

Alternativas de fertilización del doble cultivo trigo/soja. Efectos sobre la productividad y algunas propiedades del suelo

Hugo Vivas¹, Ricardo Albrecht¹, Luciano Martins¹ y José L. Hotián²

Introducción

La región central de la provincia de Santa Fe (Argentina), al igual que el resto de la región pampeana argentina, se caracteriza desde hace varias décadas por sistemas agrícolas continuos y bajo siembra directa, con incrementos importantes de rendimiento (MAGyP, 2012). En este sentido, contribuyeron los avances genéticos (Nisi et al., 2004; Santos et al., 2006), la tecnología de la fertilización (Salvagiotti y Miralles, 2008; Vivas et al., 2011), y el manejo de los cultivos (Caviglia et al., 2004; Villar y Cencig, 2008), entre otros. En este contexto, el trigo y la soja siempre formaron parte de las rotaciones agrícolas y constituyen una de las cosechas más demandantes en nutrientes, particularmente cuando integran el doble cultivo.

A medida que los ensayos experimentales específicos fueron constatando los beneficios productivos de los nutrientes en las cosechas, los productores y profesionales fueron y aún continúan siendo informados y convocados a observar los resultados a campo. El énfasis en la fertilización por parte de los profesionales e instituciones es constante, pero el proceso de adopción implica más tiempo, permaneciendo todavía, sujeto en gran parte, a las variaciones de los precios en los insumos, productos y de los mercados.

Se sostiene que la fertilización sin restricciones de agua en el suelo, no solo puede aumentar la producción de una determinada cosecha, sino también que las sucesivas aplicaciones en el tiempo, podría promover la población microbiana general y una progresiva construcción de "fertilidad". Este concepto se refiere a la habilidad relativa del suelo de suministrar tanto agua como nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (SSSA, 1997). Zhong y Cai (2007), en un ensayo de larga duración, señalaron al fósforo (P) y al nitrógeno (N) como promotores de la biomasa microbiana y su funcionalidad, permitiendo aumentar los rendimientos y la acumulación del carbono por la descomposición radicular y las rizodeposiciones. Los mismos autores, señalaron que los nutrientes mencionados no tuvieron un efecto directo sobre los parámetros biológicos sino indirectos, a través del carbono orgánico del suelo, que posteriormente podría implicar un aumento de la materia orgánica (MO).

El objetivo del presente trabajo fue determinar los efectos de manejos diferenciales de N, P y azufre (S) durante 10 años sobre la producción del doble cultivo trigo/soja de 2^{da}, y evaluar las modificaciones de algunas propiedades químicas del suelo generadas por las alternativas de fertilización.

Materiales y métodos

La experiencia se llevó a cabo en la Unidad Demostrativa Agrícola propiedad de la Cooperativa Agrícola Ganadera de Bernardo de Irigoyen en conjunto con la Agencia de Extensión Rural Gálvez y el Área de Investigación en Agronomía del INTA Rafaela (Santa Fe, Argentina). Durante 10 años (2000-2009) se evaluaron seis tratamientos de fertilización con N, P y S en parcelas de 80 m de largo por 12.60 m de ancho, sin repeticiones, sobre un suelo Argiudol típico de la serie Clason franco limosa. La secuencia de cultivos fue el doble cultivo trigo/soja de 2^{da}. Luego de 10 años se evaluó la producción acumulada de los 10 años (2000-2009), y se realizó un muestreo de suelo (0-5 cm y 0-20 cm) en cada franja para la determinación de P extractable (Bray I), MO y pH. En la campaña 2010-11, el trigo y la soja fueron manejadas con una fertilización única y uniforme en todas las parcelas para determinar los efectos residuales de las alternativas de fertilización seguidas entre 2000 y 2009.

