

ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN: EFECTOS SOBRE RENDIMIENTOS, BALANCE DE NUTRIENTES Y FERTILIDAD DE LOS SUELOS

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

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

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

Los experimentos de larga duración son una herramienta insustituible al evaluar una práctica con efectos residuales como la fertilización fósforo-azufrada. Desde hace nueve años, se conduce en Arribeños un ensayo sobre criterios de fertilización en una secuencia de cultivos. Las estrategias más intensivas lograron incrementar los rendimientos y mejorar el balance de fósforo y su disponibilidad en suelo.

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. La mayor parte de los ensayos sobre fertilización fosforada ponderan el efecto de los nutrientes en un cultivo puntual (Johnston & Keith Syers, 2009; Mallarino y Prater, 2007). Sin embargo, por su fuerte interacción con los iones y coloides del suelo, el P tiene una baja eficiencia de recuperación en el corto plazo (Ferraris et al., 2015; Rubio et al., 2008), lo que determina su residualidad en el tiempo (Ciampitti, 2009; Ferraris et al., 2015; Messiga et al., 2010). Por este motivo, los ensayos de una campaña subestiman el efecto favorable de una adecuada estrategia de fertilización. Por el contrario, los experimentos de larga duración permiten cuantificar integralmente un proceso de deterioro o construcción de fertilidad en el tiempo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las diferentes estrategias de fertilización con NPS sobre: 1) los rendimientos anuales en 2014/15; 2) los rendimientos acumulados, 3) el balance de nutrientes y su nivel final en el suelo luego de nueve años (2006/07-2014/15) y 4) la eficiencia de recuperación de P.

Palabras clave: ensayos de largo plazo, fósforo, intensificación, criterios de fertilización

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue conducido en la localidad de Arribeños, partido de General Arenales. Se planteó en un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones, integrando una rotación de seis cultivos en cuatro años (Maíz – Soja -Trigo/Soja 2da -Cebada/Soja). El tamaño de parcela fue de 102 m². El suelo del sitio corresponde a la Serie Santa Isabel, Hapludol típico, familia Limosa fina; mixta, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006), Índice de productividad 85,5. Se utilizaron cultivares, fechas de siembra y prácticas de cultivo probadas como de buen comportamiento en la región, y ajustadas para este ambiente productivo. El inicio de la secuencia se realizó con el cultivo de maíz, durante la campaña 2006/07, llegando al noveno año con soja de primera en 2014/15. Los tratamientos implicaron cinco manejos diferentes, donde los fertilizantes fueron 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(Tr) y Cebada (Cb) se describen las demandas del doble cultivo, pero los fertilizantes fueron aplicados en su totalidad al primero. Campañas 2006/07 a 2014/15.

Tratamiento	Criterio de fertilización	Nitrógeno (N)			Fósforo (P)			Azufre (S)		
		Maíz	Soja	Tr/sj2 Cb/sj2	Maíz	Soja	Tr/sj2 Cb/sj2	Maíz	Soja	Tr/sj2 Cb/sj2
T1	Testigo sin fertilización	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	Tecnología Uso Actual	46	0	46	16	16	16	0	0	0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	94	0	83	30	22	31	12	18	15
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	114	0	113	30	26	42	15	18	20
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	114	0	113	46	42	58	15	18	20

Previo a la siembra de la última soja se obtuvieron muestras de suelo, extraídas entre 0 a 20 cm. De cada parcela, en cada uno de los bloques, se conformó 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. A cosecha se evaluaron 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 tratamiento entre 2006/07 y 2014/15 ($P < 0,05$). La soja de primera del último ciclo alcanzó rendimientos superiores en T5 respecto de T1 y T2, y de T3, T4 y T5 en comparación con T1 (Figura 1).

