

EFFECTOS DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE LOS RENDIMIENTOS, EL BALANCE DE NUTRIENTES Y SU DISPONIBILIDAD EN LOS SUELOS

Sexto año de experimentación.
Soja Campaña 2012/13

Ing. Agr. (MSc) Gustavo N. Ferraris
Desarrollo Rural INTA Pergamino

Ing. Agr. Mirta Toribio
Profertil S.A. Investigación y Desarrollo

Ing. Agr. Ricardo Falconi
El Ceibo Cereales S.A.

Ing. Agr. (MSc) Lucrecia Couretot
Desarrollo Rural INTA Pergamino

INTRODUCCIÓN

A nivel productivo, las deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) no ocurren de manera aislada sino que se combinan de diversas maneras, por lo que es necesario evaluar integralmente la respuesta a la fertilización y conocer su efecto sobre la fertilidad edáfica de los suelos.

Con el propósito de estudiar la evolución en el tiempo de los rendimientos, el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo se diseñó un ensayo de estrategias de fertilización en la secuencia maíz-soja-trigo/soja-cebada/soja. En la campaña 2006/07 se inició el proyecto, siendo maíz el primero de los cultivos implantados, prosiguiendo con soja en el ciclo 2007/08 y trigo/soja en 2008/09. La secuencia culminó en cebada/soja en 2009/10. En 2010/11 se inició con Maíz la segunda secuencia, pasando a Soja en la campaña 2011/12, y cebada /soja en 2012/13, que es la que analiza este informe.

Los objetivos del experimento son: 1. Evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento de Soja 2. Determinar la evolución de los niveles de N, P, S, MO y pH de suelo de acuerdo con las estrategias de fertilización y los rendimientos obtenidos en los cultivos previos. 3. Cuantificar y valorizar el balance de nutrientes luego de seis campañas y ocho cultivos. 4. Realizar una evaluación económica integrando toda la secuencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo es conducido en la localidad de Arribeños, partido de General Arenales. Se plantea un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones, integrando una rotación maíz- soja – trigo/soja de 2da. – cebada/soja de 2da. El inicio de la secuencia se realizó con el cultivo de maíz, durante la campaña 2006-07.

En el ciclo 2012-13 los cultivares sembrados fueron Scarlett en cebada y A4009RG en soja. Los fertilizantes fueron agregados en cobertura total a la siembra. Las dosis de fertilizante aplicado se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Tratamientos y dosis (kg ha^{-1}) de nitrógeno, fósforo y azufre aplicados en la secuencia cebada/soja. Se describen las demandas del doble cultivo, pero los fertilizantes fueron aplicados en su totalidad al primero. Estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos, Arribeños, General Arenales. Campaña 2012/13, séptimo año de ensayos.

	Criterio de fertilización	Rendimiento Objetivo (kg/ha)	Nitrógeno (N) kg/ha	Fósforo (P) kg/ha	Azufre (S) kg/ha	Urea (46-0-0) kg/ha	SPT (0-20-0) kg/ha	SPS-S (0-0-0-18S) kg/ha
cebada+ Soja								
T1	Testigo sin fertilización	No especificado	0	0	0	0	0	0
T2	Tecnología Uso Actual	No especificado	46	16 + 0	0	100	80 + 0	0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	4000 + 2500	83	15 + 16	7 + 8	180	55 + 47	57 + 68
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	5000 + 3500	113	20 + 22	9 + 11	245	68 + 65	71 + 95
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	5000 + 3500	113	36 + 22	9 + 11	245	148 + 65	71 + 95

Los fertilizantes fosforados y azufrados se aplicaron al voleo al momento de la siembra del cultivo de soja. Como fuentes se utilizaron Superfosfato triple de calcio (0-20-0) y Superfosfato simple de calcio (0-9-0-12S).

Determinaciones realizadas

En el suelo

Previo a la siembra se obtuvieron muestras de suelo de 0 a 20 cm. De cada parcela, en cada uno de los bloques, se extrajo una muestra compuesta, y sobre ella se determinó el pH y los contenidos de materia orgánica (MO), P disponible (Bray I), N total, N-nitratos y S-sulfatos.

En el cultivo

A cosecha se evaluó el rendimiento y sus componentes, número y peso de los granos. En una muestra de grano de cada parcela se cuantificó el contenido de N, P y S. Con los datos de rendimiento, concentración de nutrientes en grano y dosis aplicada de los mismos se realizó un balance de nutrientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Efectos sobre los rendimientos del año. Cebada/soja. Campaña 2012/13

Durante la campaña 2012/13, se determinaron diferencias significativas en los rendimientos de cebada ($P=0,0006$; $CV= 12,8 \%$) y soja de segunda ($P=0,0007$; $CV= 13,3 \%$). En cebada todos los tratamientos fertilizados superaron significativamente al testigo, sin verificar diferencias entre sí (Figura 1). En cambio, en soja se manifestaron diferencias entre los tres tratamientos de mayor fertilización y los dos subsiguientes.

