



EFICIENCIA AGRONÓMICA DEL FOSFORO EN MAÍZ AFECTADA POR LA FERTILIZACIÓN CON ZINC

Espósito, G.^{1*}; Balboa, G.¹; Cerliani, C.¹; Balboa, R.¹

¹Dpto. Producción Vegetal (FAV-UNRC)

*gesposito@ayv.unrc.edu.ar; Ruta 36 km 601 (5800) Río Cuarto (CBA); +54 358 4676504

INTRODUCCIÓN

La región del sur de Córdoba generó entre el año 2000 y 2012, en promedio, alrededor de 1,600,000 t año⁻¹ de maíz, representando el 25,8% de la producción provincial (Dpto. Juárez Celman y Río Cuarto) con una superficie media de 305.615 ha (UMSIIA, 2014).

Según Degioanni *et al.* (2008), los suelos predominantes de esta región son los Hapludoles y Haplustoles, los cuales presentan una notable pérdida del contenido de P disponible (Bongiovanni *et al.*, 2010). Por este motivo, es frecuente que los productores utilicen la práctica de la fertilización fosforada en el maíz, aplicando al momento de la siembra dosis promedio de 18 kg P ha⁻¹, predominantemente a base de fosfato diamónico (Cisneros *et al.*, 2008).

A su vez, Espósito *et al.* (2010) señalaron que en estos suelos es frecuente la deficiencia de zinc (Zn) en el cultivo de maíz por la baja disponibilidad natural de este nutriente y que la fertilización con Zn incrementa los rendimientos significativamente.

Por otro lado, la deficiencia de Zn en maíz también puede ser inducida o agravada por la fertilización con P, a través de la inhibición en la absorción del Zn por enriquecimiento del P soluble o mediante la reducción en el transporte a larga distancia dentro de la planta, lo cual genera antagonismo nutricional entre el P y el Zn (Malavolta, 2006).

Por todo ello resulta relevante evaluar el efecto de la inclusión del Zn en la fertilización fosforada sobre la eficiencia en el uso del P en la producción de maíz en el Sur de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información utilizada en este trabajo surge de 11 experimentos de fertilización con P y Zn en maíz realizados en localidades del Sur de Córdoba entre las campañas 2007/08 y la 2012/13. En todos estos ensayos se evaluaron dosis de fertilizantes fosforados con y sin Zn en su formulación. La fuente de fósforo sin zinc fue una mezcla química de NPKSZn (12-40-0-10-0) denominada en adelante (P) y la que además incluye Zn en su formulación, NPKSZn (12-40-0-10-1) denominada PZn. También se utilizaron parcelas sin fertilizar como testigos de la oferta del suelo. Las dosis de P empleadas en los 11 experimentos oscilaron entre los 20 y 35 kg P ha⁻¹ y las de Zn entre 1,15 y 1,50 kg ha⁻¹.

Todos los fertilizantes fueron incorporados al suelo al momento de la siembra por debajo y al costado de la línea de siembra. La fecha de siembra de todos los ensayos fue entre el 25 de septiembre y el 10 de octubre de cada campaña, lo cual concuerda con maíces de primera. En cada sitio de estudio se realizaron 4 repeticiones espaciales por tratamiento, teniendo cada parcela una superficie entre los 75 a 450 m², según ensayo y tamaño de sembradora utilizada.

Al momento de la siembra se determinaron propiedades químicas (carbono orgánico (Walkey & Black modificado), P extractable (Bray I), Zn extractable (DTPA) y pH en los primeros 20 cm de profundidad.

En cada experimento se determinó la eficiencia agronómica (EAP) del P del fertilizante con y sin la inclusión de Zn en su formulación, mediante la ecuación I. Posteriormente se determinó el aumento en la eficiencia agronómica de P (AEAP) como consecuencia de la inclusión de Zn, según la ecuación II.

$$EAP = \left(\frac{RtoP - RtoT}{DosisP} \right) EAPZn = \left(\frac{RtoPZn - RtoT}{DosisPZn} \right) \quad [1]$$

Donde,

EAP, eficiencia agronómica del P (kg kg⁻¹). EAPZn, eficiencia agronómica del P con Zn (kg kg⁻¹).

