



**“EFECTO DE DISTINTAS FUENTES DE FERTILIZACIÓN
FOSFORADA SOBRE EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES
EN TRIGO PAN (*Triticum aestivum L.*)”**

“Trabajo Final de Graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo”

Autores: Cardoni, Fabricio Miguel
del Río, Mario Javier

Director: Fernandez, Miguel Angel.
Cátedra Cereales y Oleaginosas.

Evaluadores: Riestra, Diego. Cátedra de Agrotecnia. Facultad de Agronomía, UNLPam.
Zingaretti, Osvaldo. Cátedra Cereales y Oleaginosas. Facultad de
Agronomía, UNLPam.

FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA.
SANTA ROSA (LA PAMPA) ARGENTINA

2017

INDICE

RESUMEN.....	3
PALABRAS CLAVES:.....	3
ABSTRACT.....	4
KEY WORDS:.....	4
INTRODUCCION.....	5
Hipótesis	11
Objetivos :.....	11
MATERIALES Y METODOS.....	12
RESULTADOS Y DISCUSION.....	16
CONCLUSIONES.....	26
AGRADECIMIENTOS.....	27
BIBLIOGRAFIA.....	28

RESUMEN

El fósforo es uno de los nutrientes más importantes para el cultivo de trigo y cuando existe un déficit debe ser agregado en adecuada proporción junto al nitrógeno debido a que existe una fuerte interacción entre ambos elementos sobre todo durante la primera fase del crecimiento. El ensayo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, durante la campaña de trigo 2015. Se utilizó un diseño en bloques con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron distintas fuentes de fósforo (superfosfato triple, fosfato monoamónico, fosfato diamónico, Mila nitrocomplex plus, fertilizante foliar orgánico) y dos dosis (14 y 28 kg P ha⁻¹). En macollaje se aplicó urea al voleo en el bloque dividido en franja (100 kg N ha⁻¹). No hubo respuesta del rendimiento de grano (kg ha⁻¹) al agregado de fósforo ni a las diferentes fuentes fosforadas, y además no se encontró interacción significativa entre los tratamientos fertilizados y no fertilizados con urea al macollaje. Como conclusión se puede inferir que el contenido de fósforo en el suelo al momento de la siembra (13,3 ppm) fue suficiente para sostener el rendimiento logrado por el cultivo (entre 2500 y 3000 kg.ha⁻¹) y que las diferentes fuentes fosforadas no mostraron un aumento en el mismo.

PALABRAS CLAVES: fertilizante fosforado, fuente sólida y líquida, interacción con nitrógeno.

ABSTRACT

Phosphorus is one of the most important nutrients for wheat and must be added in a suitable proportion together with nitrogen because there is a strong interaction between both elements especially during the first phase of wheat growth. The experiment was carried out in the Experimental Field at the Faculty of Agronomy of UNLPam during year 2015. The experimental design was a split plot into blocks with four replicates. Treatments were a combination of phosphorus sources (triple calcium superphosphate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate, Mila nitrocomplex plus, organic foliar fertilizer) and doses (14 and 28 kg P ha⁻¹). At wheat, urea was applied at tillering, block divided into strip (100-kgN ha⁻¹). The interaction between phosphate and nitrogen fertilization applied at tillering and evaluated wheat yield components were. Grain yield (kg ha⁻¹) did not show the significant interaction between treatments fertilized and non-fertilized with urea at tillering and there were no differences between treatments. As a conclusion, it can be inferred that the phosphorus content (13.3 ppm) in the soil at the time of sowing was sufficient to sustain the yield achieved by the crop (between 2500 and 3000 kg ha⁻¹).

KEY WORDS: Fertilizer phosphorous, solid and liquid source, interaction with nitrogen.

INTRODUCCION

El trigo (*Triticum aestivum L.*) es el cultivo de invierno de mayor importancia en la región semiárida pampeana (Iglesias e Iturrioz, 2010).

En la campaña 2016 se sembraron en nuestro país 6,36 millones de hectáreas, lo que lo ubica un 45% por encima del área cubierta en la campaña anterior y 100% con respecto a la campaña 2012 que fue la menor superficie sembrada en los últimos 20 años (SIIA, 2017). De igual manera en la provincia de La Pampa ha aumentado la superficie sembrada en la campaña 2016 con respecto a las anteriores. La Pampa aportó un 6% de la superficie sembrada en nuestro país, es decir, aproximadamente 382.000 hectáreas cultivadas (SIIA, 2017). El rinde promedio por hectárea cosechada varió en los últimos diez años desde un mínimo de 989 kg. ha⁻¹ (campaña 2009) a un máximo de 2830 kg. ha⁻¹ (campaña 2016) con un desvío estándar para la serie de \pm de 678 kg. ha⁻¹, según estadísticas del Ministerio de Agroindustria de la Nación. (SIIA, 2017). Así mismo, en la campaña 2016-2017, las mejores reservas de humedad y las lluvias logradas en los meses de primavera, produjeron un escenario positivo con rindes record para el país de 3.274 kg. ha⁻¹ para el trigo en la zona (BCR, 2017). Este incremento de los rendimientos será acompañado por mayor extracción de nutrientes.

La mayoría de las zonas agrícolas del país tienen suelos susceptibles a la erosión hídrica y eólica y contienen bajos niveles de materia orgánica (MO). Existe un desfasaje considerable entre las necesidades hídricas de los cultivos y las precipitaciones, siendo la lluvia la principal fuente de humedad. El uso indebido del recurso suelo y el corrimiento de la frontera agrícola acentúa estas limitaciones, viéndose reflejadas en bajos niveles de producción. Es por este efecto de la degradación, que se ven afectadas las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Bono et al., 1997).

La degradación del recurso suelo afecta directamente en el funcionamiento normal de los cultivos anuales. En la región el nutriente que presenta deficiencias más generalizadas es el nitrógeno (N) (Fagioli y Bono, 1982; Loewy, 1995).

La práctica más utilizada para obtener los mayores rendimientos por superficie es la fertilización. Esto genera una mayor eficiencia en el uso del agua, un aumento en el rendimiento y en el porcentaje de proteína en grano. (Fagioli y Bono, 1982; Fagioli, 1987; Loewy, 1995).

La corrección rápida de una deficiencia de Nitrógeno (N) se realiza con fertilizantes, mientras que para hacerlo de manera progresiva y lenta se puede utilizar pasturas a base de leguminosas. En los meses de septiembre y octubre ocurren los momentos más críticos del cultivo de trigo (encañazón y espigazón), siendo en esta etapa, los mayores requerimientos hídricos y nutricionales del mismo (Fagioli, 1972, 1976, 1977; Fagioli y Bono, 1984a y 1984b).

En la mayor parte de las reacciones bioquímicas complejas de las plantas el fósforo interviene activamente, como así también en todos los procesos involucrados con la transferencia de energía. La energía luminosa captada por la clorofila y transportada a través de la planta es recibida por los iones fosfóricos, los cuales también tienen una gran importancia en el metabolismo de diversas sustancias bioquímicas (Stauffer y Sulewli, 2001).

