

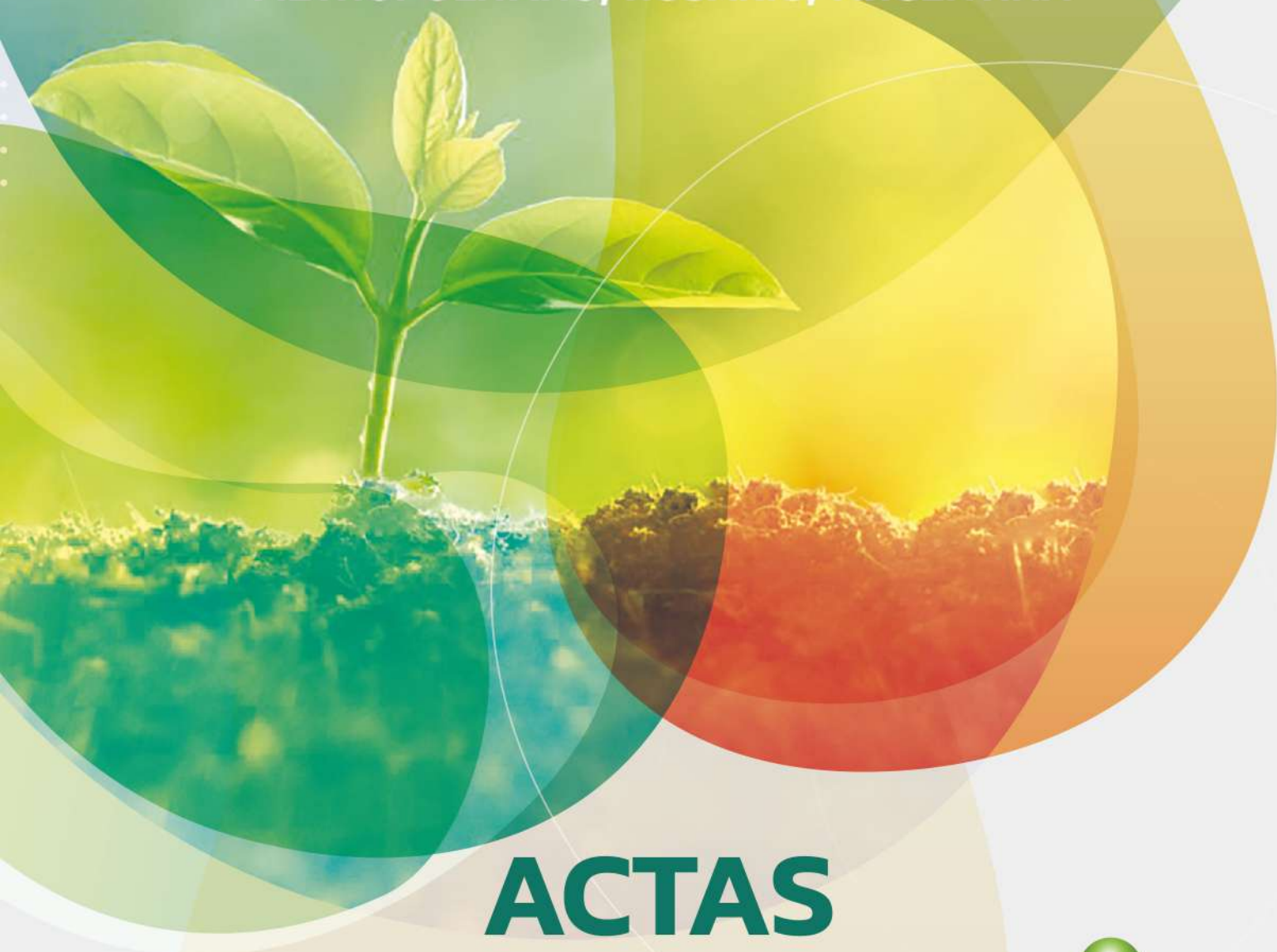


Simposio **Fertilidad 2023**

AL GRAN SUELO ARGENTINO ¡SALUD!

