



## REVISION DE ESTUDIOS DE FERTILIZACION DE CEREALES EN ARGENTINA

Esposito, G.<sup>1\*</sup>; Díaz-Zorita, M.<sup>2</sup>; Balboa, G.<sup>1</sup>; Cerliani, C.<sup>1</sup>; Martínez Bologna G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Producción Vegetal Universidad Nacional de Río Cuarto, <sup>2</sup>INBA-CONICET y Novozymes BioAg S.A.

\* [gesposito@ayv.unrc.edu.ar](mailto:gesposito@ayv.unrc.edu.ar) - Ruta Nacional 36, km 601, Río Cuarto (5800), Córdoba, Argentina; 54-358-4676504

### INTRODUCCION

Los cereales, además de su importancia económica como cultivos de producción de granos, dado el volumen de biomasa producida, su elevada relación C:N y el tipo de sistema radical, ocupan un rol central en la estabilidad y sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, en amplias áreas agrícolas argentinas la oferta de nutrientes de los suelos es limitante para su normal crecimiento requiriéndose el continuo ajuste de prácticas de fertilización para el desarrollo de planteos de producción.

En Argentina la producción de cereales consume la mayor cantidad de fertilizantes comercializados, representando durante el año 2011 un 55% del total (González et al., 2013). A su vez, la suma de granos de maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el mismo período generó 44,0 toneladas de granos un 48,6% del total de granos producidos (SIIA, 2014). Por estos motivos, frecuentes limitaciones nutricionales a la producción y alta dependencia de la utilización de fertilizantes para el logro de altos rendimientos, en los últimos años se han realizado gran cantidad de trabajos de fertilización publicados en los principales eventos y medios nacionales dedicados al estudio y manejo de suelos y de fertilización de cultivos.

La creciente demanda de alimentos, asociada a las necesidades de sostener la producción agrícola, impulsa al estudio del efecto de la fertilización sobre el rendimiento de los cultivos y sobre la eficiencia agronómica de su utilización. Es así que si bien la información de estudios de respuestas de cultivos de cereales a la fertilización en áreas agrícolas argentinas es abundante, su análisis integral para la identificación de potenciales áreas, geográficas o temáticas, de vacancia es menos frecuente. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta a la fertilización con N, P, S y micronutrientes en maíz, trigo, cebada y sorgo, integrando la información publicada entre los años 2006 al 2013 en medios de difusión nacional.

### MATERIALES Y METODOS

A los fines de cumplir con los objetivos propuestos se realizó una extensa revisión bibliográfica de estudios publicados en las siguientes revistas y actas de eventos: Revista de la Asociación Argentina de las Ciencias del Suelo (AACS) entre junio de 2006 y julio de 2013, Informaciones Agronómicas del Cono Sur entre marzo de 2006 y septiembre de 2013, los Congresos Argentinos de las Ciencias del Suelo XX del 2006 al XXIII del 2012 y los Simposios de Fertilidad IPNI entre 2007 y 2013.

Se seleccionaron artículos que incluyeran resultados cuantitativos de producción de granos de cereales (maíz, sorgo, trigo o cebada) según tratamientos de fertilización. Estos estudios fueron ordenados según la localización de las experiencias agrupados en las siguientes regiones:

1. La Pampa, incluyendo además experiencias realizadas en el centro-oeste de Buenos Aires.
2. Bahía Blanca, abarcando la zona del sur de Buenos Aires y el norte de la patagonia.
3. Sudeste de Buenos Aires, representada por las localidades de Balcarce, Mar del Plata, Tandil, Cnel. Suárez, Barrow, etc.
4. Centro, incluyendo trabajos del norte y centro de Buenos Aires, centro y sur de Santa Fe y del sudeste de Córdoba.
5. Córdoba, abarca todos las publicaciones con experimentación realizada en esta provincia a excepción de la región sudeste.
6. Norte de Santa Fe, representada principalmente por la zona aledaña a localidad de Rafaela y Buena Esperanza.
7. Entre Ríos, todos los trabajos publicados en esta provincia.
8. NOA, región que abarca las provincias de Tucumán y Salta. y Jujuy con la inclusión de trabajos del oeste de Santiago del Estero.
9. NEA, incluyendo los trabajos realizados en Chaco, Corrientes y el este de Santiago del Estero.

