz, Olsen y Resina de Intercambio) reflejaron los aumentos y las pérdidas, pueden ser índices de baja eficiencia para expresar la magnitud de dichas pérdidas: aún en estos casos, podrían registrar valores cercanos o superiores a los límites críticos para el agregado de fertilizantes.

Hepper et al. (1996) y Diez et al. (2000) realizaron estudios sobre suelos no fertilizados y fertilizados de otras áreas de esta región. Sus resultados muestran puntos comunes con la experiencia descrita, pero ponen en evidencia algunas diferencias, posiblemente emanadas de las distintas condiciones edafo-climáticas y de uso, en el caso de los lotes en producción.

Palabras Finales

A lo largo de esta presentación se han discutido distintas fuentes de ganancia y pérdida del P del suelo. Los resultados indican que los aportes serían reducidos por la vía de la meteorización, generalmente escasos y de gran fluctuación en el caso de la vía atmosférica y sumamente variables a causa de las sedimentaciones, originadas por procesos erosivos. La fertilización fosfórica ha tenido una evolución histórica favorable en lo que a reposición del elemento se trata, pero de todas maneras insuficiente para restablecer la fertilidad natural de los suelos. Los estudios llevados a cabo en la región pampeana demuestran que la acción antrópica (producción, fertilización) produce cambios cuantitativos globales, a la vez que modificaciones en las cantidades relativas de las distintas fracciones del P, ya sea inorgánico como orgánico, afectando su disponibilidad. Estas modificaciones estarían reguladas, también, por otras variables edafo-climáticas así como por las características del uso de los suelos. En el futuro será necesario profundizar acerca del conocimiento de las variaciones de la disponibilidad de P en la región, en un marco de balances negativos del elemento, si se pretenden sistemas productivos sustentables.

Bibliografía

- **Diez A; Zamuner E; Picone L. y Berardo A.** 2000. Efecto de la aplicación de dosis única o fraccionada de fertilizante fosfatado sobre el fósforo del suelo. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACs., Mar del Plata, Buenos Aires.
- **García F.** 2001. Balance de P en los suelos de la región pampeana. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 9:1-3.
- **Hepper E.N; Hevia G; Buschiazzi D; Urioste A.M. y Bono A.A.** 1996. Efectos de la agricultura sobre fracciones de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana central argentina. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACs., Santa Rosa, La Pampa.
- **Morrás H.** 1996 (a). Diferenciación de sedimentos superficiales en la región pampeana en base a los contenidos de fósforo y potasio. Acta VI Reunión Argentina de Sedimentología, p. 34 – 42. Bahía Blanca, Buenos Aires, 16-27 de mayo.
- **Morrás H.** 1996 (b). Influencias litológicas y climáticas en los contenidos de fósforo en los suelos pampeanos. Acta XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Comisión 2, trabajo 41 (CD-Rom). Aguas de Lindoia, Brasil, 4-8 de agosto.
- **Vázquez Mabel E.** - 1986 - Evolución estacional del fósforo extractable del suelo en agrosistemas de la Prov de Bs As. Rev. A.A.C.S. 4 (1) : 7-14.
- **Vázquez M; Noellemeyer E. y Coremberg P.** 1991. The dynamics of different organic and inorganic phosphorus fractions in soils from the south of Santa Fe province, Argentine. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22 (11 & 12): 1151 – 1163.
- **Vázquez M.E; Pellegrini A; Millán G. y Deak A.** 2001. Cambios cuali y cuantitativos en la fertilidad fosforada de algunos suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Agrochimica, XLV (3-4): 120 – 123.

Figura 2. Proporciones de distintas fracciones de P (método de Hedley et al., 1982) en diferentes suelos de la provincia de Buenos Aires (Vazquez et al., 2001).