Uno de los elementos químicos más importantes para el trigo es el P, pero si no se lo agrega en adecuada proporción junto al nitrógeno no logra cumplir con su objetivo debido a que existe una fuerte interacción entre ambos sobre todo durante la primera fase del crecimiento. Particularmente, el desarrollo radicular al inicio del ciclo

vegetativo es favorecido por una buena disponibilidad de P. Es importante la ubicación local de una pequeña proporción de P con la semilla, en especial en suelos con bajos contenidos de materia orgánica, incrementando de esa manera la resistencia de la planta al frío y a las enfermedades y aumentando la tasa de macollaje y el crecimiento (Rodríguez et al., 2000). Se podría decir que es un factor de calidad, ya que favorece justamente los períodos de crecimiento vegetativo que son los críticos para el rendimiento del cultivo: fecundación, maduración y movimiento de las reservas. Los cultivos que presentan deficiencias muestran un menor crecimiento inicial (Rodríguez et al., 2000).

En la actualidad, muchos suelos de la provincia de La Pampa y Buenos Aires presentan contenidos de P disponible (evaluados por el método de Bray - Kurtz I) menores a los 10 mg.kg^{-1} de P (ppm) a causa del uso agrícola extractivo y por consiguiente a los procesos de pérdida asociados a la erosión eólica (Buschiazzo et al., 2001).

En la región pampeana el aumento en la extracción de nutrientes en los granos cosechados ha dado como resultado balances negativos, por mayores remociones en la cosecha de granos con respecto a la reposición por fertilización, (García et al., 2005; Barbagelata y Melchiori, 2007). En este sentido, Rubio y Álvarez (2010) indican que la reposición representa más del 50% del P exportado por los cultivos, hecho que ha provocado una merma en el P extraíble de los suelos del orden del 65% y 75% (Heredia et al., 2003).

El P del suelo se encuentra integrado básicamente por dos fracciones: el inorgánico que es el de mayor proporción y en la forma que mayormente es tomado por las plantas, y el orgánico ligado a la materia orgánica. Dentro de la fracción inorgánica,

constituye orto-fosfatos que pueden ser insolubles, poco solubles, o solubles. Pueden fijarse y/o precipitar (pasaje del estado soluble, poco soluble a insoluble), estando involucrados mecanismos de: adsorción física (se pegan por sus cargas a cationes), adsorción química (por reacción en pH alcalino dando óxidos e hidróxidos), sustitución de aniones por fosfatos cuando por ejemplo los cloruros de un mineral son reemplazados por P, o precipitaciones por cristales de fosfato de calcio o sobre otro mineral. (Maddonni et al, 2003).

La distribución de las formas de P en solución depende principalmente del pH del suelo. Los iones fosfato provienen de la disociación del ácido orto fosfórico (H_3PO_4) que se caracteriza por tres valores de pK. Dentro del rango de pH que generalmente se encuentra en la mayoría de los suelos, los principales iones orto fosfato son $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} , siendo este último la especie predominante a pH superior a 7,2. Estos iones tienen una fuerte tendencia a formar pares de iones o complejos solubles con varios cationes, principalmente con Ca y Mg en suelos neutros y alcalinos, y con Fe y Al en suelos ácidos (McLaughlin et al., 2011).

El P es el macro nutriente de menor movilidad y baja disponibilidad para las plantas en la mayoría de los suelos. La baja movilidad de los iones fosfato ($H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-}) se debe a su interacción con los constituyentes coloidales del suelo que determina que sólo una pequeña proporción del P esté presente como iones en la solución de suelo (Lombi et al., 2005).

La principal entrada de P al agro-sistema está dada por la adición de fertilizantes o enmiendas. Los fertilizantes fosfatados, al ser aplicados al suelo, se disuelven en presencia de agua. Las reacciones que ocurren alrededor del fertilizante con constituyentes del suelo y con compuestos del fertilizante disminuyen la concentración

de P de la solución, dando fosfatos menos solubles. El fenómeno involucrado es la fijación, sorción o retención de P y comprende procesos de adsorción, precipitación e inmovilización biológica (Hedley y McLaughlin, 2005, Sims y Pierzynski, 2005). Estos procesos son los responsables de que sólo entre 10 y 30% del P aplicado al suelo como fertilizante sea absorbido por las plantas durante la primera estación de crecimiento o ciclo agrícola, permaneciendo el resto como productos de la reacción fertilizantes-suelo, y quedando potencialmente disponible para los próximos cultivos, declinando la respuesta a este fosfato residual en los años siguientes (Rubio y Álvarez, 2010).

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de P en el suelo, así como otras propiedades edáficas, del cultivo y del manejo del fertilizante. Entre las propiedades del suelo, se destacan la textura, mineralogía, el contenido de materia orgánica y el pH. Entre los parámetros asociados al cultivo deben mencionarse el requerimiento de cada cultivo y el rendimiento esperado. En relación con el manejo del fertilizante, hay que tener en cuenta la solubilidad de la fuente de P aplicada, la localización del fertilizante y el momento de aplicación. (Zingore et al., 2007).

En lo referente a la forma de aplicación de P, la fertilización en la línea junto o cerca de la semilla es la más eficiente, por la baja movilidad de este nutriente en el suelo. Cuando menor es el contenido de P en el suelo y más fina es la textura, más importante es la aplicación en la línea, sobre todo cuando las dosis de fertilizante no son muy elevadas. Con bajos contenidos de fósforo (inferior a 10 ppm) la respuesta a la aplicación localizada supera en un 50-60 % a la obtenida con aplicación al voleo con posterior incorporación, estas diferencias disminuyen cuando se incrementa la disponibilidad de P y solo con contenidos superiores a 20-22 ppm, las dos formas de aplicaciones presentan respuestas similares (Berardo, *et al.* 1999).

En el mercado se encuentran fertilizantes fosfatados de reacción ácida o alcalina. También se los puede clasificar por su forma física en líquidos y granulados. De los fertilizantes de reacción ácida en el suelo, utilizados en la región pampeana, se puede mencionar el superfosfato simple de calcio (SFS), superfosfato triple de calcio (SFT) y fosfato mono amónico (FMA) (Hedley y McLaughlin, 2005). Los fertilizantes líquidos, de reciente aparición en el mercado local son polifosfato de amonio (PFA) y ácido fosfórico (AF). Los ácidos fosfóricos, por lo común, son productos derivados de la industria que contienen iones ortofosfatos y en menor proporción polifosfatos (su pH en solución es muy ácido). El PFA, a diferencia del ácido fosfórico, tiene una reacción neutra a levemente ácida (Hedley y McLaughlin, 2005).

