

MANEJO DEL FÓSFORO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PAMPEANOS

Angel Berardo

Docente Facultad de Ciencias Agrarias - EEA INTA Balcarce

CC 276 (7620) Balcarce

Director Técnico Laboratorio de Suelos FERTILAB

aberardo@laboratoriofertilab.com.ar

www.laboratoriofertilab.com

El fósforo (P) y el nitrógeno (N) son los dos nutrientes que con mayor frecuencia condicionan la producción de los cultivos y de las praderas en la Región Pampeana, siendo el azufre (S) otro elemento cuya deficiencia se está generalizando cada vez más.

La intensificación de la agricultura, con la gran expansión del cultivo de soja y del doble cultivo trigo-soja, así como los rendimientos de los cultivos progresivamente más elevados, han y continúan acentuando el empobrecimiento de nutrientes en los suelos, junto con una pérdida de la materia orgánica en los mismos.

Si bien la adopción de la siembra directa en la última década está atenuando los procesos de degradación física de los suelos, no ocurre lo mismo con la disminución en la disponibilidad de nutrientes. Esto debe atribuirse a que este sistema de labranza no ha sido complementado por un adecuado manejo de la fertilización que tenga en cuenta también los mayores requerimientos nutricionales de los cultivos y de las pasturas.

En el **Cuadro**, a título de ejemplo, se indican valores orientativos de extracción de P correspondientes a algunas rotaciones agrícolas con distintos niveles de producción o a sistemas ganaderos dentro de la Región Pampeana.

De la misma forma pueden estimarse niveles de extracción de otros nutrientes, como S, con valores levemente inferiores a los de P y de N con un consumo de 5 a 8 veces superiores al de P.

Estos niveles de extracción indican con claridad que el suelo, principalmente a través de la mineralización de la materia orgánica, sigue siendo la fuente principal de nutrientes en los sistemas de producción actuales. En efecto, la pérdida de 1% de materia orgánica en la capa arable (0-20 cm) implica aproximadamente una mineralización de los nutrientes más críticos (N, P, S) del orden de:

N: 1200 a 1400 kg/ha; P: 100 a 120 kg/ha S: 80 a 100 kg/ha

Dentro de la Región Pampeana, en la mayoría de las situaciones se ha producido una reducción de la mayor proporción de la materia orgánica más fácilmente mineralizable con una pérdida de nutrientes de hasta 2 y 3 veces superior a los valores indicados.

Varios estudios realizados en los suelos de la región (Hepper et al. 1996; Vazquez, 2002) evidencian pérdidas importantes tanto del P total como principalmente de las fracciones más lábiles inorgánicas y orgánicas.

El proceso de extracción de nutrientes de los suelos junto con la pérdida de materia orgánica se ha incrementado con la expansión de la soja, cultivo de altos requerimientos de nutrientes, baja reposición de residuos y que recibe mínima fertilización.

Este cultivo no manifiesta respuestas a la fertilización tan importantes como ocurre con los cereales, tal vez por su alta capacidad de extracción de P de los suelos, pero igualmente provoca su empobrecimiento y deterioro por las razones ya mencionadas.

Frente a esta situación resulta imprescindible producir cambios fundamentales en el manejo de la fertilización, insertándola eficientemente dentro de la rotación y utilizando en lo posible niveles de aplicación que tengan en cuenta también el requerimiento de nutrientes.

En la actualidad los métodos de diagnóstico utilizados para la fertilización por lo general consideran sólo el cultivo en cuestión, sin tener en cuenta a los que le siguen en la rotación; por lo tanto las dosis utilizadas resultan insuficientes, principalmente en los suelos más degradados y en los cultivos con altos rendimientos, tal como lo indican algunos resultados experimentales preliminares (H. Ghio: com. personal).

Este enfoque de fertilización de los cultivos dentro de la rotación debe ser considerado y evaluado en futuras investigaciones (Loewy 2002), principalmente para nutrientes como el P, por su alta residualidad y eficiencia en los molisoles de la región pampeana (Berardo y Grattone, 1998; Berardo y Marino, 2000; Boschetti et al., 1996). Debe señalarse que el S presenta cierta residualidad, principalmente por su reciclaje a través de los rastrojos, ocurriendo lo mismo aunque en menor magnitud con el N.

El manejo adecuado de la fertilización, junto con prácticas o sistemas de labranzas conservacionistas, pueden restituir al menos en parte la materia orgánica de los suelos, reservorio fundamental de nutrientes como el N, P y S y componente esencial que afecta la fertilidad y la productividad de los suelos.

Estimaciones recientes sobre el consumo de nutrientes (García 2001; García et al. 2002) indican que, si bien en la última década se ha triplicado el consumo de fertilizantes, el balance de nutrientes (que considera la extracción por los granos o forrajes y la reposición mediante el aporte de fertilizantes) sigue siendo negativo. Para el caso de P, con un consumo de 150.000 t se alcanza una reposición algo superior al 50% de la cantidad exportada por los granos. Para N las pérdidas son de mayor magnitud con una reposición de sólo el 25-30 %, siendo aún más críticas para S cuya aplicación es aún muy incipiente.

Debe destacarse que solamente la soja, por su alto requerimiento de P extrae más del 50 % (150.000 t) del P total exportado por los granos (280.000 t); sin embargo la fertilización de este

cultivo está poco difundida y con dosis reducidas; por lo tanto, en áreas donde se siembra soja con mayor frecuencia en la rotación, el balance del P es altamente negativo, dando lugar a un marcado empobrecimiento de este nutriente en el suelo.

En la **Figura 1** se presentan las relaciones entre los niveles de disponibilidad de P (P Bray) y la concentración de P en grano de los principales cultivos (trigo, maíz, girasol y soja) y en la MS de las pasturas consociadas, obtenidas a partir de datos experimentales; se indican además niveles orientativos de extracción de P por t de grano o de forraje correspondientes a situaciones hídricas normales, y con cierta variación en cada uno de acuerdo al contenido de P disponible en el suelo (Ps).