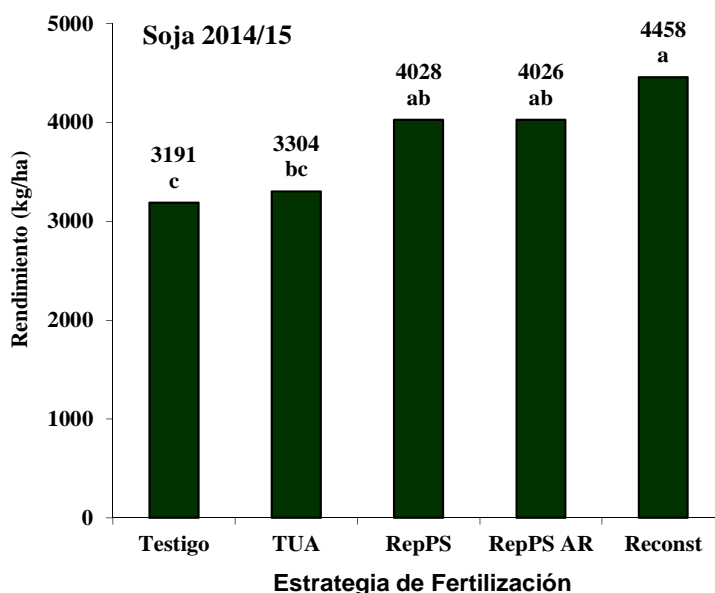


Figura 1. Rendimiento de diferentes estrategias de fertilización en soja para la Campaña 2014/15, noveno año de ensayo. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $\alpha=0,05$). **TUA:** Tecnología de Uso actual, **Rep PS:** Reposición de fósforo y azufre para un rendimiento medio, **Rep PS AR:** Reposición de fósforo y azufre para un alto rendimiento, **Reconst:** Fertilización para reposición de azufre y reconstrucción de los niveles de P. Para visualizar las dosis de NPS aplicadas ver **Tabla 1**. Estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos, Arribeños, General Arenales.

B. Efectos sobre los rendimientos acumulados, el balance de nutrientes y su nivel final en el suelo luego de nueve años: 2006/07-2014/15.

La productividad acumulada de la secuencia –trece cultivos en nueve 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 T5 de reconstrucción llegó a 57952 kg ha⁻¹, siendo la brecha de rendimiento de 57% (**Figura 2**). Esta brecha fue 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, fue inferior a la que estos mismos autores determinaron en un ambiente de menor fertilidad inicial, cultivado con la secuencia maíz – trigo/soja. La magnitud de respuesta varió entre cultivos (**Figura 2**), a causa de su sensibilidad diferencial. Las gramíneas como trigo, cebada y maíz expresaron incrementos superiores en los rendimientos, puesto que son más sensibles a carencias nutricionales en comparación con la soja. Además, se benefician

de la dosis diferencial de N aplicada en los tratamientos de mayor fertilización, lo cual es indiferente a una especie fijadora como la soja.