Cuando un fertilizante fosfatado soluble es agregado al suelo, se produce un aumento de P soluble pero, rápidamente, las fracciones orgánicas e inorgánicas amortiguan este aumento a través de procesos de fijación, inmovilización y adsorción. Cuando la planta absorbe P disminuyendo la concentración de P soluble, el P inorgánico es desorbido, liberado y el orgánico mineralizado para reabastecer la solución del suelo. Los fertilizantes sólidos generalmente poseen una solubilidad limitada, sobre todo en suelos alcalinos o calcáreos, por lo que frecuentemente se observa una cubierta de calcio que se forma en los granos del fertilizante, disminuyendo aún más la disponibilidad del P (McBeath et al., 2006). Es por este motivo que se han desarrollado fuentes líquidas de este elemento cuya solubilidad sería mayor y por ende la eficiencia de uso de P por parte del cultivo aumentaría respecto de las fuentes sólidas tradicionales (Lombi et al., 2004; Lombi et al., 2005). Experimentos realizados en Australia han demostrado que el fertilizante fosforado líquido fue más eficiente en promover el crecimiento y la absorción de P por el trigo que los productos en gránulos sólidos en los suelos altamente calcáreos que dominan en la península de Eire (Holloway et al. 2001). McBeath et al.

(2007) registraron una mayor absorción de P cuando se lo agregó líquido con respecto al granulado y una mayor producción de materia seca en el trigo.

En los ambientes de la planicie medanosa de la provincia de La Pampa predominan suelos con presencia de carbonatos de calcio, sobre todo en los bajos, dónde las capas freáticas cercanas a la superficie aportan esta sal. En estos suelos se presume que la disponibilidad de P sea condicionada por la baja solubilidad del elemento y que la aplicación de fuentes líquidas de P podría mejorar la nutrición fosforada de los cultivos (Adema Bernal y Paternessi, 2015).

Hipótesis

H1: El fósforo es un nutriente esencial para el cultivo de trigo se espera obtener un mayor rendimiento, en los tratamientos fertilizados con P comparados con el testigo sin fertilizar.

H2: El agregado de fertilizante nitrogenado en macollaje, aumentará el rendimiento, potenciando el efecto del fósforo.

H3: La formulación del P en forma líquida mejorará el rendimiento del trigo por una mayor eficiencia de absorción.

Objetivos:

- Evaluar el rendimiento de grano de trigo para las diferentes fuentes de fertilizantes fosforados aplicados en la línea de siembra con una misma dosis.
- Evaluar la respuesta al rendimiento de grano de trigo por la interacción entre la fertilización fosforada y la nitrogenada aplicada al macollaje.

- Evaluar la diferencia de eficiencia entre una fuente sólida y líquida de P.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam a 11 km al norte de la ciudad de Santa Rosa (36° 46' S y 64° 17' W) a 210 msnm. El suelo se clasifica como *Paleustol petrocalcico* (Soil Survery Staff, (2014) con textura franco arenosa (65% arena, 20% limo y 15% arcilla).

El ensayo se sembró en parcelas estándar (5,5m de largo x 7 surcos a 0,20m entre hileras) en un diseño en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones (Figura 1).

La siembra se efectuó el día 23 de junio de 2015 en forma convencional, con una sembradora de parcelas marca “Forti” de 7 surcos. La densidad de siembra fue de 250 pl.m⁻². El suelo presentó un óptimo contenido de humedad, lo que permitió sembrar a 3 cm de profundidad. Se utilizó la variedad de trigo Klein Yarará. La semilla registró un poder germinativo del 95% y un peso de mil granos (PMG) de 37,3 gramos.

Los tratamientos aplicados fueron una combinación de Fuentes de Fósforo y dosis (Cuadro 1). Las fuentes fosforadas utilizadas fueron: superfosfato triple de calcio (SFT), fosfato monoamónico (FMA), fosfato diamónico (FDA), Mila nitrocomplex plus (YARA) y fertilizante foliar orgánico (FFO). Las dosis de fósforo elemento utilizada fueron 14 kg de P/ha y 28 kg de P/ha. Las dosis fueron elegidas sobre la base de otro ensayo realizado en INTA Barrow, en los cuales la respuesta se observó hasta un agregado de 30 kg.ha⁻¹ de P dependiendo del potencial del ambiente (Ross y Elgart., 2014).

Previo a la siembra el día 22 de junio de 2015 se realizó el muestro de suelo, en los primeros 20 cm para la determinación de Fósforo extraíble por el método Bray-Kurtz I y en los primeros 60 cm de suelo para la determinación N-NO₃⁻ por el método del CTA. Los valores que se registraron fueron 10,2 ppm de N-NO₃⁻ de 0-60 cm y 13,3 ppm de P Bray-Kurtz I.

El día 2 de septiembre se realizó una pulverización contra malezas con 100 cm³.ha⁻¹ de dicamba y 6 gramos.ha⁻¹ de metsulfurón, logrando un efectivo control.

El tratamiento con fertilizante nitrogenado se realizó al macollaje en forma de franjas en todos los bloques el día 17 de septiembre con 100 Kg.ha⁻¹ de urea tal como se muestra en la Figur a1..

La primera aplicación del fertilizante foliar orgánico (FFO) se llevó a cabo el 29 de septiembre a fin de macollaje en Z31 y la segunda aplicación fue el 4 de noviembre en Z59.

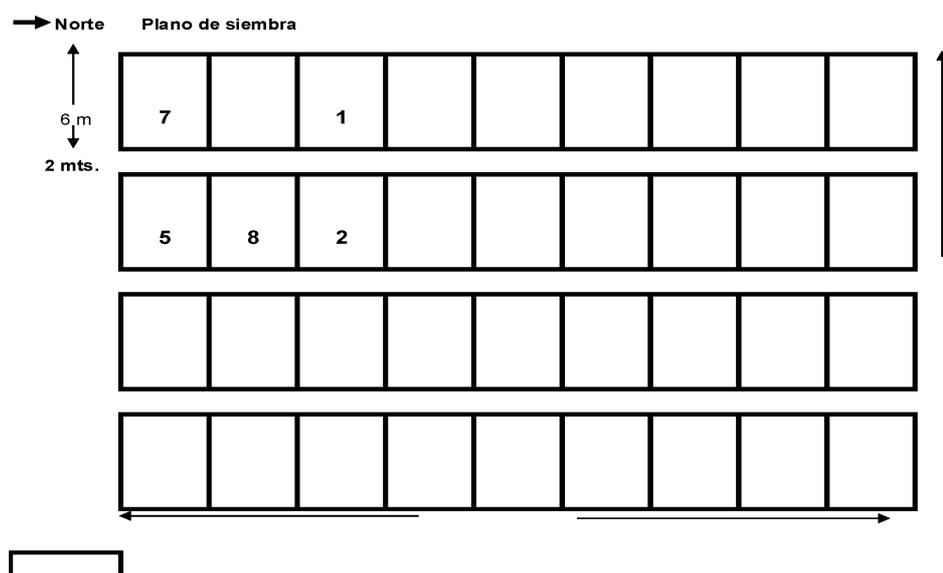


Figura 1: Plano y diseño de los distintos tratamientos.

Cuadro 1: Tratamientos aplicados.