Cuadro Nivel de extracción de P (N y S) en distintos sistemas de producción. (Berardo y colab. 2001).

Rotación	P (ppm)	Rendimientos (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	P total (kg ha ⁻¹)	Eq. SFT (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	S (kg ha ⁻¹)
T-G	10-15	3500-1800	10+7	17	85	100	10
T-G	15-20	5000-2500	17+13	30	150	130	13
(G o S) T-M	15-20	2500-4500-8000	13 a 15+17+24	55	275	240	25
S-T/S 2 ^a M	15-20	3500-4500/2500-8000	20+16/15+24	75	375	300	35
S-T/S 2 ^a M c/Riego	25-30	4000-5500/3500-1100	24+20/21+35	100	500	400	45
Pastura - Pastoreo		6000-8000	2-2.5	2-2.5	10-15	10-12	1.5-2
Corte		8000-10000	20-25	20-25	100-125	250	15

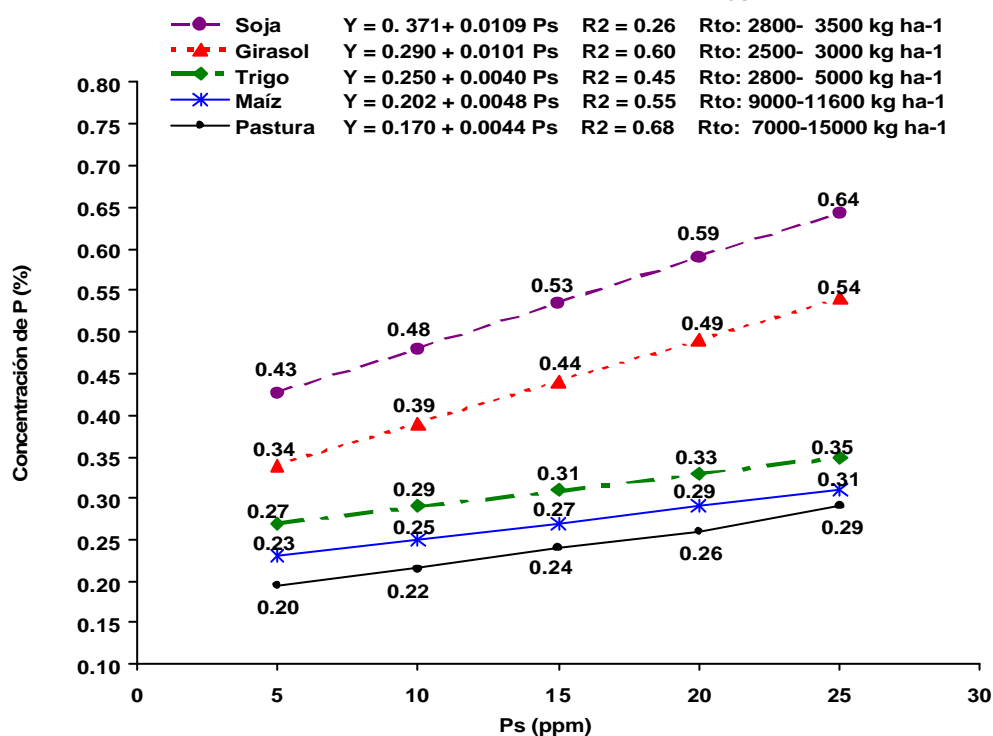


Figura 1: Relación entre el contenido de P Bray y la concentración de P en grano (cultivos) o en la materia seca total acumulada (pasturas consociadas). (Berardo y colab., 2001).

El girasol y la soja que, tal como se indica en forma general en la **Figura 2** responden menos a la fertilización fosfatada, son cultivos (oleaginosas) de altos requerimientos de P y por lo tanto empobrecen al suelo si este nutriente no se repone con la fertilización en el mismo cultivo o en cualquier otro que los antecede en la rotación, aprovechando de esta manera la residualidad del mismo.

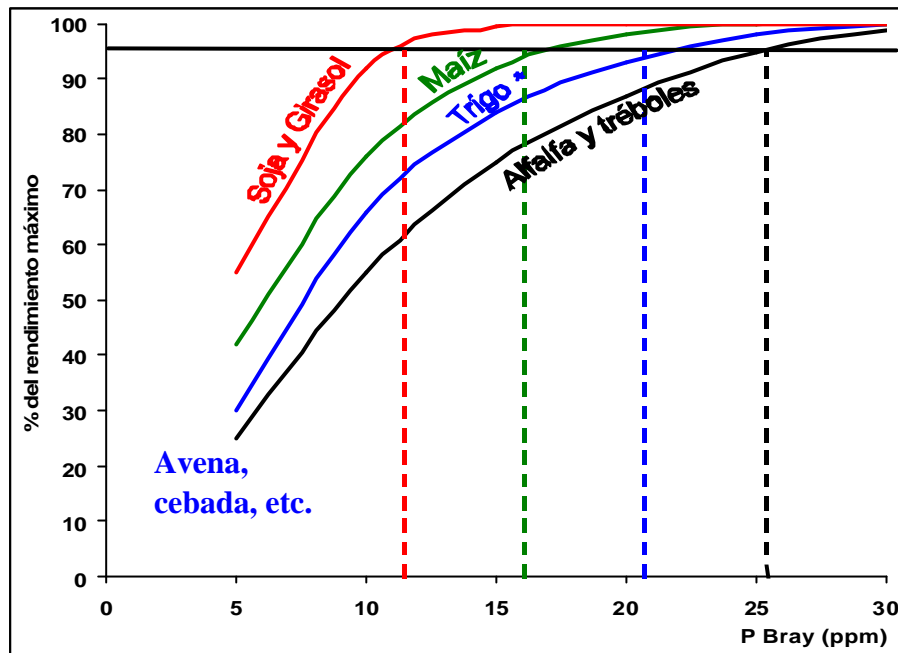


Figura 2: Relación entre los contenidos de P disponible (P Bray I) y los rendimientos relativos de los cultivos.

