



Simposio
Fertilidad
2019 Conocer más.
Crecer mejor.



8 y 9 de Mayo

Rosario, Santa Fe. Argentina.

www.fertilizar.org.ar


FERTILIZAR
ASOCIACION CIVIL

Brechas en la producción de secuencias de cultivos en la región pampeana según estrategias de fertilización

Andrés Grasso
Fertilizar Asociación Civil
grasso@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. 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. 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. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es cuantificar las diferencias en producción agrícola según planteos contrastantes de manejo de la nutrición en condiciones agrícolas representativas de la región pampeana. Luego de dos campañas de estudio, en 10 sitios representativos de la región 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 20% superiores a los que se alcanzan con las prácticas actuales. En la mayoría de los cultivos y condiciones de producción la implementación de recomendaciones medias de fertilización, considerando ajustes con NPS y micronutrientes según diagnósticos por análisis de suelos y de expectativas de rendimientos, reducen, con beneficios económicos, la diferencia de producción asociada al manejo de la nutrición en casi el 50%.

Introducción

En la región pampeana, 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. 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. En la región, actualmente es ampliamente reconocido el aporte de la adecuada nutrición a la producción de los cultivos individualmente tal lo indican los resultados de una encuesta aproximadamente 1200 productores agrícolas realizada por Fertilizar AC (Fertilizar AC, 2017). En promedio, los encuestados esperan 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, el área fertilizada en cultivos de cereales supera al 80% del área cultivada mientras que en el caso de cultivos de soja es inferior al 57%. Además, las dosis medias de fertilizantes aplicados también muestran diferencias entre cultivos y en todos los casos con aportes de nutrientes en cantidades inferiores a las extraídas en la producción de granos. Nitrógeno en cereales 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). 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).

Este manejo de la nutrición de los cultivos reiterado en el sistema de cultivos afecta no sólo los niveles de fertilidad de los suelos, sino que también genera brechas de 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. Son limitados en la bibliografía los estudios locales que comparan entre planteos de manejo de diferentes estrategias de nutrición. 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 de este trabajo es cuantificar las diferencias en producción agrícola según planteos contrastantes de manejo de la nutrición en condiciones agrícolas representativas de la región pampeana.

Materiales y métodos

Durante las campañas agrícolas 2016/2017 y 2017/18 se establecieron módulos de evaluación de larga duración en condiciones de producción representativas de sistemas agrícolas pampea-

nos (Tabla 1). En todos los casos el manejo de los cultivos es bajo prácticas de siembra directa con control químico de malezas y aplicación de prácticas de manejo de cultivos de alta producción adaptadas regionalmente (i.e. genotipos, control de plagas y enfermedades, etc.).

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. En el caso de maíz, resultaron en comportamientos similares en relación a la fecha de siembra entre los cultivos de siembra temprana o demorada y estrechamente ligados a los niveles de producción alcanzados, explicándose las diferencias entre fechas de siembra a la selección de condiciones agrónomicamente favorables para la implantación y producción del cultivo. Este último fue el criterio para establecer las diferentes secuencias de cultivos entre sitios de experimentación en este estudio.

En cada sitio se establecieron cuatro tratamientos de manejo de la nutrición de los culti-

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

Sitio	Localidad (provincia)	Profundidad			
		0-20 cm (mg ha ⁻¹)			0 – 40 cm
		Pe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	S _{SO4} (mg kg ⁻¹)	N _{-NO3} (kg ha ⁻¹)
1	Nogoyá (Entre Ríos)	9,3	0,96	6,9	-
2	Tres Arroyos (Bueno Aires)	10,7	-	-	-
3,4,5	Río Cuarto (Córdoba)	22,9	0,82	8,2	27
6	Pergamino (Buenos Aires)	14,0	0,79	8,0	90
7	25 de Mayo (Buenos Aires)	8,4	0,92	5,8	42
8	25 de Mayo (Buenos Aires)	10,6	0,94	6,4	62
9	25 de Mayo (Buenos Aires)	8,9	0,86	4,9	47
10	Marcos Juárez (Córdoba)	11,0	-	2,2	-

vos: 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 2015/16 (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.

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 por 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.

Resultados y discusión

En todos los cultivos la implementación de las estrategias de fertilización mostró en promedio diferentes resultados en la producción de granos. Los rendimientos de cebada sin fertilización alcanzaron los 3060 kg ha⁻¹, la mejora por el manejo de la nutrición alcanzó rendimientos de 5335 kg ha⁻¹, una mejora del 74% con planteos de alta producción. En trigo, los rendimientos variaron entre 3187 y 4275 kg ha⁻¹, las mejoras fueron de un 34%. El cultivo de

Tabla 2. Cultivos en la rotación 2016/17, 2017/18 y el cultivo antecesor al comienzo del ensayo.