Las diferencias de rendimiento entre el tratamiento de máxima fertilización y el testigo alcanzaron un 81 % en cebada y 68 % en soja, reflejando el efecto acumulativo de las estrategias sobre la fertilidad de los suelos, y como consecuencia, sobre los rendimientos, además de soportar en mejores condiciones un período sin precipitaciones durante enero de 2013. La respuesta observada supera largamente la magnitud incrementos directos observados experimentos de un año que no consideran efectos residuales.

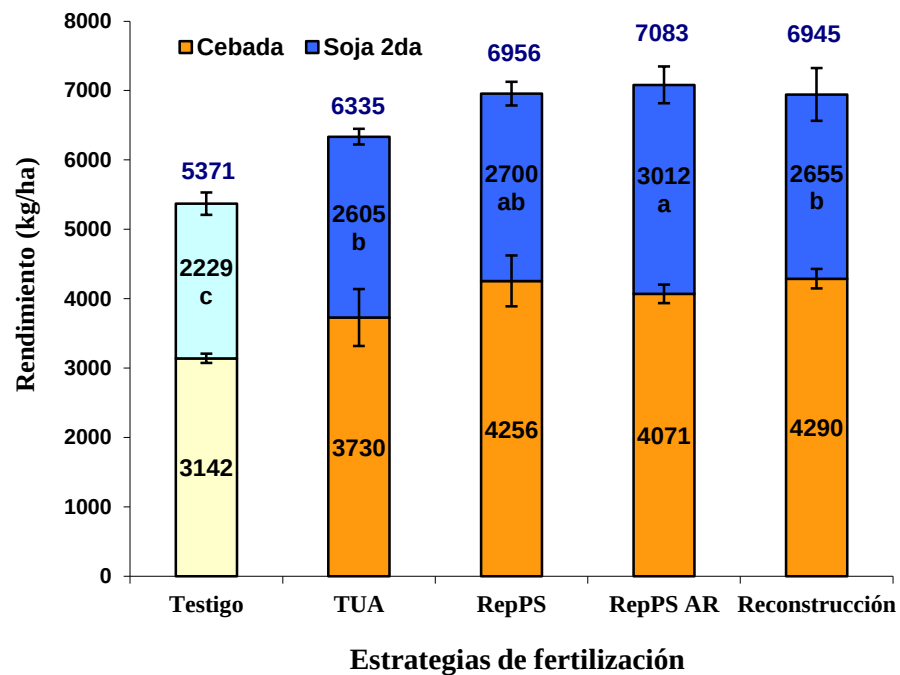


Figura 1.a Campaña 2009/10

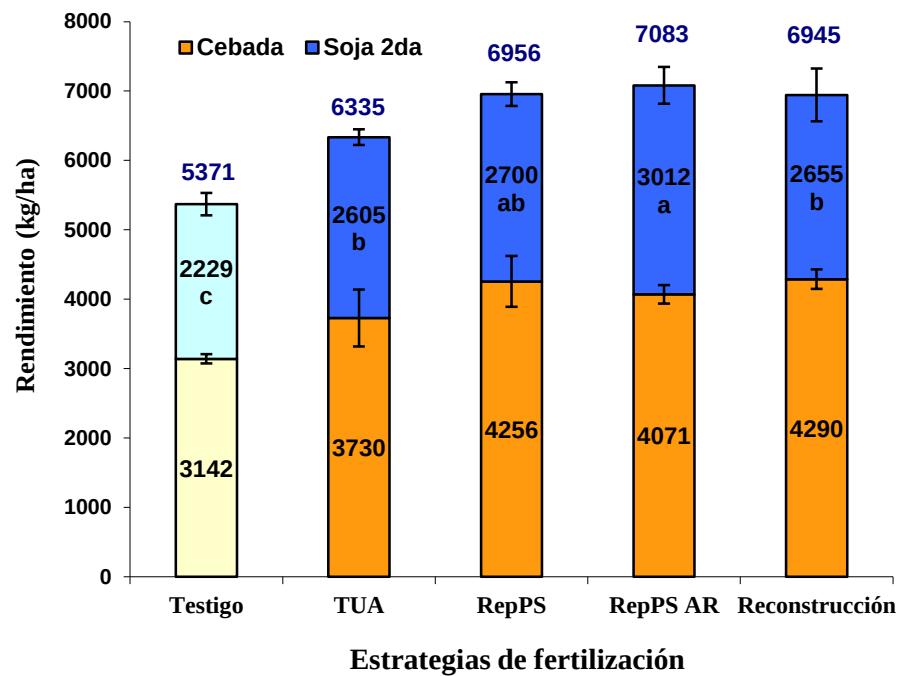


Figura 1.b Campaña 2012/13

Figura 1: Rendimiento de la secuencia cebada/soja como resultado de diferentes estrategias de fertilización, y su comparación con igual secuencia anterior. Dentro de cada cultivo, letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media. Ensayo de estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos.