RtoP, RtoPZn, rendimiento de las parcelas fertilizadas con fósforo sin y con Zn (kg ha⁻¹).

RtoT, rendimiento de las parcelas sin fertilizar (kg ha⁻¹).

DosisP, dosis de P aplicada al momento de la siembra (kg ha⁻¹).

$$AEAP(\%) = \left(\frac{EAPZn}{EAP} - 1 \right) 100 \quad [2]$$

Donde,

AEAP, aumento en la eficiencia agronómica del P (kg kg⁻¹).

EAP, eficiencia agronómica del P sin Zn (kg ha⁻¹).

EAPZn, eficiencia agronómica del P con Zn (kg ha⁻¹).

Todos los resultados fueron analizados mediante ANAVA, separación de medias mediante test de Fisher y análisis de regresión, utilizando el programa INFOSTAT versión 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presenta una síntesis de las propiedades químicas de suelo determinadas al momento de la siembra en los primeros 20 cm de suelo de cada uno de los 11 experimentos analizados. El rango de valores de carbono orgánico (CO) osciló entre 0,55 y 1,22%; el P extractable (método de Bray y Kurtz 1) entre 6,1 y 24,5 mg kg⁻¹; Zn (extractante DTPA) entre 0,23 y 1,20 mg kg⁻¹ y pH entre 5,8 y 6,9. Estos valores se encuentran como normales para los suelos del Sur de Córdoba de acuerdo a lo propuesto por Bongiovanni *et al.* (2010) y Espósito *et al.* (2010).

Cabe aclarar que, en 10 de los 11 experimentos evaluados, los valores Zn extractable encontrados en los primeros 20 cm del suelo al momento de la siembra fueron inferiores al nivel crítico de este nutriente de 1 mg kg⁻¹, sugerido por Ratto (2006).

En relación al P extractable, en 8 de los 11 experimentos, los valores de P extractable fueron inferiores a los valores de 15-18 mg kg⁻¹, sugeridos por García *et al.* (2006).

Tabla 2. Localidades, campañas agrícolas y propiedades químicas del suelo de 11 ensayos de fertilización fosforada con y sin zinc realizados en el Sur de Córdoba.

Experimentos	Localidad	Campaña	CO %	P mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	pH
1	La Aguada	2007/08	1,00	6,1	0,28	6,3
2	Río Cuarto	2007/08	1,02	10,3	0,45	5,9
3	La Aguada	2008/09	1,00	8,7	0,49	6,3
4	Río Cuarto	2008/09	1,06	11,0	0,53	6,9
5	Chaján	2009/10	0,99	14,0	0,90	6,5
6	Chaján	2009/10	0,70	5,4	0,52	6,5
7	Río Cuarto	2009/10	0,58	7,1	0,80	6,4
8	Cuatro Vientos	2010/11	1,00	7,4	0,51	5,8
9	Chaján	2010/11	1,22	24,5	1,20	6,2
10	Charras	2012/13	0,55	9,2	0,23	6,0
11	Chaján	2012/13	0,73	17,5	0,31	6,3

Los resultados productivos encontrados en los experimentos de fertilización con fósforo solo y en combinación con Zn se presentan en la Tabla 2, en la cual se puede apreciar que la eficiencia agronómica del P (EAP) sin la inclusión de Zn en su formulación fue inferior en todos los ensayos realizados. Además el rendimiento medio de los 11 ensayos de las parcelas sin fertilización fue de 8212 kg ha⁻¹, el de las fertilización con fósforo y sin zinc (P) fue de 9224 kg ha⁻¹ y con la inclusión de Zn en la fertilización (PZn) de 9833 kg ha⁻¹. El análisis estadístico de estos rendimientos de maíz, considerando a cada ensayo como una repetición indica diferencias significativas entre los tres tratamientos de fertilización con un valor $p < 0,01$. Estas diferencias de producción explican incrementos del 12,32 y 19,74% por sobre el testigo para P y PZn, respectivamente.

Tabla 2. Dosis de P, dosis de Zn, rendimientos de maíz sin fertilizar (Testigo), con fertilizante fosforado (P) y con fertilizante fosforado con Zn (PZn) en 11 ensayos realizados en el Sur de Córdoba.

