

EFFECTOS DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE LOS RENDIMIENTOS, EL BALANCE DE NUTRIENTES Y LA FERTILIDAD QUÍMICA DE LOS SUELOS EN EL LARGO PLAZO

G.N. Ferraris^{1,*}, M. Toribio², R. Falconi³, R. Falcone² y F. Moriones²

¹INTA Estación Experimental Agropecuaria Pergamino, ²Profertil S.A. Investigación y Desarrollo, ³El Ceibo Cereales S.A.

* Contacto: ferraris.gustavo@inta.gob.ar

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 química de los suelos. Con el propósito de estudiar la evolución en el tiempo de los rendimientos, el balance de nutrientes y las propiedades del suelo se diseñó un ensayo de estrategias de fertilización NPS en la secuencia maíz-soja-trigo/soja-cebada/soja (Mz-Sj-Tr/Sj-Ce/Sj). El proyecto se inició en la campaña 2006/07, con maíz como el primer cultivo, llegando a once períodos completos en la campaña 2016/17. En este escrito se reporta el efecto de las diferentes estrategias de fertilización NPS sobre: 1) los rendimientos anuales durante el período 2006/07 a 2016/17; 2) los rendimientos acumulados, el balance de nutrientes y su nivel final en el suelo luego de diez años (2006/07-2016/17); 3) la eficiencia de recuperación de P; y 4) la rentabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo es conducido en la localidad de Arribeños, partido de General Arenales. Se plantea en un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones, integrando una rotación de seis cultivos en cuatro años (M-Sj-T/Sj-C/Sj). Cabe aclarar que en el segundo ciclo de la rotación se cambió Trigo/Soja por Cebada/Soja en el orden. El inicio de la secuencia se realizó con el cultivo de maíz, durante la campaña 2006/07, llegando al undécimo año 2016/17 nuevamente con maíz. Los tratamientos implican cinco manejos diferentes de fertilización, donde los fertilizantes son agregados en cobertura total al momento de la siembra (**Tabla 1**). Como fuentes se utilizaron superfosfato triple de calcio (0-20-0), superfosfato simple de calcio (0-9-0-12S) y urea granulada (46-0-0).

Tabla 1. Tratamientos y dosis (kg ha⁻¹) de N, P y S aplicados en promedio en los cultivos de Trigo/Soja – Maíz – Soja. En trigo y cebada 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. Campañas 2006/07 a 2016/17, once años de experimentación.

Tratamiento	Criterio de fertilización	Nitrógeno (N)					
		maíz	soja	trigo	soja 2 ^{da}	cebada	soja 2 ^{da}
T1	Testigo sin fertilización	0	0	0	0	0	0
T2	Tecnología Uso Actual	46	0	46	0	46	0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	94	0	83	0	83	0
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	114	0	113	0	113	0
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	114	0	113	0	113	0

Tratamiento	Criterio de fertilización	Fósforo (P)					
		maíz	soja	trigo	soja 2 ^{da}	cebada	soja 2 ^{da}
T1	Testigo sin fertilización	0	0	0	0	0	0
T2	Tecnología Uso Actual	16	16	16	0	16	0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	30	22	16	15	16	15
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	30	26	20	22	20	22
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	46	42	36	22	36	22

Tratamiento	Criterio de fertilización	Azufre (S)					
		maíz	soja	trigo	soja 2 ^{da}	cebada	soja 2 ^{da}
T1	Testigo sin fertilización	0	0	0	0	0	0
T2	Tecnología Uso Actual	0	0	0	0	0	0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	18	12	7	8	7	8
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	18	15	9	11	9	11
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	18	15	9	11	9	11

Determinaciones realizadas

En el suelo

Previo a la siembra de trigo 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 extractable (Bray I), N total, N-nitrato y S-sulfato.

En el cultivo

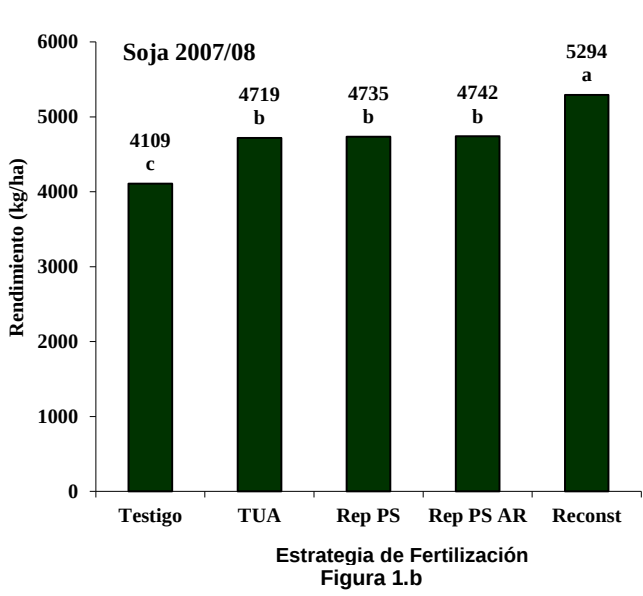
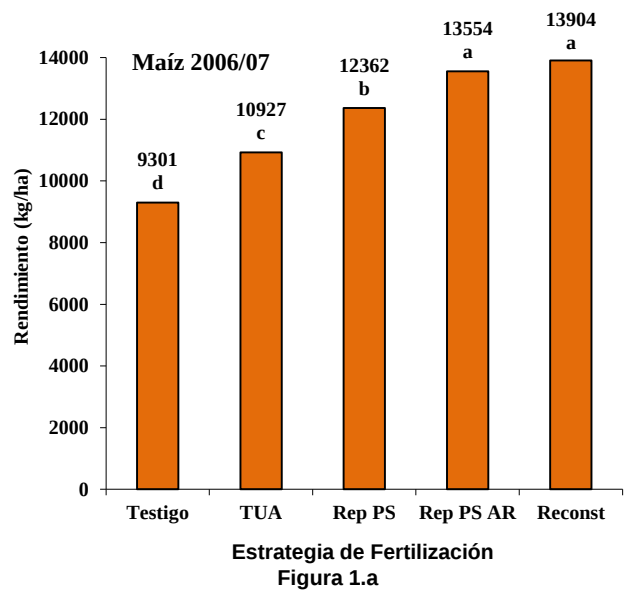
A cosecha se evalúan el rendimiento de los cultivos y sus componentes, número y peso de los granos. En una muestra de grano de cada parcela se cuantificó el contenido de N, P y S. Con los datos de rendimiento, concentración de nutrientes en grano y dosis aplicada de los mismos se realizó un balance de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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Efectos sobre los rendimientos anuales.

