

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DESTINADOS A MEJORAR EL ESTADO SANITARIO Y NUTRICIONAL DEL CULTIVO DE TRIGO: INTERACCIONES ENTRE FERTILIZANTES, FOSFITOS Y FUNGICIDAS.

INTA EEA PERGAMINO
AÑO 2015

Ings. Agrs. (MSc) Gustavo N. Ferraris
INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino
ferraris.gustavo@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

Los **fosfitos** son las sales o los ésteres del ácido fosforoso (H_3PO_3). El ion fosfito (PO_3^{3-}) es un ion poliatómico con un átomo de fósforo. Tiene geometría piramidal. Las numerosas sales de fosfito, tales como el fosfito de amonio, son altamente solubles en el agua.

Cuando el P se oxida completamente forma la conocida molécula de fosfato. En cambio, cuando no se oxida totalmente un átomo de H ocupa el lugar del O y la molécula resultante se denomina fosfito. Este cambio aparentemente simple en la molécula provoca diferencias significativas que influyen su solubilidad, y la absorción, movilidad y metabolismo en las plantas.

El ácido fosforoso y las sales de fosfito contienen concentraciones más altas (P39) que los fertilizantes fosforados basados en fosfatos (P32). Las sales de fosfito son generalmente más solubles que las análogas de fosfato. El fosfato es la forma más estable de P en el ambiente, por esta razón, el fosfito pasa por una transformación gradual en el suelo hasta formar fosfato. El tiempo medio para la oxidación de fosfito a fosfato en suelo es de 3 a 4 meses.

Numerosas experiencias indican la posibilidad de control de enfermedades de géneros como *Phytophthora* o *Phytium*, comprendidos dentro del grupo de los oomycetes, por parte de los fosfitos. El mismo es absorbido por vía radicular y foliar, trastocándose en forma ascendente y descendente. Con respecto a otros grupos de hongos verdaderos, los fosfitos no ejercen un efecto fungicida directo, sino que mejoran el comportamiento sanitario a través de la inducción en la producción de fitoalexinas, sustancias naturales que estimulan las defensas naturales de las plantas, permitiendo disminuir o retrasar la infección y el crecimiento de enfermedades fúngicas. También se ha descrito la capacidad para promover el crecimiento de la planta. Especialmente en frutales, se han reportado respuestas en rendimiento, concentración de azúcares y sólidos solubles a cosecha a causa de efectos fisiológicos atribuibles al fosfito, relacionadas con su efecto en el metabolismo del azúcar, con el estímulo de la ruta del ácido shiquímico y con cambios químicos y hormonales internos.

Los objetivos de este experimento fueron evaluar el efecto de la aplicación foliar de fosfitos, fertilizantes y fungicidas sobre la sanidad, rendimiento y calidad en un cultivo de trigo. Hipotetizamos que 1. El uso foliar de fosfitos aumenta el rendimiento a través de una mejora en la tolerancia a enfermedades foliares 2. Los resultados se ven potenciados por la aplicación conjunta con fungicidas y fertilizantes, permitiendo interacciones positivas entre tecnologías .

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento de campo en la localidad de Ferré, sobre un suelo Serie Rojas, Argiudol típico, Clase I de alta productividad. El ensayo fue sembrado el día 1 de Julio, en Siembra directa, siendo la variedad Klein Zorro. El antecesor fue soja de primera. El experimento se fertilizó con fósforo (P) de base, y un ajuste de nitrógeno (N) y azufre (S) según el criterio de suficiencia. Se evaluaron tratamientos foliares, que consistieron en el uso de fosfitos, fertilizantes y fungicidas. El experimento fue conducido con un diseño en bloques completos al azar con ocho tratamientos y tres repeticiones. La denominación de los mismos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Tratamientos de fertilización y protección de Trigo en Ferré, General Arenales. Año 2015.

