

Balance de nutrientes en la rotación: Impacto en rendimientos y calidad de suelo ¹

Fernando O. García

INPOFOS Cono Sur

Av. Santa Fe 910 – (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires

fgarcia@inpfos.org

El balance de nutrientes se estima como la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo. En general, estos balances se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales. Esta definición permite estimar balances nutricionales de un lote en una campaña agrícola a partir de los nutrientes que egresan del suelo en los granos y forrajes cosechados, en los productos animales y en los residuos de cultivos que son transferidos a otros lotes. Los ingresos de nutrientes al suelo están constituidos por los aportados por fertilizantes, abonos orgánicos (incluyendo residuos de cultivos no generados en el mismo lote) y, en el caso de nitrógeno (N), por la fijación de N₂ del aire. El aporte de nutrientes de los residuos de cultivos realizados en el mismo lote, se considera un reciclaje de nutrientes dentro del mismo sistema suelo y por lo tanto no se incluye entre los ingresos.

El concepto de balances de nutrientes se amplía en el tiempo cuando se considera una rotación determinada que incluye más de un cultivo o un ciclo agrícola. Dados los beneficios que resultan de la rotación de cultivos, es de importancia considerar un ciclo de rotación, y no simplemente un cultivo, al definir los balances de nutrientes. Por otra parte, la dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta implica transformaciones que en muchas ocasiones exceden el período de crecimiento de un cultivo, por ejemplo la residualidad de fósforo (P).

El manejo adecuado de la nutrición y fertilización de cultivos permite mejorar el balance de nutrientes. Existe abundante información a nivel nacional y regional en cuanto a las ventajas agronómicas, económicas y ambientales de la nutrición y fertilización balanceada. Los programas de fertilización balanceada resultan en mejores rendimientos de los cultivos, acercan los rendimientos actuales a los potenciales en las distintas áreas ecológicas, y mantienen y/o mejoran la sustentabilidad de los sistemas de producción.

¿Cómo estimamos un balance de nutrientes?

Los egresos de nutrientes pueden ser estimados a partir de las concentraciones promedio en granos y forrajes cosechados (ver planilla de cálculo CalcReq.xls en www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf). Las concentraciones indicadas en tablas son referencias promedio, ya que existen variaciones importantes en la concentración de nutrientes en los granos y forrajes según las condiciones ambientales y de manejo.

Los ingresos de nutrientes se estiman a partir de las cantidades de fertilizantes o abonos orgánicos aplicados y su concentración en nutrientes. Las cantidades de N₂ fijado vía simbiótica y asimbiótica varían según especie, condiciones ambientales y de manejo. Por ejemplo, para soja en la región pampeana, el aporte de N vía fijación simbiótica se ha estimado entre un 30% a 70% de las necesidades totales del cultivo.

Los balances de nutrientes y los rendimientos

El impacto del balance de nutrientes en una determinada rotación y/o cultivo depende de la disponibilidad de nutrientes de cada suelo en particular. Nitrógeno, fósforo y azufre (S) son los nutrientes generalmente deficientes en las áreas agrícolas de nuestro país, pero se han

¹ Presentado al 2^{do} Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa organizado por AAPRESID, Proyecto Fertilizar, e INPOFOS Cono Sur. XI Congreso Nacional de AAPRESID (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa). Rosario, Santa Fe, Argentina. 26-29 Agosto 2003.

observado respuestas a otros nutrientes en cultivos y áreas específicas (por ejemplo, boro (B) en girasol, alfalfa, trigo y maíz; cloro (Cl) en trigo; potasio (K) en caña de azúcar).

Investigaciones locales e internacionales han demostrado los efectos residuales de las fertilizaciones y la importancia del balance de nutrientes, fundamentalmente con nutrientes de menor movilidad en suelo como P y K, e incluso, en algunos casos, con nutrientes de mayor movilidad como N y S. Los efectos residuales de las fertilizaciones se observan tanto en los rendimientos en grano y forraje como también en la disponibilidad del elemento en el suelo. Un ejemplo relevante de la posibilidad del manejo de nutrientes en una secuencia de cultivos, y no solamente en el cultivo inmediato, lo constituye la fertilización del doble cultivo trigo-soja (Albrecht et al., 2000; Cordone et al., 1999).