Ensayo	Dosis P (kg ha ⁻¹)	Dosis Zn (kg ha ⁻¹)	Testigo (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	PZn (kg ha ⁻¹)	EAP (kg kg ⁻¹)	EAPZn (kg kg ⁻¹)
1	20	1,15	9959	12023	12928	103,20	148,45
2	20	1,15	8981	10425	11744	72,20	138,15
3	21	1,20	4325	4860	5106	25,48	37,19
4	21	1,20	8805	9888	10718	51,57	91,10
5	35	1,50	8807	9753	10639	27,03	52,34
6	20	1,15	8090	9695	9709	80,25	80,95
7	33	1,50	2854	4270	5055	42,91	66,70
8	23	1,30	7949	8282	8419	14,48	20,43
9	33	1,50	7007	7785	8600	23,58	48,27
10	35	1,50	11608	12144	12459	15,31	24,31
11	35	1,50	11951	12342	12781	11,17	23,71

EAP, eficiencia agronómica del P del tratamiento sin zinc. EAPZn, eficiencia agronómica del P con la inclusión de Zn.

En relación a la eficiencia agronómica del P (EAP), se encontraron diferencias estadísticas significativas entre EAP y EAPZn, permitiendo establecer que la diferencia entre ambas eficiencias fue de 56,60% a favor de esta última (Figura 1). Considerando que en la región pampeana arenosa, Barraco *et al.* (2006) reportaron en maíz una EAP 60 kg kg⁻¹, se comprende que en el Sur de Córdoba la fertilización fosforada sin zinc sea inferior a esta, mientras que su empleo

permita mejorarla significativamente. Como la EAP está en directa relación con el costo de la fertilización, a través de la cantidad de maíz que es necesaria para comprar un kg de P, se entiende que todo incremento en este indicador se traduce directamente en mejoras en el retorno económico de la fertilización. Si se extrapolan estos resultados a la superficie sembrada con maíz en esta región se podría incrementar la producción total de este cultivo en un 6,6%, es decir en 105.637 toneladas. Teniendo en cuenta que la relación de precios a febrero de 2014 puede estimarse en 27,74; el retorno de la EAP sería de 14,73, mientras que el de EAPZn de 38,77 o sea un 163% superior.

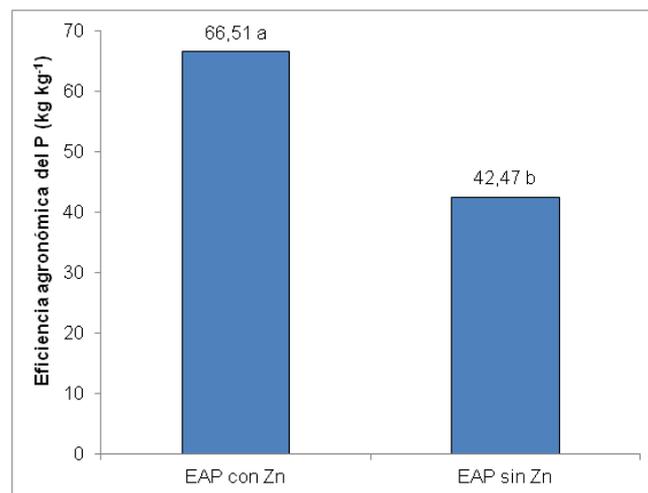


Figura 1. Eficiencia agronómica del P con y sin inclusión de Zn en la fertilización. Valor $p < 0,01$. CV: 25,40%, n: 11. Letras distintas indican diferencias significativas.

Este aumento en la EAP, puede ser también explicado por la disponibilidad actual de P del suelo a través del valor de P extractable al momento de la siembra. En la Figura 2 se puede apreciar que a medida que aumenta el P del suelo, se incrementa linealmente el aumento de la EAP por el agregado de Zn hasta los 15 mg kg^{-1} de P. Se destaca que el sitio 9, con 24,5 de P (no incluido en la Figura 2) se ubica por fuera del rango lineal posiblemente por ser el sitio con mayor Zn extractable, 1,2 mg kg^{-1} . Como fue planteado Malavolta (2006) la disponibilidad de P y/o la fertilización fosforada genera antagonismo con el Zn a través de la inhibición en la absorción del Zn o mediante la reducción en el transporte a larga distancia dentro de la planta.

