

FUENTES DE FÓSFORO CON PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN MAÍZ CHIPA (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* (Sturtev))

Salvador, Luis S.; Duarte, Alder D.; González, Eugenio; Quiñonez, Laura R.; Enciso, Derlis y Rasche, Jimmy W.

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Avenida Mcal. López 2160. San Lorenzo, Paraguay. alderdelosantos@hotmail.com

RESUMEN

La limitada disponibilidad de P en los suelos de la Región Oriental restringe la productividad del maíz chipa. La fertilización con fosfatos solubles es una de las alternativas para compensar ese déficit nutricional del cultivo. El ensayo tuvo lugar en Ybyrarobaná, Canindeyú, Paraguay, con el objetivo de evaluar el efecto de fuentes de fósforo con promotores de crecimiento (PGPR) en el cultivo de maíz chipa. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas subdivididas. Los factores fueron fuentes de fósforo (5 niveles) y PGPR (2 niveles: con y sin), dando lugar a 10 tratamientos con 4 bloques. Las fuentes de fosfato utilizados fueron el superfosfato triple (SFT), superfosfato simple (SFS), fosfato termomagnesiano (TFM) y roca molida (RM), aplicados a dosis de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Los PGPR fueron aplicados a dosis de 3 mL kg⁻¹ de semilla. Las variables evaluadas fueron: altura de planta y de inserción de mazorca, peso mil granos y rendimiento del cultivo. No se encontró diferencia significativa respecto a la utilización de PGPR, pero si entre fuentes fosfatadas, todos los parámetros estudiados, excepto en peso de mil granos. Se obtuvo mejores resultados con las fuentes de P más solubles (SFT y SFS), donde medias más altas se obtuvieron con el SFT, con rendimiento de 3.870 kg ha⁻¹. Existe una efectividad diferenciada para las diferentes fuentes de P, donde SFT>SFS>TFM>RM.

Palabras clave: Fertilización, PGPR, cereales

INTRODUCCIÓN

La producción del maíz chipa (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* (Sturtev)) es practicada principalmente en las pequeñas propiedades, que en la mayoría de los casos están ubicadas en zonas con suelos de baja fertilidad, dado en muchas situaciones por el limitado contenido de nutrientes o bien por su limitada disponibilidad, particularidad observada con el fósforo, que se encuentra en altas concentraciones en suelos del país, sin embargo en muchos suelos de la Región Oriental, solo una porción muy pequeña del elemento está disponible para las plantas. El fósforo cumple un papel sumamente importante en el maíz y su disponibilidad insuficiente genera bajo rendimiento, provocando consecuentemente insatisfacción de los productores. Para potenciar la tarea productiva y de esta forma mejorar la producción y rentabilidad se buscan estrategias que puedan generar un proceso productivo eficaz.

Boschetti *et al.* (2003) señalan que los valores absolutos de fósforo total variarán desde un promedio de 125 mg de P kg⁻¹ de suelo en los Entisoles e Inceptisoles hasta alrededor de 700 mg de P kg⁻¹ en Oxisoles y Ultisoles. Además mencionan que la distribución del fósforo en las formas disponibles y estables, como así también en las formas orgánicas e inorgánicas, dependió de la génesis y del estado de evolución de los suelos. Rheinheimer & Anghinoni (2001) observaron que en la camada de 0-2,5 cm, en un suelo bajo siembra directa el tenor de fósforo total es superior a un suelo trabajado convencionalmente; lo opuesto ocurre a profundidad de 7,5-17,5 cm. Cubilla *et al.* (2012) mencionan que en un sistema de siembra directa hay una gran variabilidad vertical de fósforo en el suelo relacionadas a la forma de aplicación de los fertilizantes, deposición de los residuos de cosechas y la baja movilidad de este nutriente en el perfil.

Por medio de los avances en la biología de suelos es posible poner en práctica y hacer uso de los microorganismos benéficos. Entre ellos se destacan las bacterias y los hongos. Según Loredó *et al.* (2004) y Cano (2011) aquellos microorganismos que habitan la rizósfera poseen mecanismos como la fijación de nitrógeno, solubilización de nutrientes, control de fitopatógenos, etc., que tienen la capacidad de estimular el crecimiento de las plantas.