Anualmente, se determinaron diferencias significativas en los rendimientos de al menos un cultivo entre 2006/07 y 2016/17 (Figura 1). En el Maíz de 2006/07 los rendimientos máximos se alcanzaron por T4 y T5, los que a su vez superaron a T3, este a T2, y a la vez este a T1, respectivamente (Figura 1.a). En 2007/08 los rendimientos máximos fueron en T5, superando a T2, T3 y T4, y estos a T1 (Figura 1.b). En el ciclo siguiente, los cultivos estuvieron afectados por una fuerte sequía. En trigo,

todos los tratamientos superaron al testigo, con el rendimiento máximo en T5. Los tratamientos de mayor fertilización permitieron leves mejoras en la concentración de proteína en grano. En la soja de segunda subsiguiente, T4 y T5 superaron a los tratamientos T1 y T2 (Figura 1.c). En el ciclo 2009/10 no se determinaron diferencias significativas en los rendimientos de cebada ($P>0,10$), pero sí en soja de segunda, con el tratamientos T4 por encima de T2 y T5. A su vez, T4 y T3 superaron a T1 (Figura 1.d). El comienzo de un nuevo ciclo de rotación en 2010/11 trajo rendimientos de maíz máximos en T3, T4 y T5, estos a su vez superaron a T2, y éstos a T1 (Figura 1.e). Un resultado similar se determinó en 2011/12, donde todos los tratamientos superaron a T1 (Figura 1.f). En la cebada de la campaña 2012/13, nuevamente todos los tratamientos superaron a T1, sin cambios significativos en el % de proteína. Las diferencias fueron más marcadas en soja de segunda, donde T3, T4 y T5 alcanzaron rendimientos significativamente superiores a T2, y éstos a los de T1 (Figura 1.g). El Trigo de 2013/14 mostró rendimientos superiores en T5 vs T3, en T4 y T5 vs T2, y en T3, T4 y T5 vs T1, con una significativa ganancia de proteína. En soja de segunda, T3, T4 y T5 superaron a T1 (Figura 1.h). La soja de primera del ciclo 2014/16 alcanzó rendimientos superiores en T5 respecto de T1 y T2, y de T3, T4 y T5 en comparación con T1 (Figura 1.i). Durante la campaña húmeda 2015/16, los tratamientos T3, T4 y T5 alcanzaron rendimientos muy elevados, superando a T2, y este a T1, respectivamente (. Sin embargo, el T5 alcanzó los niveles máximos de concentración de proteína. La soja de segunda mantuvo la tendencia, con T3, T4 y T5 en el escalón máximo de rendimiento (Figura 1.i). Finalmente, en la campaña 2016/17 el maíz mostró un comportamiento destacadísimo agrupando cuatro niveles de significancia estadística: T5 superior al resto, seguido por T3 y T4 en un nivel de equidad. Luego continuaron T2 y más abajo T1 con un rendimiento muy bajo y considerable brecha con los anteriores (Figura 1.k).