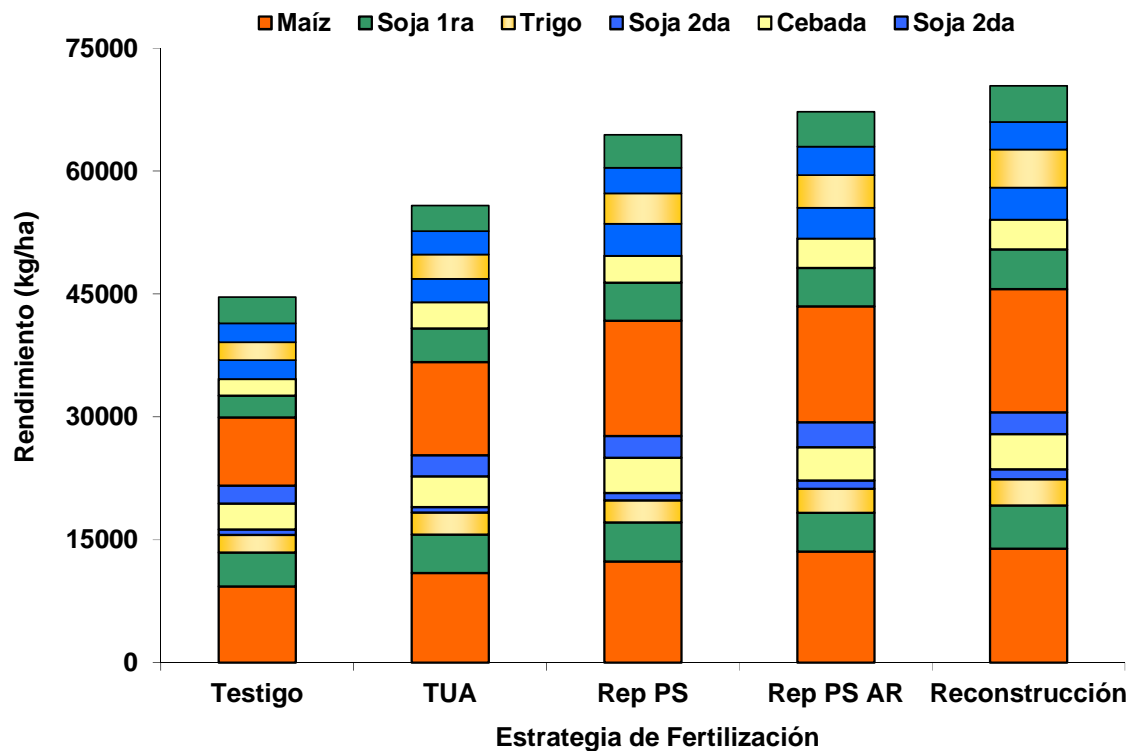


Figura 2. Producción por cultivo (kg ha^{-1}) de diferentes estrategias de fertilización acumulada en una secuencia maíz - soja - trigo/soja - cebada/soja - maíz - soja. - cebada/soja - trigo/soja - soja. Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2014/15.

La evolución en el tiempo de la concentración de P Bray-1 en suelo reflejó las tendencias observadas en los balances nutricionales (Figura 3.a,b). 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 postularon 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. Cambios en otras variables de suelo pueden consultarse en Ferraris et al., (2015).