	Fertilización	Dosis (kg-l ha ⁻¹)	Estado de aplicación
T1	Testigo		
T2	Fertideg Max	3000 ml ha ⁻¹	Zadoks 37
T3	Fertideg Max	4000 ml ha ⁻¹	Zadoks 37
T4	Fertideg Max + Fosfito Degser Cu	4000 ml ha ⁻¹ 500 ml ha ⁻¹	Zadoks 37
T5	Fertideg Max + Fosfito Degser K	4000 ml ha ⁻¹ 500 ml ha ⁻¹	Zadoks 37
T6	Fertideg Max + Tebuconazole 43 % + Carbendazim 50 %	4000 ml ha ⁻¹ 500 ml ha ⁻¹ 500 ml ha ⁻¹	Zadoks 37
T7	Fertideg Max + Fosfito Degser Cu + Tebuconazole 43 % + Carbendazim 50 %	4000 ml ha ⁻¹ 500 ml ha ⁻¹ 250 ml ha ⁻¹ 250 ml ha ⁻¹	Zadoks 37
T8	Fertideg Max + Fosfito Degser K + Tebuconazole 43 % + Carbendazim 50 %	4000 ml ha ⁻¹ 500 ml ha ⁻¹ 250 ml ha ⁻¹ 250 ml ha ⁻¹	Zadoks 37

Tabla 2: Datos de suelo al momento de la siembra

Profundidad	pH	Materia Orgánica	P-disp.	N-Nitratos 0-20 cm	N-Nitratos suelo 0-60 cm	S-Sulfatos suelo 0-20 cm	Zn
cm	agua 1:2,5	%	ppm	Ppm	kg ha ⁻¹	ppm	Ppm
0-20 cm	5,7	2,75	35,8	22,5	106,1	11,9	0,96

Las aplicaciones foliares fueron realizadas con mochila manual de presión constante. La misma contaba con un botalón aplicador de 200 cm provisto de 4 picos a 50 cm y pastillas de cono hueco 80015 que permiten asperjar 100 l ha⁻¹. La dosificación de los productos se realizó realizando diluciones, y uniformando el volumen final de aplicación. En Zadoks 65 (antesis) se estimó N en hoja bandera mediante una medida adimensional no destructiva con Spad y el NDVI por Green seeker, y se midió la cobertura e interceptación de radiación. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria. Se realizó asimismo una evaluación de severidad de enfermedades foliares. Previo a la misma, se determinó en N° de espigas, granos por espiga, NG (número de grano), PG (peso de los granos) y concentración de proteína.

Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza (ANVA), comparaciones de medias y análisis de regresión.

RESULTADOS

a) **Condiciones ambientales de la campaña**

A la siembra, el perfil se encontraba con un buen nivel de almacenaje, y las precipitaciones fueron moderadas a abundantes, especialmente en el mes de agosto. Las temperaturas se ubicaron por sobre el promedio en invierno, el que dio lugar a una primavera relativamente fresca y húmeda (Figuras 1 y 2). El experimento estuvo expuesto a lluvias copiosas durante la primera etapa del ciclo. No obstante ello, los rendimientos no se vieron afectados.

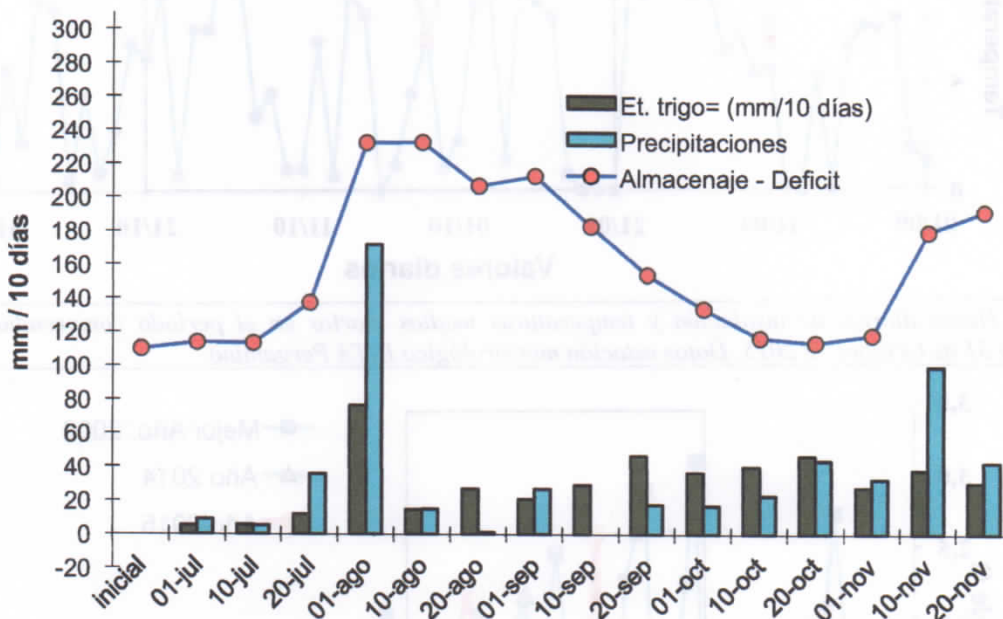


Figura 1: Evapotranspiración, precipitaciones y balance hídrico, expresados como lámina de agua útil (valores positivos) o déficit de evapotranspiración (valores negativos) para trigo en Ferré. Valores acumulados cada 10 días en mm. Año 2015. Lámina de agua útil inicial (140 cm) 110 mm. Precipitaciones durante el ciclo: 543 mm.