Los efectos residuales de fertilizaciones fosfatadas se han estimado para el sudeste de Buenos Aires, oeste de Entre Ríos y centro y norte de Santa Fe (Boschetti et al., 1996; Berardo, 2003; Vivas y Quaino, 2000). Resultados recientes, obtenidos de un ensayo de residualidad de P en un suelo Hapludol típico del centro-oeste de la provincia de Buenos Aires (Partido de 9 de Julio) establecido en la campaña 1999/00 por INTA 9 de Julio, demuestran la elevada residualidad de P en estos suelos de textura liviana, con respuestas significativas a la fertilización inicial con P hasta el cuarto año de evaluación (cinco cultivos) (Tabla 1). Los niveles de P extractable en suelo, según el método Bray 1, mostraron una caída marcada durante los cuatro años de evaluación de acuerdo con los balances negativos resultado de los altos niveles de extracción de P en grano (Fig. 1). Las variaciones en P Bray del suelo se relacionaron significativamente con el balance de P, observándose que para aumentar o disminuir el P Bray en 1 mg/kg, los balances de P (P aplicado como fertilizante - P extraído en grano) deben ser de +9.8 o -9.8 kg P/ha, respectivamente (Fig. 2). Estos valores son similares a los observados por Berardo y colaboradores en el sudeste de Buenos Aires (Berardo, 2003).

Tabla 1. Rendimientos de maíz, trigo/soja de segunda, maíz y soja de primera con distintos tratamientos de fertilización fosfatada a la siembra de maíz en 1999 (0, 10, 20, 40 y 80 kg/ha de P: Testigo, P10, P20, P40 y P80, respectivamente) o repetidos todos los años (10 y 20 kg/ha de P todos los años: P10R y P20R, respectivamente) en el ensayo de residualidad de P de 9 de Julio (Buenos Aires). Fuente: L. Ventimiglia y col., UEEA INTA 9 de Julio.

Tratamiento	Maíz 1999	Trigo 2000	Soja 2000	Maíz 2001	Soja 2002
	----- kg/ha -----				
Testigo	10117	2989	1996	10544	2335
P 10	10159	3785	2049	11096	2433
P 10R	10520	5153	1943	13013	3296
P 20	10843	4553	2177	12347	2443
P 20R	11150	5294	2557	14006	3976
P 40	11708	4990	2764	12342	2409
P 80	11771	5566	2945	13646	3065

Los dos ensayos de fertilización a largo plazo que la EEA INTA Marcos Juárez lleva a cabo desde 1998 con la colaboración de AAPRESID, INTA Casilda, ASP e INPOFOS, en el sudeste de Córdoba (Camilo Aldao y Corral de Bustos), constituyen ejemplos del impacto del balance de nutrientes sobre el rendimiento de los cultivos en la rotación. En estos ensayos se evalúan alternativas de fertilización en cuanto a tipo de nutrientes aplicados y filosofía de recomendación: diagnóstico o suficiencia vs. reposición de nutrientes extraídos en grano. La rotación utilizada es maíz-trigo/soja, habiéndose iniciado en 1998 con maíz en Los Chañaritos (Corral de Bustos) y con trigo/soja en Don Osvaldo (Camilo Aldao). En la Fig. 3 se muestran los rendimientos, promedios de dos campañas, obtenidos para cada cultivo de la rotación y el rendimiento acumulado de los tres cultivos (Vicente Gudelj y colaboradores, EEA INTA

Marcos Juárez, comunicación personal). Los rendimientos acumulados se expresaron en base a kg/ha de soja sumando 100% del rendimiento de soja + 50% del rendimiento de trigo + 40% del rendimiento de maíz. La diferencia, como rendimiento acumulado, entre el tratamiento NPS reposición y NPS diagnóstico fue de 683 y 455 kg/ha de soja, en Don Osvaldo y Los Chañaritos, respectivamente, demostrando la mejor condición de fertilidad de Los Chañaritos con respecto a Don Osvaldo. Estas diferencias entre los tratamientos diagnóstico y reposición, demuestran también las ventajas agronómicas del balance de nutrientes en la rotación.