Tratamiento	Fertilizante	Fósforo	Nitrógeno
	Kg ha ⁻¹		
1 = SFT hilera de siembra	50	10	0,0
2 = FMA hilera de siembra	46	10	4,6
3 = FDA hilera de siembra	50	10	9,0
4 = YARA hilera de siembra	133	10	28,0
5 = F2L hilera dosis simple	104	5	2,2
6 = F2L hilera dosis doble	208	10	4,4
7 = FFO post emerg. una aplic. Macollaje	5	0	0,0
8 = FFO post emerg. Macollaje + Z49	10	0	0,0
9 = TESTIGO	0	0	0,0

La cosecha del ensayo se realizó el día 23 de diciembre del 2015, momento en que el grano se hallaba en madurez fisiológica (Z 90 de Zadoks *et al*, 1974), extrayendo una muestra de un metro lineal de los tres surcos centrales de cada parcela (0,60 m² de cada tratamiento). En forma manual se extrajeron las plantas enteras para luego secarlas en estufa de circulación forzada hasta peso constante (60°C durante 48hs.).

Con las muestras extraídas se determinaron los siguientes componentes del rendimiento:

- espigas/m²
- Número de granos/m²
- Número de granos/espiga
- Peso mil granos (PMG)
- Peso Hectolítrico (PH)

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó por medio de un ANAVA especial con tratamientos principales (lugar de colocación y fuente fosforada) y un

tratamiento en franja (fertilizante nitrogenado) utilizando el paquete estadístico INFOSTAT (2015). La separación de medias se realizó por medio del test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$) para tener seguridad de diferencia entre ellas y el test LSD ($\alpha \leq 0,05$) para tener seguridad de que las medias son iguales estadísticamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las condiciones climáticas del año 2015 fueron apropiadas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo. Las precipitaciones fueron 120 mm superiores a lo normal (Cuadro 2). Durante el otoño las precipitaciones fueron suficientes para lograr un buen almacenaje de agua en el perfil del suelo, permitiendo un buen arranque del cultivo.

Respecto a las temperaturas medias mensuales durante el ciclo del cultivo no hubo importantes variaciones en relación a la media, con lo cual esta variable no afectó el normal desarrollo del cultivo (Cuadro 2).

Como primer análisis se puede observar que en todas las variables medidas (Cuadro 3) no se observó interacción significativa entre los tratamientos fertilizados y no fertilizados con urea al macollaje, pudiéndose realizar un análisis de forma conjunta.

Cuadro 2: Caracterización climática del ciclo agrícola 2015.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Temp. \bar{X} Mensual 2015 (°C)	23,8	22,2	21,8	17,0	13,4	9,6	9,0	11,2	11,4	12,6	18,5	22,5	16,1
Temp. \bar{X} Mensual 1977-2008 (°C)	23,2	22,1	19,6	15,3	11,3	8,2	7,8	9,7	12,4	15,9	19,2	22,0	15,5
Lluvias en el año 2015 (mm)	99,2	92,0	105,2	112,8	25,2	1,4	11,5	10,6	62,7	88,4	73,6	145,7	828,3
Lluvias de 1976 -2011 (mm)	88	76	96	57	32	15	20	24	45	72	89	98	709

Fuente: los promedios y los datos del año de estudio fueron proporcionados por la Cátedra de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

El rendimiento de grano ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), no presentó diferencias significativas entre los distintos tratamientos. Con el nivel de P disponible en el suelo al momento de la siembra (13,3 ppm) no hubo respuesta para el nivel de rendimiento logrado (entre 2500 y 3000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Barbagelata y Melchiori (2008). Si bien no se encontraron diferencias estadísticas, el mayor rinde se registró con el SFT y el menor rinde con el F2L dosis doble. Los tratamientos con P líquido no mostraron mayor rendimiento como el encontrado por otros autores para suelos calcáreos de Australia (Holloway et al., 2001; Mcbeath et al., 2007; McLaughlin et al., 2011). Tampoco la biomasa mostró diferencias significativas entre los distintos tratamientos. Asimismo se puede decir que el tratamiento FDA fue el que mayor biomasa generó, y el FFO al macollaje en Z49 fue el de menor biomasa.

Otra variable evaluada fue la cantidad de espigas por m^2 que no presentó diferencia significativa entre los tratamientos de fósforo, pero si existió diferencia significativa entre los tratamientos, sin nitrógeno y con nitrógeno aplicado por medio de urea durante el macollaje. En este caso, el tratamiento con agregado de urea logró mayor cantidad de espigas fértiles por m^2 . El mayor número de espigas por m^2 fue específicamente para el tratamiento con FFO + urea al macollaje y el menor valor para F2L DS sin urea.

El número de granos por espiga no registró diferencias significativas entre los tratamientos de fósforo. Tampoco se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos no fertilizados y fertilizados con urea al macollaje. El menor y mayor número de granos por espiga corresponden a F2L DD sin urea y FDA con urea, respectivamente.

En cuanto al número de granos por m^2 no se registraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos fosforados. Por su parte, el agregado de urea al macollaje

incrementó el número de granos por m². El tratamiento F2L dosis simple con urea produjo mayor número de granos por m² y F2L dosis simple sin urea el menor número de granos por m².

En la variable Peso del Mil Granos (PMG) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos fosforados, pero si existieron diferencias muy significativas entre los tratamientos no fertilizados y fertilizados con urea al macollaje, donde el mayor PMG lo produjo el Testigo sin urea y el menor PMG fue para F2L DS más urea.

El peso hectolítrico (PH) tampoco mostró diferencias significativas entre los tratamientos fosforados y al igual que el PMG, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos no fertilizados y fertilizados con urea. Hubo dos puntos de diferencia en el PH a favor de los tratamientos no fertilizados con urea al macollaje. El mayor PH (77,4 kg.hl⁻¹) fue por FFO al macollaje y en Z49 sin urea al macollaje y el menor valor (72,6 kg.hl⁻¹) de peso hectolítrico correspondió para F2L dosis simple con urea al macollaje. Este último valor sale fuera del grado 3 del estándar de comercialización del trigo (Norma XX).

Cuadro 3: Efecto de los tratamientos sobre los distintos componentes de rendimiento del cultivo de trigo.