La residualidad del P puede cuantificarse tanto a través de los cambios de las distintas fracciones de P disponible (formas lábiles de P inorgánico y orgánico), como también a través de los rendimientos en los años posteriores a su aplicación, en cultivos y en pasturas. Si bien esta última forma es de mayor utilidad agronómica, el análisis de alguna fracción lábil de P en el suelo (ej. P Bray) es un parámetro sensible y de fácil evaluación. Sin embargo, éste análisis evalúa solamente una fracción (generalmente proporcional) del P residual que puede ser utilizado por los cultivos. Un ejemplo de las distintas fracciones lábiles de P inorgánico y orgánico modificadas por la fertilización se indica en la **Figura 3** (Picone et al. 1999); los incrementos de cada una de ellas si bien son variables, resultan de una magnitud sustancial.

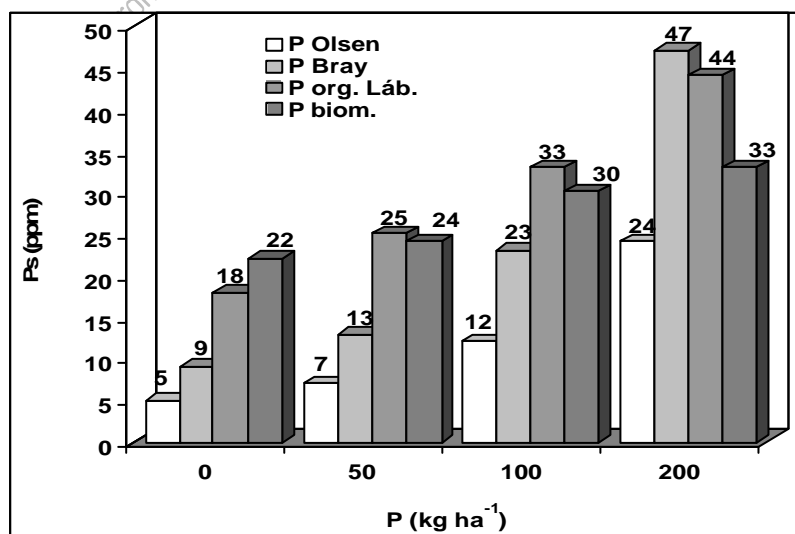


Figura 3: Efecto de la fertilización fosfatada sobre distintas fracciones de P lábil en un suelo bajo pastura. Picone, Zamuner y Berardo, 1999.

Por otra parte debe destacarse que, si bien los incrementos en el contenido de P Bray estiman sólo una fracción del P disponible proveniente de la fertilización, lo importante es la relación existente entre los contenidos de P y los rendimientos de los cultivos, con la correspondiente respuesta a la aplicación de P.

Los ensayos de larga duración realizados en un mismo sitio donde se generan contenidos variables de Ps por fertilizaciones previas, son los más adecuados para estudiar tales relaciones, ya que eliminan los efectos de otros factores de suelo, de manejo y climáticos que suelen afectar también los rendimientos y la respuesta a P cuando los ensayos se realizan en distintos lugares.

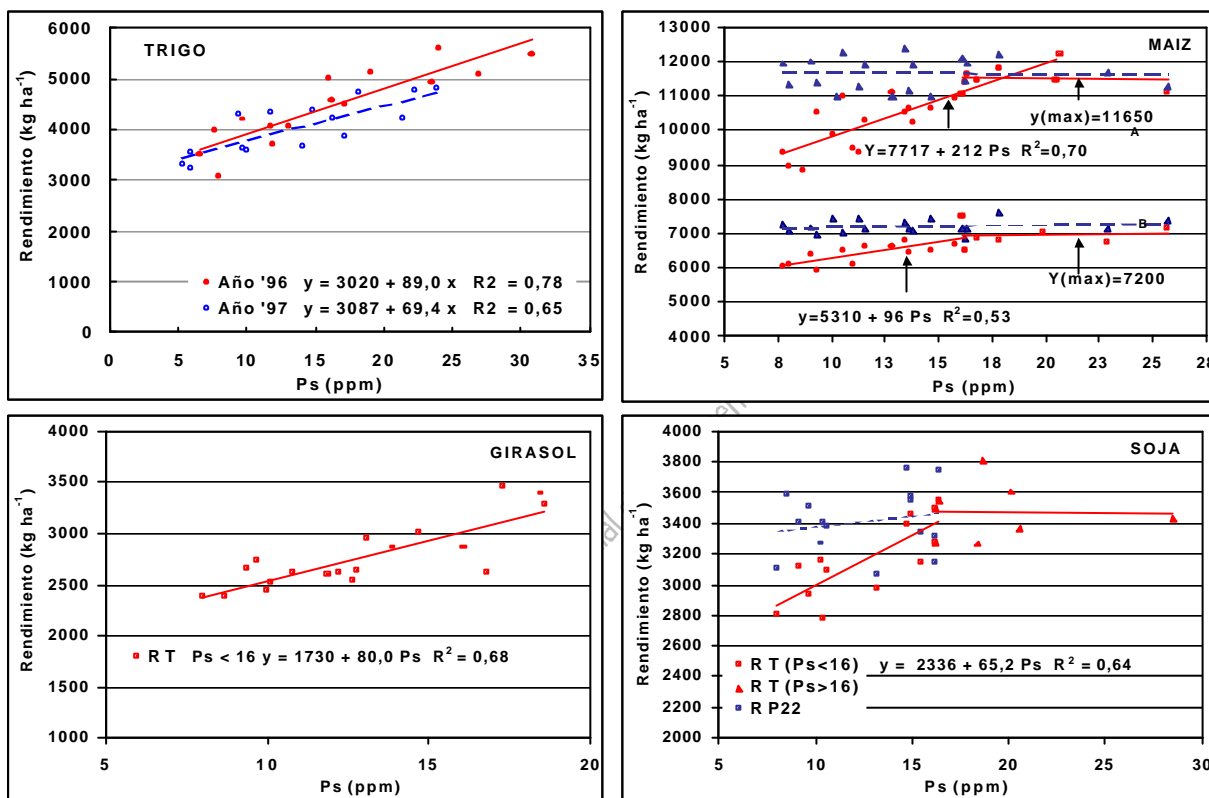


Figura 4: Relación entre los contenidos de P Bray (Ps) y los rendimientos de los cereales (trigo y maíz) y de las oleaginosas (girasol y soja). Berardo et al., 2001.