Sito	Antecesor (2015/16)	Cultivo 1 (2016/17)	Cultivo 2 (2017/18)
1	Maíz	Soja	Trigo/Soja
2	Trigo/Soja	Soja	Soja
3	Soja	Maíz	Soja
4	Soja	Maíz	Soja
5	Soja	Maíz	Soja
6	Soja	Maíz	Soja
7	Trigo/Soja	Cebada/Maíz	Soja
8	Soja	Maíz	Cebada
9	Soja	Trigo/Soja	Maíz
10	Trigo	Soja 2°	Maíz

Tabla 3. Rangos de nutrientes aplicados según cuatro estrategias para la fertilización cultivos en la región pampeana en 10 sitios de experimentación. En el caso de fertilización con N se muestran los rangos aplicados en cultivos de cereales.

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

maíz tuvo mejoras de 30% en los rendimientos que fueron de 7752 a 9846 kg ha⁻¹. En el maíz de 2° fecha de siembra, las mejoras fueron superiores que en la siembra de primera con valores de 2520 a 6520 kg ha⁻¹ entre los diferentes manejos mostrando hasta aproximadamente 160% de aumento con respecto al control sin correcciones nutricionales. En soja, con rendimientos de 2756 a 3821 kg ha⁻¹, las mejoras fueron de un 38%. En el cultivo de soja de 2° con antecesor trigo, las mejoras de un 7% incrementaron los rendimientos de 2371 a 2545 kg ha⁻¹ (Tabla 4).

Los aportes de cada estrategia de nutrición integrando las diversas secuencias de cultivos estudiadas se analizó 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. En la estrategia para alta producción siempre se registraron los máximos rendimientos, tanto en la secuencia de cultivos como para cada uno de estos individualmente. 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 30% en maíz y 15% en soja de segunda. Para la secuencia de cultivos, la mejora en la

nutrición incorporando estrategias de recomendación media y para alta producción, mejoró la productividad de los sistemas hasta en un 50% 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 cultivos de soja, el manejo actual de la nutrición no se diferencia de la ausencia de la práctica. Sin embargo, en este cultivo se describieron diferencias relativas medias de casi el 50% con la aplicación de estrategias de recomendación media.

Las brechas de producción entre el manejo actual de nutrición y las estrategias de reco-

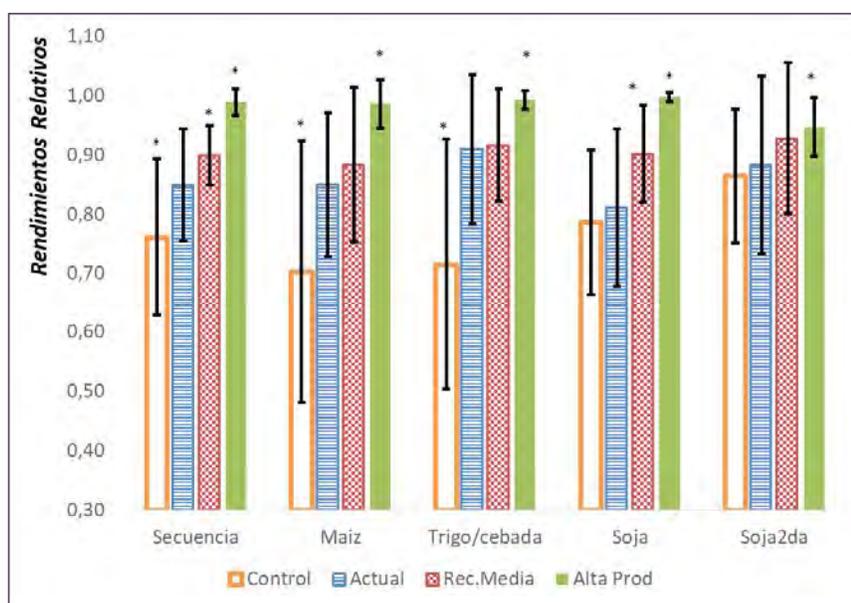


Figura 1. Efecto acumulado de rendimientos relativos de secuencias de cultivos en 2 campañas consecutivas en la región pampeana. Las barras verticales en cada columna indican el error estándar de la media. Los asteriscos (*) sobre las columnas muestran diferencias significativas con respecto a la estrategia actual de manejo de nutrientes (DMS, prueba de T p<0,05).