En la Figura 3 se presenta el cociente fototermal (Q) (Fisher, 1985), el cual representa la relación existente entre la radiación efectiva diaria en superficie y la temperatura media diaria, y es una medida del potencial de crecimiento por unidad de tiempo térmico de desarrollo. En 2015 la frecuencia de días soleados fue elevada, sin embargo predominaron altas temperaturas, limitando el cociente fototermal (Figura 3 y Tabla 3).

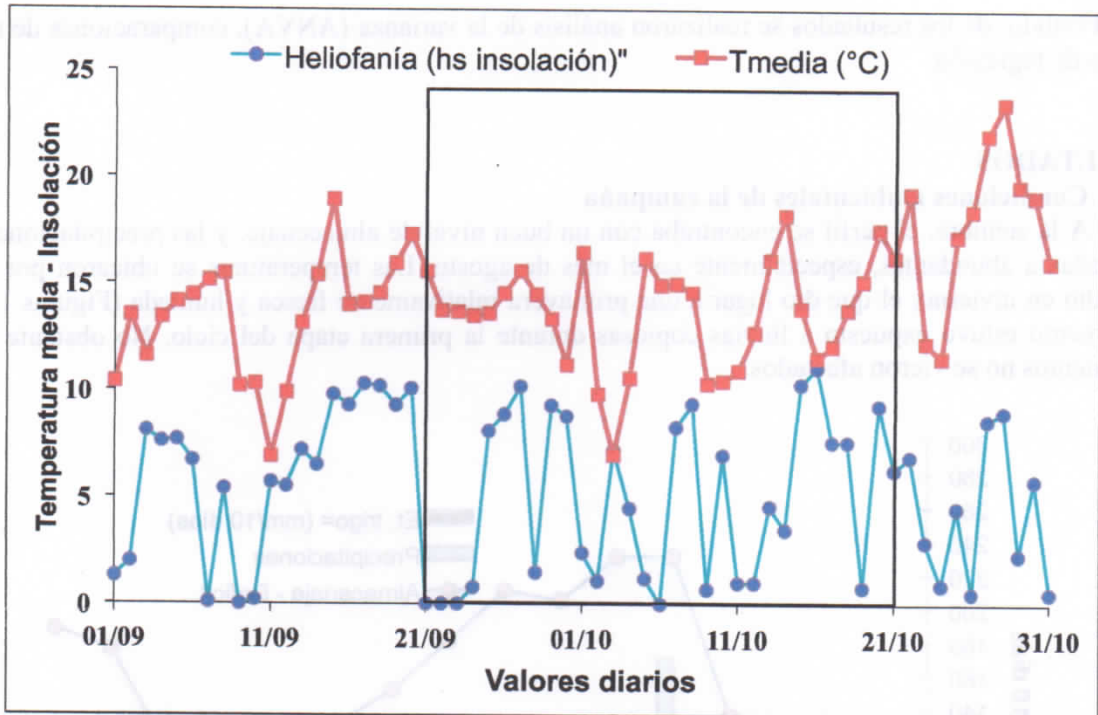


Figura 2: Horas diarias de insolación y temperaturas medias diarias en el periodo comprendido entre 1 de Setiembre y 31 de Octubre de 2015. Datos estación meteorológica INTA Pergamino.