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el efecto de diferentes fuentes de fertilizantes fosfatados y promotores de crecimiento sobre la producción de maíz chipa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en Ybyrarobaná, Canindeyú, Paraguay. Para el estudio se utilizó el diseño en bloques completamente al azar, dispuestas en parcelas subdivididas, evaluando dos factores. El primer factor fue el uso de promotores de crecimiento (PGPR) (Factor A) que se ubicó en las parcelas, y el factor fuentes de fósforo (Factor B) que se ubicó en las subparcelas, donde las fuentes de fertilizantes fueron Superfosfato triple (SFT), Superfosfato simple (SFS), Fosfato termomagnesiano (TFM), Roca molida, dispuesto en cuatro bloques, totalizando 40 unidades experimentales. El PGPR utilizado consistió en un tribacterial compuesto por colonias de *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens*. Los fertilizantes fosfatados fueron aplicados a dosis de 80 kg de $P_2O_5ha^{-1}$ y los PGPR a 3 mLkg⁻¹ de semilla.

Cada unidad experimental estuvo representada por un área de 17,5 m² (5 m x 3,5 m), siendo el total del área utilizada para el experimento de 700 m². Las variables evaluadas fueron altura de planta, altura de inserción de espigas, peso de mil granos y rendimiento del cultivo. Se realizó análisis de varianza y comparación de medias con el Test de Tukey (5%), utilizando el programa estadístico InfoStat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias obtenidas con uso del inoculante en cuanto a altura de planta e inserción de mazorca no difieren estadísticamente (Tabla 1). Los resultados difieren a lo observado por López *et al.* (2008), quienes encontraron que la altura de plantas de maíz tuvo respuesta efectiva al realizar inoculaciones con bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo. Así mismo, Oliveira *et al.* (2012) observaron que tanto la altura de plantas como inserción de mazorcas se vieron afectados de manera positiva al inocularlas con rizobacterias.

Con la aplicación de las diferentes fuentes fosfatadas fue posible detectar una variación de 2,17 a 2,43 m entre las medias de altura de las plantas. Observándose en los tratamientos con SFS y SFT valores más altos y lo contrario se observa con la RM, este último arrojó valores similares al tratamiento Control, cuyo promedio también fue de 2,17 m. El TFM presentó valores de altura de planta (2,33 m) estadísticamente iguales a los demás tratamientos (Tabla 1). En relación a la altura de inserción de mazorca como respuesta a la aplicación de los diferentes fertilizantes fosfatados, se observa diferencia significativa, obteniéndose el valor más alto usando SFT con promedio 1,15 m, seguido del SFS con 1,14 m. El TFM generó un promedio de 1,1 m, mientras que el menor valor se verificó con la RM de 0,98 m, igual que el tratamiento Control (Tabla 1). Respecto a lo observado, Quinto (2015) también encontró resultados estadísticamente semejantes en cuanto a inserción de mazorca al utilizar dos fuentes de fósforo de alta solubilidad.

Tabla 1. Promedio de altura de planta, inserción de mazorca, peso de mil granos y rendimiento del cultivo por efecto de la aplicación de promotores de crecimiento (PGPR) y de fuentes de fósforo, Súper fosfato triple (SFT), Súper fosfato simples (SFS) Fosfato termomagnesiano (TFM) y Roca molida (RM). Ybyrarobaná, Canindeyú, Paraguay, 2016.

Factor	Tratamientos	Altura de planta (m)	Altura inserción de mazorca (m)	Peso de mil granos (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
PGPR	Sin	2,31a	1,07a	175,6a	3.008a
	Con	2,30a	1,07a	176,6a	3.044a
FUENTES	Control	2,17b	0,98b	166,8a	2.367b
	SFT	2,43a	1,15a	178,1a	3.870a
	SFS	2,43a	1,14a	182,5a	3.690a
	TFM	2,33ab	1,11ab	183,2a	2.827b
	RM	2,17b	0,98b	169,6a	2.376b
CV (%)		5,00	10,01	11,2	16,92
DMS PGPR		0,07	0,06	12,8	332
DMS FUENTES		0,16	0,13	29,0	747

CV: Coeficiente de Variación; DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con una letra común no son significativamente diferentes. Test de Tukey (5%).

En los resultados obtenidos de peso de mil granos y rendimiento del cultivo, no se observó respuesta significativa para el empleo de los PGPR, por otro lado, el peso de mil granos tampoco se vio favorecida con el uso de los fosfatos, sin embargo, se puede apreciar que en el rendimiento existe diferencia estadística entre los promedios obtenidos con las fuentes de fósforo utilizadas (Tabla 1).