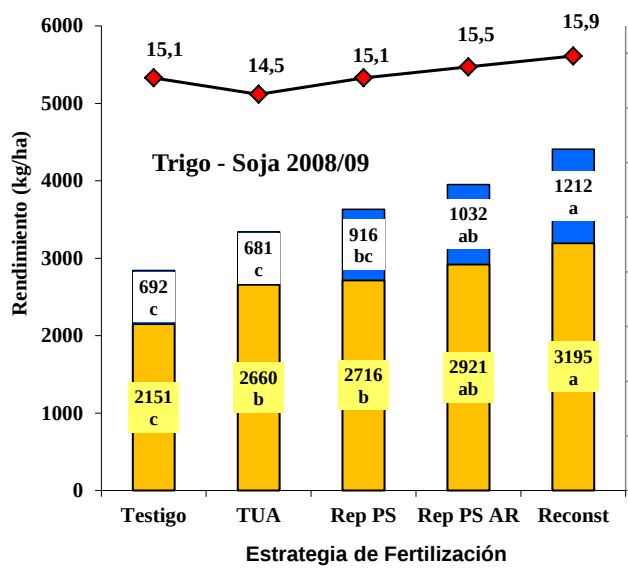


Figura 1.c

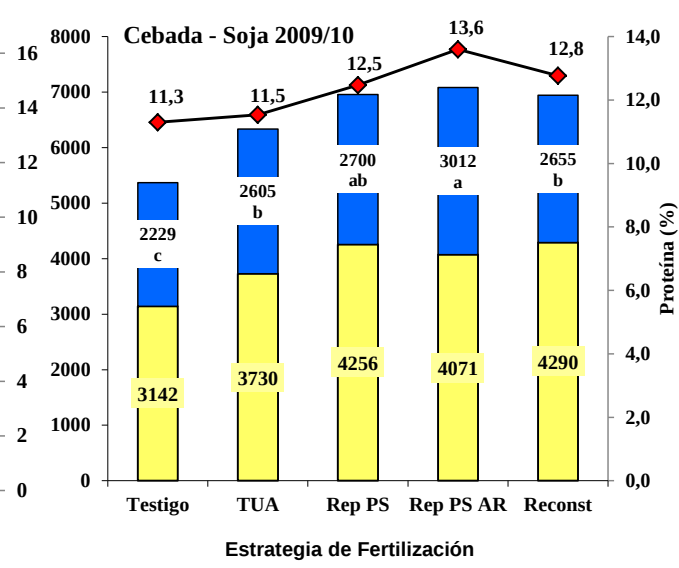


Figura 1.d

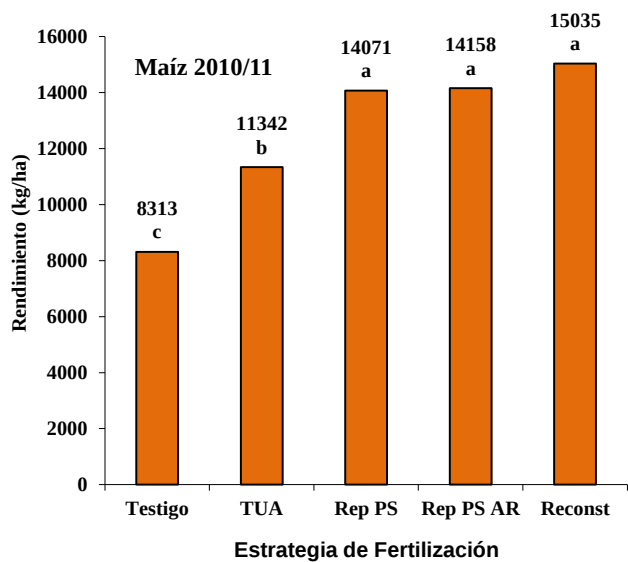


Figura 1.e

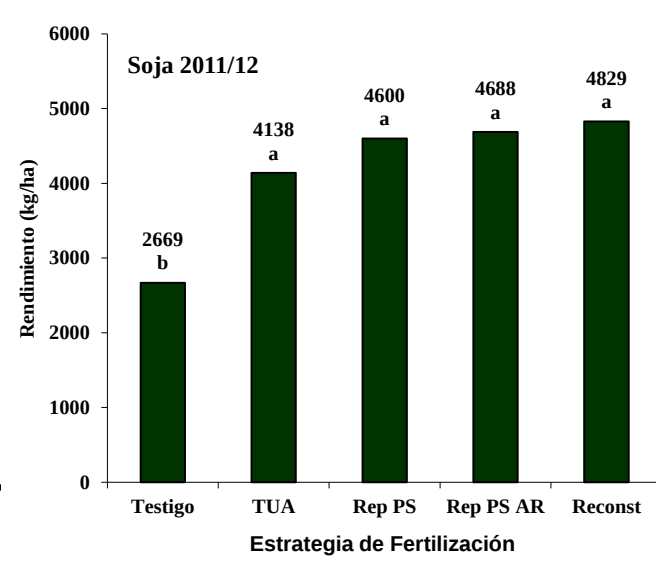


Figura 1.f

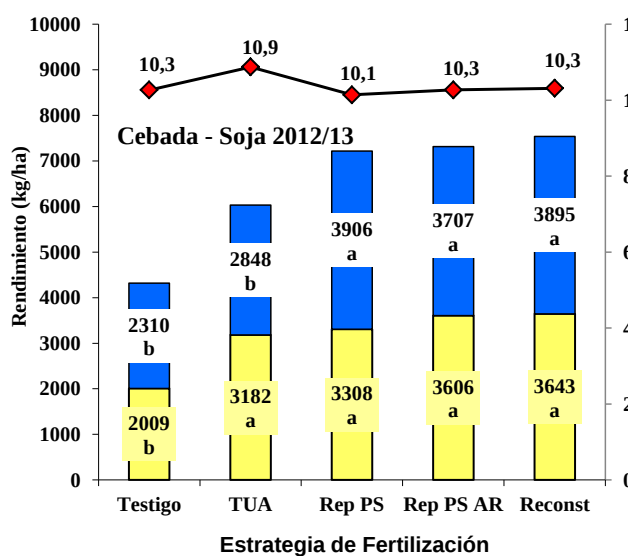


Figura 1.g

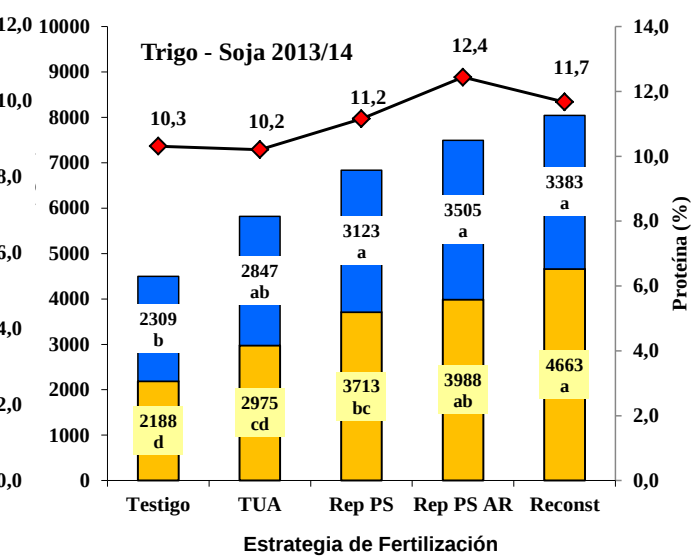


Figura 1.h

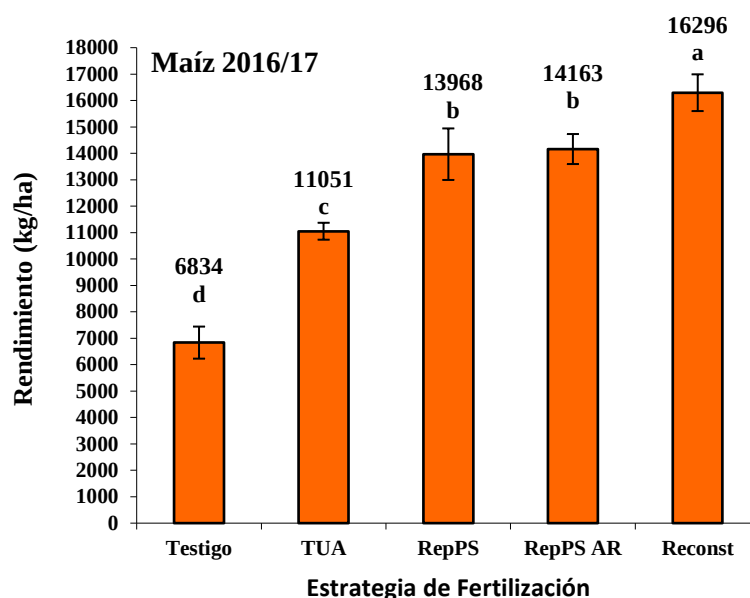
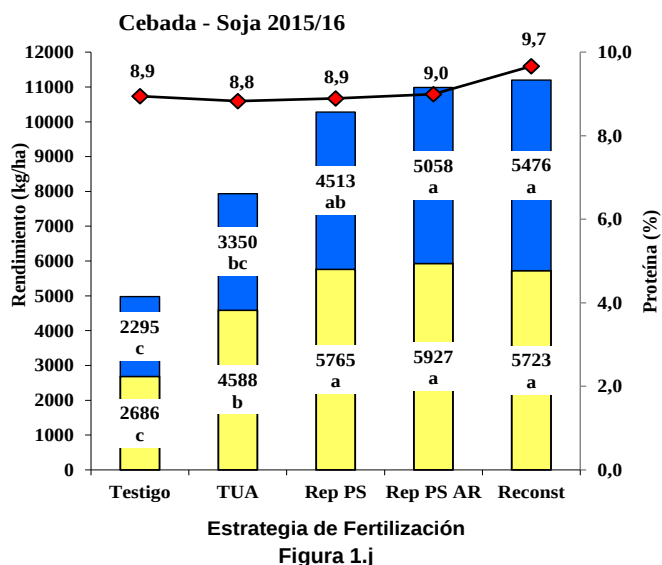
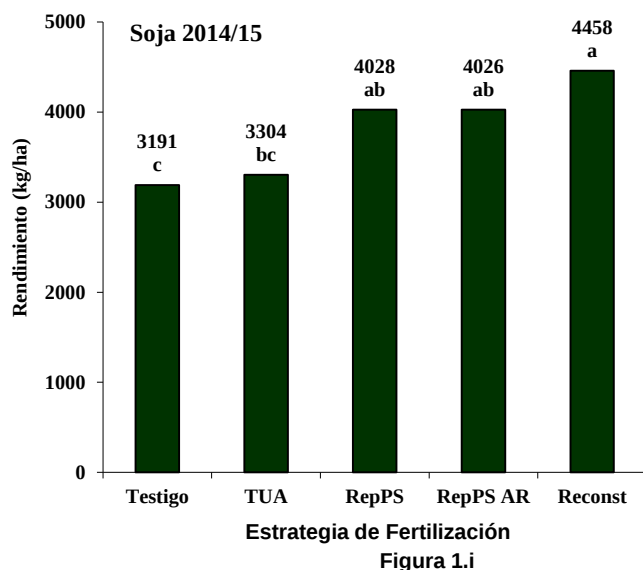


Figura 1.k

Figura 1. Rendimiento anualizado de diferentes estrategias de fertilización. Dentro de cada cultivo, letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. Ensayo de estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. Campañas 2006/07 a 2016/17. Arribeños, General Arenales.