Al inicio de la experiencia, en el año 2000, las determinaciones de suelo (0-20 cm) para el área de trabajo fueron: MO 2.54%; P Bray 9.7 ppm y pH 6.0. Las variantes de fertilización establecidas durante 10 años (2000-2009), siempre sobre las mismas parcelas, se describen en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Dosis de nutrientes aplicados en trigo/soja durante 10 años consecutivos (2000-2009). Bernardo de Irigoyen, Santa Fe.

Tratamiento	N	P	S
	----- kg ha ⁻¹ -----		
Testigo (T)	0	0	0
P	0	15	0
N	63	0	0
NP	63	15	0
NS	63	0	20
NPS	63	15	20

¹ INTA EEA Rafaela, Rafaela, Ruta 34, km 227 - CC 22 - 2300 Rafaela, Santa Fe, Argentina.

² Coopertiva Agrícola Bernardo de Irigoyen. Juan XXIII No. 128. (2248) Bernardo de Irigoyen, Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: hvivas@rafaela.inta.gov.ar

Los trabajos de siembra y fertilización fueron hechos con maquinaria comercial y la cosecha con trilladora de parcelas. Las fuentes de nutrientes utilizadas fueron: urea (46-0-0) en el caso de N, superfosfato triple de calcio (0-20-0) para P, y sulfato de amonio (21-0-0-24S) como fuente azufrada.

En el año 2010, toda la superficie del ensayo se fertilizó uniformemente al momento de la siembra de la gramínea con una mezcla de 87 kg ha⁻¹ de N, 21 kg ha⁻¹ de P y 13 kg ha⁻¹ de S. El trigo, variedad Klein Gavilán, se sembró el 23-06-2010 y se cosechó el 06-12-2010. La soja de 2^{da}, variedad RA 633, fue sembrada el 21-12-2010 y cosechada el 19-05-2011. Previo a la cosecha del trigo 2010 y de la soja de 2^{da} en 2011 se volvieron a marcar las franjas originales y se evaluaron los rendimientos mecánicamente con trilladora de parcelas mediante muestreos compuestos en cada franja o tratamiento.

Las condiciones hídricas de la campaña 2010-11 fueron muy favorables para el crecimiento y desarrollo del trigo y no tanto para la soja (**Figura 1**). Para trigo se observó que las precipitaciones de febrero, marzo, abril y mayo permitieron un buen abastecimiento de

agua con eventos muy oportunos durante septiembre y octubre. No se detectaron enfermedades fúngicas y se registraron rendimientos máximos para la zona. En cambio sobre la soja de 2^{da}, previo a la siembra y posterior a ella, hubieron periodos de sequía seguidos de abundantes precipitaciones que favorecieron el desarrollo de los hongos *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid y *Rhizoctonia solani* Kühn, con incidencia negativa sobre el llenado del grano y la actividad foliar.

Resultados

Respuesta productiva

La producción acumulada del trigo y la soja de 2^{da} en los primeros 10 años se puede apreciar en la **Figura 2**. El total acumulado de grano (trigo + soja) para cada uno de los tratamientos (T, P, N, NP, NS y NPS) fue de 38 371, 41 265, 37 945, 44 607, 48 266 y 54 748 kg ha⁻¹, respectivamente.

A través de las sucesivas franjas fertilizadas, el trigo fue aumentando los rendimientos acumulados pero comenzó a sobresalir con la fertilización NP o NS y fue más notable en el tratamiento NPS. Se observaron