Tratamientos	Espigas por m ²		N° de Granos por Espiga		N° Granos por m ²		Peso Mil Granos (g)		Biomasa (Kg ha ⁻¹)		Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)		Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	
	S/U	C/U	S/U	C/U	S/U	C/U	S/U	C/U	S/U	C/U	S/U	C/U	S/U	C/U
SFT	463,1	480,9	22,0	20,4	10253	9723	30,4	29,7	13690	13810	75,2	73,1	3076	2866
FFO mac	412,5	488,7	21,4	19,0	8606	9224	32,2	30,5	13691	13096	76,0	75,0	2763	2814
FFO mac + Z49	408,3	475,6	20,7	20,0	8455	9484	31,9	29,1	10536	13631	77,4	75,3	2689	2744
YARA	464,3	455,4	19,6	21,3	8995	9577	31,5	28,4	13631	12321	77,0	74,8	2838	2708
F2L DS	316,7	484,5	19,4	22,4	8414	10837	30,6	27,6	12679	14286	76,0	72,6	2572	2974
F2L DD	432,1	438,7	18,6	21,1	7964	9219	31,5	28,0	12322	11905	75,2	74,0	2484	2581
FMA	453,0	431,6	20,1	22,2	9125	9406	31,3	29,9	13512	11786	75,9	75,5	2852	2808
FDA	413,1	417,9	21,4	23,3	8889	9684	31,8	28,9	14345	12619	76,0	74,9	2827	2799
TESTIGO	388,7	444,7	21,1	20,6	8214	9110	32,5	31,2	11428	11905	76,4	75,2	2662	2838
Promedio	416,9 b	457,5 a	20,5	21,1	8768 b	9585 a	31,5 a	29,2 b	12870	12817	76,1 a	74,4 b	2751	2792
DMS	33,7		1,1		623,9		0,89		1054,8		0,8		178,1	
CV (%)	16,29		11,46		14,37		6,22		17,36		2,39		13,58	
Interacción	Ns		-		Ns		-		Ns				Ns	

Letras iguales no difieren estadísticamente utilizando el TEST de Fisher ($\alpha \leq 0,05$). S/U: sin urea; C/U: con urea.

CV: Coeficiente de Variación, DMS: Diferencia mínima significativa, ns: no significativo, *: significativo

En la Figura 2 se observa un aumento del rendimiento de grano a medida que aumenta la cantidad de espigas por m². El agregado de fertilizante en forma de urea mostró una pendiente menor que el testigo.

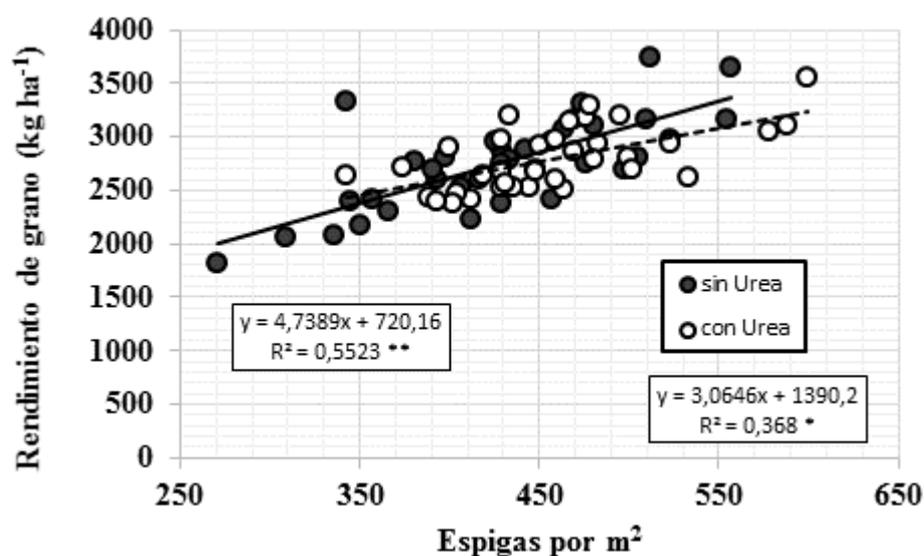


Figura 2. Relación entre las espigas por m² y el rendimiento de grano en los tratamientos sin y con urea al macollaje.

La biomasa del cultivo de trigo explicó significativamente el aumento de rendimiento de grano, no habiendo diferencias con el agregado de urea (Figura 3).

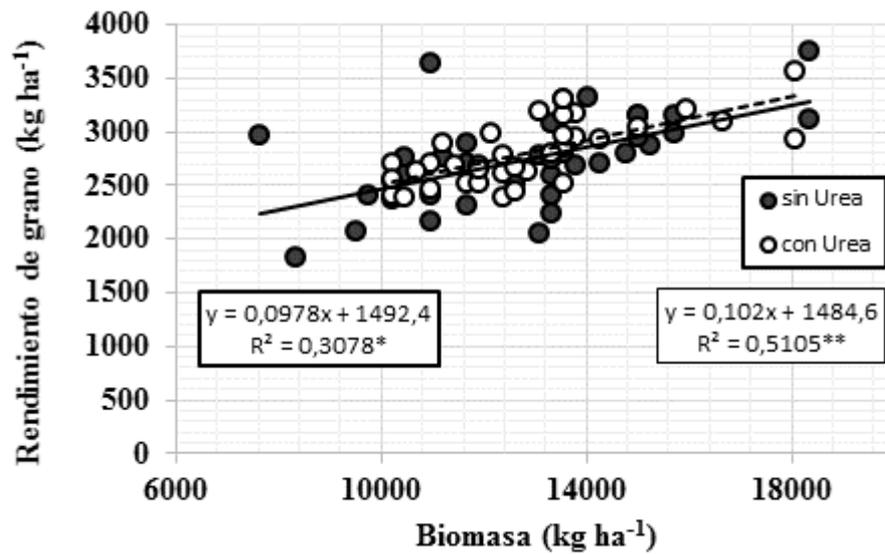


Figura 3. Relación entre la Biomasa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y el rendimiento de grano en los tratamientos sin y con urea al macollaje.

El Número de granos por m^2 explicó muy significativamente el aumento de rendimiento de grano ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), notándose que el agregado de fertilizante nitrogenado presentó menos pendiente que el testigo (Figura 4)

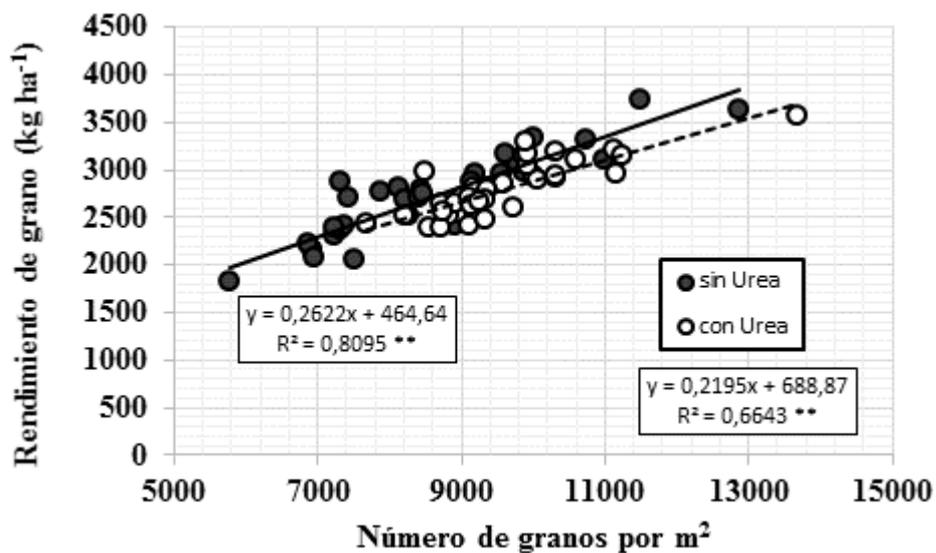


Figura 4. Relación entre el número de granos por m^2 y el rendimiento de grano en los tratamientos sin y con urea al macollaje.