B. Efectos sobre los rendimientos acumulados, el balance de nutrientes y su nivel final en el suelo luego de once años: 2006/07-2016/17.

La productividad acumulada de la secuencia –quince cultivos en once campañas- mantuvo su tendencia consistente en ampliar la diferencia entre tratamientos conforme el paso del tiempo. Así, mientras el testigo acumuló 56423 kg grano ha⁻¹, el tratamiento T5 de reconstrucción llegó a 97909 kg ha⁻¹, siendo la brecha de rendimiento de 73,5% (**Figura 2**). Esta brecha es superior a la observada por Correndo et al., (2015) en un ensayo de 14 campañas sobre un sitio de buena fertilidad en la secuencia maíz – soja - trigo/soja. Sin embargo, es inferior a la que estos mismos autores determinaron en un ambiente de menor fertilidad inicial, cultivado con la secuencia maíz – trigo/soja.

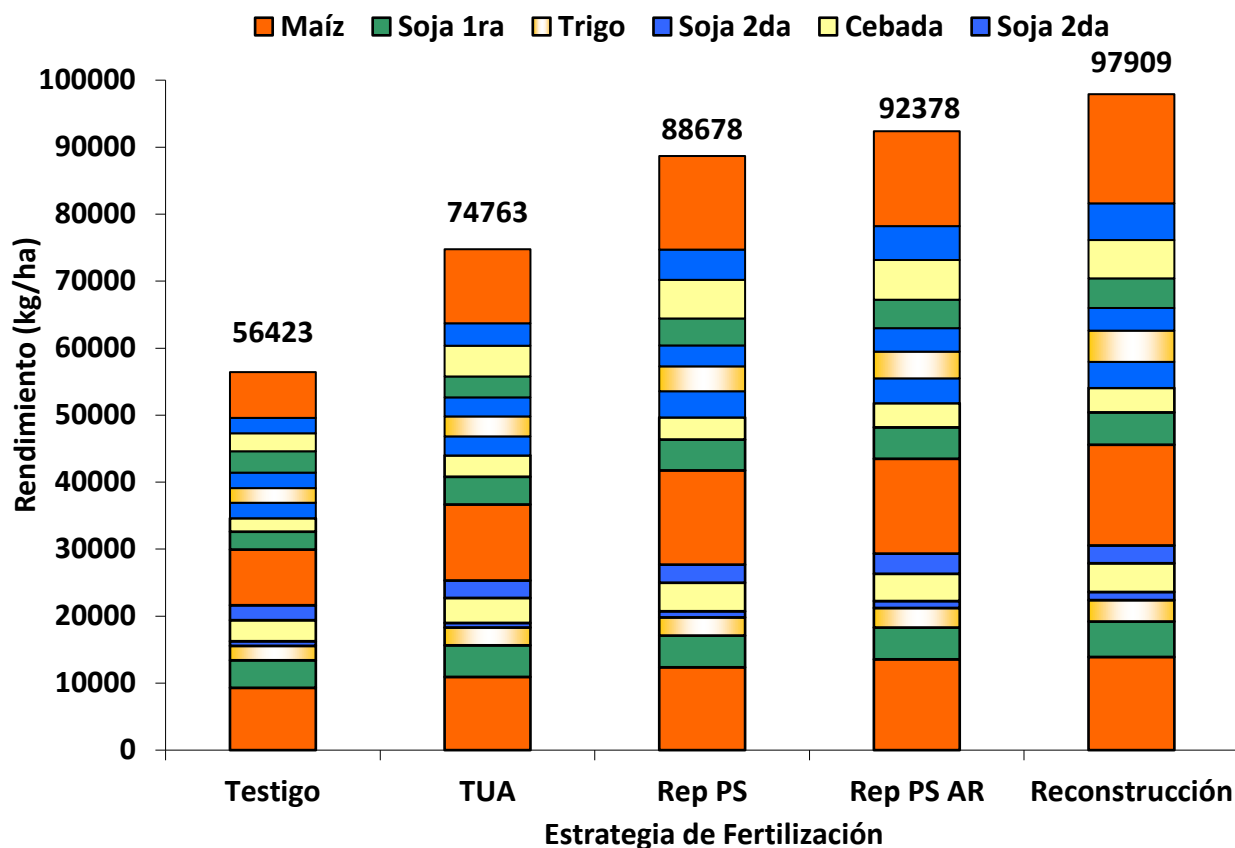


Figura 2. Producción por cultivo (kg ha^{-1}) de diferentes estrategias de fertilización acumulada en una secuencia maíz - soja - trigo/soja - cebada/soja - maíz - soja - cebada/soja - trigo/soja - soja - cebada/soja - maíz. Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2016/17.

Con los datos de concentración de nutrientes en grano, los rendimientos y la dosis aplicada de cada uno de ellos es posible estimar el balance para cada tratamiento (**Tabla 2**). El balance de N fue negativo para todas las estrategias, incluso considerando el aporte por fijación biológica (FBN). Aun ponderando los ingresos vía este mecanismo, los balances variaron desde -386 a $-635 \text{ kg N ha}^{-1}$. Aunque el balance de N en los cultivos de gramíneas tiende a ser neutro o positivo (datos no mostrados), el cultivo de soja -al no fertilizarse con N- genera los mayores balances negativos, dado que la FBN cubre aproximadamente la mitad de la demanda del cultivo (Collino et al., 2007).

En P y S, los tratamientos testigo y de tecnología de uso actual (T1, T2) reflejaron un balance negativo, mientras que en aquellos de reposición se sobreestimó la extracción del nutriente dando como resultado un balance positivo (T3, T4, T5) (**Tabla 2**). Esto estaría asociado a concentraciones en grano inferiores a las inicialmente estimadas. A modo de ejemplo, la concentración de tendencia de P en grano de soja en nuestro experimento fue de $0,42 \%$, frente al valor medio sugerido de $0,5 \%$ (IPNI, 2013). Un balance positivo de P a causa de concentraciones de P en grano inferiores a los valores tabulados a partir de los cuales se diseñaron tratamientos de reposición fue observado por Ventimiglia et al., (2012), quien bajo una secuencia de soja continua determinó una concentración de $0,29$ a $0,35 \%$ de P en grano. Por su parte, Berardo, (2003) propone concentraciones de P en grano de soja de $0,5 \%$ ($0,4$ - $0,6$), similares a los máximos observados en nuestro experimento.

Tabla 2. Balance de nitrógeno, fósforo y azufre (kg ha⁻¹) para los diferentes tratamientos durante la secuencia 2006/07 - 2016/17. Los datos de rendimiento y extracción 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% en leguminosas proviene de esa fuente.