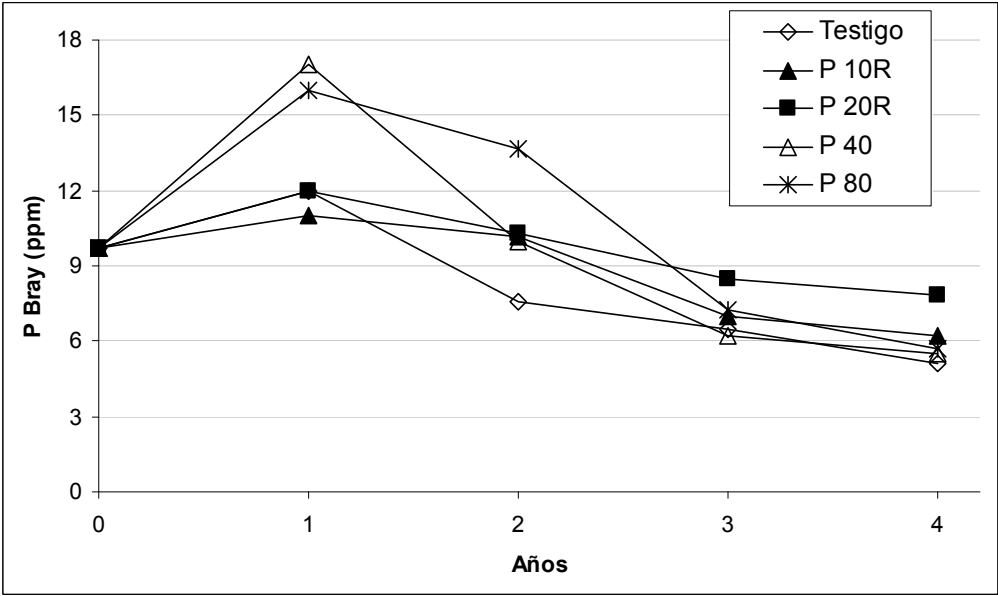


Fig. 1. Evolución de los niveles de P Bray 1 en el suelo para cuatro tratamientos de fertilización fosfatada y el Testigo sin aplicación de P. Tratamientos de fertilización fosfatada: 40 (P40) y 80 (P80) kg de P/ha en el Año 0 (Siembra Maíz 1999); y 10 (P10R) y 20 (P20R) kg de P/ha todos los años. Adaptado de Luis Ventimiglia y colaboradores, UEEA INTA 9 de Julio (Buenos Aires).