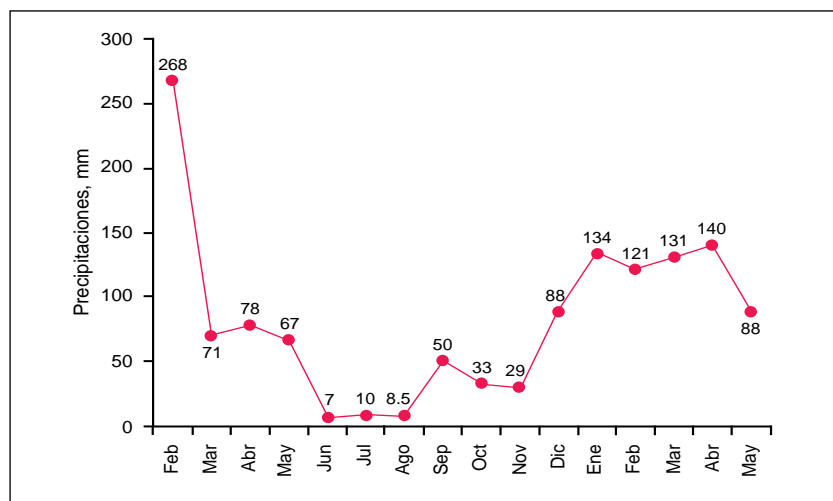


Figura 1. Distribución de las precipitaciones durante el ciclo del trigo y la soja de 2^{da}. Campaña 2010-11. Bernardo de Irigoyen, Santa Fe.

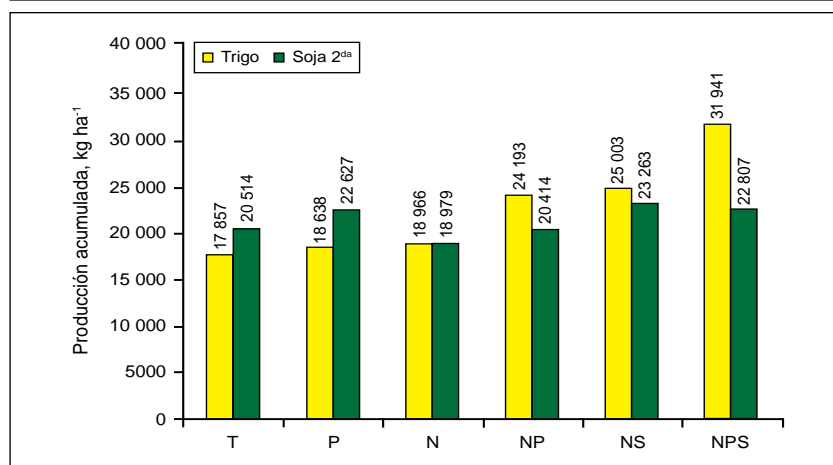


Figura 2. Producción acumulada de trigo y soja de 2^{da} en 10 años de cosecha (2000-2009) sobre las diferentes franjas de fertilización. Bernardo de Irigoyen, Santa Fe.

pocas diferencias entre NP y NS destacando un efecto aditivo e independiente de P y S. Sin duda la combinación NPS fue la superior. Con soja de 2^{da}, los mayores incrementos en rendimiento sobre el Testigo, se observaron con P, NS o NPS pero las diferencias fueron menos notables que con trigo, posiblemente, entre otras causas, por ser una cosecha muy dependiente de las precipitaciones de estación (Lehrsch et al., 1994), de las variedades y su grupo de maduración y de las enfermedades propias del cultivo.

Del total de grano acumulado en 10 años, al trigo le correspondió el 51.5% y a la soja de 2^{da} el 48.5%. Otro dato comparativo que surge de la **Figura 2** es que para el trigo la diferencia acumulada por fertilización de NPS vs T fue 14 084 kg ha⁻¹, mientras que para soja significó solo 2293 kg ha⁻¹ de grano (NPS vs T). De la información surge que en la rotación I trigo/soja de 2^{da}, el mayor beneficio es esperable en el trigo y el menor en soja. Las necesidades de fertilización deberían ser optimizadas para trigo y esperar efectos residuales en la soja de 2^{da}.

Respecto del doble cultivo trigo/soja de 2^{da} 2010-11, utilizado como "tester", las óptimas condiciones meteorológicas y sanitarias de la campaña del trigo 2010 permitieron la expresión de altos rendimientos del

cultivo. A pesar que el trigo tuvo una fertilización única y uniforme con dosis de N, P y S elevadas para la zona, los rendimientos fueron diferentes entre las franjas de fertilización observándose importantes y elevados efectos residuales (**Figura 3**).