B. Efectos sobre los rendimientos acumulados, el balance de nutrientes y su nivel final en el suelo luego de seis años: 2006/07-2012/13.

La productividad acumulada de la secuencia –diez cultivos, siete campañas- mantuvo su tendencia consistente en ampliar la diferencia entre tratamientos conforme el paso del tiempo. Así, mientras el testigo acumuló 36924 kg grano ha⁻¹, el tratamiento de reconstrucción llegó a 57952 kg ha⁻¹, siendo la brecha de rendimiento de 56,9% (Figura 2).

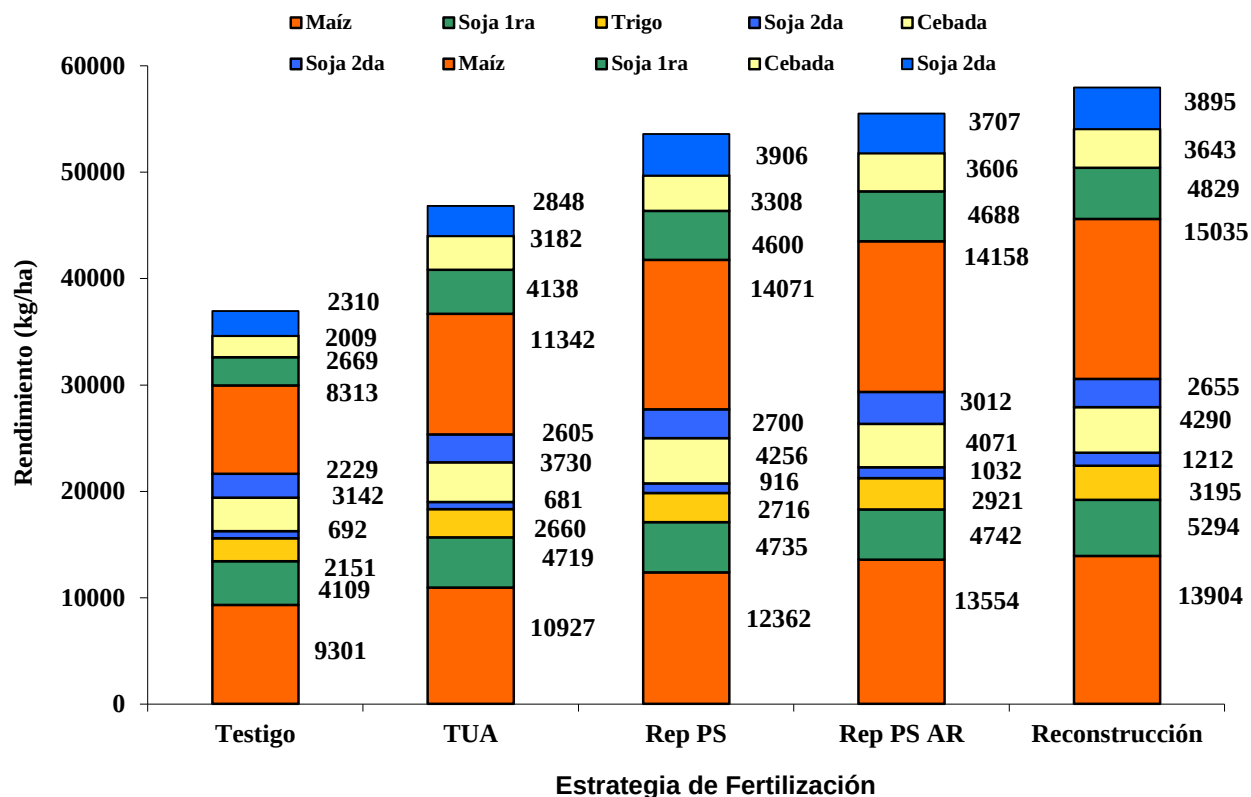


Figura 2: Producción por cultivo (kg ha⁻¹) de diferentes estrategias de fertilización acumulada en una secuencia maíz - soja - trigo/soja - cebada/soja - maíz - soja - cebada/soja Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2012/13.