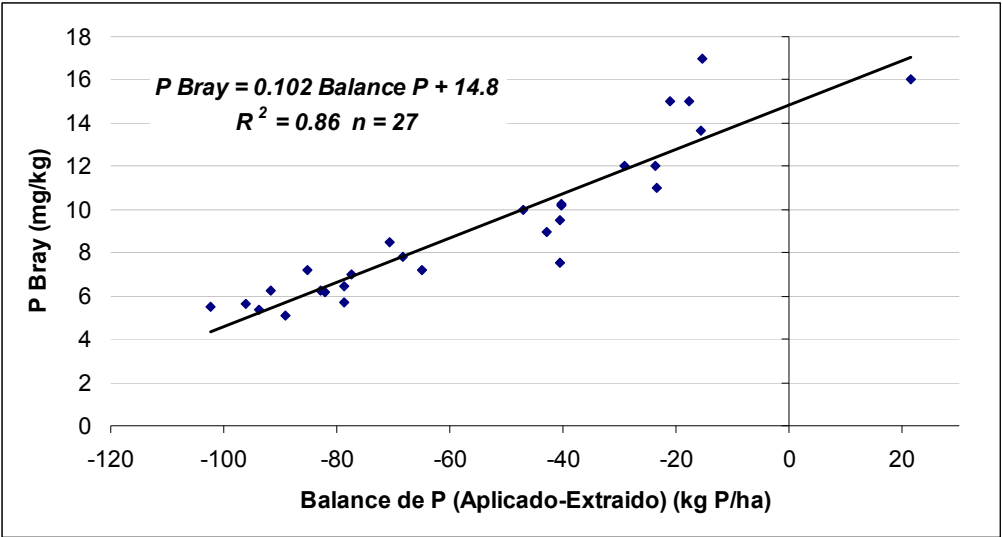


Fig. 2. Relación entre el balance de P (diferencia entre el P aplicado vía fertilización y P extraído en granos) y el nivel de P Bray en suelo. Datos de cuatro años y siete tratamientos de fertilización. Adaptado de Luis Ventimiglia y colaboradores, UEEA INTA 9 de Julio (Buenos Aires).

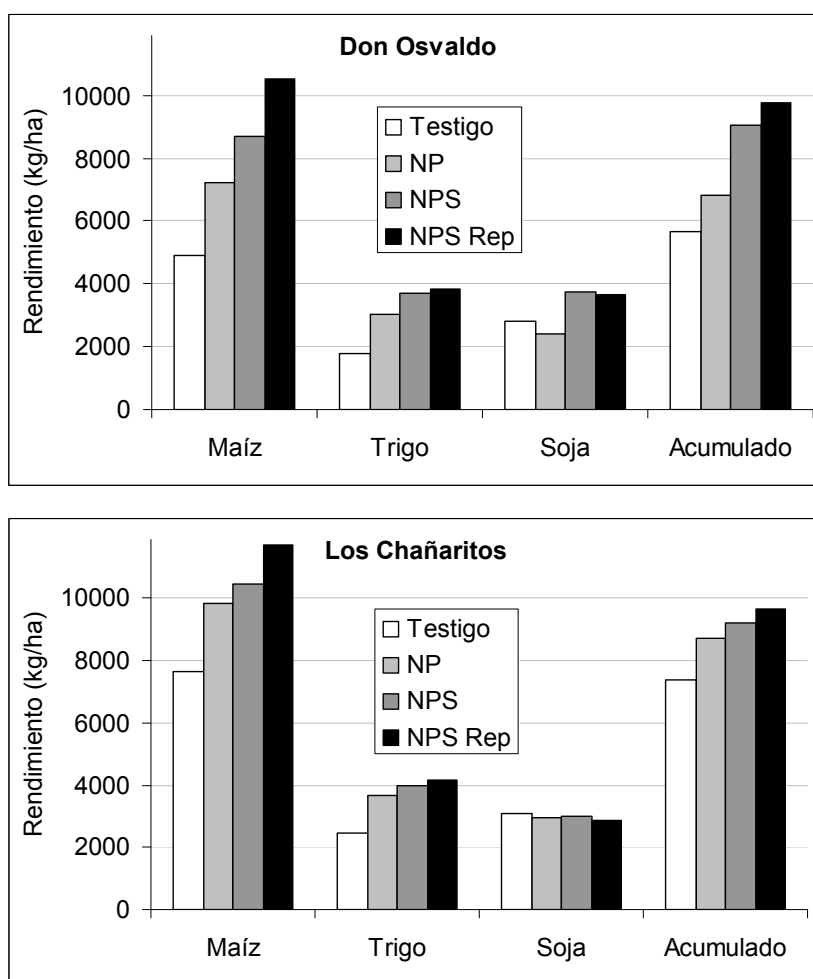


Fig. 3. Rendimientos de maíz, trigo, soja y acumulados en los ensayos de fertilización a largo plazo de Don Osvaldo (Camilo Aldao) y Los Chañaritos (Corral de Bustos), Córdoba. Los tratamientos están indicados según los nutrientes aplicados: N, P y S; y Rep implica una dosis de reposición de los nutrientes extraídos en grano más un 10%. El rendimiento acumulado se estimó sumando 100% del rendimiento de soja + 50% del rendimiento de trigo + 40% del rendimiento de maíz. Fuente: Vicente Gudelj y colaboradores, EEA INTA Marcos Juárez (Córdoba).