El peso de mil granos en función a la inoculación con PGPR generó una media de 176,6 g, valor similar a lo obtenido sin el uso del tribacterial (175,6 g). Lo mismo se observa con el rendimiento, obteniéndose medias de 3.008 kg* ha⁻¹ sin la inoculación y 3.044 kg ha⁻¹ con el uso del mismo. Respecto a esto, Chaves *et al.* (2013) al realizar inoculaciones con *P. fluorescens* en semillas de maíz no observaron incrementos en la peso de granos, tampoco aumento en el rendimiento. Observaciones similares tuvieron Rangel *et al.* (2014) al estudiar el efecto de la biofertilización con *Azospirillum* sp., verificando que el rendimiento de granos de maíz no fue afectado significativamente por el uso de estos microorganismos. Y con la combinación de *P. fluorescens* y *Azospirillum brasilense* Faggioli *et al.* (2008) encontraron un incremento del 7% en el rendimiento de granos.

En cuanto al uso de fuentes de fósforo, se observa que las medias obtenidas en peso de mil granos son similares entre sí, inclusive con el control. Valdez & Gray (2014) tampoco encontraron diferencias significativas al estudiar el peso de mil granos con el uso diferenciado de fuentes fosfatados solubles. La media más alta fue de 183 g y el promedio general de 177 g, valores bastante por debajo a la media registrada para esta variedad, siendo que en el Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria – IPTA (2015) se observó que el peso promedio de mil granos ronda los 253 g.

En el rendimiento existe diferencia en las medias obtenidas con el uso de las diferentes fuentes de P, observándose el promedio más alto con el SFT con 3.870 kg ha⁻¹, media similar se obtuvo con SFS (3.690 kg ha⁻¹), esta última junto con el SFT presentan promedios que difieren significativamente en relación a los fosfatos naturales (TFM y la RM), así también con el Control, tratamiento en el cual fue registrado el menor resultado de apenas 2.367 kg ha⁻¹. Britos & Emategui (2015) estudiando varias fuentes de P observaron que estas generan rendimientos que difieren significativamente entre sí, constatando además que el SFT refleja superioridad en producción ante un fosfato natural. Respecto a los fosfatos insolubles, Hanisch *et al.* (2011) utilizando polvo de roca, independientemente de la dosis aplicada (2 hasta 12 Mgha⁻¹) no encontraron diferencia estadística en el rendimiento de maíz, verificando un incremento promedio de solo 11%. El rendimiento promedio del maíz chipa obtenido en el ensayo fue de 3.026 kg ha⁻¹, con el SFT se logró el pico más alto en producción con 3.870 kg ha⁻¹. Los resultados son inferiores a los obtenidos por IPTA (2015) de 5.200 kg ha⁻¹, y Duarte (2016), de 4.407 kg ha⁻¹ con una dosis de 80 kg de P₂O₅ a base de SFT, ambos autores estudiaron la misma variedad utilizada en el experimento.

La baja disponibilidad de P en el suelo permitió expresar una amplia respuesta a la fertilización fosfatada, incrementando el desarrollo y productividad del maíz. Los parámetros evaluados permiten observar que el uso de fuentes solubles de P (SFT y SFS) generaron mayor efectividad respecto a las fuentes de menor solubilidad (TFM y RM), debido a que el nivel de P disponible en el suelo fue bastante bajo y tanto el SFT como el SFS disponibilizaron el nutriente de forma casi inmediata al cultivo, no así los fosfatos menos solubles que dependen de las condiciones circundantes del medio y de su composición misma para ir liberando el P en el suelo y estar disponible para las plantas. Tanto Parra *et al.* (2011) como Planet *et al.* (2000), señalan que deficiencias de P en la etapa inicial del cultivo repercuten de forma negativa tanto en el crecimiento como en la productividad del maíz.

En cuanto al fosfato natural, su solubilidad es mayor en condiciones de pH ácido, puesto que su disolución resulta en la liberación de iones hidroxilos en la solución y la neutralización de estos es posible gracias a la acidez del suelo, donde los iones de hidrogeno reaccionan con los hidroxilos y dan continuidad al proceso (Zapata & Roy, 2007). Estas reacciones posiblemente se vieron limitadas durante el experimento debido a que fue aplicado una enmienda calcíca para adecuar el pH del suelo a los niveles requeridos por el cultivo de maíz, lo que habría contribuido a una menor respuesta de los fosfatos pocos solubles utilizados.

Respecto a los resultados obtenidos con los promotores de crecimiento, hubo ausencia de respuesta a la inoculación con el tribacterial podría estar relacionada a las condiciones del medio donde se efectuó el ensayo, puesto que la supervivencia de estos microorganismos esta favorecida por elevados contenidos de materia orgánica en el suelo (Perotti *et al.* 2005) y un pH cercano a la neutralidad es determinante para lograr elevada actividad microbiana (Ramos & Zúñiga, 2008).