A partir de experimentos de estas características se obtuvieron las relaciones entre los contenidos de Ps (P Bray) y los rendimientos de los cultivos de trigo (Berardo et al., 1998), maíz, girasol y soja (Berardo et al., 2001) (Figura 4), de pasturas consociadas y de alfalfa (Berardo y Marino, 2000) (Figura 5) en molisoles del sudeste bonaerense que constituyen casos reales de lo indicado en forma general en la Figura 2.

Estas relaciones, que para un mismo tipo de suelo presentan cambios de acuerdo al nivel de rendimientos (ej. maíz), contribuyen a manejar más eficientemente el P en cada sistema, con el cuidado de mantener niveles de Ps que no afecten los rendimientos de cada cultivo dentro de la rotación. Así, para maíz en secano y bajo riego se alcanzaron rendimientos máximos de 7200 y 11500 kg ha⁻¹ con 14 y 20 ppm de P; por debajo de estos valores la producción se redujo en 96 y

212 kg ha⁻¹ por cada unidad de Ps, alcanzando con 7 a 8 ppm de Ps valores de 6000 y 9500 kg ha⁻¹ en cada caso, respectivamente. Para los otros cultivos y pasturas, los coeficientes lineales de las regresiones que se indican en cada uno estiman los cambios en los rendimientos con relación al contenido de Ps. Pueden evidenciarse además para los rendimientos obtenidos en cada caso, los niveles de Ps con los cuales se alcanzan los valores máximos.

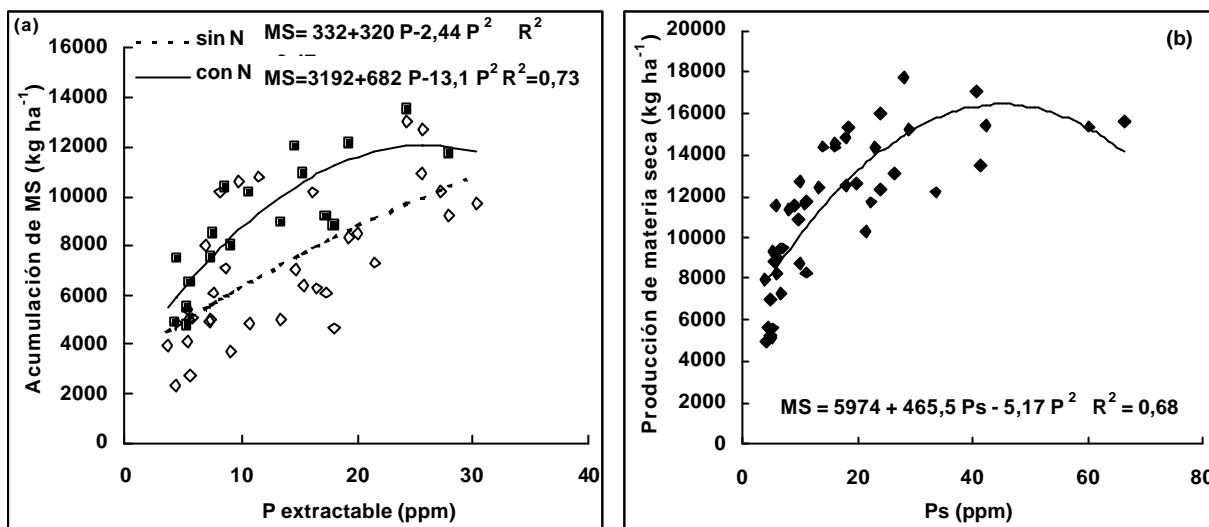


Figura 5: Relación entre los contenidos de P Bray (Ps) y la producción de forraje en pasturas consociadas (a) con y sin nitrógeno y en alfalfa (b). Berardo y Marino, 2000 a

La fertilización debe ser prioritaria en los cultivos que manifiestan mayores respuestas a P dentro de la rotación (trigo, maíz, pasturas), con dosis adicionales (parciales o totales) para cubrir los requerimientos de los cultivos de oleaginosas que le siguen en la rotación. Esta es una estrategia que tiende a mejorar el conjunto de prácticas que hacen al manejo y a la aplicación de P para incrementar su eficiencia. De no utilizarse en este planteo dosis de fertilización que tengan en cuenta los niveles de extracción de P del conjunto de los cultivos dentro de la rotación, el nivel de Ps seguirá disminuyendo.

A título de ejemplo, para Balcarce en un argiudol de textura franca y con 5,5 a 6% de materia orgánica, se ha encontrado bajo monocultivo de trigo una disminución anual de 1 ppm de Ps por cada 9 kg de P de balance negativo; contrariamente, con balances positivos se produce un enriquecimiento del P disponible. La magnitud de estos cambios, que varía además según el tipo de suelo y constituye el efecto residual del P, será analizada más adelante.

Por lo tanto, además de los estudios que evalúan las relaciones indicadas con anterioridad para cada cultivo y para pasturas, también son fundamentales para mejorar el manejo del P los relacionados con su residualidad. Los resultados obtenidos al respecto hasta el presente manifiestan la alta residualidad y recuperación del P aplicado tanto en cultivos como en pasturas.