El Número de granos por espiga no explicó significativamente del rendimiento de grano, y tampoco hubo diferencias significativas entre el agregado de fertilizante nitrogenado y el testigo.

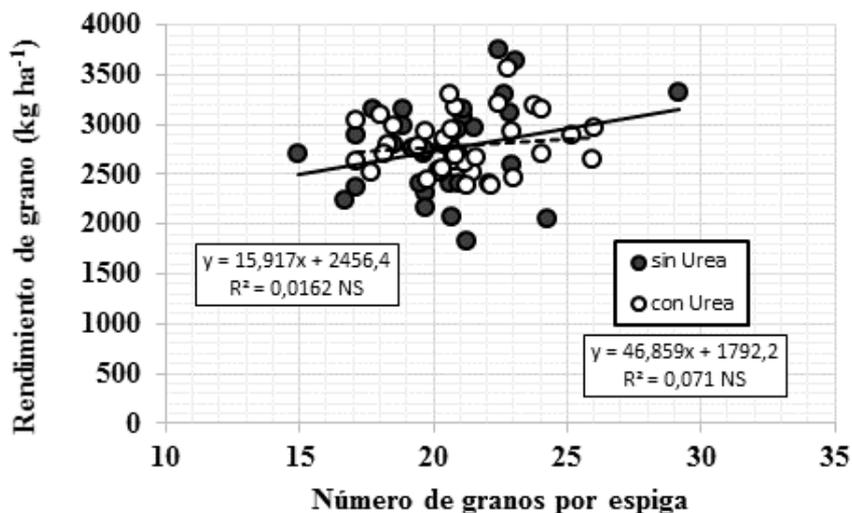


Figura 5. Relación entre el número de granos por espiga y el rendimiento de grano en los tratamientos sin y con urea al macollaje.

El PMG no explicó variaciones en el rendimiento de grano, además, no hay diferencias significativas con el agregado de urea respecto al testigo (Figura 6).

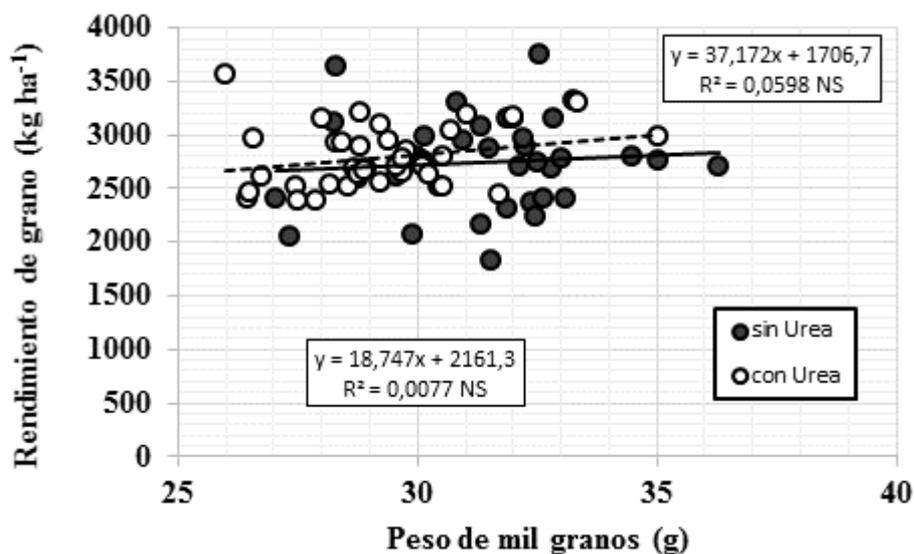


Figura 6. Relación entre el peso de mil granos y el rendimiento de grano en los tratamientos sin y con urea al macollaje.

En la Figura 7 se muestra que el PH no explica el rendimiento de grano. Además no hay diferencias con del testigo con el que fue agregado fertilizante nitrogenado.

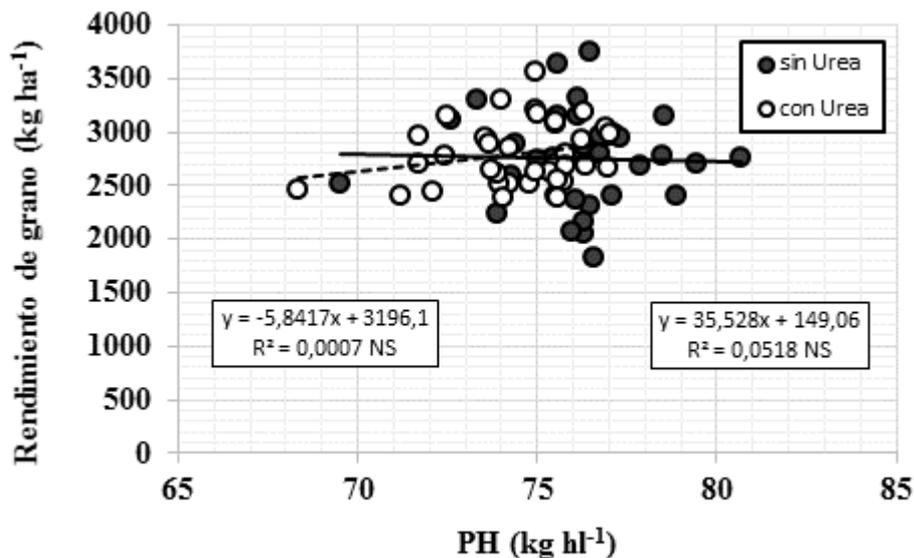


Figura 7. Relación entre el PH ($\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$) y el rendimiento de grano en los tratamientos sin y con urea al macollaje.

Se observa un aumento de PH a medida que aumenta el PMG. El agregado de fertilizante en forma de urea indicó una pendiente menor comparado con el testigo (Figura 8).

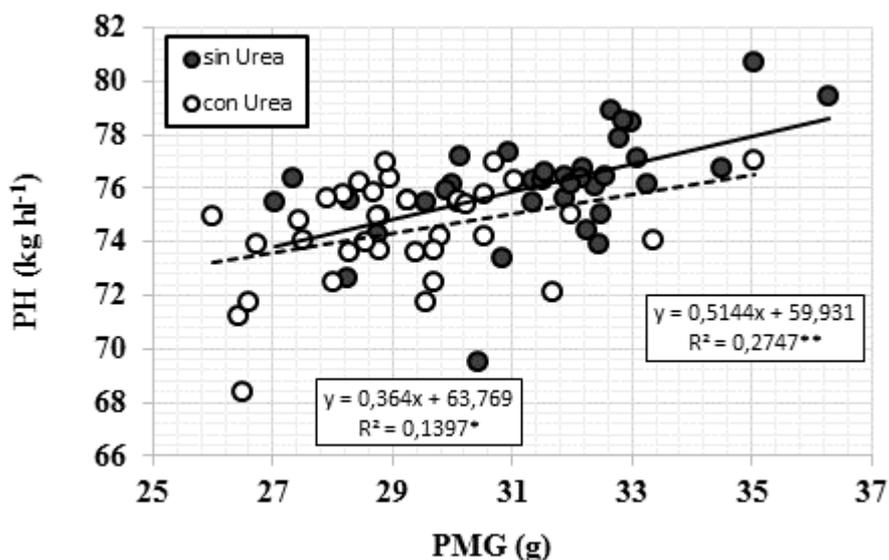


Figura 8. Relación entre el PMG y el PH ($\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$) en los tratamientos sin y con urea al macollaje.