Trata miento	Agregado (kg ha ⁻¹)				Extracción (kg ha ⁻¹)			Balance (kg ha ⁻¹)			
	N (Fertilizante)	N (FBN)	P	S	N	P	S	N (Ferti lizante)	N (FBN)	P	S
T1	0	661	0	0	1403	147	55	-1403	-742	-147	-55
T2	368	843	176	0	1769	215	67	-1401	-558	-39	-67
T3	631	954	313	165	2098	249	90	-1466	-512	64	75
T4	826	1008	389	207	2218	262	94	-1392	-384	127	113
T5	826	1023	565	207	2348	294	99	-1522	-499	271	108

La evolución en el tiempo de la concentración de P Bray-1 en suelo (**Figura 3**) reflejó las tendencias observadas en los balances de **Tabla 2**. Incrementos muy notables en el P Bray-1 en suelo como resultado de un balance positivo de P fueron documentados por Mallarino y Prater (2007), quienes postulan que la tasa de incremento 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 en el suelo, por el permanente pasaje de P en solución o adsorbido a fracciones más estables.

El contenido de MO, N total y el pH no manifestaron cambios importantes. El testigo fue el tratamiento con niveles finales de pH más alto, de acuerdo con su menor aporte de residuos, menor exportación de bases y la ausencia de efecto acidificante de los fertilizantes (**Tabla 3**). Es probable que los plazos abarcados por esta experiencia sean todavía breves para reflejar efectos de mayor magnitud en parámetros como MO o N total. Apoyando estos resultados, el promedio de cinco sitios de una red conducida por los grupos CREA en el Sur de Santa Fe mostró luego de 13 años una caída de MO de 3,1 a 2,7 %, y un incremento en el pH de 5,7 a 6,1 en el tratamiento Testigo, en comparación con la fertilización permanente con NPS (Boxler et al., 2013).

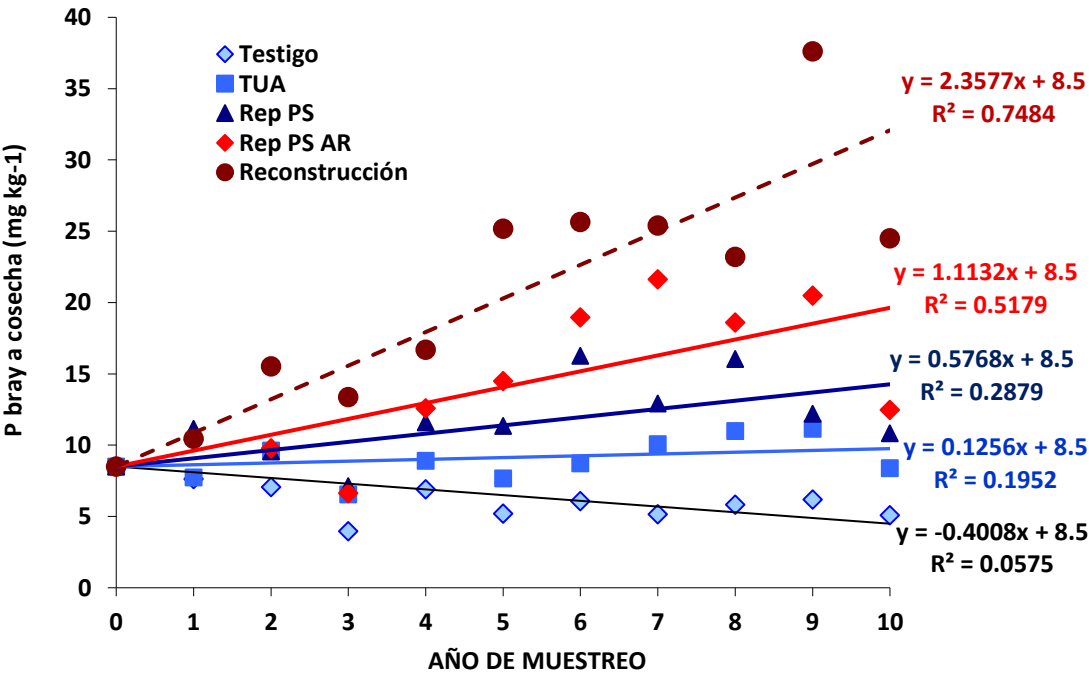


Figura 3. Evolución del P extractable en suelo (Bray-1, 0-20 cm) según estrategia de fertilización, luego de diez campañas y catorce cultivos, hasta la campaña 2015/16.

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

Tratamiento	MO (%)	pH	N total (%)	N-NO ₃ ⁻ 0-40 cm (kg ha ⁻¹)	P Bray-1 (mg kg ⁻¹)	S-SO ₄ ⁻² (mg kg ⁻¹)
Inicial	2,38	5,6	0,119	17,8	8,5	13,8
T1	2,57	5,7	0,128	8,8	5,1	9,1
T2	2,40	5,6	0,120	11,9	8,4	5,3
T3	2,48	5,6	0,124	12,9	10,9	6,5
T4	2,42	5,5	0,121	12,2	12,5	8,7
T5	2,39	5,6	0,119	12,7	24,5	6,4

La relación entre el balance de P (**Tabla 2**) y el P Bray⁻¹ determinado en el suelo al final de la cosecha (**Figura 3, Tabla 3**) permite estimar la tasa de cambio en función de la extracción o reposición del nutriente. La **Figura 4** muestra una función de diferente pendiente según el balance resulte positivo o negativo. La inversa de la pendiente que relaciona estos parámetros indica la dosis de P o balance negativo necesario para variar en 1 mg kg⁻¹ el nivel del análisis de P Bray-1 en el suelo. De acuerdo con este análisis, por cada **4 kg P ha⁻¹** por sobre lo extraído por cosecha, el nivel de P en suelo aumentaría en una unidad. Por el contrario, cuando el balance es negativo actúa el poder buffer del suelo liberando fracciones estables de P hacia formas más lábiles, y por lo tanto amortiguando la tasa de caída. Así, por cada **5,7 kg P ha⁻¹** de balance negativo su nivel en el suelo disminuiría en 1 mg kg⁻¹ (**Figura 4**). Esta tasa de cambio ha bajado sustancialmente con el tiempo, especialmente en los últimos años, luego de alcanzar un máximo de 11.9 kg P ha⁻¹ en 2009, después del tercer año de ensayo. Es probable que la acumulación de fracciones lábiles de P sature cargas positivas y disminuya así la retención/fijación del P 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). La pendiente de la relación entre nivel final de P y balance es más consistente y presenta mayor ajuste en el rango de balance negativo en comparación con el lado positivo, donde se observa una mayor variabilidad de datos (**Figura 4**). En algunos casos, particularmente provenientes de los años 2012, 2013, 2015 y en menor medida 2014, pareciera dividirse la pendiente, siendo de menor magnitud y mayor dispersión en los procesos de ganancia de P que en los de pérdida. Este comportamiento dual fue observado por Ciampitti (2009), a partir de ensayos conducidos en el sur de Santa Fe, sobre suelos similares a los de este sitio experimental.