10 Y 11 DE MAYO 2023

METROPOLITANO, ROSARIO, ARGENTINA



ACTAS

www.fertilizar.org.ar



FERTILIZAR
ASOCIACION CIVIL

Nutrición de largo plazo en secuencias agrícolas pampeanas

Rouillet, N¹; Grasso, A¹; Sacks, M²; Ventimiglia, L⁴; Ferraris, G⁴; Faggioli, V⁴; Esposito, G⁵; Quintero, C⁶; Zamora, M⁷; Diaz-Zorita, M³

¹Fertilizar Asociación Civil, ²Bunge, ³F. Agronomía UNLPam, ⁴INTA, ⁵UNRC, ⁶UNER, ⁷CHEI Barrow
Correo electrónico: nrouillet@fertilizar.org.ar

Resumen

Las variadas condiciones de manejo de cultivos, y en particular de su nutrición, conducen a resultados productivos dispersos que limitan la valorización de los aportes de la aplicación de fertilizantes. El uso de diferentes estrategias, o aproximaciones para el manejo de la nutrición, tiene efectos tanto de corto como de largo plazo sobre la producción de cultivos, independientes o en secuencias, y sobre el suelo, tanto en las propiedades químicas como físicas (v.g. mejoría en la infiltración de agua del perfil) y biológicas. La implementación de modelos de recomendación regionales o de nutrición balanceada incorporando indicadores de caracterización del sitio y diferentes expectativas productivas permitiría mejorar los rendimientos a prácticas frecuentes de fertilización. Este trabajo intenta cuantificar las diferencias en producción de planteos de nutrición contrastantes en condiciones agrícolas representativos de la región pampeana, analizar su consistencia en las distintas zonas de producción. Luego de 6 campañas de estudio, se validaron mejoras en los rendimientos de los cultivos al implementar estrategias de fertilización recomendadas o de nutrición balanceada con respecto a la aplicación actual de esta práctica. Los rangos de mejora varían según cultivos y planteos de nutrición. Gran parte de la mejora en la producción de los cultivos e indicadores de fertilidad de suelos depende de la elección de la estrategia de manejo de nutrientes en secuencias agrícolas. En la región pampeana, bajo condiciones no limitadas en nutrición los rendimientos de los cultivos superan en aproximadamente el 20% a los alcanzados con las prácticas frecuentes de fertilización. Esta respuesta a la nutrición fue independiente del ambiente productivo para los cultivos analizados.

Introducción

La provisión adecuada y suficiente de alimentos, será uno de los mayores desafíos que la humanidad deberá atravesar en las próximas décadas. La demanda mundial de alimentos viene aumentando a una tasa superior al aumento del rendimiento potencial y dado que la expansión de la frontera agrícola parece ser poco factible (y ambientalmente insostenible), el incremento del rendimiento es crucial para satisfacer en el futuro los requerimientos mundiales y locales de grano. Esta creciente demanda de alimentos, asociada a las necesidades de sostener la producción agrícola, impulsa al estudio del efecto de la fertilización sobre el rendimiento de los cultivos y sobre la eficiencia agronómica de su utilización.

En la región pampeana, la implementación de diferentes estrategias o aproximaciones para el manejo de la fertilización tiene efectos tanto de corto como de largo plazo sobre la producción de cultivos independientes o en secuencias y sobre el suelo. Se espera que la nutrición no limitante, a partir de los aportes por fertilización, explique entre el 29% y 39% de los rendimientos máximos alcanzables de soja y de trigo, respectivamente (Díaz-Zorita y Grasso, 2016). Sin embargo, a pesar de estas expectativas de brechas en los rendimientos, el área fertilizada en cultivos de cereales es menor al 80% del área cultivada mientras que en el caso de cultivos de soja es inferior al 57% (Díaz-Zorita y Grasso, 2016). Además, las dosis medias de fertilizantes aplicadas también muestran aportes de nutrientes en cantidades inferiores a las extraídas en la producción de granos. Nitrógeno y fósforo son los elementos mayormente aplicados y, en menor magnitud, el azufre, mayormente aplicado en combinación con N o con P (Grasso y Díaz-Zorita, 2018; Fertilizar AC, 2019) La aplicación de micronutrientes es de menor magnitud siendo el cinc el nutriente más utilizado. Las necesidades de N en

cultivos de soja son complementadas en una alta proporción del área cultivada a partir de la inoculación (Peticari y Piccinetti, 2019).