A medida que aumenta el Número de granos por Espiga disminuye el PMG en el fertilizado con urea, mientras que en el testigo esa disminución no mostró una pendiente significativa (Figura 9).

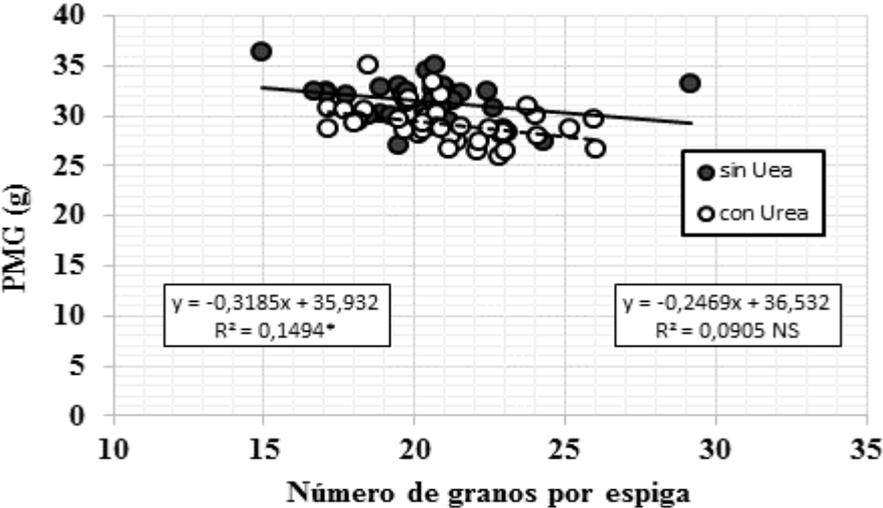


Figura 9. Relación entre el número de granos por espiga y el PMG (g) en los tratamientos sin y con urea al macollaje.

La Figura 10 muestra que a medida que se incrementó el número de Espigas por m², disminuyó significativamente el Número de granos por espiga en el tratamiento fertilizado con urea, mientras que el testigo no mostró una pendiente significativa.

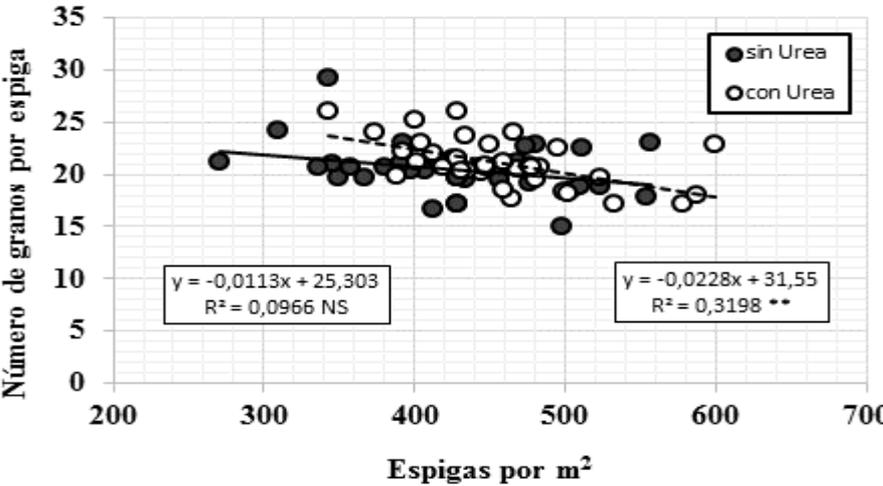


Figura 10. Relación entre las espigas por m² y el número de granos por espiga en los tratamientos sin y con urea al macollaje.

CONCLUSIONES

Considerando los resultados se puede inferir que el contenido de fósforo en suelo al momento de la siembra fue suficiente para sostener el rendimiento logrado por el cultivo, no registrándose diferencias significativas con los tratamientos evaluados, por lo tanto se rechaza la Hipótesis (H1).

La segunda hipótesis (H2) fue rechazada debido a que no se hallaron diferencias en aumento de rendimiento por el agregado de fertilizante nitrogenado en macollaje. El agregado de N provocó un aumento en el número de espigas por m^2 y el número de granos por m^2 , pero disminuyó el PMG y el PH y mantuvo el rendimiento de grano, por lo que el agregado de fertilizante en zonas con estrés hídrico puede disminuir el margen bruto por aumento de los costos sin un aumento de los ingresos.

La tercera hipótesis (H3) también se rechazó ya que no se encontraron diferencias en rendimiento debidas a la utilización de una formulación de fertilizante fosforado en forma líquida.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al profesor Ing. Agrónomo Fernández, Miguel Angel, que con gran predisposición, confianza y generosidad, aceptó dirigir el presente trabajo y poner a disposición sus conocimientos.

A los profesores Ing. Agrónomos Zingaretti, Osvaldo, Riestra, Diego y Gaggioli, Carolina por la corrección y ayuda en la redacción de este trabajo.

Al personal de Facultad de Agronomía, que contribuyeron a la ejecución del ensayo experimental.

A la Ing. Agrónoma Ileana Frasier por su gran colaboración y tiempo.

Por último, a nuestros amigos y familiares, por el apoyo incondicional en el transcurso de nuestra formación profesional. Sin ellos, nada hubiera sido posible.