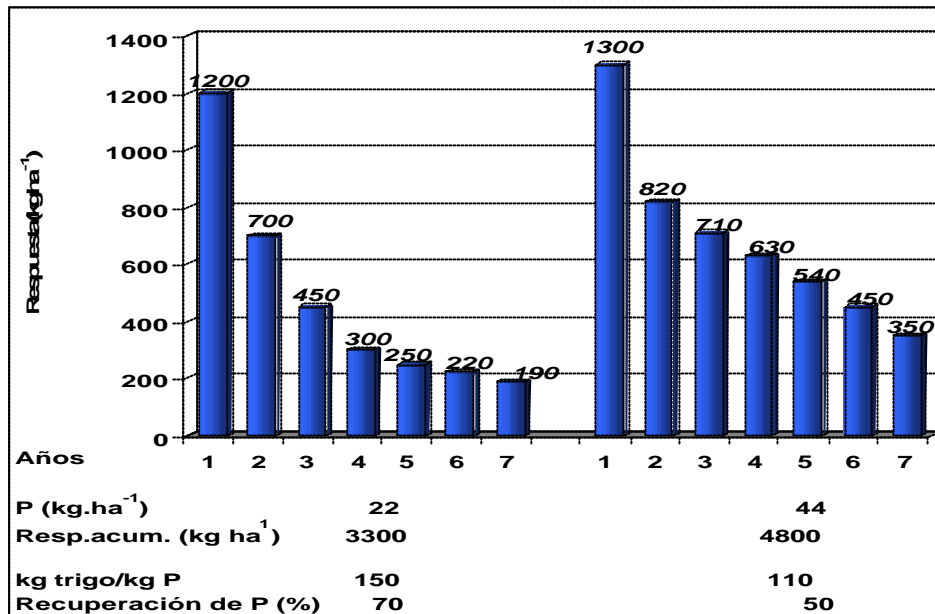


Figura 6a: Respuesta a la fertilización inicial con dos dosis de P (22 y 44 kg ha⁻¹) en el monocultivo de trigo a lo largo de 7 años. Berardo et al., 1998.

En la **Figura 6** se indican a título de ejemplo las respuestas a la aplicación inicial de distintas dosis de P a lo largo de 7 años en el cultivo de trigo (Berardo et al., 1998) y de 4 años en alfalfa (Berardo et al., 2000); a su vez, en la **Figura 7** se indican para los mismos ensayos los cambios a través de los años de los contenidos de Ps correspondientes, que presentan una relación lineal con las distintas dosis de P aplicado inicialmente. La disminución a través de los años de los incrementos de Ps causados por la fertilización inicial presenta una tendencia decreciente similar a la de las respuestas en la producción de grano y de forraje.

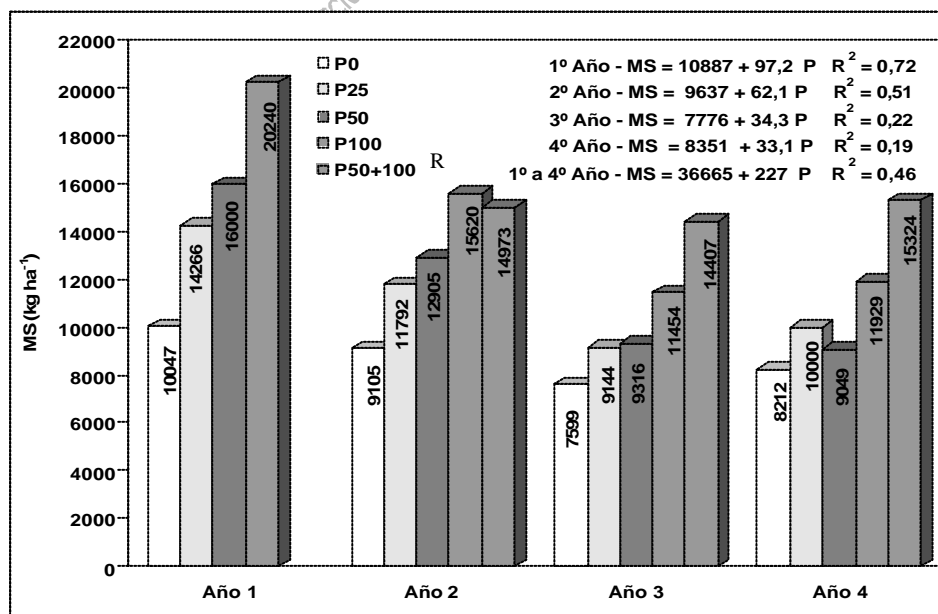


Figura 6b: Respuesta a la fertilización inicial con distintas dosis de P y a la refertilización anual (100 R) en alfalfa a lo largo de 4 años. Ps = 7 ppm. Berardo y Marino, 2000.

La respuesta acumulada en trigo, a lo largo de los 6 años posteriores a la fertilización, duplicó a la del año de la fertilización, con una recuperación “aparente” total del P aplicado del 70 y 50% aproximadamente para la aplicación inicial de 22 y 44 kg/ha de P, resultando una eficiencia total acumulada de 150 y 110 kg de trigo/kg P aplicado para las mismas dosis de P indicadas (Figura 6a).