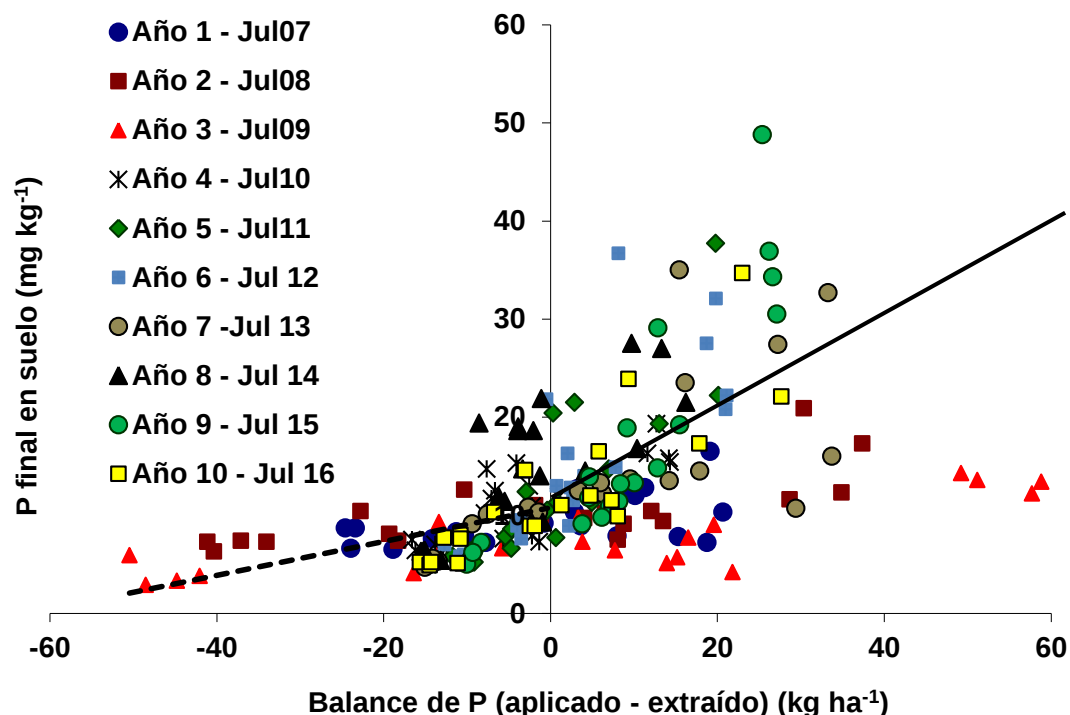


Figura 4. Relación entre el nivel de P extractable en suelo a cosecha (0-20 cm, mg kg^{-1}) luego de diez años y el balance de P (aplicado-extraído en kg ha^{-1}) determinado en cada tratamiento. Campañas 2006/07 a 2015/16. La inversa de la pendiente indica la cantidad de P que es necesario agregar (o retirar) para variar la concentración de P en suelo en 1 mg kg^{-1} .

Eficiencia de recuperación de P según cultivo y estrategia de fertilización

En función de la dosis de P aplicada, los rendimientos y la concentración de P en grano se calculó la eficiencia de recuperación del fertilizante aplicado. Para ello se transformaron los valores de P en grano a P en planta entera según los índices de cosecha de P propuestos por IPNI (2013).

La eficiencia de recuperación de P en planta entera osciló entre 0,30 y 0,41, siendo menor en la medida en que aumentó la dosis aplicada (**Figura 5**). Estos valores se encuentran dentro del rango de 0,10 a 0,35 propuesto por diferentes autores (Ciampitti, 2009; Johnston and Syers, 2009; Rubio et al., 2008). Los cultivos mostraron una capacidad variable de recuperación del fertilizante aplicado (**Figura 6**). 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 undécimo año asimiló mayor proporción de fertilizante que el del quinto, y este a su vez fue más eficiente en recuperación respecto 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 en las campañas 2007/08, 2011/12 y 2014/15, aunque fueron disímiles climáticamente y en los rendimientos, evidenciando que la eficiencia de recuperación es muy conservativa en este cultivo. En el ciclo húmedo y favorable 2015/16, se verificó una gran facilidad para la asimilación de P proveniente del fertilizante, determinando valores de eficiencia que elevaron el promedio general. La soja de segunda fue el cultivo con menor eficiencia de captura del P agregado en la secuencia –fue aplicado al sembrar el 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. El ciclo 2015/16 representó una excepción a este comportamiento. Por la carencia de P, el T1 presenta una concentración en grano notablemente inferior, favoreciendo la diferencia de acumulación total entre testigo y fertilizados. Esto repercute incrementando la eficiencia de absorción del nutriente. 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, o la secuencia de doubles cultivos en las campañas 2013/14 y 2015/16. El valor promedio para todas las secuencias y tratamientos fue de **35,1 %** de P recuperado en el primer año de su aplicación (**Figura 6**). Dentro de este rango, las gramíneas

fueron más eficientes (**40%**) en comparación con la soja (**30%**). Los valores de eficiencia de recuperación de nutrientes mostrados por la bibliografía son muy amplios, y están influenciados por factores de suelo y cultivo tales como textura, nivel de P inicial, pH, presencia de Calcio (Ca) y carbonatos, precipitaciones, dosis aplicada y rendimiento del cultivo, entre otros.