CONCLUSIONES

El uso de los promotores de crecimiento no genera efecto significativo en las variables evaluadas, las fuentes de P influyen en la altura de planta y de inserción de mazorca y rendimiento del cultivo. Con respecto al peso de mil granos no se vio influenciada por ambos factores.



AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por financiar parte del trabajo dentro del marco del Proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad de suelos para la producción de alimentos”.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por el apoyo, mediante la utilización de infraestructura y equipos necesarios para el trabajo a campo y laboratorio.

Al Sr. Alejandro Duarte por facilitar la infraestructura y el terreno para la realización del experimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Boschetti, NG; CE Quintero; RA Benavidez & P Giuffre. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. *Rev. Cie. del Sue.* 21(1):1-8
- Britos, EM & VE Emategui. 2015. Diferentes formulaciones fosfatadas en la fertilización del maíz. In: I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo. IV Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. San Lorenzo, PY. 134 – 137 p.
- Cano, M. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. una revisión. *Rev. U.D.C.A Actualidad y divulgación científica*, 14(2):15-31
- Chaves, DP; C Zucareli & JA Oliveira. 2013. Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho. *Rev. Ciê, Agr.* 34(1):57-72.
- Cubilla, MM; A Wendling; FL Eltz; TJ Amado & J Mielniczuk. 2012. Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay. Asunción, PY. 86 p.
- Duarte, AD. 2016. Fertilización fosfatada con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipa (*Zea mays* var. amiláceo L.). Tesis de grado. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, PY. 68 p.
- Faggioli, VS; CR Cazorla; A Vigna & MF Berti. 2008. Fertilizantes biológicos en maíz. Ensayo de inoculación con cepas de *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens*. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Marcos Suárez. Argentina. 4 p.
- Hanisch, AL; JA Fonseca; GA Vogt; AA Balbinot & E Spagnollo. 2011. Desempenho da cultura do milho em diferentes doses de pó de basalto, com e sem fertilização. Disponible en: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/911648/desempenho-da-cultura-do-milho-em-diferentes-doses-de-po-de-basalto-com-e-sem-fertilizacao>. Consultado 10 nov 2016
- IPTA (Instituto Paraguayo de Tecnología Agrícola, PY). 2015. Programa de investigación de maíz, sorgo y girasol. IPTA - INBIO. Capitán Miranda, PY. 2 p.
- López, M; R Martínez; M Brossard; A Bolívar; N Afonso; A Alba & H Pereira. 2008. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos. *Rev. Agr. Tro.* 58(4): 391-401
- Loredó, C; L López & D Espinosa. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas. *Rev. Terr. Lat.* 2(2): 225-239
- Oliveira, MA; C Zucareli; LT Spolaor; AR Domingues & AS Ferreira. 2012. Desempenho agrônômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobacterias. *Rev. Bras. de Eng. Agr. e Amb.*, 16(10):1040-1046
- Parra JC; R Ramirez; D Lobo; N Subero & O Sequera. 2011. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) en la etapa temprana a las formas de aplicación de fósforo. *Fac Agron (UCV)*. 37(2): 86-92
- Perotti, EBR; LT Menéndez; OE Gaia & A Pidello. 2005. Supervivencia de *Pseudomonas fluorescens* en suelos con diferente contenido de materia orgánica. *Rev. Arg. Mic.* 37(2):102-105
- Planet, D; S Etchebest; A Mollier & S Pellerin. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus. *Plant and Soil.* 233:119-132
- Quinto, BE. 2015. Estudio sobre dos fuentes de fertilizantes con base en nitrógeno y fósforo en dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de grado.. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, EC. 82 p.
- Ramos, E & D Zúñiga. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Rev. Eco. Apl.* 7(1,2): 123-130
- Rangel, JA; RM Ramírez; F Cervantes; M Mendoza; E Garcia & JG Rivera. 2014. Biofertilización de *Azospirillum* spp. y rendimiento de grano de maíz, sorgo y trigo. *Rev. FCA UNCUYO*. 46(2):231-238.
- Rheinheimer, DS & I Anghinoni. 2001. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pesq. Agr. Bra.* 36(1):151-160



- Valdez, AS & MG Gray. 2014. Fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en maíz. In: III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, PY. 295 – 297 p. Disponible en: <http://www.agr.una.py/descargas/tapas/IIICNCA2014.pdf>. Consultado 25 de oct 2016
- Zapata, F; Roy, RN. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. FAO, Roma. 177 p.