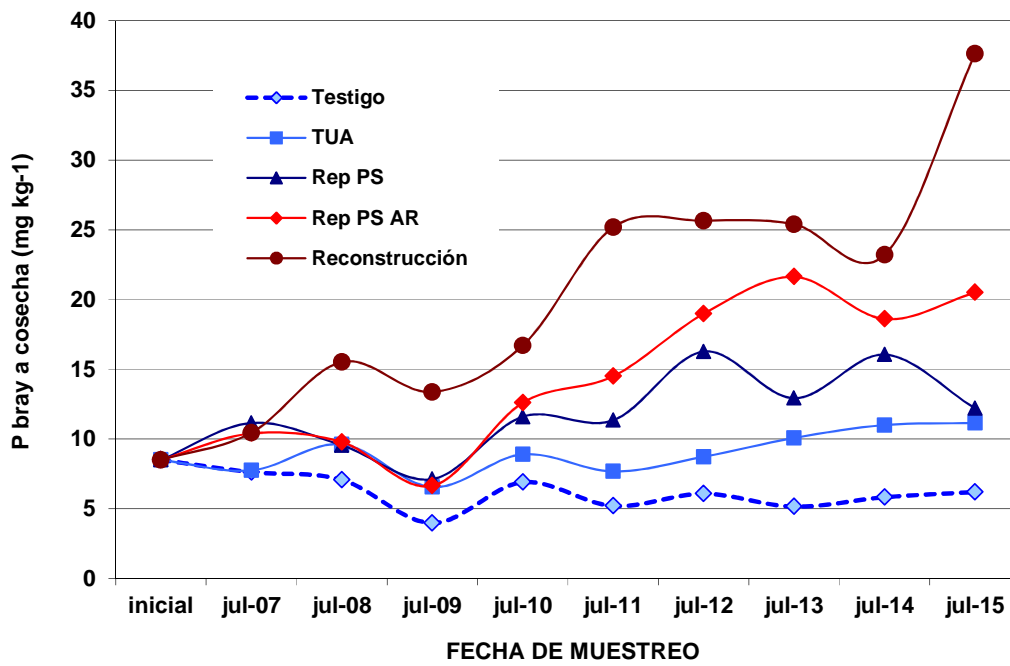


Figura 3.a

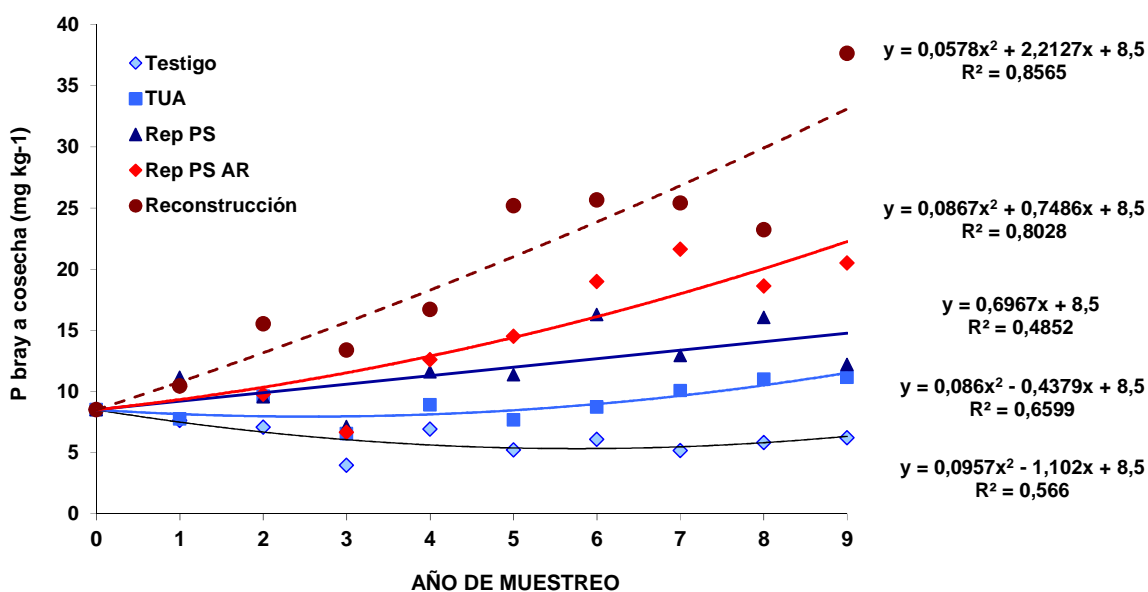


Figura 3.b

Figura 3. Evolución del P extractable en suelo (Bray-1, 0-20 cm) según estrategia de fertilización, luego de nueve campañas y trece cultivos. A) Valores absolutos b) Tendencias ajustadas por regresión. Los valores presentados son promedio de cuatro repeticiones.

La relación entre el balance de P y el P Bray⁻¹ determinado en el suelo al final de la cosecha (**Figura 3**) permite estimar la tasa de cambio en función de la extracción o reposición del nutriente. En la **Figura 4**, 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 final de P Bray-I en el suelo. De acuerdo con la función ajustada, por cada 4 kg P ha⁻¹ agregado o retirado por cosecha el nivel de P en suelo cambiaría en una unidad. Esta tasa ha bajado sustancialmente con el tiempo, luego de alcanzar un máximo de 11.9 kg P ha⁻¹ en 2009, después del tercer año de experimentación. 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 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.