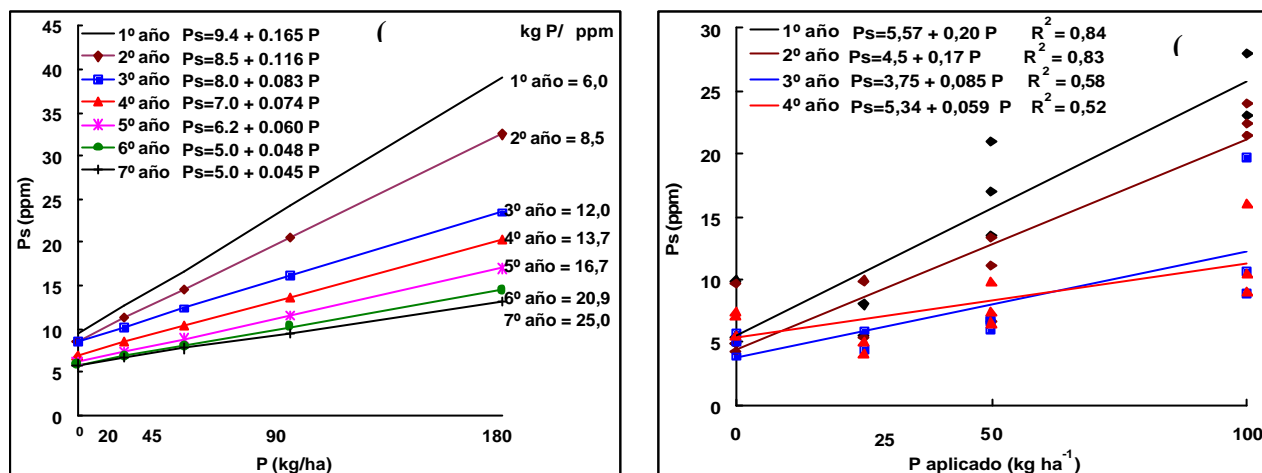


Figura 7: Relación entre la dosis de P inicial y los contenidos de Ps en los años posteriores a la fertilización: a) Monocultivo de trigo (7 años) Berardo y col., 1998. b) Alfalfa (4 años) Berardo y Marino (2000).

En alfalfa en los 3 años posteriores a la fertilización la respuesta acumulada fue superior a la alcanzada en el primer año, siendo la eficiencia de P de 97 kg de MS/kg P aplicado en el primer año y de 227 kg de MS/kg P aplicado la acumulada a lo largo de 4 años (Figura 6b). La recuperación “aparente” de P varió según la dosis siendo de 69 y 65% para la aplicación inicial de 50 y 100 kg/ha de P, respectivamente (Figura 8); ésta fue más elevada que en trigo, ya que en este último hay una mayor devolución del P (20 a 30%) a través de los residuos.

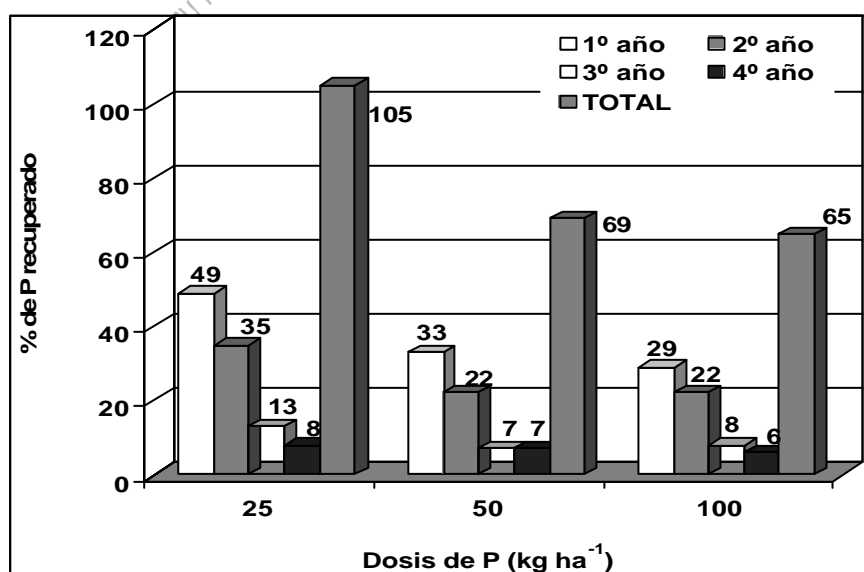


Figura 8: Recuperación “aparente” del P aplicado inicialmente en alfalfa durante los cuatro años posteriores a la fertilización. Berardo y Marino, 2000.

Resultados similares han sido encontrados por Ventimiglia (com.pers.) (**Figura 9**) en suelos de textura franco-arenosa, con contenidos de materia orgánica de 2,5 a 3% en las zonas de 9 de Julio. En un ensayo con rotación maíz-trigo/soja en los primeros dos años se alcanzó con los tres cultivos una respuesta acumulada de 110 kg de grano/kg de P que, en función de los contenidos de P de cada uno, implica una recuperación “aparente” de P cercana al 50%.

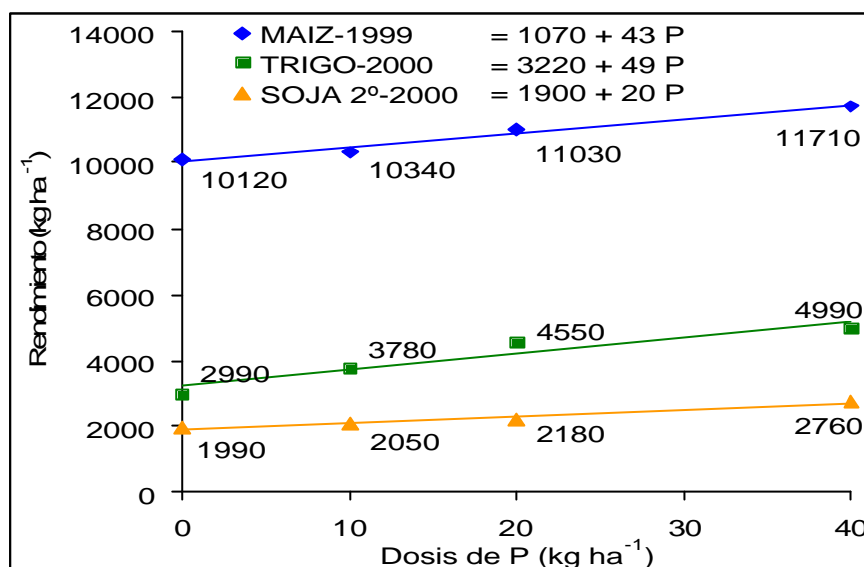


Figura 9: Efecto de la fertilización inicial en maíz sobre los cultivos posteriores en la rotación maíz-trigo/soja 2°. (UEEA INTA 9 de Julio. Ventimiglia et al., 2000).