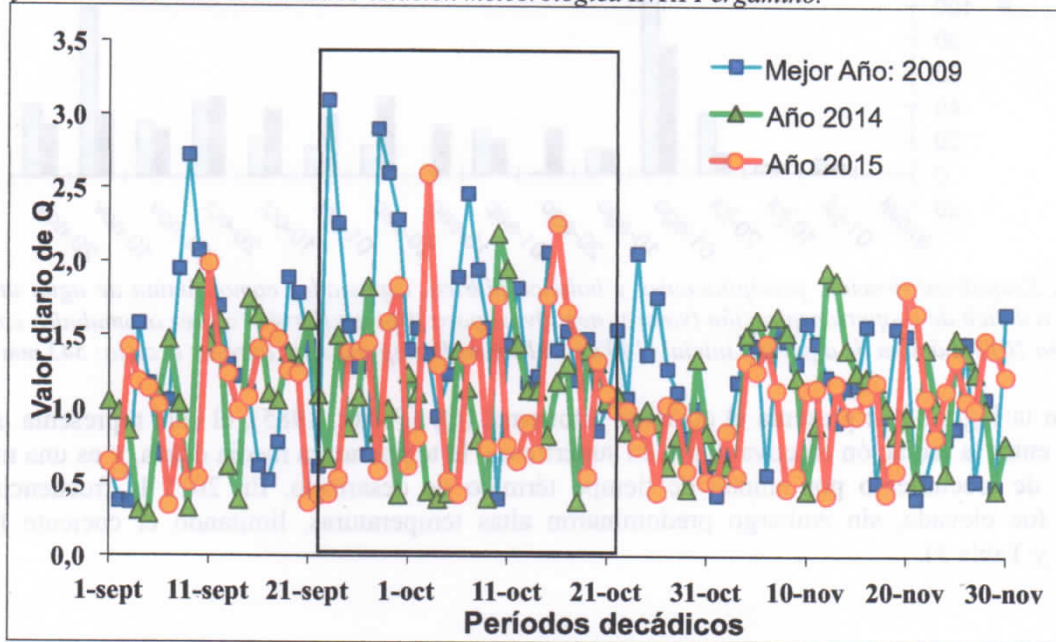


Figura 3: Cociente fototermal (Q) en el periodo comprendido entre el 1-septiembre y 30-noviembre de 2015, y su comparación con el año anterior y el mejor año de la última década. Datos estación meteorológica INTA Pergamino.

Tabla 3: Insolación efectiva (hs), Temperatura media (C°) y Cociente fototermal Q (T base 0°C) para el periodo crítico del cultivo de Trigo en la localidad de Pergamino. 1 al 30 de octubre en 2010, y 15 de setiembre al de 15 de octubre en el resto de los años.

Condiciones ambientales	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015
Insolación Efectiva media (hs)	7,2	7,1	5,9	6,9	8,3	7,45	6,8	5,0	5,6	6,2	5,3
T media del periodo °C	15,1	17,1	15,0	16,4	13,4	14,8	14,8	14,3	13,5	15,1	13,8
Cociente fototermal (Q) (Mj m ⁻² día ⁻¹ °C ⁻¹)	1,24	1,10	1,12	1,10	1,56	1,34	1,19	1,11	1,20	1,11	1,11

b) Resultados de los experimentos

En la Tabla 4 se presentan datos de observaciones tomadas durante el ciclo de cultivo, y en la Figura 4 los rendimientos de grano.

Tabla 4: Parámetros morfológicos del cultivo: NDVI por Green seeker, Spad, severidad de Roya y manchas foliares en antesis (Z65), rendimiento y subcomponentes de rendimiento y concentración de proteína en grano. Tratamientos de nutrición y protección en Trigo, EEA INTA Pergamino, año 2015.

	T	Tratamientos	Green seeker Z65	Spad Z65	Severidad Roya anaranjada (%)	Severidad manchas (Septoria y Dreschlera)	Espigas/m ²
Trigo	T1	Testigo	0,68	46,3	5	40	398,0
	T2	Fdg Max 3000	0,67	46,9	5	40	412
	T3	Fdg Max 4000	0,69	47,8	5	35	407
	T4	Fdg Max + FosDegser Cu	0,69	47,3	3	25	438
	T5	Fdg Max + FosDegser K	0,69	47,9	0	25	468
	T6	Fdg Max + Fungi	0,68	47,6	0	12	451
	T7	Fdg Max + Fungi (media dosis) + FosDegser Cu	0,71	47,7	0	15	502
	T8	Fdg Max + Fungi (media dosis) + FosDegser K	0,68	47,7	0	15	490
R ² vs rend			0,38	0,45	0,61	0,88	0,83
	T	Tratamientos	Granos/ espiga	NG m ⁻²	PG	Rendimiento kg ha ⁻¹	Proteína (%)
Trigo	T1	Testigo	22,5	8969,8	40,7	3931,2	13,5
	T2	Fdg Max 3000	22,0	9044,0	39,3	4108,0	14,0
	T3	Fdg Max 4000	22,0	8947,2	46,7	4175,4	14,9
	T4	Fdg Max + FosDegser Cu	20,8	9102,5	49,3	4490,6	13,0
	T5	Fdg Max + FosDegser K	19,4	9088,7	48,7	4423,2	14,8
	T6	Fdg Max + Fungi	22,1	9982,9	46,7	4658,7	14,5
	T7	Fdg Max + Fungi (media dosis) + FosDegser Cu	20,8	10421,0	47,3	4932,6	14,8
	T8	Fdg Max + Fungi (media dosis) + FosDegser K	21,5	10520,4	44,0	4629,0	14,8
P=						0,02	
CV=						7,04 %	
R ² vs rend			0,20	0,69	0,37		0,16