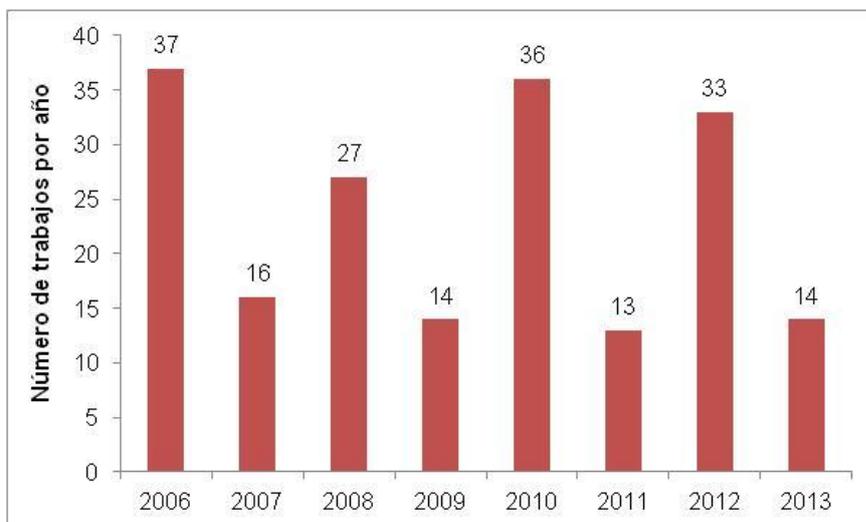
Con la revisión de los trabajos se confeccionó una base de datos recopilando la siguiente información: fuente bibliográfica y año de publicación, nombre del artículo, autores, cultivos, cantidad de ensayos realizados, nutrientes evaluados, localidad y región, rendimiento del testigo sin fertilizar ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), dosis media de cada nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), respuesta promedio en la producción de granos al agregado de cada nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y eficiencia agronómica,  $\text{kg de respuesta en granos (kg de nutriente)}^{-1}$  (Dobermann, 2007). A partir de esta base de datos se establecieron medidas de resumen estadístico para evaluar el efecto de la fertilización de cereales.

## RESULTADOS

El análisis general de la base bibliográfica consultada muestra que entre las cuatro fuentes consultadas se encontraron un total de 190 artículos donde se presentó información de producción de cereales asociada a la fertilización (Figura 1). Estos trabajos fueron elaborados a partir de 1790 ensayos (combinaciones de experimentos y años de evaluación) de maíz, trigo, cebada o sorgo. Algunas publicaciones fueron elaboradas para más de un cultivo, las cuales se distribuyen de la siguiente manera: 92 (45,3%) de maíz abarcando 883 (49,3%) ensayos, 94 (46,3%) de trigo con 772 (43,1%) ensayos, 12 (6,9%) de cebada con 134 (7,5%) ensayos y 3 (1,5%) de sorgo con 3 (0,2%) ensayos.

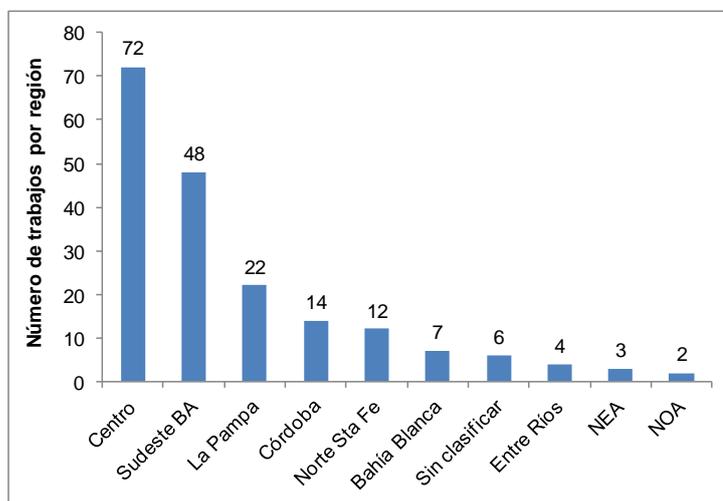
La distribución de trabajos hallados por fuente bibliográfica es la siguiente: Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 40 artículos (21,1%), Simposio Fertilidad IPNI 37 artículos (19,5%), Revista de la AACS 13 artículos (6,8%) y Congresos organizados por la AACS 100 artículos (52,6%). Independientemente de la fuente bibliográfica, se puede apreciar en la Figura 1 la

cantidad de trabajos evaluados por año de publicación, notándose la mayor concentración de artículos en los años coincidentes con los congresos organizados por la AACs.