La fertilización balanceada y la calidad del suelo

La sustentabilidad, en el contexto de la producción agrícola-ganadera, implica preservar y/o mejorar la capacidad productiva del sistema desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental y la calidad de los recursos renovables y no renovables incluidos en el sistema productivo (suelo, agua, aire, biodiversidad, otros). Entre estos recursos, se destaca el suelo como recurso finito no renovable. La calidad del suelo se ha definido en términos de sus propiedades químicas, físicas y biológicas. La materia orgánica (MO) se destaca como el más importante indicador de la calidad de suelo entre estas propiedades. La MO es la fracción orgánica del suelo excluyendo residuos vegetales y animales sin descomponer, y entre sus componentes se incluyen los residuos vegetales y animales en descomposición (10-20%), la biomasa microbiana (1-5%) y el humus (50-85%). La importancia de la MO radica en su relación con numerosas propiedades del suelo físicas (densidad, capacidad de retención de

agua, agregación, color y temperatura), químicas (reserva de nutrientes como N, P, S y otros, pH, capacidad de intercambio catiónica, capacidad tampón, formación de quelatos) y biológicas (biomasa microbiana, actividad microbiana, fracciones lábiles de nutrientes).

El manejo de suelos afecta el contenido de MO según el número de años de agricultura, los cultivos, las labranzas, las rotaciones, el manejo del cultivo, la fertilización, y los períodos de barbecho. En general, la inclusión de gramíneas en la rotación mejora el balance de carbono (C) del suelo, tanto por la cantidad como por la calidad de los residuos y por permitir una mayor cobertura del suelo.

La MO es reserva de numerosos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. La MO contiene aproximadamente un 58% de C y presenta una relación C/N/P/S estimada en 140:10:1.3:1.3. A partir de esta información, se estima que cada 1% de MO en 20 cm de suelo con densidad de 1.1 ton/m³, contiene 22000 kg/ha de MO, 12000 - 13000 kg/ha de C, 1000 -1200 kg/ha de N, 90 -120 kg/ha de P, y 90 -120 kg/ha de S.

En Argentina, la producción de granos creció sostenidamente en los últimos años y, si bien también se ha observado un incremento significativo en el consumo aparente de fertilizantes, los balances de nutrientes siguen siendo negativos. En las últimas campañas se ha aplicado un 20-25% del N, 40-45% del P y menos del 1% del K removidos por las cosechas. Para la campaña 2000/01, el costo del desbalance de nutrientes N, P y K removidos en granos respecto a los aplicados vía fertilización para los cuatro principales cultivos (soja, maíz, trigo y girasol) se ha estimado en aproximadamente 1000 millones de dólares. En rotaciones de cultivos anuales, el desbalance entre la aplicación y remoción en grano de N, P y S genera una descapitalización de nutrientes del suelo de un costo promedio de 40-50 dólares por ha por año.

Es importante tener en cuenta que la MO es la que ha aportado la mayor proporción del N, P y S perdidos de los suelos agrícolas. Esto se ha visto reflejado en las marcadas disminuciones de MO en las distintas zonas de producción. Los menores contenidos de MO acarrearán problemas no solamente en cuanto al balance de nutrientes, sino que también afectan la calidad del suelo en cuanto a propiedades físicas, químicas y biológicas, como se mencionó en párrafos anteriores.

Cuando la fertilización balanceada cubre las demandas de los cultivos, se genera una mayor acumulación de materia seca y por lo tanto de residuos, permitiendo incorporar una mayor cantidad de C al suelo que permitirá mantener y/o mejorar los niveles de MO (Tabla 2). El manejo de fertilización balanceada deberá ser acompañado por una rotación de cultivos sustentable y ajustada a las condiciones de suelo y clima y por prácticas como la siembra directa que mantienen una mayor cantidad de C en el sistema.