Las variables analizadas (P disponible, respuesta a P y P recuperado) manifiestan con claridad la alta residualidad del P en los suelos molisoles.

Evaluaciones parciales efectuadas tanto en cultivos como en praderas en otras áreas dentro de la Región Pampeana evidencian resultados similares. En la actualidad se están conduciendo además algunos experimentos en distintas áreas tanto en molisoles como en argiudoles vérticos con el objetivo de lograr información en otras áreas dentro de la Región Pampeana bajo sistemas de Siembra Directa (Bianchini, AAPRESID; Melchiori, INTA Paraná, com.personal).

El conocimiento de los cambios de Ps en los suelos a través de los años causado por la fertilización, es otro de los aspectos que contribuyen a mejorar el manejo del mismo en una región, en sistemas de producción con niveles de rendimientos y de extracción de P determinados. En la **Figura 10** se muestran los resultados obtenidos en un molisol de textura-franca, con contenidos de materia orgánica de 5,5 a 6%, con pH de 5,6 y con un nivel de extracción anual de P de 10 a 12 kg ha⁻¹ tanto en el monocultivo de trigo como en la secuencia girasol-trigo (Berardo et al., 2000). El modelo resultante permite estimar los kg de P requeridos para incrementar una unidad (1 ppm) de P Bray en cada uno de los años posteriores a la fertilización, tal como se indica en la misma figura; éstos aumentan progresivamente desde 5,8 hasta 25 kg ha⁻¹ de P desde 1 hasta 8 años posteriores a la fertilización.

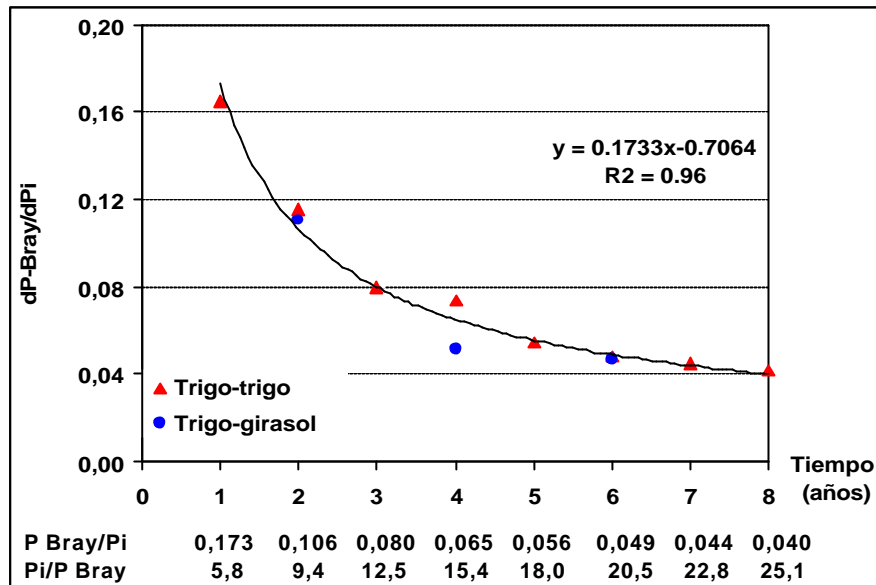


Figura 10: Residualidad de P (incremento de P Bray/kg P aplicado) durante 7 años en trigo continuo y trigo – girasol en un molisol del sudeste bonaerense. (Berardo y Grattone, 2000).

Información de esta naturaleza permite estimar indirectamente el efecto de la fertilización sobre la producción de los cultivos o pasturas por sus efectos sobre los incrementos de Ps resultantes en los años posteriores a su aplicación, utilizando para tal fin las relaciones entre los contenidos de Ps y los rendimientos que se han presentado con anterioridad (**Figura 4 y 5**). En la **Figura 11** se muestran las estimaciones obtenidas por el efecto de una aplicación de 25 kg de P sobre los cambios en los contenidos de Ps en los cuatro años posteriores a su aplicación y el correspondiente efecto sobre los rendimientos de los distintos cultivos dentro de la rotación o de las pasturas bajo corte; se incluye además la respuesta inicial correspondiente al año de fertilización (año 0).

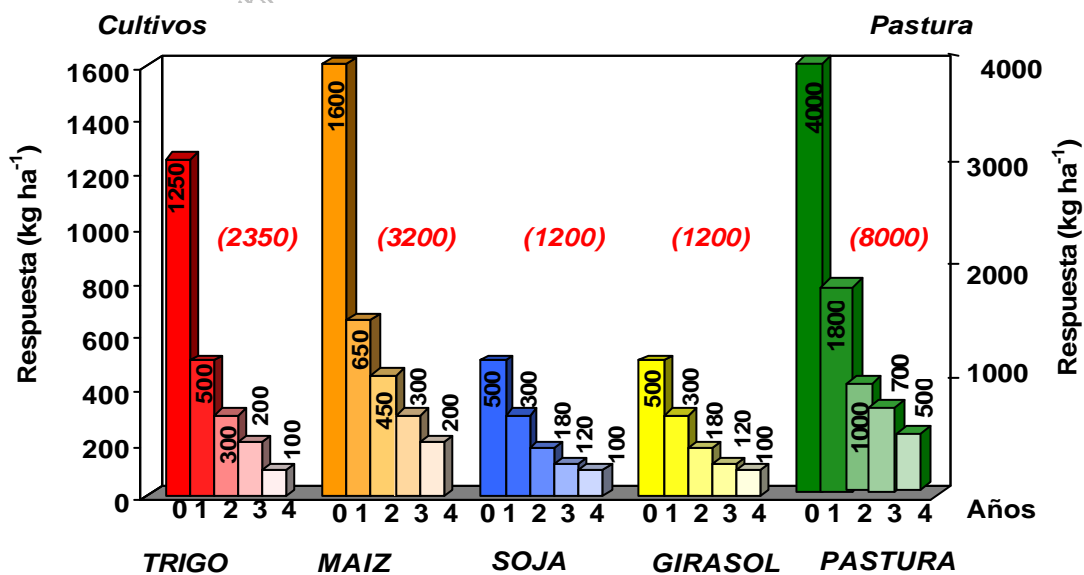


Figura 11: Estimación del efecto inicial (año 0), residual (4 años) y total acumulado para los 5 años (valores entre paréntesis) de la aplicación de 25 kg P ha⁻¹ SFT sobre la producción de cultivos y pasturas. (Berardo, 2003).