**Figura 1.** Número de trabajos de fertilización de cereales publicados en Argentina entre 2006 y 2013.

La distribución de trabajos hallados por región y ordenados en orden decreciente es la siguiente: Centro 72 artículos (37,9%), Sudeste de Buenos Aires 48 artículos (25,3%), La Pampa 22 artículos (11,6%), Córdoba 14 artículos (7,4%), Norte de Santa Fe (6,3), Bahía Blanca 7 artículos (3,7%), Entre Ríos 4 artículos (2,1%), NEA 3 artículos (1,6%), NOA 2 artículos (1,1%), quedando 9 artículos sin clasificar (3,2%).



**Figura 2.** Número de trabajos de fertilización de cereales publicados en Argentina entre 2006 y 2013 clasificados por región.

En la Tabla 1 se presenta una síntesis de los resultados encontrados en publicaciones de maíz en la Argentina, en la cual se puede observar que la fertilización con N, P, S o Micronutrientes (principalmente Zn) generó respuestas en producción y en eficiencias agronómicas similares a los reportados por García et al. (2006) y por García & Salvagiotti (2009). Los efectos individuales de la fertilización con N, P, S y micronutrientes pueden cuantificarse en el orden del 37,6% 11,9% 10,7% y 5,8%, respectivamente, indicando que la principal respuesta se obtiene con la fertilización

nitrogenada, mientras que la fertilización con P y S resultan en incrementos similares del rendimiento.

**Tabla 1.** Síntesis de resultados encontrados en publicaciones de maíz de la Argentina periodo 2006-13.

	Publicaciones	Ensayos	Testigo	Dosis	Respuesta	EA
Nitrógeno	66	501	7284	110	2736	27,5
Fosforo	26	267	7473	27	888	34,3
Azufre	20	203	7289	20	780	41,5
Micronutrientes	8	62	8822		509	

Publicaciones, número de artículos evaluados. Ensayos, combinaciones de experimentos y años de evaluación. Testigo, rendimiento promedio del testigo sin fertilizar ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Dosis, dosis media de fertilizantes evaluados, expresados en unidad de nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Respuesta, promedio de la diferencia de rendimiento entre producción media fertilizada y testigo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). EA, promedio de la eficiencia agronómica, cociente entre respuesta y dosis ( $\text{kg kg}^{-1}$ ).

La síntesis de resultados encontrado en el cultivo de trigo se puede apreciar en la Tabla 2, donde se destaca que la EA es superior a los valores indicados por García et al. (2006) principalmente para N y S. Los efectos individuales de la fertilización con N, P, S y micronutrientes (principalmente Cl) pueden cuantificarse en el orden del 35,0% 21,6% 10,8% y 8,9%, respectivamente. Similarmente a lo encontrado para maíz, el orden decreciente de importancia de la fertilización fue del tipo N>P>S>Micronutrientes.

**Tabla 2.** Síntesis de resultados encontrados en publicaciones de trigo de la Argentina, periodo 2006-13.

	Publicaciones	Ensayos	Testigo	Dosis	Respuesta	EA
Nitrógeno	58	622	3189	93	1115	12,7
Fosforo	24	185	2823	28	609	22,9
Azufre	31	328	3210	17	345	20,9
Micronutrientes	10	64	4303		382	

Publicaciones, número de artículos evaluados. Ensayos, combinaciones de experimentos y años de evaluación. Testigo, rendimiento promedio del testigo sin fertilizar ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Dosis, dosis media de fertilizantes evaluados, expresados en unidad de nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Respuesta, promedio de la diferencia de rendimiento entre producción media fertilizada y testigo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). EA, promedio de la eficiencia agronómica, cociente entre respuesta y dosis ( $\text{kg kg}^{-1}$ ).

En las Tablas 3 y 4 se presentan los resultados encontrados en cebada y sorgo, respectivamente. En cebada no se encontraron trabajos publicados con fertilización con P, la respuesta en fertilización con N y S es inferior a la hallada para el trigo y no se publicaron trabajos con respuesta en producción de granos a la fertilización con micronutrientes. En sorgo, solo se encontraron publicaciones con N con valores de EA y respuesta a la producción intermedia entre maíz y trigo.