BIBLIOGRAFIA

- **Adema Bernal, M.I. y S. Paternessi.** 2015. Respuesta a la fertilización fosforada en maíces tempranos y tardíos en el Noreste de la provincia de La Pampa. Trabajo Final de Graduación Fac. Agron. UNLPam. www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/areas/aredes. 136, 26 pág.
- **Barbagelata, P.A y R. Melchiori** 2007. Balance de nutrientes en campos agrícolas de la provincia de Entre Ríos. En Agricultura Sustentable En Entre Ríos. Ediciones INTA: ISBN 978-987-521-253-4. 89- 94.
- **Barbagelata, P.A y R.J.M Melchori.** 2008. Efecto de la forma de aplicación del fósforo sobre el rendimiento de trigo en Entre Ríos. VIII Congreso Nacional de trigo.
- **Bolsa de Comercio de Rosario.** 2017. Guía estratégica para el agro. www.bcr.com.ar/Pages/gea/estimaProd.aspx. Estimadores de Producción. Visitada mayo 2017.
- **Bono, A., J.C. Montoya, L. Lescano y F.J. Babinec.** 1997. Fertilización del trigo con nitrógeno y fósforo en la región semiárida pampeana. Publicación Técnica N° 47. EEA INTA Anguil. 21 pág.
- **Buschiazzo, D.E., G.G. Hevia, E.N. Hepper, A. Urioste, , A.A. Bono y F. Babinec.** 2001. Organic C, N and P in size fractions of virgin and cultivated soils of the semi-arid pampa of Argentina. J. Arid Environ. 48, 501–508. doi:10.1006/jare.2000.0775
- **Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada, Robledo C.W.** InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

- **Fagioli, M.** 1972. Dinámica de la humedad y el almacenamiento del agua de lluvia en un suelo de la región semiárida pampeana. IDIA N° 298:30-36.
- **Fagioli, M.** 1976. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre rendimientos y consumos hídricos del trigo en la región semiárida pampeana. Revista de Investigación Agronómica. Serie 3, Vol III, N° 1: 1-13.
- **Fagioli, M.** 1977. Eficiencia del uso del agua en cultivos de invierno y de verano. Informativo de Tecnología Agropecuaria N° 71. EEA INTA Anguil.
- **Fagioli, M.** 1987. Contenido proteico del grano de trigo en relación con la fertilización nitrogenada y fosfatada. Publicación Técnica N° 39. EEA INTA Anguil.
- **Fagioli, M. y A. Bono.** 1982. Contenido proteico del grano de trigo. Publicación Técnica N° 22. EEA INTA Anguil.
- **Fagioli, M. y A. Bono.** 1984a. Variaciones del uso consuntivo del agua y del contenido de nitrógeno de nitratos en el suelo, en ciclo vegetativo de los cultivos de trigo y sorgo en la región semiárida pampeana. Publicación Técnica N° 30. EEA Anguil INTA.
- **Fagioli, M. y A. Bono.** 1984b. Relaciones entre lluvias y rendimiento de trigo, en la región semiárida pampeana. Carpeta de información técnica EEA INTA Anguil 42-43.
- **García, F., L. Piconi y A. Berardo.** 2005. Fósforo. Pág. 99-121. En: H. Echeverría y F. García (Eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires. Argentina.
- **Heredia, O., V. Duffau y M. Conti.** 2003. Cambios en la fertilidad edáfica en suelos de la región pampeana. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, INPOFOS 19: 22-44.
- **Hedley, M. y M. McLaughlin.** 2005. Reactions of phosphate fertilizers and byproducts in soil. Pp. 181-252. In J. T. Sims and A. N. Scharpley (Ed) Phosphorus: Agriculture and Environment. Agronomy Monograph N° 46.

- **Holloway, R.E., I. Bertrand, A.J. Frischke, D.M. Brace, M.J. McLaughlin y W. Shepperd.** 2001. Improving fertiliser efficiency on calcareous and alkaline soils with fluid sources of P, N and Zn. *Plant and Soil* 236:209–219.
- **Iglesias, D. y G. Iturrioz.** 2010. Importancia de la cadena agroalimentaria del trigo en la Provincia de La Pampa. En: *El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana*. Eds. Bono, A., Quiroga, A., y I. Frasier, I Pub. Téc. N° 79. EEA. Anguil. Pp. 7-12.
- **INFOSTAT.** 2015. Software estadístico versión 2015p. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- **Lombi, E., M. J. McLaughlin, C. Johnston, R. D. Armstrong y R. E. Holloway.** 2004. Mobility and Lability of Phosphorus from Granular and Fluid Monoammonium Phosphate Differs in a Calcareous Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:682–689.
- **Lombi, E., M.J. McLaughlin, C. Johnston, R.D. Armstrong, y R. E. Holloway.** 2005. Mobility, solubility and lability of fluid and granular forms of P fertilizer in calcareous and non-calcareous soils under laboratory conditions. *Plant Soil* 269, 25–34. doi:10.1007/s11104-004-0558-z.
- **Maddoni, G., P. Vilariño, y I. García de Salomone.** 2003. Producción de Granos, bases funcionales para su manejo, 455-457.
- **McLaughlin, M.J., T.M. McBeath, R. Smernik, S.P. Stacey, B.Ajiboye y C. Guppy.** 2011. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils—implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. *Plant Soil* 349:69–87.
- **McBeath, T.M., R.J. Smernik, E. Lombi y M.J. McLaughlin.** 2006. Hydrolysis of Pyrophosphate in a Highly Calcareous Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 856. doi:10.2136/sssaj2005.0184.

- **McBeath, T.M., M. J. McLaughlin, R. D. Armstrong, M. Bell, M. D. Bolland, M. K. Conyers, R. E. Holloway y S. D. Mason.** 2007. Predicting the response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to liquid and granular phosphorus fertilisers in Australian soils. *Aust. J. Soil Res.* 45:448–458.
- **Rodríguez, D, F. Andrade y G. Goudriaan.** 2000. Does assimilate supply limit leaf expansion in wheat grown in the field under low phosphorus availability? *Field Crops Research* 67: 227-238.
- **Ross, F. y L. Elgart.** 2014. Fertilización con fósforo por ambientes en trigo. Conferencia. AH 15 INTA Barrow. pp. 22-25. https://www.researchgate.net/publication/279257969_Fertilizacion_con_fosforo_por_ambiente_en_trigo. Visitada mayo 2017.
- **Rubio, G. y C. Álvarez.** 2010. Fósforo: dinámica y evaluación en agroecosistemas. Pp. 311-336. En R. Álvarez; R. Rubio; C. Álvarez y R. Lavado (eds). *Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana.* Editorial Facultad de Agronomía (EFA-UBA) 2010 – ISBN 978-950-29-1234-9.
- **Siia,** 2017. Estimaciones Agrícolas Del Ministerio de Agroindustria de la Nación. <https://datos.magyp.gob.ar/> Visitada Mayo 2017.
- **Sims J. y G. Pierzynski.** 2005. Chemistry of Phosphorus in Soils. Pp. 151 to 192. In M. Tabatabay and D. Sparks (Eds.) *Chemical Processes in Soils.* SSSA Book. Series 8.
- **Soil Survey Staff.** 2014 *Keys to Soil Taxonomy,* 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- **Stauffer D. y G. Sulewli.** 2001. Fósforo: un nutriente esencial para la vida. Simposio: El fósforo en la agricultura Argentina. INPOFOS Cono Sur, pág.:4-7.

- **Zadoks, J.C., T.T., Chang y C.F. Konzak.** 1974. A decimal code for growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-421.
- **Zingore, S, H.K. Murwira, R.J. Delve y KE Giller.** 2007. Influence of nutrient management strategies on variability of soil fertility, crop yields and nutrient balances on small holder farms in Zimbabwe. Agriculture, Ecosystems and Environment 119: 112-126.