Con los datos de concentración de nutrientes en grano, los rendimientos y la dosis aplicada de cada uno de ellos es posible conocer el balance para cada tratamiento (Tabla 2). El balance de N fue negativo para todas las estrategias, considerando o no el aporte por fijación biológica (FBN). Aun ponderando los ingresos vía este mecanismo, difícilmente podría ser compensada la extracción de N. La evolución en el tiempo de la concentración de P en suelo se visualiza en la Figura 3. En P y S, los tratamientos testigo y de mínima reflejaron un balance negativo (T1, T2), mientras que aquellos que preveían la reposición sobreestimaron la extracción del nutriente dando como resultado un balance positivo (T3, T4, T5) (Tabla 2). El nivel final de los nutrientes en los suelos reflejó esta tendencia (Tabla 3). Incrementos muy notables en el P en suelo como resultado de un balance positivo de P fueron documentados por Mallarino y Prater (2007), quienes postulan que la tasa de incremento de P en suelo es superior en el rango medio de disponibilidad, y que una vez alcanzado un nivel alto es necesario agregar mayores dosis de P para mantener/aumentar su concentración disponible en el suelo, por el permanente pasaje de P en solución o adsorbido a fracciones más estables.

El contenido de MO y el pH no manifestaron cambios importantes, aunque el testigo fue el tratamiento con menor tenor final de MO y pH más alto, de acuerdo con su menor aporte de residuos y la ausencia de efecto acidificante de los fertilizantes (Tabla 3). Los plazos abarcados por esta experiencia es probable que sean todavía breves para reflejar efectos de mayor magnitud.

Tabla 2: Balance de nitrógeno, fósforo y azufre (kg ha^{-1}) para los diferentes tratamientos durante la secuencia 2006/07 -2012/13. Los datos de rendimiento y concentración de nutrientes en grano fueron ajustados a 13 % de humedad. Cuando se pondera el N aportado por Fijación biológica de N (FBN), se considera que el 50 % del N extraído proviene de esa fuente.

Tratamiento	Agregado (kg ha^{-1})				Extracción (kg ha^{-1})			Balance (kg ha^{-1})			
	N	N (FBN)	P	S	N	P	S	N	N (FBN)	P	S
T1 Testigo	0	317	0	0	916	95	36	-916	-598	-95	-36
T2 TUA	230	392	112	0	1157	133	43	-927	-535	-21	-43
T3 PS rep - N diag Ren medio	376	435	198	105	1321	149	56	-945	-510	49	49
T4 PS rep - N diag Ren alto	496	440	249	134	1371	157	56	-875	-435	92	78
T5 PS reconstr - N diag	496	452	361	134	1445	172	61	-949	-497	189	73