**Tabla 3.** Síntesis de resultados encontrados en publicaciones de cebada de la Argentina, periodo 2006-13.

	Publicaciones	Ensayos	Testigo	Dosis	Respuesta	EA
Nitrógeno	8	109	4024	82	632	8,4
Azufre	4	48	4113	13	93	8,3
Micronutrientes	1	4	3500		0	

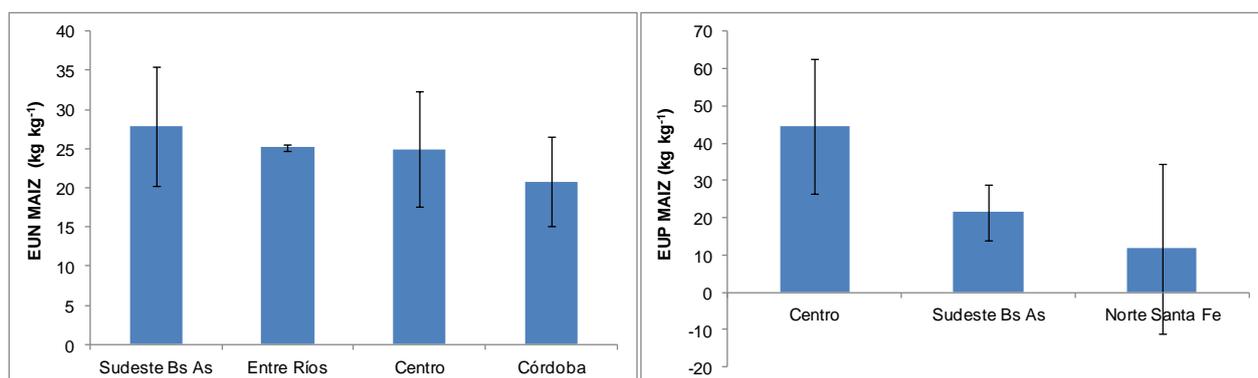
Publicaciones, número de artículos evaluados. Ensayos, combinaciones de experimentos y años de evaluación. Testigo, rendimiento promedio del testigo sin fertilizar ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Dosis, dosis media de fertilizantes evaluados, expresados en unidad de nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Respuesta, promedio de la diferencia de rendimiento entre producción media fertilizada y testigo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). EA, promedio de la eficiencia agronómica, cociente entre respuesta y dosis ( $\text{kg kg}^{-1}$ ).

**Tabla 4.** Síntesis de resultados encontrados en publicaciones de sorgo de la Argentina, period 2006-13.

	Publicaciones	Ensayos	Testigo	Dosis	Respuesta	EA
Nitrógeno	3	3	7721	125	1476	14,0

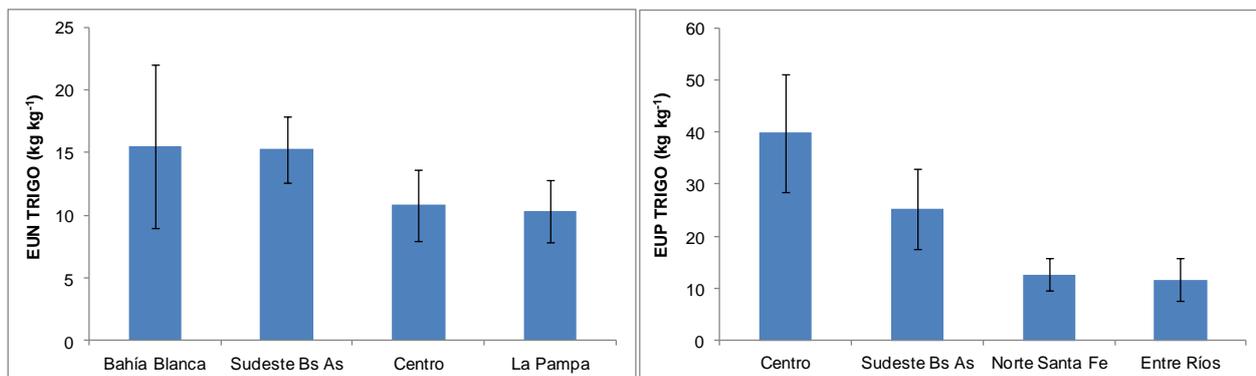
Publicaciones, número de artículos evaluados. Ensayos, combinaciones de experimentos y años de evaluación. Testigo, rendimiento promedio del testigo sin fertilizar ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Dosis, dosis media de fertilizantes evaluados, expresados en unidad de nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Respuesta, promedio de la diferencia de rendimiento entre producción media fertilizada y testigo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). EA, promedio de la eficiencia agronómica, cociente entre respuesta y dosis ( $\text{kg kg}^{-1}$ ).