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

Tratamiento	Cebada	Trigo	Maíz	Maíz 2°	Soja	Soja 2°
Control sin fertilizar	3060	3187	7752	2520	2756	2371
Fertilización promedio aplicada regionalmente	4051	4117	8679	4417	3208	2438
Fertilización recomendada promedio	4612	4017	9054	6467	3547	2606
Fertilización para nutrición balanceada de alta producción	5335	4275	9846	6521	3821	2545

mendación media y la estrategia para máxima producción se presentan en la **Tabla 5**. Las brechas de rendimiento entre el manejo actual y las estrategias de recomendación media variaron entre 46 y 513 kg ha⁻¹ según el cultivo, donde la soja fue la que mostró las mayores brechas. Esto indica que se está perdiendo hasta un 11% de producción. Además, cuando comparamos los rendimientos del manejo actual con estrategias de alta producción, las brechas de pérdida de rendimientos fueron de 214 a 2095 kg ha⁻¹. La soja nuevamente registro las mayores brechas seguidas por el maíz, con valores del 23% y 16%, respectivamente. Estos resultados sugieren que gran parte de las brechas actuales de rendimientos en cultivos de granos en la región pampeana están asociados a desajustes en la nutrición con NPS cuando las dosis de fertilización no están acordes a los resultados de análisis de suelos y a las expectativas de rendimientos. Si bien es reconocida su importancia para el manejo eficiente de recomendaciones de fertilización, aún es escasa la caracterización de los suelos en los sitios productivos (García y Ciampitti, 2010).

La eficiencia en el uso del N (EUN) aplicado para la producción de cereales mostró diferencias según los cultivos considerados. En el caso de trigo y de cebada al intensificarse la aplicación de fertilizantes con aumentos en las dosis de nitrógeno las mejoras en producción fueron menos que proporcionales reduciendo la EUN (**Fig. 2**). En cambio, en el caso de maíz, tanto cuando se sembró como primer cultivo como de segunda sobre antecesor trigo, al implementar estrategias recomendadas de fertilización donde se incrementó la aplicación de nitrógeno la eficiencia de uso del nutriente aumentó (**Fig. 2**). Situación similar se describió en cultivos de soja en cuanto al uso del fósforo (EUP) donde la intensificación productiva recomendada para cada región se acompañó con aumentos en la eficiencia del nutriente tanto en cultivos de siembra de primera como de segunda sobre

trigo (**Fig. 2**).

La EUN aplicado en la secuencia de cultivos mostro diferencias según la estrategia de manejo de la fertilización. Cuando se aplicaron estrategias de recomendación media, y las dosis de nitrógeno se incrementaron, la EUN mejoro respecto del manejo actual, y disminuyo cuando la estrategia aplicada fue para altos rendimientos (**Fig. 2**). En el caso de trigo y de cebada al intensificarse la aplicación de fertilizantes con aumentos en las dosis de nitrógeno las mejoras en producción fueron menos que proporcionales

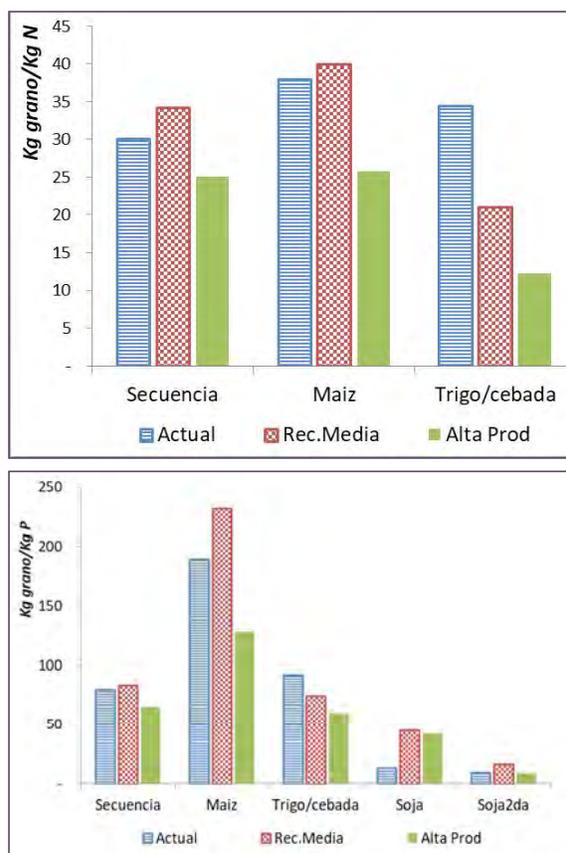


Figura 2. Eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) y del fósforo (EUP) según estrategias de fertilización de cultivos en la región pampeana.