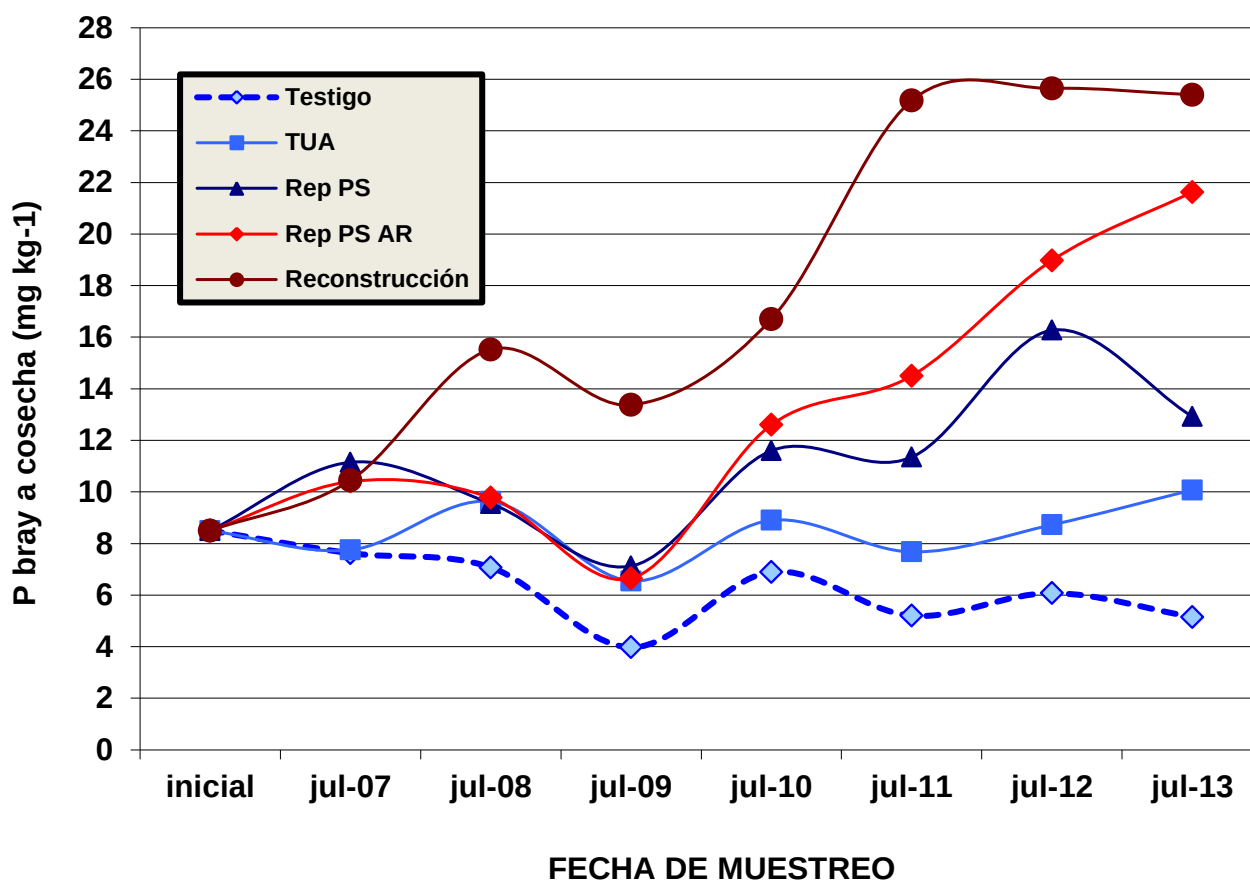


Figura 3: Evolución del P disponible en suelo (Bray-1, 0-20 cm) según estrategia de fertilización, luego de seis campañas y ocho cultivos. Los valores presentados son promedio de cuatro repeticiones.

Tabla 3: Análisis de suelo (0-20 cm) luego de siete campañas, y su comparación con el nivel al inicio del experimento. Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	MO (%)	pH	Ntotal (%)	N-NO3 0-40 cm (kg ha ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	S-SO4 (mg kg ⁻¹)
Inicial	2,38	5,6	0,119	17,8	8,5	13,8
T1	2,49	5,83	0,124	10,8	5,2	5,6
T2	2,74	5,78	0,137	10,8	10,1	4,6
T3	2,72	5,80	0,136	10,9	12,9	6,7
T4	2,70	5,70	0,135	11,3	21,6	6,2
T5	2,76	5,70	0,138	11,5	25,4	7,5

Si el balance de P se relaciona con la disponibilidad de este elemento determinada en el suelo al final de la cosecha (Tabla 2), se puede medir la tasa de cambio en función de la extracción o reposición del nutriente, luego de siete años. La inversa de la pendiente que relaciona estos parámetros indica la dosis de P que es necesario agregar para variar en 1 mg kg⁻¹ la disponibilidad del nutriente en el suelo. De acuerdo con este análisis, por cada 6,75 kgP ha⁻¹ de diferencia entre el agregado y extraído, el nivel de P en suelo cambiaría en una unidad (Figura 4). Esta tasa de cambio ha bajado en los últimos años, luego de alcanzar un máximo de 11,9 kgP ha⁻¹ en 2009, luego del tercer año de ensayo. Es probable que la acumulación de fracciones lábiles de P sature cargas positivas y disminuya así la fijación del aportado mediante fertilización, permitiendo ganancias de P marcadas en las estrategias ubicadas en el lado positivo del balance. En otros experimentos fue observado un rango de variación relativamente estable a lo largo del tiempo (Messiga et al., 2010). A diferencia de lo observado en campañas anteriores, la pendiente de la relación entre nivel final de P y balance pareciera manifestar un quiebre, siendo de mayor magnitud en los procesos de ganancia de P que en los de pérdida, tal lo expresan los datos provenientes del Año 6 –Julio de 2012 y del Año 7-Julio de 2013 (Figura 4). Esto coincide con la tendencia observada por Ciampitti (2009), a partir de ensayos conducidos en el sur de Santa Fe, sobre suelos similares a los de este sitio experimental.