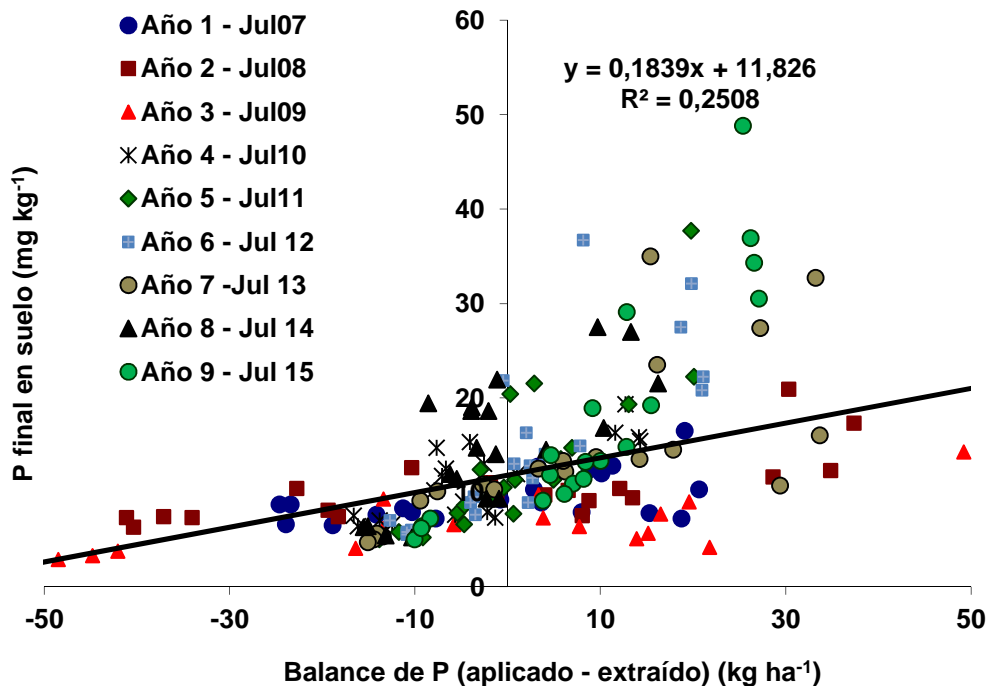


Figura 4. Relación entre el nivel de P extractable en suelo a cosecha (0-20 cm, mg kg^{-1}) luego de nueve años y el balance de P (aplicado-extraído en kg ha^{-1}) determinado en cada tratamiento. Campañas 2006/07 a 2014/15. La inversa de la pendiente indica la cantidad de P que es necesario agregar (o retirar) para variar la concentración de P en suelo en 1 mg kg^{-1} .

C. 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 (International Plant Nutrition Institute, 2013). La eficiencia de recuperación de P en planta entera osciló entre 0.24 y 0.36, 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 valores de eficiencia de recuperación de los fertilizantes 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 factores.

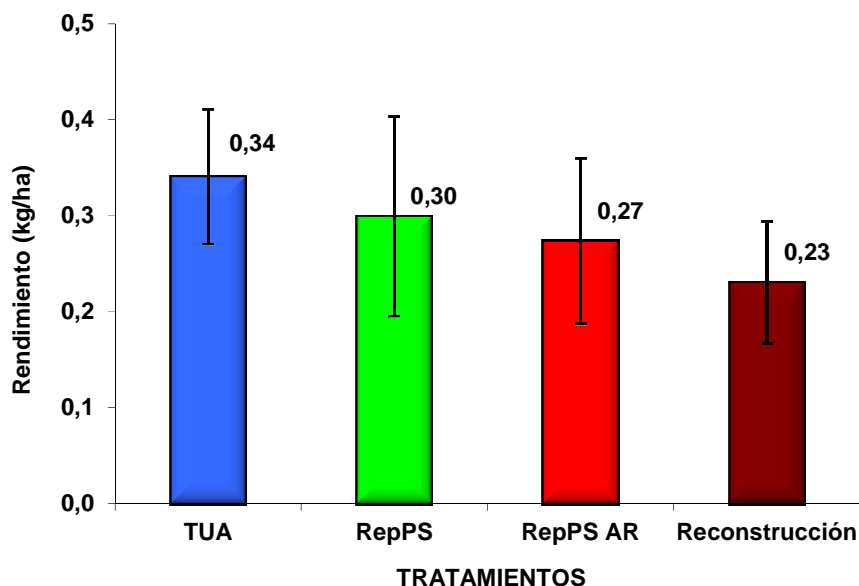


Figura 5. Fracción de fósforo recuperada en planta entera según estrategia de fertilización. Las barras verticales representan la desviación estándar de la media. Ensayo de larga duración, Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2014/15.

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 ampliaron campaña tras campaña. Así, la brecha entre los tratamientos T5 y T1 alcanzaron luego de 9 años y 13 cultivos a un 57,8 %.

* Para P y S, estrategias planificadas como de reposición finalmente resultaron ser de reconstrucción. Al respecto, antes de evaluar la viabilidad técnica y económica de una filosofía de fertilización, es importante cuantificar los niveles de entrada y salida de nutriente para cada esquema en particular.

* Diferentes dosis de aplicación de nutrientes generaron cambios previsibles de su disponibilidad en el suelo. Luego de nueve 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 diferencia entre agregado y extracción. 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 – alcanzó en promedio de todas las estrategias un 28 % del P aplicado, en coincidencia con los valores mencionados en la bibliografía.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Correndo, A., Boxler, M y García, F.** 2015. Reposición de nutrientes en el largo plazo ¿Qué nos dicen los números? Pp 84-94. Actas del Simposio Fertilidad 2015. Cd-ROM.
- Ferraris, G., Toribio, M., Falconi, R. y Couretot, L.** 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.
- Johnston A. and Keith Syers, J.** 2009. A New Approach to Assessing Phosphorus Use Efficiency in Agriculture. Better Crops/Vol. 93 (2009, No. 3).
- Mallarino, A.P., y Prater, J.** 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., Ziadi, N., Plenet, D., Parent, L.E. y Morel, C.** 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.
- Rubio G., Cabello M.J., Gutiérrez Boem, F.H. & Munaro, E.** 2008. Estimating available soil P increases after P additions in Mollisols. Soil Science Soc. Amer. J. 72:1721-1727.