El desafío para la fertilización es cubrir los requerimientos de nutrientes que el suelo no puede aportar para maximizar los rendimientos. Este manejo de la nutrición de los cultivos reiterado en el sistema afecta no sólo los niveles de fertilidad de los suelos, sino que acentúa en los rendimientos entre los diferentes planteos. Son abundantes los estudios de suelos que muestran la reducción en niveles extractables de diversos nutrientes en comparación con su estado original (Sainz Rozas et al., 2011).

Por lo tanto, se espera que el manejo adecuado de la nutrición integral de los cultivos tuviera un efecto directo y relevante para mejorar la producción agrícola. Si bien la información de estudios de respuestas de cultivos de cereales a la fertilización en áreas agrícolas argentinas es abundante, su análisis integral para la identificación de potenciales áreas, geográficas o temáticas, de vacancia es menos frecuente. Algunos describen los efectos acumulados en el tiempo de la aplicación de prácticas individuales validando la implementación de estrategias de manejo bajo criterios de reposición y enriquecimiento (Barraco et al. 2014; Correndo et al. 2015).

La implementación de modelos de recomendación regionales o de nutrición balanceada incorporando indicadores de caracterización del sitio productivo y diferentes expectativas productivas permitiría mejorar la producción de cultivos y la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados con respecto a prácticas frecuentes de fertilización. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta en rendimiento en la secuencia de cultivos frente a estrategias de nutrición contrastantes, con N, P, S y micronutrientes en cultivos y condiciones agrícolas representativas de la región, analizar esas respuestas en trigo, maíz y soja, integrando la información obtenida entre los años 2016 al 2022.

Materiales y métodos

Se establecieron módulos de evaluación de larga duración en condiciones de producción representativas de sistemas agrícolas pampeanos (Tabla 1). En todos los casos el manejo de los cultivos es bajo prácticas de labranza cero con control químico de malezas y con la aplicación de prácticas de manejo frecuentes en cultivos de alta producción adaptadas regionalmente (i.e. genotipos, control de plagas y enfermedades, etc.).

Sitio	Localidad (provincia)	Profundidad			
		0-20 cm (mg ha ⁻¹)			0-40 cm
		Pe	Zn	S _{SO4}	N _{NO3}
		(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1	Nogoyá (Entre Ríos)	9,3	0,96	6,9	-
2	Tres Arroyos (Bs. As.)	10,7	-	-	-
3,4,5	Río Cuarto (Córdoba)	22,9	0,82	8,2	27
6	Pergamino (Bs. As.)	14	0,79	8	90
7	25 de Mayo (Bs. As.)	8,4	0,92	5,8	42
8	25 de Mayo (Bs. As.)	10,6	0,94	6,4	62
9	25 de Mayo (Bs. As.)	8,9	0,86	4,9	47
10	Marcos Juárez (Córdoba)	11	-	2,2	-
11	Ed Castex (La Pampa)	5.2	0.62	10.4	90
12	Pergamino 2 (Bs. As.)	9	1.19	7.5	30
13	Nogoyá 2 (Entre Ríos)	8.4	0.92	16	23

Tabla 1: Localización de los sitios experimentales y caracterización media de propiedades edáficas al iniciar los estudios.

En cada sitio, los cultivos y secuencias evaluados fueron seleccionados por los productores y fueron representativos de decisiones frecuentes en las regiones

en estudio. En la **Tabla 2** se presenta la secuencia de cultivos de cada sitio y el cultivo antecesor al comienzo del ensayo.