La franja testigo T alcanzó una producción de 3610 kg ha⁻¹ señalando las óptimas condiciones ambientales de la campaña. En contraste, la franja con fertilización balanceada NPS durante 10 años previos, permitió alcanzar un rendimiento de 4278 kg ha⁻¹: + 82 kg ha⁻¹ respecto de la que no recibió P, + 533 kg ha⁻¹ comparada con la que no recibió S, + 581 kg ha⁻¹ respecto de la que no recibió P ni S, + 685 kg ha⁻¹ comparada con la que no recibió N ni S, y + 668 kg ha⁻¹ respecto de la franja que no recibió fertilización alguna, durante el mismo periodo. Esta comparación remarca la relevancia del manejo de la nutrición azufrada sobre el rendimiento de trigo en la secuencia trigo/soja de segunda. La baja respuesta "residual" a P posiblemente se debe a la buena provisión de azufre que en varios estudios y cultivos manifestó independencia del P y fue capaz por si mismo de aumentar los rendimientos, aún cuando el P extractable del suelo fue muy bajo (Vivas et al., 2010).

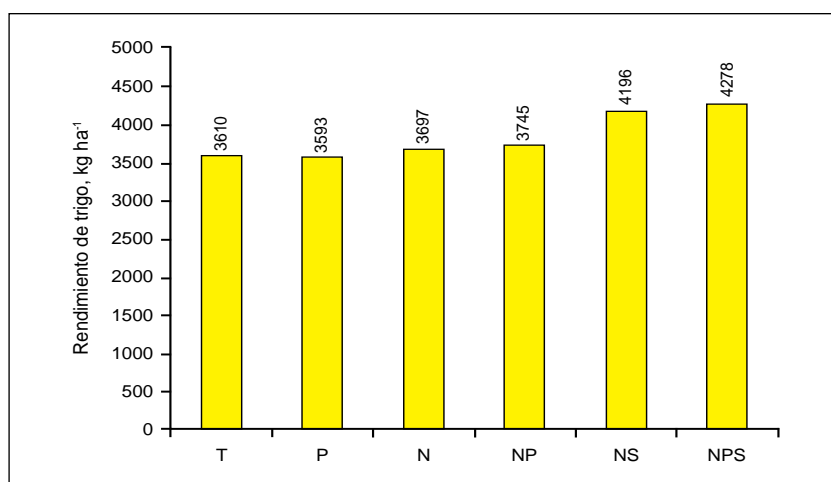


Figura 3. Rendimiento de trigo 2010-11 sobre las diferentes franjas de fertilización 2000-09. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.

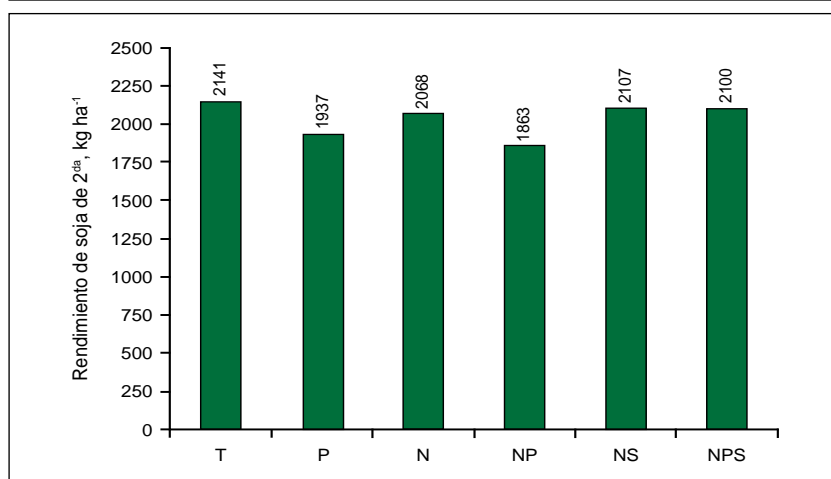


Figura 4. Rendimiento de soja de 2^{da} sobre las diferentes franjas de fertilización 2000-09. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.