Para el análisis regional de los niveles de eficiencia agronómica se consideraron solo los casos mas estudiados tanto de cultivos (maíz y trigo) como de nutrientes (N y P). En la Figura 3 se presenta la EA de aquellas regiones geográficas en las cuales se realizaron más de 20 ensayos de fertilización con N y P en maíz. Como puede apreciarse la EA de la fertilización con N fue superior en el Sudeste de Buenos Aires (27,8), intermedia en Entre Ríos (25,2) y en la región centro (25,0), encontrando en Córdoba los valores más bajos (20,8). En relación a la EA de la aplicación de fertilizantes con P, la región con valor superior es la centro con 44,5; seguida por Sudeste de Buenos Aires con 21,5 (107% inferior) y finalmente la norte de Santa Fe con 11,8 (278% inferior). Estas diferencias regionales de EA indican que se deberían intensificar los estudios de fertilización, principalmente fosforada, comparativos entre regiones para poder comprender mejor los efectos del manejo nutricional.



**Figura 3.** Eficiencia agronómica de fertilización con N (izquierda) y fertilización con P (derecha) en maíz según regiones agrícolas argentinas. Promedios de más de 20 ensayos en cada región. Líneas verticales en cada barra indican el error estándar.

La EA de la fertilización con N y con P en trigo se presenta en la Figura 4, donde se pueden distinguir comportamientos similares entre los estudios en la región aledaña a Bahía Blanca y del Sudeste de Buenos Aires (valor medio,  $15,4 \text{ kg kg}^{-1}$ ) y entre la regiones centro y La Pampa (valor medio,  $10,6 \text{ kg kg}^{-1}$ ), lo cual refleja una diferencia mayor al 45% entre ambas. En relación al uso del P los resultados muestran un gradiente entre las regiones centro, Sudeste de Buenos Aires, norte de Santa Fe y Entre Ríos, con grandes diferencias entre regiones.



**Figura 4.** Eficiencia agronómica de N (izquierda) y P (derecha) en trigo por regiones agrícolas. Líneas verticales en cada barra indican el erro estandar.

## CONCLUSIONES

La revisión de las publicaciones de estudios de fertilización en cultivos de cereales en Argentina entre 2006 y 2013 muestra una abundante generación de información, mayormente en maíz y en trigo según tratamientos de manejo de nitrógeno o de fósforo. En menor medida se publicaron resultados de respuestas a la aplicación de azufre o de micronutrientes, entre estos últimos se destacan las evaluaciones del uso de zinc en maíz y de cloruros en trigo.

Los estudios se concentraron en diferentes áreas de la región pampeana con diferencias según cultivos y nutrientes mostrando diferentes niveles de eficiencia de uso de los nutrientes utilizados. En promedio, las respuestas en producción de granos tanto para maíz como para trigo fueron decrecientes para nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes.

## AGRADECIMIENTOS

Fertilizar Asociación Civil por el financiamiento de este estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- Dobermann A. 2007. Nutrient Use Efficiency – Measurement and management. IFA Internacional Workshop on fertilizar best management practices. 7-9 Marzo, Bruselas, Bélgica.
- García F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, G. Deza Marin y A. Berardo. 2006. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe – Resultados y Conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. Editorial AACREA. Buenos Aires, Argentina.
- García F. y F. Salvagiotti. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. In J. Espinosa and F. García (ed.). Memorias del Simposio "Uso eficiente de nutrientes". XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San Jose, Costa Rica. pag. 37-48.
- González Sanjuán M. F., A. A. Grasso y J. Bassi. 2013. Fertilizantes en Argentina. Análisis del Consumo. Fertilizar N° 25. Mayo.:25-29.
- SIIA. 2014. Sistema integrado de información agropecuaria. Sistemas de series temporales. Serie Agricultura. <http://old.siia.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura> (consultado 03/02/14).