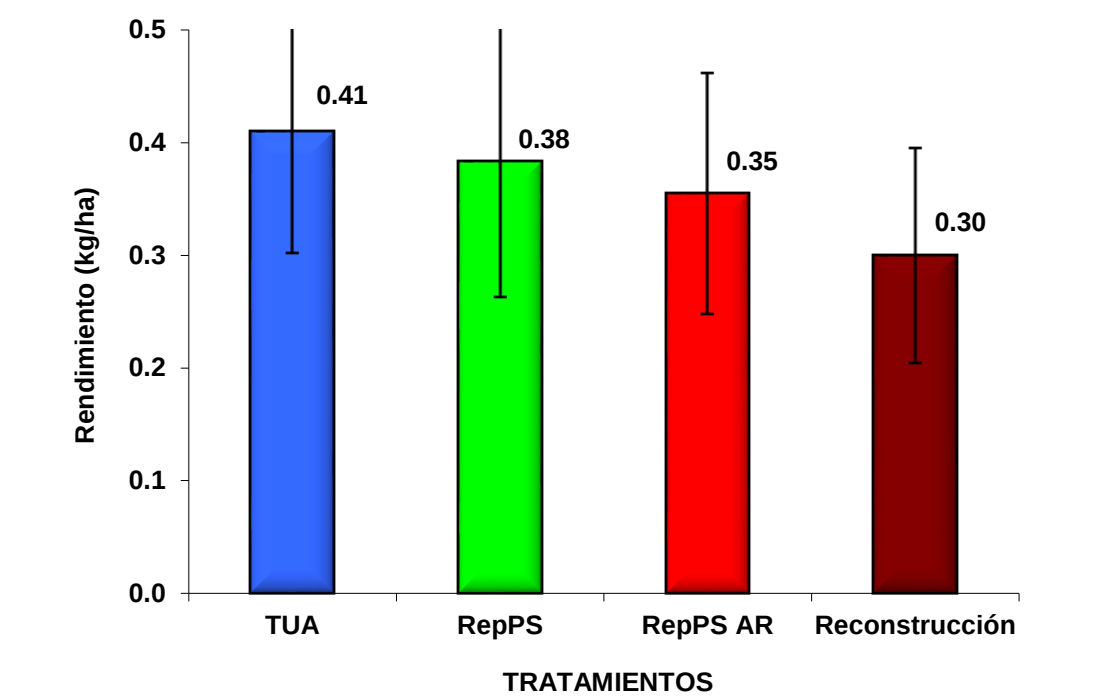


Figura 5. Fracción de fósforo recuperada en planta entera según estrategia de fertilización. Las barras verticales representan la desviación estándar de la media. Ensayo de larga duración, Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2015/16.

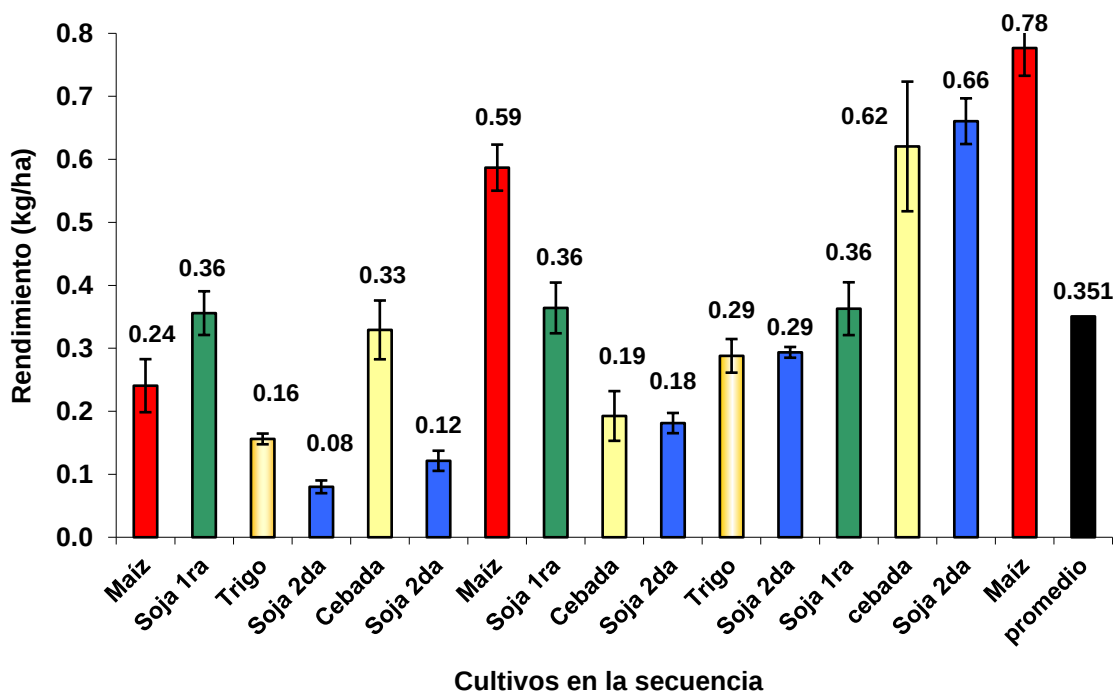


Figura 6. Fracción de fósforo recuperada en planta entera según cultivo. Las barras verticales representan la desviación estándar de la media. Ensayo de larga duración, Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2015/16.

Rentabilidad de la fertilización

En la **Figura 7** se muestra la distribución del ingreso entre inversión en fertilizantes y rentabilidad de la misma, acumulada luego de 11 años, actualizando los precios de cereal y fertilizantes a Agosto de 2017. La fertilización fue económicamente rentable. La estrategia de mínima o uso actual (TUA-T2) alcanzó menor rentabilidad que aquellas de reposición o reconstrucción. Estas últimas evidenciaron una rentabilidad creciente, aunque sin grandes variaciones entre sí. La rentabilidad mejorada de los tratamientos T5 vs T4, y de este sobre T3 es una novedad emergente de las dos últimas campañas, a partir de una mejora relativa en el precio de los cereales, y el bajo costo de los fertilizante, lo que deriva en relaciones de precio producto:insumo favorables (Figura 7).

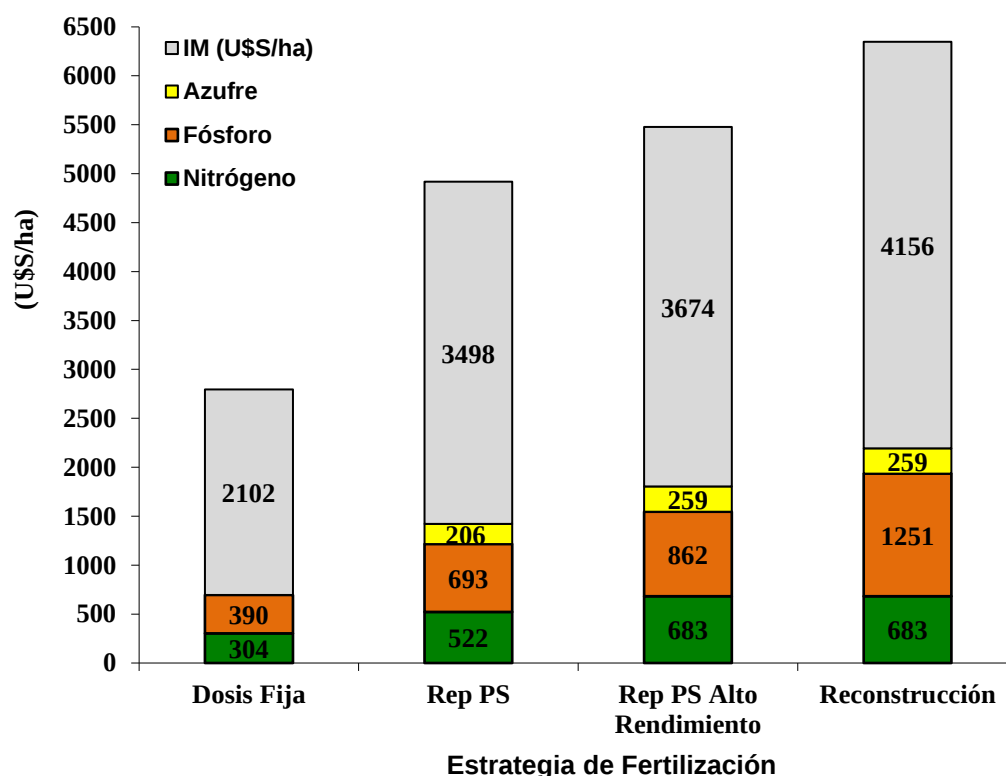


Figura 7. Ingreso adicional de las estrategias de fertilización y su distribución en inversión en fertilizantes nitrogenados, fosforados, azufrados y la rentabilidad de la fertilización. Valores expresados en US\$ con precios de insumos, cereal y gastos de comercialización actualizados a Agosto de 2017.