La producción del cultivo de soja de 2^{da} en la campaña 2010-11 se puede observar en la **Figura 4**. Luego que el trigo alcanzó el estado fenológico de grano lechoso avanzado (Zadoks 77), las lluvias comenzaron a ser escasas (fines de octubre, noviembre y diciembre), por lo tanto la soja de 2^{da} recién implantada dispuso de escasa humedad en el suelo provocando un establecimiento desuniforme del cultivo que posiblemente afectó la expresión del rendimiento en las franjas con mayor fertilidad. A partir del primer decanato de enero y hasta mediados de febrero de 2011 las lluvias fueron normales. Posteriormente sucedieron 17 días sin precipitaciones con el cultivo en R3-R4 donde comenzó a tener estrés hídrico manifestándose por rodeos enfermedades como *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid y *Rhizoctonia solani* Kühn. A pesar de todo se alcanzó un promedio de 2036 kg ha⁻¹. Los rendimientos fueron menores en los tratamientos P y NP, indicando la deficiencia de S del sistema. Los tratamientos T y N alcanzaron rendimientos similares a los tratamientos con S (NS y NPS), probablemente porque la extracción acumulada de S en los 10 años previos fue menor.

En las **Figuras 5, 6 y 7** se muestran los valores de P Bray, MO y pH a la siembra del trigo 2010-11, posterior a las 10 cosechas trigo/soja de 2^{da}. En todas las franjas donde se fertilizó con P, los valores P Bray de 0-20 cm superaron los 23 ppm y de 0-5 cm fueron superiores a 45 ppm. Evidentemente, la franja P alcanzó valores elevados de P Bray debido a la fertilización anual y la baja producción relativa de trigo y soja de 2^{da} en los 10 años de evaluación y por la falta de los nutrientes complementarios N y S.

Se observó un aumento gradual del porcentaje de MO con las combinaciones de nutrientes NPS y los mayores rendimientos de trigo/soja entre 2000 y 2009 (**Figura 6**). Para la profundidad de 0-20 cm, la MO varió de 2.5% en el tratamiento T hasta 2.9% en el tratamiento NPS. Para 0-5 cm, la tendencia fue más pronunciada variando de 3.1% en T hasta 4.5% en NPS. En ambas profundidades, el mayor contenido de MO presenta efectos positivos sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, sirviendo como reservorio para N, P y S y fuente energética para los microorganismos (Stevenson, 1986). Para la experiencia que se discute, las franjas con valores superiores de MO se observaron en los tratamientos de mayores rendimientos, probablemente a partir de diferencias en el aporte de carbono a través una mayor producción de materia seca.

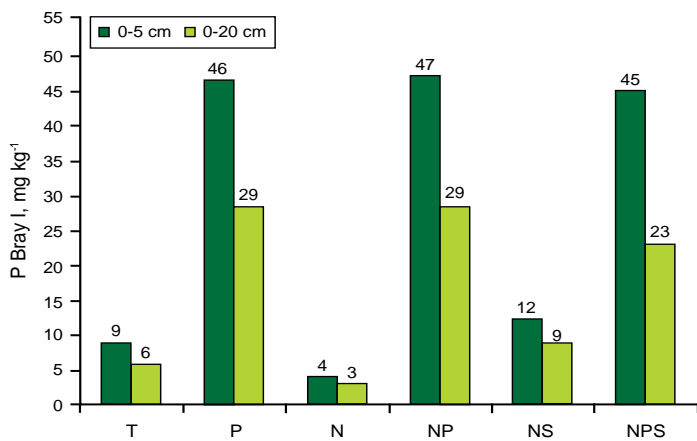


Figura 5. Fósforo extractable (P Bray I) en las diferentes franjas de fertilización luego de 10 años de tratamientos, a dos profundidades (0-5 cm y 0-20 cm) y previo a la siembra del trigo 2010. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.