Sitio	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22
Nogoyá 1 ER	Soja	Trigo/Soja	-	-	-	-
T. Arroyos BA	Soja	Soja	Cebada	Soja	Cebada	-
Rio IV 1-2-3 Cba	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Maní	Tr/Soja
Pergamino 1 BA	Maíz	Soja	-	-	-	-
25 de Mayo 1 BA	Cb/Maíz	Soja	Trigo	Maíz	Soja	Tr/Soja
25 de Mayo 2 BA	Maíz	Cebada	Maíz	Girasol	Trigo/Soja	Girasol
25 de Mayo 3 BA	Tr/Soja	Maíz	-	Tr/Soja	Maíz	Soja
M. Juárez Cba	Soja 2	Maíz	Soja	Maíz	Soja	Maíz
Miramar BA	-	Maíz	Soja	-	-	-
Edo. Castex LP	-	Soja	Maíz	Soja	Tr/Soja	Tr/Soja
Nogoyá 2 ER	-	-	Maíz	Colza/Soja	Tr/Soja	Arveja/Maíz
Pergamino 2 BA	-	-	Soja	Tr/Soja	-	-

Tabla 2: Cultivos en la rotación 2016/17, 2021-23 y el cultivo antecesor al comienzo del ensayo.

En cada sitio se establecieron cuatro tratamientos de manejo de la nutrición de los cultivos: i) sin fertilización, ii) fertilización promedio aplicada en la región, iii) fertilización promedio recomendada y iv) fertilización balanceada. La dosis promedio de uso en cada región se estimó a partir de la información de encuestas a 1200 productores y técnicos en la región pampeana coordinada por Fertilizar AC durante la campaña 2015/2016 (Fertilizar AC, 2017). El tratamiento de fertilización recomendada promedio se estableció para cada sitio considerando resultados de análisis de suelos y expectativas de productividad media regional según información local provista por referentes locales responsables de la conducción de los estudios. La fertilización para la nutrición balanceada de altos rendimientos se estimó según los mayores rendimientos alcanzables en cada región y considerando las demandas de NPS y Zn para tal propósito (**Tabla 3**). En todos los casos, las semillas sembradas de soja fueron inoculadas en el momento de la siembra con productos comerciales para evitar limitaciones nitrogenadas en su normal crecimiento y producción. Previo a la siembra se obtuvieron muestras de suelo de 0 a 20 cm. De cada parcela, 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 cada sitio, los tratamientos se dispusieron en franjas de al menos 20 m de ancho y 100 m de longitud empleando equipos convencionales de siembra y conducción de los cultivos con cosecha mecánica en estadios de madurez comercial de los

cultivos. Los resultados se analizaron considerando cada sitio como una repetición y comparación entre los promedios de los rendimientos, respuestas relativas sobre el tratamiento de fertilización frecuente y la eficiencia de uso del N aplicado en cereales y del P según parámetros estadísticos descriptivos. Se emplearon pruebas de diferencias de medias significativas de T en comparaciones apareadas entre los tratamientos.

Tratamiento	Nutriente (kg ha ⁻¹)			
	N	P	S	Zn
Control sin fertilizar	0	0	0	0
Fertilización promedio aplicada regionalmente	38 a 60	7 a 14	0	0
Fertilización recomendada promedio	65 a 70	12 a 18	8 a 18	0
Fertilización para nutrición balanceada de alta producción	150 a 170	27 a 34	15 a 25	1,5

Tabla 3: Rangos de nutrientes aplicados según cuatro estrategias para la fertilización de cultivos en la región pampeana en 14 sitios de experimentación. En el caso de fertilización con N se muestran los rangos aplicados en cultivos de cereales.

Resultados y discusión

Los aportes de cada estrategia de nutrición integrando las diversas secuencias de cultivos estudiadas se analizaron en términos de los aportes relativos a la máxima producción de cada cultivo y sitio experimental (**Fig.1**). Los rendimientos relativos se calcularon como el cociente entre el rendimiento medio de cada tratamiento, con el máximo rendimiento registrado, para cada cultivo por sitio y por campaña. La aplicación de fertilizantes, en comparación con los tratamientos control sin fertilización, contribuyó al rendimiento en un 25% en promedio para toda la secuencia de cultivos con máximos de 39% para trigo y 27% en maíz. Para la secuencia de cultivos, la mejora en la nutrición

incorporando estrategias de recomendación media y alta producción, mejoró la productividad de los sistemas hasta en un 15% respecto del manejo actual. El manejo actual más frecuente de fertilizante mostró resultados en producción próximos a los observados al aplicar recomendaciones medias, con una brecha de mejora de 10% para alcanzar el máximo rendimiento.