Estos resultados, que pueden obtenerse en condiciones óptimas de manejo y que implican una recuperación al P aplicado solamente del 30 a 40% en cultivos y valores superiores en pasturas bajo corte, constituyen un ejemplo del impacto que puede lograrse con un manejo eficiente del P en los sistemas de producción de la región.

Por lo tanto, en la medida que la tecnología de la fertilización tenga en cuenta la necesidad de reposición del P en particular, y de los otros nutrientes como el N y S en general, incorporándolos eficientemente dentro de la rotación, se podrá detener el proceso de degradación y empobrecimiento de los suelos de la región, además de lograr niveles de producción en función de la potencialidad de cada suelo en las distintas áreas.

Consideraciones Finales

El empobrecimiento de P en los suelos de la Región Pampeana debe atribuirse principalmente a la pérdida de la fracción orgánica, reserva principal de éste nutriente en la mayoría de sus suelos.

Dentro de esta región la pérdida de P ha sido menos acentuada en el sur de la misma, por las menores temperaturas, por una mayor aplicación de P en los cereales de invierno y en las pasturas y por un nivel anual de extracción de P inferior al del resto de la región.

El mayor empobrecimiento de P en el centro y en el norte de la Región Pampeana, principalmente en los últimos veinte años, debe atribuirse tanto a su mínima reposición con la fertilización, como a su mayor extracción por los cultivos que se utilizan más frecuentemente (soja y maíz) con rendimientos progresivamente más elevados.

Por la alta residualidad del P, evaluada a través de ensayos de larga duración en algunos molisoles de la región, los beneficios de la fertilización fosfatada se incrementan sustancialmente sobre todo si esta se inserta adecuadamente dentro de la rotación.

En función de su residualidad, es fundamental revertir el proceso de empobrecimiento de P de los suelos de la región. Para esto es necesario, en función del balance de P, utilizar en cada situación dosis acordes a los requerimientos de los cultivos de la rotación, incorporando además cantidades adicionales cuando su disponibilidad en el suelo es muy baja.

El control periódico del contenido de P en el suelo permite ajustar su aplicación para mantenerlo en niveles que no limiten sustancialmente la producción de los cultivos.

Los contenidos de P Bray deberían variar desde valores cercanos a 15-18 ppm en las zonas más secas y/o en los suelos con mayores limitaciones, hasta 35-40 ppm en las áreas y/o en los sistemas de producción con altos niveles de rendimientos y de extracción de P.

Contenidos superiores a los requeridos para maximizar la producción no son aconsejables, ya que estos darían lugar a una mayor e innecesaria concentración de P en grano o en forraje, y a cierto peligro de contaminación del ambiente a través de los procesos de erosión o redistribución de P dentro del relieve, que pueden ser relevantes por su mayor acumulación en los primeros centímetros del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Berardo A. y Grattone F. 1998. Efecto de la aplicación de P y su residualidad sobre la producción de trigo (8 años). Actas IV Congreso Nacional de Trigo. Mar del Plata. Argentina
2. Berardo A. y Grattone F. 2000. Fertilización fosfatada requerida para alcanzar niveles objetivos de P Bray en Argiudol. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS. Mar del Plata. Argentina.
3. Berardo A.; Erth S., Grattone F. y Amigorena M. 2001. Evaluación de la respuesta a P de los cultivos estivales: maíz, girasol y soja. 18º Jornadas de Actualización Profesional en Cosecha Gruesa. Mar del Plata. Argentina.
4. Berardo A. y Marino A. 2000. Efecto de la fertilización fosfatada sobre la disponibilidad de fósforo y su relación con la producción de forraje en molisoles del Sudeste Bonaerense a) Alfalfa y b) Pasturas consociadas. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS. Mar del Plata. Argentina.
5. Boschetti, N.G., Quintero, C.E. y Benavidez, R.A. 1996. Residualidad del fertilizante fosfatado en pasturas consociadas de Entre Ríos (Argentina). Ciencia del Suelo 14: 20-23.
6. García F.O. 2001. Balance de fósforo en la Región Pampeana. Información Agronómica del Cono Sur. INPOFOS Nº 9. Acassuso. Argentina
7. García F.O.; Ferrari, M. y Micucci F. 2002. Fertilidad de Suelos y fertilidad de cultivos extensivos en la Región Pampeana: Donde estamos y adonde vamos. Copia mineográfica. INPOFOS. Acassuso. Argentina.
8. Grattone F.D.; Berardo A; y Borrajo G.A. 1998. Relación entre el contenido de P extractable, el rendimiento de trigo y la respuesta a la fertilización fosfatada. Actas IV Congreso Nacional de Trigo. Mar del Plata. Argentina.
9. Hepper E. N; Hevia G.; Buschiazzo D.; Urioste A.A. y Bono A.A. 1996. Efecto de la agricultura sobre las fracciones de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana central argentina. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS. Santa Rosa. La Pampa.
10. Loewy T. 2002. Estrategias de la Fertilización fosfórica en la Región Pampeana. Información Agronómica del Cono Sur. INPOFOS Nº 10. Acassuso. Argentina.
11. Picone L; Zamuner E. y Berardo A. 1999. Efecto de la fertilización y estación del año en las transformaciones de algunas fracciones de fósforo en el suelo. Actas XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucom. Temuco. Chile.
12. Vazquez M.E. 2002. Balance y fertilidad fosforada en suelos productivos de la Región Pampeana. Información Agronómica del Cono Sur. INPOFOS Nº 16. Acassuso. Argentina.