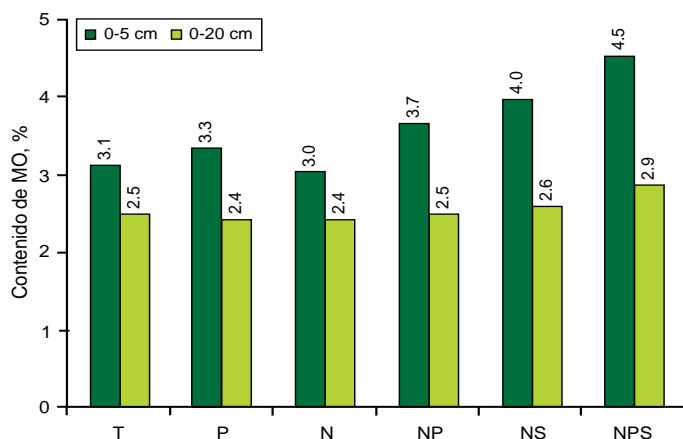


Figura 6. Materia orgánica (MO), previo a la siembra del trigo 2010, a dos profundidades (0-5 cm y 0-20 cm) en las diferentes franjas de fertilización luego de 10 años de tratamientos. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.

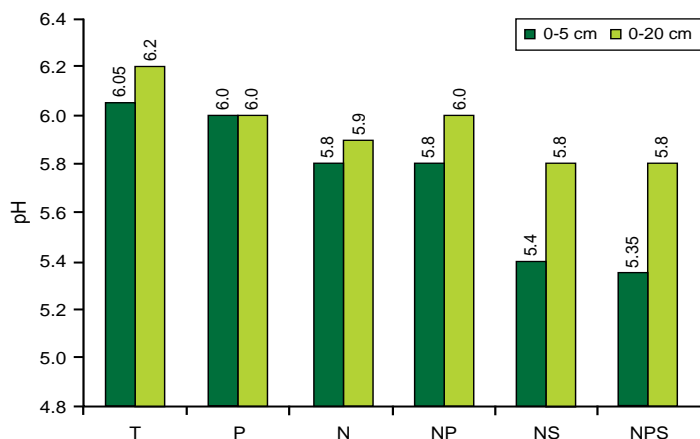


Figura 7. Acidez del suelo (pH) a dos profundidades (0-5 cm y 0-20 cm) en las diferentes franjas de fertilización luego de 10 años de tratamientos y previo a la siembra del trigo 2010. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.

En todas las profundidades se observó una tendencia decreciente en el pH, más pronunciada a 0-5 cm que a 0-20 cm (**Figura 7**). A 0-20 cm de profundidad, la variación fue de 6.2 (T) a 5.8 (NPS), un rango muy frecuente en los actuales sistemas agrícolas. Por el contrario, a 0-5 cm, los valores para T fueron de 6.05 y para NPS de 5.35, pasando por NS con 5.4, registros considerados no deseables (Bohn et al., 1979). La mayor acidez superficial en NS y NPS, podría atribuirse tanto a la fertilización nitrogenada y azufrada como a la mayor extracción de bases (calcio y magnesio) y la mayor cantidad de MO (**Figura 6**) para esos tratamientos. A pesar de las diferencias entre las capas de suelo, para el espesor diagnóstico común (0-20 cm), no se registraron valores de pH considerados problemas, todos fueron iguales o superiores a 5.8.