En la escala temporal, los rendimientos promedio, acumulados a lo largo de 6 campañas arrojaron una diferencia de 16%, 23% y 37% para los tratamientos actual, recomendación frecuente y alto rendimiento respectivamente, frente al control. La aplicación sostenida de fertilizantes permitió lograr mejoras en los rendimientos (**Fig 2**).

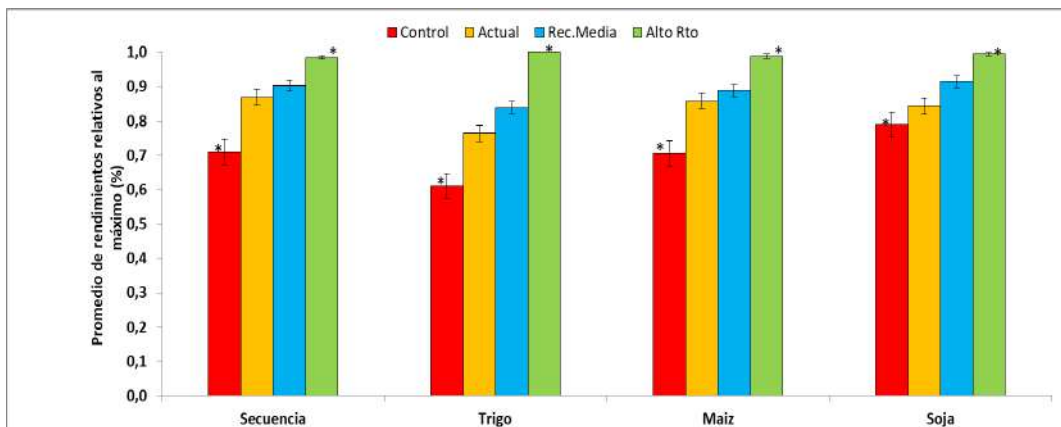


Figura 1. Efecto acumulado de rendimientos relativos de secuencias de cultivos en 6 campañas consecutivas en la región pampeana. Las barras verticales en cada columna indican el error estándar de la media. Los asteriscos (*) sobre las columnas muestran diferencias significativas con respecto a la estrategia actual de manejo de nutrientes (DMS, prueba de T $p < 0,05$).

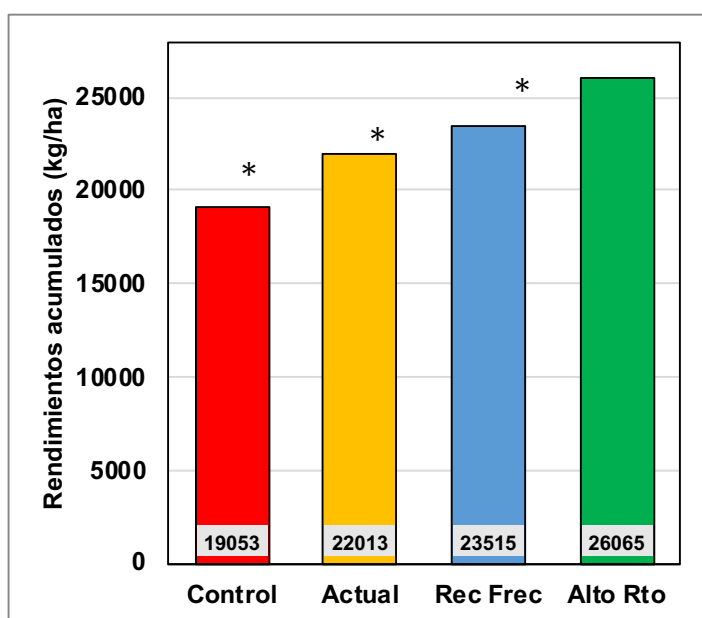


Figura 2. Rendimiento acumulado de tratamientos de nutrición contrastantes en la de secuencia de cultivos luego de 6 campañas consecutivas en la región pampeana. Los asteriscos (*) sobre las columnas muestran diferencias significativas con respecto a la estrategia actual de manejo de nutrientes (DMS, prueba de T $p < 0,05$).