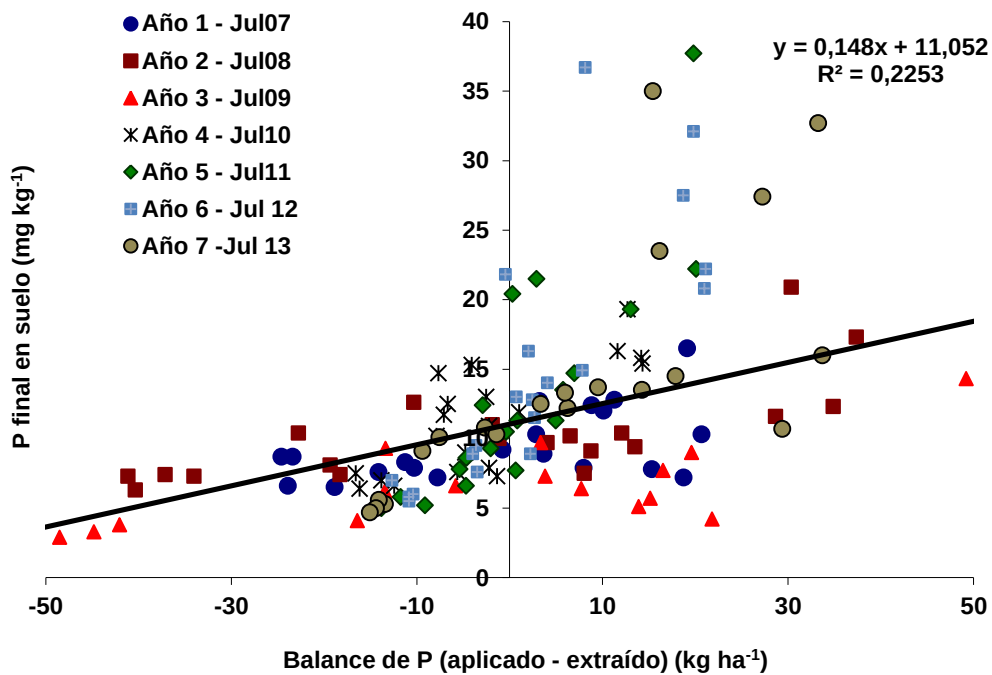


Figura 4: Relación entre el nivel de P en suelo a cosecha (mg kg⁻¹) luego de siete años y el balance de P (aplicado-extraído en kg ha⁻¹) determinado en cada tratamiento. Campañas 2006/07 a 2012/13.

Eficiencia de recuperación de fósforo (P) según cultivo y estrategia de fertilización.

Conociendo la dosis de P aplicada, los rendimientos y la concentración de P en grano se puede calcular la eficiencia de recuperación en grano del fertilizante aplicado. Para llevar este valor a planta entera, se tomaron los índices de cosecha propuestos por García y Correndo (2011). Los valores determinados según estrategia y cultivo se muestran en las Figuras 5 y 6, respectivamente.

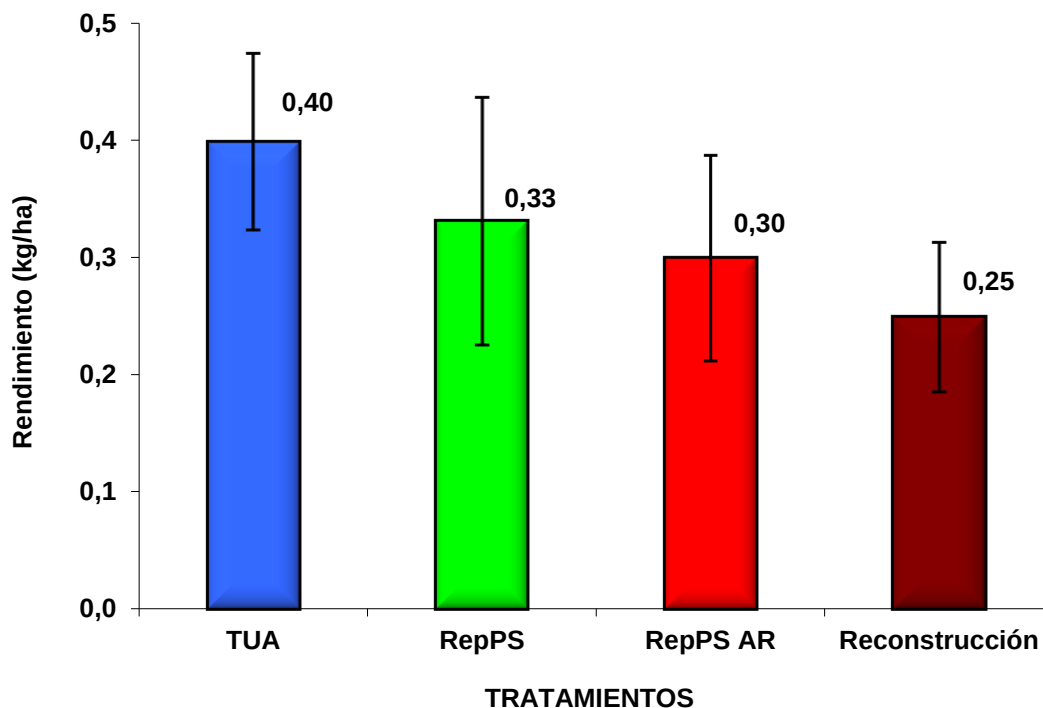


Figura 5: *Fracción de fósforo recuperada en planta entera según estrategia de fertilización. Ensayo de larga duración, Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2012/13.*