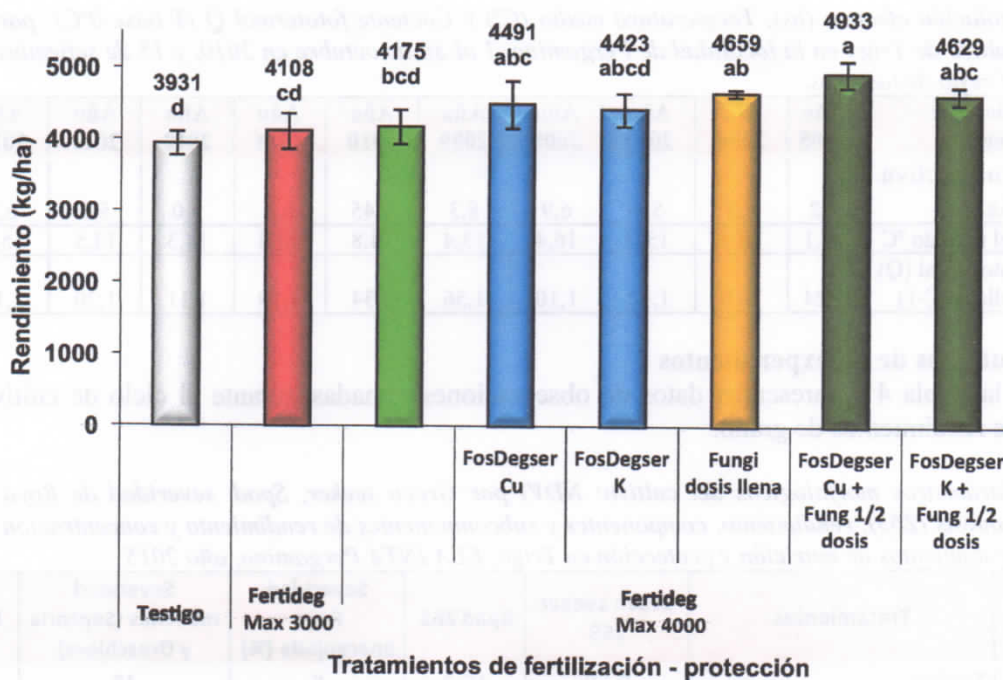


Figura 4: Producción media de grano de Trigo según tratamientos de nutrición y protección foliar. Letras diferentes sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha=0,05$). Las barras de error indican la desviación standard de la media. Escuela Agrotécnica Salesiana de Ferré, año 2015.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

* Los rendimientos, cuyo promedio alcanzó a 4418,4 kg ha⁻¹, fueron satisfactorios aún bajo condiciones ambientales caracterizadas como poco favorables para los cultivos de invierno.

* El cultivo desarrolló su ciclo en un sitio con moderada fertilidad química, y altos niveles de P y N. No obstante, esto no fue impedimento para la obtención de respuesta a algunos de los tratamientos foliares.

* Se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($P=0,02$; $cv=7,04$ %) (Tabla 4). Los mejores tratamientos abarcaron todos aquellos que incluyeron fosfitos dentro de la estrategia, a excepción de T6 con fungicida a dosis completa (Figura 4). Es evidente que las condiciones tan peculiares de la campaña, con altas precipitaciones y presión sanitaria, dieron prevalencia a aquellos tratamientos capaces de mejorar la tolerancia a enfermedades (Tabla 4).

* En la comparación entre ambos fosfitos, surge que en las parcelas sin fungicidas se comportaron de manera similar, mientras que en mezcla con fungicida FosDegser Cu fue levemente superior a FosDegser K (Figura 4). Asimismo, la combinación de fosfitos y fungicidas a media dosis fue apta para mantener la sanidad y alcanzar rendimientos en niveles similares o aún superiores al fungicida en dosis completa (Tabla 4).