En todos los cultivos la implementación de las estrategias de fertilización mostró en promedio diferentes resultados en la producción de granos. Los rendimientos de trigo sin fertilización alcanzaron en promedio los 3063 kg ha⁻¹, la mejora en los rendimientos por el manejo de la nutrición con planteos de alta producción alcanzó 5025 kg ha⁻¹ (64% de respuesta). El maíz tuvo mejoras cercanas al del 35% con rendimientos entre 6638 y 8999 kg ha⁻¹. En soja, la producción fue en promedio 2949 frente 3721 kg ha⁻¹ y las mejoras fueron de un 26%.

En un análisis espacial encontramos diferencias positivas, contrastando los distintos tratamientos de nutrición a lo largo de la región de estudio. Esto se visualiza en la **Fig. 3** donde se compara para trigo maíz y soja, los rendimientos de los distintos tratamientos en distintos ambientes, expresado como promedio del sitio. La mejoría en rendimiento resulta consistente para todos los ambientes productivos y cultivos, al mantenerse las líneas de los tratamientos contrastantes de nutrición por sobre las correspondientes al tratamiento testigo. Esto resulta importante como estrategia para mitigar los efectos de la variabilidad climática sobre el rendimiento de los cultivos. Particularmente en los cultivos de trigo y maíz, esta respuesta se ve incrementada en los sitios de mayor potencial donde los tratamientos de máxima se apartan no solo de los controles, sino también del manejo actual.

	Trigo	Soja	Maíz
Control sin fertilizar	3.063	2.949	6.638
Fertilización promedio aplicada regionalmente	3.822	3177	7.712
Fertilización recomendada promedio	4.237	3.439	8.021
Fertilización para nutrición balanceada de alta producción	5.025	3.721	8.999

Tabla 4: Rendimientos promedios en kg ha⁻¹ para todos los cultivos según el manejo de la nutrición.

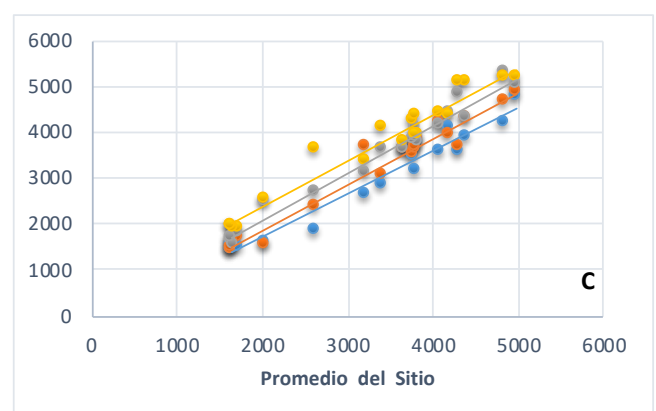
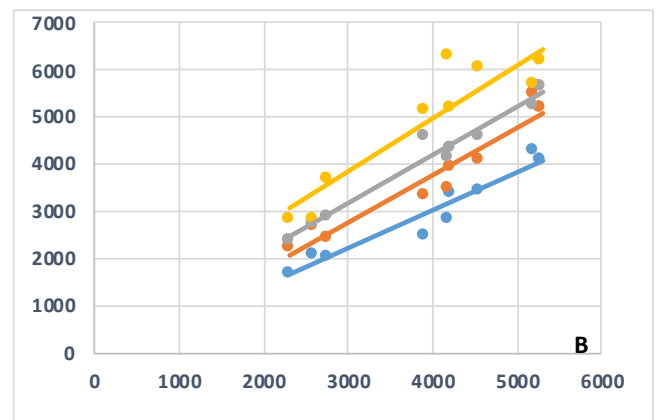
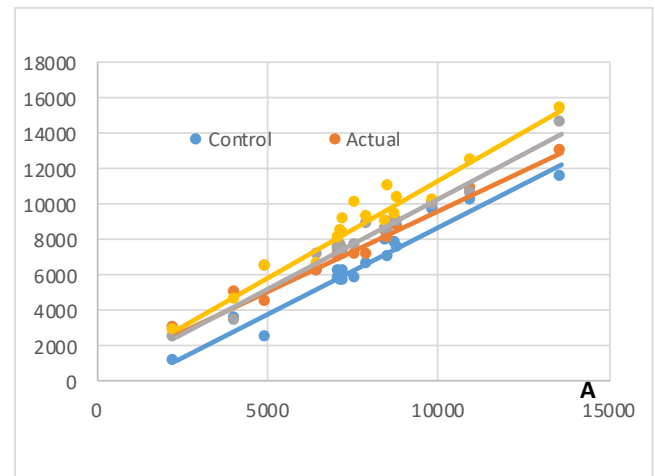