Consideraciones finales

- La producción acumulada de trigo/soja en 10 años de evaluación mostró los mayores rendimientos de trigo con el tratamiento NPS. En soja de 2^{da}, los rendimientos más altos se lograron en los tratamientos con S.
- Las franjas de fertilización de las 10 campañas previas generaron condiciones nutricionales residuales que contribuyeron a lograr incrementos en los rendimientos de trigo en el año 2010, destacándose la residualidad del S.
- La MO tuvo una tendencia creciente en los tratamientos de fertilización NPS y se asoció con las franjas más productivas de trigo.
- El pH mostró una tendencia decreciente en los tratamientos con fertilización NPS. Si bien los niveles actuales aun se ubican en valores aceptables, se debería continuar monitoreando la evolución de la acidez del suelo.
- La fertilización combinada NPS durante 10 años, además de potenciar los rendimientos de trigo en 2010, permitió mejoras en la fertilidad del suelo, reflejadas en los valores de P y MO.

Agradecimientos

Se desea agradecer el análisis de las muestras de suelos al Laboratorio de la EEA INTA Rafaela en las personas de Susana Hoffman y Mara Boglione.

Bibliografía

- Bohn, H.L., B.L. McNeal, y G.A. O'Connor. 1979. Soil Chemistry. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons. 329 p.
- Caviglia, O.P., V.O. Sadras, y F.H. Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Research*. 87:117-129.
- Lehrsch, G.A., F.D. Whisler, y N.W. Buerhring. 1994. Cropping system influences on extractable water for mono-and double-cropped soybean. *Agricultural Water Management*. 26:13-25.
- MAGyP. 2012. En <http://www.siaa.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura>
- Nisi, J., C. Bainotti, J. Frascina, M. Formica, y J. Salines. 2004. Avances en el mejoramiento del rendimiento de grano en cultivares de trigo. VI Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca. Octubre 2004. pp. 29-30.
- Salvagiotti, F., y D.J. Miralles. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *Europ. J. Agronomy*. 28:282-290.
- Santos, D.J., B. Ferrari, D. Fresoli, P. Beret, R. Benavidez, R. Vicentini, M. Della Magdalena, M. Mondino, G. Salas, S. Lustig, M. Antongiovani, M. Devani, M. Lizondo, L. Erazzu, L. Salines, H. Baigorri, C. Nari, R. Rossi, J. Dolinkue, R. Wright, L. Curti, O. Sanmartin, y A.J. de la Vega. 2006. Ganancia Genética en Soja en Argentina entre 1980 y 2000. En: *Actas de Mercosoja* 2006. 26 al 30 de Junio de 2006, Rosario, Argentina. pp. 196-200.
- SSSA. 1997. Glossary of Soil Science Terms, 1996. Madison WI. 138 p.
- Stevenson, F.J. 1986. Carbon balance of the soil, and role of organic matter in soil fertility. In *Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur and Micronutrients*. Department of Agronomy. University of Illinois. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons. 380 p.
- Villar, J., y G. Cencig. 2008. Estabilidad de cultivares de soja en diferentes fechas de siembra en Rafaela, Santa Fe. Campañas 2005, 2006 y 2007. INTA EEA Rafaela. Información Técnica Cultivos de Verano. Campaña 2008. Publicación Miscelánea No. 112.
- Vivas, H.S., N. Vera Candioti, R. Albrecht, L. Martins, O. Quaino, y J.L. Hotian. 2010. Fósforo y Azufre en una secuencia de cultivos para una fertilización cada dos cosechas. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2010. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea 118:86-92.
- Vivas, H.S., N. Vera Candioti, R. Albrecht, L. Martins, y J.L. Hotian. 2011. Fertilización con Fósforo y Azufre en rotación de cultivos del centro de Santa Fe, Argentina: Beneficios productivos y económicos y evolución del P extractable. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 1:17-21.
- Zhong, W.H., y Z.C. Cai. 2007. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay. *Applied Soil Ecology*. 36:84-91. 🌱



El autor del artículo, Ing. Agr. M. Sc. Hugo Vivas, en las parcelas de soja del ensayo de alternativas de fertilización.