Consideraciones finales

En el marco de las deficiencias generalizadas de N y P y crecientes de S, deberíamos tener en cuenta los siguientes puntos al considerar el balance y manejo de nutrientes en rotaciones agrícolas:

- ✓ En todos los casos, el análisis de suelo es el punto de partida para decidir el manejo nutricional de los cultivos de la rotación y evaluar los resultados del balance de nutrientes
- ✓ Evaluar los balances de P de los lotes de producción y considerar la posibilidad de manejar el P para la rotación y no solamente para el cultivo inmediato
- ✓ Un ejemplo generalizado de residualidad de nutrientes en una secuencia de cultivos lo constituye la fertilización PS del doble cultivo trigo-soja que puede decidirse teniendo en cuenta las necesidades de los dos cultivos al momento de fertilizar el trigo
- ✓ La fertilización nitrogenada no presenta efectos residuales del tipo de los de P, pero debe enfatizarse el efecto indirecto que produce al permitir una mayor acumulación de biomasa y, por ende, de C que es incorporado al suelo en la fracción orgánica

- ✓ El resto de los nutrientes (K, magnesio, micronutrientes) deberán ser evaluados en cada caso según su disponibilidad en el suelo y las características de su dinámica en el sistema suelo-planta (movilidad)

Mejorar y mantener una adecuada fertilidad del suelo a través de una nutrición balanceada es un aspecto crítico para producir rendimientos elevados y sustentables en el tiempo. En suelos productivos bajo una misma condición ambiental, siempre se obtienen mayores rendimientos con alta fertilidad que con baja fertilidad.

A nivel país, deberíamos generar políticas agropecuarias que tengan en cuenta el balance negativo de nutrientes de nuestros suelos. La reserva de nutrientes del suelo es un recurso no renovable, y si bien nuestros suelos se caracterizan por una alta fertilidad natural, la misma se va perdiendo en la medida que no reponemos los nutrientes que extraemos. Esto puede resultar en caídas de producción de granos y forrajes, los que constituyen una parte sustancial de los ingresos que recibe el país en concepto de exportaciones.

Tabla 2. Aporte de C, estimado a partir de los rendimientos promedio de dos años indicados en la Fig. 3, para los tratamientos de fertilización evaluados en los ensayos de Don Osvaldo y Los Chañaritos (Córdoba) Se consideraron índices de cosecha de 45% , 37% y 38% para maíz, trigo y soja, respectivamente, y una concentración de 45% de C en los residuos.

Tratamiento	Maíz	Trigo	Soja	Acumulado
----- kg C/ha -----				
<i>Don Osvaldo</i>				
Testigo	2692	1380	2072	6144
NP	3975	2322	1765	8061
NPS	4779	2820	2755	10353
NPS Rep	5775	2938	2668	11381
<i>Los Chañaritos</i>				
Testigo	4206	1888	2264	8358
NP	5414	2798	2165	10377
NPS	5760	3043	2216	11019
NPS Rep	6456	3177	2114	11747

Referencias

- Albrecht, R. E.; H. S. Vivas; H. Fontanetto y J. L. Hotian. 2000. Residualidad del P y del azufre en Soja sobre dos secuencias de cultivos. Campaña 1999-2000. *En*. Información Técnica de Soja y Maíz de segunda. Campaña 2000. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N°93.
- Berardo A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. Simposio "El Fósforo en la Agricultura Argentina". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. pág. 38-44.
- Boschetti N., C. Quintero y R. Benavidez. 1996. Residualidad del fertilizante fosfatado en pasturas consociadas de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14 (1):20-23.
- Cordone G, F. Martinez F. y R. Abrate. 1999. Fertilización azufrada. *Agromercado*, Cuadernillo Trigo No. 34:2-6. Buenos Aires, Argentina.
- Vivas H. y O. Quaino. 2000. Fertilización y refertilización fosfatada de alfalfa en un suelo del centro este de Santa Fe, con y sin enmienda cálcica. *Jornada de Actualización Técnica "Fertilidad 2000"*. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.