Figura 3. Rendimiento de tratamientos de nutrición contrastantes vs promedio del sitio para los cultivos de: A) Maíz, B) Trigo y A) Soja a lo largo de 15 sitios en 6 campañas consecutivas en la región pampeana.

Conclusiones

En condiciones de producción representativas de la región pampeana se validaron mejoras en los rendimientos de los cultivos al implementar estrategias de fertilización recomendadas o de nutrición balanceada con respecto a la aplicación actual de esta práctica. Los rangos de mejora varían según cultivos y planteos de nutrición.

En condiciones no limitadas en nutrición, los rendimientos de los cultivos son de hasta casi 15% superiores a los que se alcanzan con las prácticas actuales de fertilización. En los cultivos analizados y condiciones de producción, la implementación de recomendaciones medias de fertilización (fertilización con ajustes con NPS y Zn acordes a resultados de análisis de suelos y a expectativas frecuentes de rendimientos), reducen la diferencia de producción asociada al manejo de la nutrición. La mayor brecha encontrada en este set de datos se halló en trigo, seguido por maíz.

La respuesta a la nutrición resulta independiente del ambiente productivo. La tendencia indica que esta diferencia se acentúa al incrementar el techo productivo.

Agradecimientos

A Fertilizar AC y su comité técnico por el financiamiento de los estudios y los aportes en su diseño y en la discusión de los resultados.

Bibliografía

- Barraco, M., M. Díaz-Zorita, C. Justo & A. Lardone. 2014. ¿Fertilización fosfatada por suficiencia o mantenimiento en secuencias agrícolas de la pampa arenosa? En: Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.. AACs (ed.), Bahía Blanca, Bs. As., 5-9 mayo. 2014. AACs. Argentina.
- Correndo A.A., M. Boxler & F.O. García, 2015. Análisis económico del manejo de la fertilización con enfoque en el largo plazo. *Cienc. Suelo (Argentina)* 33:197-212.
- Díaz-Zorita M. & A. Grasso. 2016. Fertilización intensificada de planteos agrícolas. XXIV Congreso Anual AAPRESID. Del 3 a 5 Agosto de 2016, Rosario, Santa Fe.
- Fertilizar AC. 2019. Detalle de consumo de fertilizantes - Extensivos. http://www.fertilizar.org.ar/?page_id=468. (fecha de consulta: 14 de marzo del 2018).
- García F.O. e I. Ciampitti. 2010. Enfoques alternativos para el diagnóstico de fertilidad de suelos: El enfoque "tradicional". Actas CD XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACs. Rosario (Santa Fe, Argentina), en CD.
- Grasso, A. y M. Díaz-Zorita. 2018. Valorización de estrategias de fertilización en la región pampeana. XXVI Congreso Anual AAPRESID. Del 8 al 10 de Agosto de 2018, Ciudad de Córdoba, Córdoba.
- Peticari, A. y C. F. Piccinetti. 2019. Inoculantes Microbianos en la Agricultura Argentina y aportes de la Fijación Biológica de Nitrógeno en leguminosas cultivadas. RELAR, Pto.Varas (Chile)
- Sainz Rozas H., H. Echeverría y H. Angelini. 2011. Fósforo extractable en suelos agrícolas de las regiones Pampeana y extrapampeana de Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 4:14-18.



FERTILIZAR

ASOCIACION CIVIL



FERTILIZAR.ORG.AR