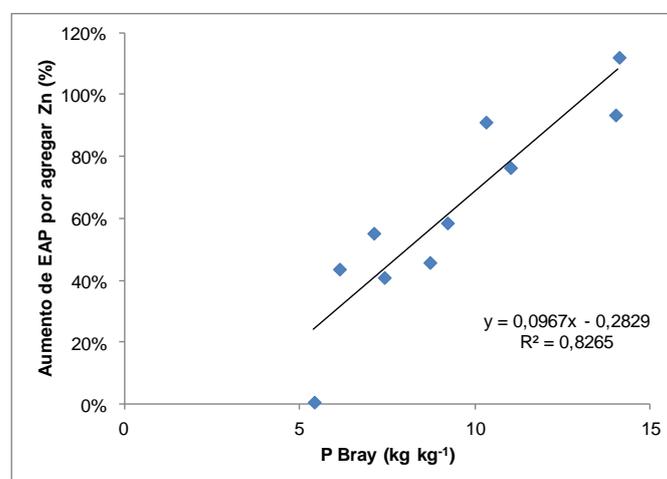


Figura 2. Aumento en la eficiencia agronómica del P por agregar Zn en la fertilización. Todos los parámetros fueron significativos con Valor $p < 0,01$. Letras distintas indican diferencias significativas.

CONCLUSIÓN

Los resultados encontrados permiten concluir que en los suelos del sur de Córdoba, con una baja disponibilidad de Zn extractable al momento de la siembra, la inclusión de este micronutriente en el fertilizante arrancador fosforado permitió aumentar la eficiencia agronómica del P un 56,60%. La adopción de esta técnica permitirá incrementar los rendimientos de maíz en esta región. Esta mejora refuerza el concepto de fertilización balanceada de cultivos impulsando técnicas de fertilización relacionadas con las mejores prácticas de manejo de los fertilizantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Barraco, M; M Díaz- Zorita & C Álvarez. 2006. Aplicaciones incorporadas y "al voleo" de fósforo en cultivos de maíz en la región de la pampa arenosa. XX Congreso Argentino de la Ciencia del suelo y I Reunión de suelos de la Región Andina. Salta y Jujuy. Argentina.
- Bongiovanni, M; R Marzari & M Ron. 2010. Fósforo disponible en suelos agrícolas del sur de Córdoba y sudeste de San Luis. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Santa Fe. Argentina.
- Cisneros, JM; A Cantero; A Degioanni; VH Becerra & MA Zubrzycki. 2008. Producción, uso y manejo de las tierras. En: de Prada, JD & JA Penna (INTA). Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el Sur de Córdoba, Argentina. 1^{ra} Ed. Capítulo I:31-46.
- Degioanni, A; JM Cisneros & JA De Prada. 2008. Características del Área de Estudio, Unidades Ambientales y Productores de la Muestra. En: de Prada, JD & JA Penna (INTA). Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el Sur de Córdoba, Argentina. 1^{ra} edn. Capítulo II:23-30.
- Di Rienzo, J; F Casanoves; M Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & W Robledo. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Espósito, G; G Balboa; C Castillo y R Balboa. 2010. Disponibilidad de zinc y respuesta a la fertilización del maíz en el sur de Córdoba. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Santa Fe. Argentina.
- García, F; M Boxler; J Minteguiaga; R Pozzi; L Firpo; G Deza Marin & 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. AACREA. 32 pp. Buenos Aires, Argentina.
- Malavolta, E. 2006. Relación entre el fósforo y el zinc. Informaciones Agropecuarias 63. IPNI:12-13.
- Ratto, SE. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. En: Micronutrientes en la agricultura. Ed. Vazquez M. AACRS.:79-112.
- UMSIIA, 2014. Unidad Ministerial del Sistema integrado de información agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos de la Provincia de Córdoba. <http://magya.cba.gov.ar/Umsiia.aspx#anterior>, consultado el 09/02/14.