* Variables como Índice verde por Spad, Severidad de Roya y Manchas foliares, N° de espigas m⁻² y NG incrementaron su performance con los tratamientos foliares. Todas ellas mostraron una correlación positiva y significativa con los rendimientos (Tabla 4).

* Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis que sugiere un efecto significativo de los tratamientos foliares, destacando el impacto de fosfitos sobre sanidad y rendimiento. Se demuestra que es posible diseñar estrategias exitosas que combinen el aporte de nutrientes para rendimiento y calidad, el uso de fosfitos como preventivos y los fungicidas como curativos de las enfermedades ya presentes.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Belanger R, Dufuor N, Caron J & Benhamou N. 1995. Chronological events associated with the antagonistic properties of *Trichoderma harzianum* against *Botrytis cinerea*: Indirect evidence for sequential role of antibiotics and parasitism. *Biocontrol Science Technology*. 5: 41-54.
- Covasevic, F., H. Echeverría y Y. Andreoli. 1995. Micorriación vesículo-arbuscular espontánea en trigo en función de la disponibilidad de fósforo. *Ciencia del Suelo* 13:47-51.
- Coyne M. 1999. *Soil Microbiology: An exploratory approach*. Delmar Publishers. 462 pag.
- Díaz-Zorita, M., M.V. Fernández-Canigia. 2008. Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity, *Eur. J. Soil Biol.* doi:10.1016/j.ejsobi.2008.07.001
- Díaz-Zorita, M., R.M. Baliña, M.V. Fernández-Canigia, A. Peticari. 2004. Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) with *Azospirillum brasilense* in the Pampas region, Argentina. RELAR, Rio de Janeiro (Brasil).
- Döbereiner, J., I. Marriel and M. Nery. 1976. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. *Can J Microbiol* 22: 1464-1473.
- Faggioli, V., G. Freytes y C. Galarza. 2008. Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fósforo del suelo. Publicación Técnica INTA EEA Marcos Juárez. Disponible on line http://www.inta.gov.ar/MJUAREZ/info/documentos/Suelos/trigo_micorrizas08.pdf
- Ferraris, G. y L. Couretot. 2010. a. Inoculación con Micorrizas en maíz. Evaluación bajo diferentes niveles tecnológicos y dosis de nitrógeno. 6 pp. Disponible on line <http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/informacion.htm>
- Ferraris, G. y L. Couretot. 2008. Evaluación de la inoculación con Micorrizas bajo diferentes ambientes de fertilidad. pp 48-52. En: Trigo. Resultados de Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola.
- Ferraris, G., L. Couretot y M. Díaz Zorita. 2008. Respuesta de trigo a tratamientos con *Azospirillum* sp. según niveles tecnológicos. CD Room. VII Congreso Nacional de Trigo.V Simposio Invernal de Cereales de siembra Otoño –Invernal. I Encuentro del Mercosur.
- Ferraris, 2014. Eficiencia de preinoculación con *Trichoderma harzianum* en trigo según tiempos de preinoculación. Informe de Resultados. 7 pp.
- García, F.O.; L.I. Picone y A. Berardo. 2006. Fósforo. Pág. 99-121. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.) *Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. 521p.
- Haas D, Défago G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nat Rev Microbiol*. 2005 Apr; 3(4):307-19. Okon Y. and C. Labandera-Gonzalez. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biol. Biochem.* Vol 26 (12):1591-1601.
- Peterson R.L., H.B. Massicotte y L.H. Melville . 2004. Arbuscular mycorrhizas. En: *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. NRC-CNRC. Research Press.Otawa. Canada. Chap.3: 57-79.
- Puente, M. y A. Peticari. 2006. Inoculación de trigo con *Azospirillum*. *Trigo en Siembra Directa*. 97-99. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa, AAPRESID.
- Russo A, Felici C, Toffanin A, Götz M, Collados C, Barea JM, Moënné-Loccoz Y, Smalla K, Vanderleyden J, Nuti M (2005) Effect of *Azospirillum* inoculants on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. *Biol Fertil Soils* 41:301–309.
- Schalamuk S, S. Velásquez, H. Chidichimo y M. Cabello. 2006. Fungal spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with spring wheat: effects of tillage. *Mycologia* 1: 22–28.