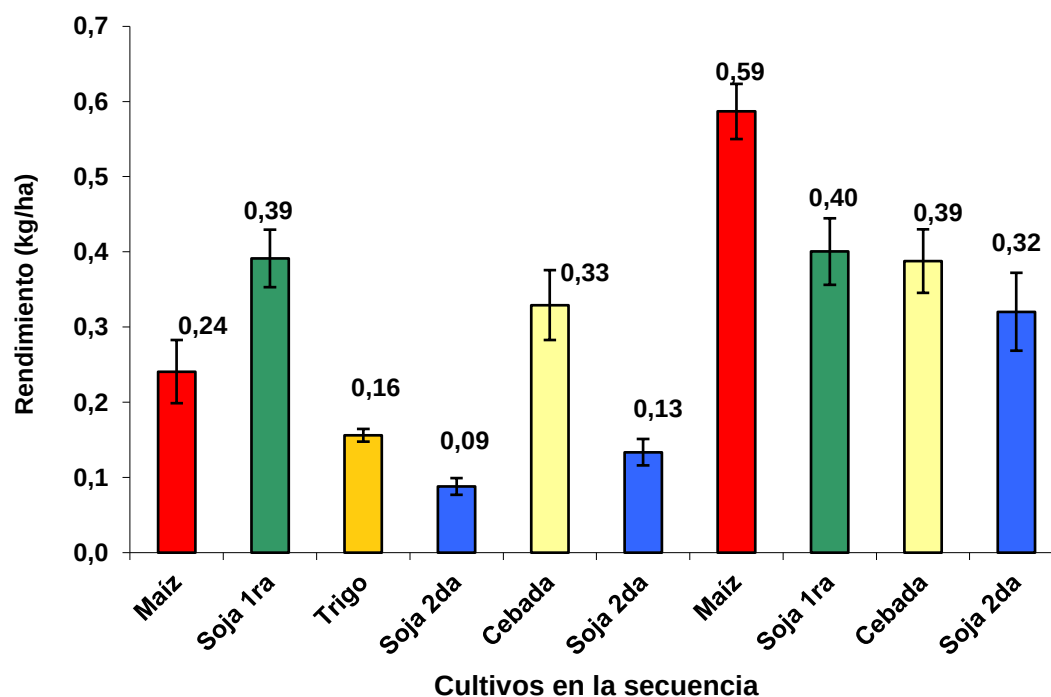


Figura 6: *Fracción de fósforo recuperada en planta entera según cultivo. Ensayo de larga duración, Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2012/13.*

La eficiencia de recuperación de P en planta entera osciló entre 0,25 y 0,40, siendo menor en la medida en que aumenta la dosis aplicada (Figura 5). Para generar residualidad y mantener o incrementar su disponibilidad en el suelo, es necesario no maximizar la eficiencia de recuperación de P en planta, tal es el objetivo de las estrategias de reposición y reconstrucción.

Los cultivos mostraron una capacidad variable de recuperación del fertilizante aplicado (Figura 7). El comportamiento general muestra una mayor eficiencia en cultivos de verano con relación a los de invierno, entre los de primera siembra. En campañas climáticamente similares, el maíz del quinto año asimiló mayor proporción de fertilizante que el del primero, probablemente a causa de la acumulación de fracciones lábiles de P con las sucesivas fertilizaciones. En cambio, la soja absorbió en planta una proporción similar entre la campaña 2007/08 y 2011/12, aunque esta última fue notoriamente más seca que la primera. La soja de segunda fue el cultivo con menor eficiencia de captura del P agregado en la secuencia –fue aplicado antes del cultivo de invierno- afectado por la mayor capacidad de la gramínea para absorber nutrientes, su siembra en segundo lugar después de la fertilización, y los períodos secos que suele atravesar un cultivo de segunda sin barbecho previo. Por último, el trigo y la soja de la campaña seca 2008/09 recuperaron muy poco fertilizante en comparación con la cebada/soja de los ciclos húmedos 2009/10 y 2012/13.