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.

* Las diferencias en producción de granos entre estrategias se amplían campaña tras campaña. Así, la diferencia entre los tratamientos T5 y T1 alcanza luego de 11 años y 15 cultivos a un 73,5 %.

* 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 generaron cambios previsibles de su disponibilidad en el suelo. Luego de once años de experimentación, la tasa de cambio fue de 1 mg kg^{-1} de P Bray (0-20 cm) por cada 4 kg P ha^{-1} de balance positivo y $5,7 \text{ kg P ha}^{-1}$ de balance negativo. La relación cambia ligeramente año tras año, con una tendencia a disminuir evidenciando una acumulación de fracciones lábiles en el suelo.

* La recuperación media de P en planta entera – estimando un índice de cosecha de referencia – alcanza alrededor de un 35,1 % del P aplicado, valor que se encuentra dentro del rango mencionado

en la bibliografía. La recuperación fue superior en gramíneas alcanzando un 40%, mientras que en soja fue de 30%.

* La fertilización resultó económicamente rentable. Las estrategias de reposición y reconstrucción (T3, T4 y T5) resultaron con rentabilidades crecientes y superiores al tratamiento de dosis fija, aun sin considerar la capitalización en nutrientes ante balances más positivos como consecuencia de las mayores dosis de aplicación en todos los nutrientes. Esta rentabilidad superior sirve de justificativo a la utilización de herramientas de diagnóstico, por sobre el criterio intuitivo de repetir la misma dosis de fertilizante todos los años.

BIBLIOGRAFÍA

- Berardo, A.** 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. In Simposio "El fósforo en la agricultura Argentina". INPOFOS. Rosario, 8 y 9 de mayo del 2003.
- Boxler, M., F. O. García, A. Correndo, S. Gallo, R. Pozzi, M. Uranga, F. Bauschen, H. Rivero, N. Reussi Calvo y A. Berardo** 2013. Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos. Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2012/13: Maíz, 25 pp. Disponible on-line www.ipni.net/lacs
- Carver, R. E., Nelson, N. O., Abel, D. S., Roozeboom, K., Kluitenberg, G. J., Tomlinson, P. J., & Williams, J. R.** (2017). Impact of Cover Crops and Phosphorus Fertilizer Management on Nutrient Cycling in No-Tillage Corn-Soybean Rotation. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 3(3), 5.
- Ciampitti, I.A.** 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.
- Collino, D., M. de Luca, A. Perticari, S. Urquiaga, y R. Racca.** 2007. Aporte de la FBN a la nutrición de la soja y factores que la limitan en diferentes regiones del país. Actas XXIII Reunión Latinoamericana de Rizobiología. Los Cocos, Córdoba. Argentina.
- Correndo, A., M. Boxler y F. García.** 2015. Reposición de nutrientes en el largo plazo ¿Qué nos dicen los números? Pp 84-94. Actas del Simposio Fertilidad 2015. Cd-ROM.
- Dodd, J. R., & Mallarino, A. P.** (2005). Soil-test phosphorus and crop grain yield responses to long-term phosphorus fertilization for corn-soybean rotations. *Soil Science Society of America Journal*, 69(4), 1118-1128.
- Drury, C. F., & Tan, C. S.** (1995). Long-term (35 years) effects of fertilization, rotation and weather on corn yields. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(2), 355-362.
- Edwards, C. L.** (2017). *Evaluation of long-term phosphorus fertilizer placement, rate, and source, and research in the US Midwest* (Doctoral dissertation, Kansas State University).
- Ferraris, G., M. Toribio, R. Falconi y L. Couretot.** 2012. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 6: 2-6.
- Ferraris, G., M. Toribio, R. Falconi y L. Couretot.** 2015. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. Actas CD Simposio Fertilidad 2015. pp 137-142. "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro". Rosario, 19-20 Mayo 2015. IPNI Cono Sur – Fertilizar AC.
- IPNI.** 2013. 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 <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>.
- Jarosch, K., Oberson, A., Emmanuel, F., Gunst, L., Dubois, D., Mäder, P., & Mayer, J.** (2017, April). Phosphorus (P) balances and P availability in a field trial comparing organic and conventional farming systems since 35 years. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 19, p. 15377).
- Johnston A. and J. Keith Syers.** 2009. A New Approach to Assessing Phosphorus Use Efficiency in Agriculture. *Better Crops/Vol.* 93 (2009, No. 3).
- Mallarino, A., Havlovic, B., & Schaben, D.** (2016). Effects of Broadcast and Phosphorus and Potassium Placement on Yield of Corn and Soybean Managed with Tillage or No-Tillage. *Farm Progress Reports*, 2015(1), 24.
- Mallarino, A., Oltmans, R. R., & Piekema, N.** (2017). Long-Term Potassium Fertilization Effects on Yield of Corn and Soybean in South Central Iowa. *Farm Progress Reports*, 2016(1), 186.
- Mallarino, A.P., y 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, y 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.
- Miguez, F. e I. Daverede.** 2015. Análisis económico de rotaciones y fertilización en soja. pp 155-158. Actas del Simposio Fertilidad 2015. Sesión de Posters. Cd-ROM.
- Rubio G, MJ Cabello, FH. Gutiérrez Boem, E. Munaro.** 2008. Estimating available soil P increases after P additions in Mollisols. *Soil Science Soc. Amer. J.* 72:1721-1727.
- Schlegel, A. J., & Havlin, J. L.** (1995). Corn response to long-term nitrogen and phosphorus fertilization. *Journal of Production Agriculture*, 8(2), 181-185.
- Singh, J., Brar, B. S., Sekhon, B. S., Mavi, M. S., Singh, G., & Kaur, G.** (2016). Impact of long-term phosphorous fertilization on Olsen-P and grain yields in maize–wheat cropping sequence. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 106(2), 157-168.

Trlica, A., Walia, M. K., Krausz, R., Secchi, S., & Cook, R. L. (2017). Continuous Corn and Corn–Soybean Profits over a 45-Year Tillage and Fertilizer Experiment. *Agronomy Journal*, 109(1), 218-226.

Ventimiglia, L., L. Torrens Baudrix y M. Saks. 2012. Fósforo en la monocultura sojera: efecto de la dosis, forma y momento de aplicación sobre el balance nutricional. *Informaciones Agronómicas Hispanoamérica* 6: 23-26.

Wu, Q., Zhang, S., Zhu, P., Huang, S., Wang, B., Zhao, L., & Xu, M. (2017). Characterizing differences in the phosphorus activation coefficient of three typical cropland soils and the influencing factors under long-term fertilization. *PloS one*, 12(5), e0176437.