Tabla 5. Brechas de rendimientos entre el manejo actual y la estrategia de recomendación media y alta producción.

Recomendación	unidades	Secuencia	Maíz	Trigo/cebada	Soja	Soja2 ^a
Rendimientos medios	kg ha ⁻¹	515	514	47	480	150
	%	6	4	1	11	5
Alta producción	kg ha ⁻¹	1439	2095	560	983	214
	%	16	16	9	23	7

reduciendo la eficiencia de uso (Fig. 2). En cambio, en el caso de maíz, al implementar estrategias de recomendación media de fertilización la eficiencia de uso del nutriente aumentó (Fig. 2). Situación similar se describió en la EUP, para toda la secuencia de cultivos, para el maíz, la soja y la soja de 2^{da} donde la intensificación productiva recomendada para cada región se acompañó con aumentos en la eficiencia del nutriente (Fig. 2). El comportamiento de trigo y de cebada es similar para el uso del fósforo, que lo descripto para el uso del nitrógeno.

Uno de los análisis considerados para decidir la adopción de tecnología de la fertilización es compara la eficiencia de uso de los nutrientes [$\text{kg grano (kg nutriente)}^{-1}$] por parte de los cultivos, con la relación de precios de los insumos, y la de los granos (relación insumo:producto en $\text{kg grano por kg nutriente}$) (Márgenes Agropecuarios, 2019). Se considera que la práctica de fertilización es rentable cuando la eficiencia de uso de los nutrientes supera a la relación insumo:producto. Las eficiencias de uso de los nutrientes siempre superaron a la relación insumo:producto en promedio para todos los cultivos y para todas las estrategias. La fertilización se justifica entre 1 y 20 veces en términos de los costos y beneficios económicos que genera, con excepción de la soja de siembra de segunda luego del trigo, donde el mejor manejo desde el punto de vista del costo de la fertilización es la estrategia de fertilización recomendada media (Tabla 6).

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 20% superiores a los que se alcanzan con las practica actuales de fertilización. En la mayoría de los cultivos y condiciones de producción la implementación de recomendaciones medias de fertilización (fertilización con ajustes con NPS acordes a resultados de análisis de suelos y a expectativas frecuentes de rendimientos) reducen la diferencia de producción asociada al manejo de la nutrición en casi el 50%.

Se validó que cuando las estrategias de nutrición se intensifican, la práctica de la fertilización muestra resultados rentables sobre los costos del nutriente en hasta 20 veces.

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. A los Ing. Agr. Luis Ventimiglia (INTA 9 de Julio), Gustavo Ferraris (INTA Pergamino), Gabriel Esposito (UNRC), Cesar Quintero (UNER) y Martín Zamora (CHEI Barrow), por la instalación, conducción y discusión de los estudios.

Tabla 6. Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) y de fósforo (EUP) y relaciones insumo:producto (IP) en $\text{kg grano (kg nutriente)}^{-1}$ medias entre 2005 y 2019 (Márgenes Agropecuarios, 2019).

	Fertilización con N				Fertilización con P							
	Maíz		Trigo/Cebada		Maíz		Trigo/Cebada		Soja		Soja2 ^{da}	
	EUN	I/P	EUN	I/P	EUP	I/P	EUP	I/P	EUP	I/P	EUP	I/P
Actual	38		34		190		92		13		9	
Recomendación media	40	9,6	21	8,0	232	32,7	74	27,2	45	16,5	16	16,5
Alta Producción	26		12		129		60		41		9	

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 - II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Producción sustentable en ambientes frágiles. AACs (ed.), Bahía Blanca, Bs. As., 5-9 mayo. 2014. AACs, Argentina.
- Caviglia, O.** 2017. Uso de recursos en diferentes sistemas de producción con énfasis en la pampa húmeda Argentina. III Workshop Internacional de Ecofisiología de cultivos, Mar del Plata (BA, Argentina), 28-29 de septiembre del 2017. <http://www.ecofisiovegetal.com.ar/presentaciones/09.-%20CAVIGLIA%20-%20III%20Workshop%20Ecofisiolog+%2%A1a%20Vegetal%20-%202017.pdf> (fecha de consulta: 14 de marzo del 2018).
- 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.** 2017. Detalle de consumo de fertilizantes - Extensivos. http://www.fertilizar.org.ar/?page_id=468. (fecha de consulta: 25 de marzo del 2019).
- 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.
- Márgenes Agropecuarios.** 2019. Revisa Online, Ediciones Anteriores. . <http://www.margenes.com/archives/revista>. (fecha de consulta: 25 de marzo del 2019).
- Perticari, 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. ◀