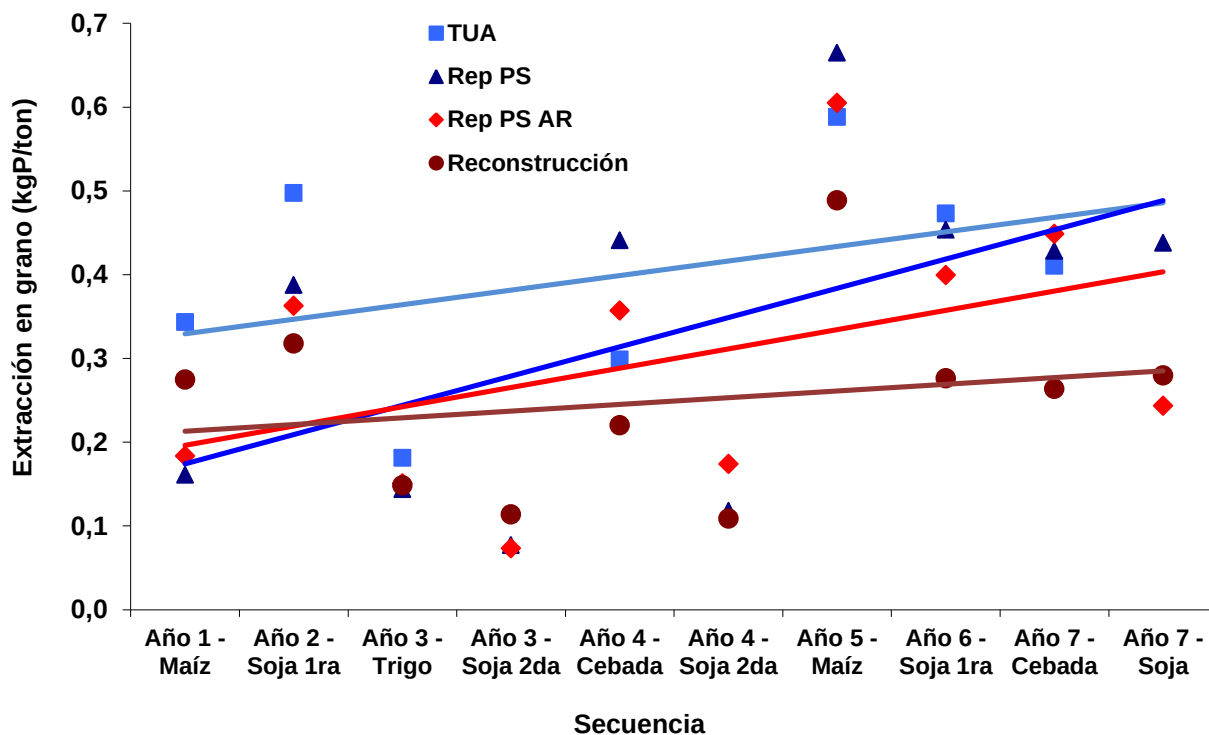


Figura 8: Fracción de fósforo recuperada en planta entera a lo largo del tiempo, según combinación de estrategia y cultivo. Ensayo de larga duración, Arribeños, General Arenales. Campaña 2012/13.

Por su parte, la combinación de cultivos y estrategias muestra una tendencia creciente de recuperación del fertilizante en el tiempo, es decir una mayor eficiencia de los cultivos para asimilar fertilizante fosforado en la medida en que una estrategia de fertilización se sostiene por varios años (Figura 8). Los tratamientos de reposición fueron los más representativos de este comportamiento, con una pendiente de incremento de la eficiencia superior al tratamiento de dosis fija (TUA) y, a partir del cultivo de cebada (quinto de la secuencia), en muchos casos fueron los más eficientes (Figura 8).

CONSIDERACIONES FINALES

- * Las estrategias de fertilización impactaron en los rendimientos, modificaron el balance de nutrientes y este a su vez correlacionó fuertemente con los niveles finales de P en suelo. La forma de aplicación de los nutrientes, al voleo a la siembra, en ningún caso condicionó la expresión de los tratamientos.
- * Las diferencias en productividad neta entre estrategias se amplían campaña tras campaña. Así, la diferencia entre los tratamientos T5 y T1 alcanza luego de 7 años y 10 cultivos a un 56,9 %.
- * Para P y S, estrategias pensadas como de reposición finalmente resultaron ser de reconstrucción. Por este motivo, antes de evaluar la viabilidad técnica y económica de un esquema de fertilización, es importante cuantificar los niveles de entrada y salida de nutriente para un sistema productivo y ambiente en particular.
- * Diferentes dosis de aplicación de nutrientes generan cambios previsibles de su disponibilidad en el suelo. Luego de seis años de experimentación, la tasa de cambio fue de 1 mg kg^{-1} de P Bray (0-20 cm) por cada $6,75 \text{ kg Pha}^{-1}$ de diferencia entre agregado y extracción. La pendiente de esta relación cambia ligeramente año tras año, con una tendencia a disminuir evidenciando una acumulación de fracciones lábiles en el suelo. Sin embargo, la relación se tornó más robusta y no se verificaron cambios entre el 6^{to} y 7^{mo} año.
- * Apoyando la sugerencia de una acumulación de formas lábiles de P, la fracción recuperada en planta aumenta a lo largo del tiempo, tendencia que es más pronunciada en los tratamientos denominados de reposición.

BIBLIOGRAFÍA

- *García, F. y A. Correndo. 2011. Cálculo de requerimientos nutricionales. Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes en cereales, oleaginosas, industriales y forrajeras. IPNI Programa Latinoamérica Cono Sur. Disponible on line www.ipni.net
- *Ciampitti I. 2009. Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo. M.Sc. thesis. FA-UBA. Buenos Aires, Argentina. XX pag.
- *Mallarino, A.P. and J. Prater. 2007. Corn and soybean grain yield, P removal, and soil-test responses to long-term phosphorus fertilization strategies. Proceeding 19th Annual Integrated Crop Management Conference, Ames, Iowa State University.
- *Messiga, A.J., N. Ziadi, D. Plenet, L.E. Parent & C. Morel. 2010. Long-term changes in soil phosphorus status related to P budgets under maize monoculture and mineral P fertilization. Soil Use and Management, 26, 354–364.