

**FUENTES DE FÓSFORO Y PROMOTORES DE CRECIMIENTO (PGPR)
EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* L. var. *Amilácea* Sturtev.) (AÑO II)**

VICENTE DANIEL ROMERO RIVEROS

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agronómica
Área de Suelos y Ordenamiento Territorial
San Lorenzo, Paraguay
2017

**FUENTES DE FÓSFORO Y PROMOTORES DE CRECIMIENTO (PGPR)
EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* L. var. *Amilácea* Sturtev.) (AÑO II)**

VICENTE DANIEL ROMERO RIVEROS

Orientador: **Prof. Ing. Agr. (Dr.) JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ**
Co-orientadora: **Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agronómica
Área de Suelos y Ordenamiento Territorial
San Lorenzo, Paraguay
2017

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agronómica

**FUENTES DE FÓSFORO Y PROMOTORES DE CRECIMIENTO (PGPR)
EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* L. var. *Amilácea* Sturtev.) (AÑO II)**

Tesis aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de Ingeniero Agrónomo, otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias/UNA.

Autor: **Vicente Daniel Romero Riveros**

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez

Co-orientadora: Prof. Ing. Agr. (M. Sc.) María del Pilar Galeano S.

Miembros de la Mesa Examinadora:

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez

Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) María del Pilar Galeano S.

Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) Diego Augusto Fatecha Fois

Ing. Agr. Alder Delosantos Duarte Monzón

San Lorenzo, 20 de diciembre de 2017

DEDICADO

A la memoria de mi padre Vicente

A mi madre Lidia y

A mis hermanos

AGRADECIMIENTOS

A mi padre Vicente, quien en vida forjó en mi los mejores valores, por guiarme desde el cielo y no soltarme en ningún momento, por acompañarme en cada paso y darme la fortaleza necesaria para formarme académicamente y continuar con entereza el camino de la vida.

A mi madre Lidia, por su apoyo incondicional, por todo su esfuerzo para darme una formación académica, por inculcarme el valor del respeto, la solidaridad y la humildad, por no dejarme caer cuando todo parecía perdido.

A mis hermanos Cristhian y Enzo, por todo el apoyo que me han brindado, por acompañarme siempre.

A Sofía Mazari, por toda su ayuda, por ser mi soporte y estar siempre a mi lado dándome la fuerza necesaria para no ceder en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi orientador Prof. Ing. Agr. Dr. Jimmy Rasche Álvarez, por la paciencia, enseñanzas y apoyo incondicional brindado durante la ejecución de este trabajo.

A la Prof. Ing. Agr. M. Sc. María del Pilar Galeano por el aprecio, la predisposición y el apoyo de siempre.

Al Sr. Alejandro Duarte y familia por recibirme en su casa, por el buen trato y por proveer el terreno para el experimento.

A mis compañeros y amigos Guillermo Garay, Jorge Melgarejo y Evelyn Miranda, por la cooperación durante el trabajo y por todos los buenos momentos vividos.

A Mathias López por toda la ayuda brindada durante el trabajo de campo, por la amistad y aprecio de siempre.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y en especial al Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, a sus docentes y personal administrativo, por la ayuda durante mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento de la tesis dentro del marco del Proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad de suelos para la producción de alimentos”.

A mis amigos y compañeros por todo el apoyo que me brindaron y a todas aquellas personas que de una u otra manera estuvieron apoyándome durante estos años de estudio.

FUENTES DE FÓSFORO Y PROMOTORES DE CRECIMIENTO (PGPR) EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* L. var. *Amilácea* Sturtev.) (AÑO II)

Autor: **VICENTE DANIEL ROMERO RIVEROS**

Orientador: **Prof. Ing. Agr. (Dr.) JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ**

Co-orientadora: **Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.**

RESUMEN

El fósforo es un elemento muy importante para el desarrollo de los cultivos, entre ellos el maíz chipá, y debido a su limitada disponibilidad en suelos de la Región Oriental, se registra una disminución en la productividad de los cultivos. De manera a suplir este déficit nutricional, una de las opciones es realizar la fertilización con fuentes fosfatadas. El objetivo de esta investigación consistió en evaluar la incidencia de diferentes fuentes fosfatadas y promotores de crecimiento vegetal sobre la producción de maíz chipá. El ensayo tuvo lugar en el Departamento de Canindeyú, Distrito de Ybyrarobaná, con un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas sub divididas. Los factores fueron fuentes de fósforo (5 niveles) y PGPR (2 niveles: con y sin), con 10 tratamientos y 4 repeticiones. Las fuentes de fósforo utilizadas 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, a excepción de la roca molida que fue aplicada en una dosis de 300 kg ha⁻¹. El PGPR fue aplicado en dosis de 3 mL kg⁻¹ de semilla. Las variables evaluadas fueron: altura de planta e inserción de mazorca, número de hojas, diámetro del tallo, longitud y diámetro de mazorca, hilera de granos por mazorca, granos por hilera de mazorca, peso de 1000 semillas, rendimiento, masa seca aérea e índice de cosecha. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza. No se encontró efecto con respecto a la utilización de PGPR, pero si entre fuentes fosfatadas, con influencia para las variables de altura de planta, número de hojas, masa seca aérea e índice de cosecha, siendo los valores más altos 2,12 m; 10,78 hojas planta⁻¹; 12.098 kg ha⁻¹ y 64,08 %, respectivamente. En cuanto a la altura de inserción de la mazorca se registró interacción entre las fuentes de fósforo y los promotores de crecimiento vegetal, en donde la roca molida (RM) con la aplicación del inoculante presentó respuesta positiva. El uso de PGPR y la fertilización fosfatada no aumentó la producción de granos en el maíz chipá.

PALABRAS-CLAVE: fosfato natural, fuentes fosfatadas, promotores de crecimiento vegetal.

FONTES DE FÓSFORO E PROMOTORES DE CRESCIMENTO (PGPR) NO MILHO CHIPA (*Zea mays* L. var. Amilácea Sturtev.) (ANO II)

Autor: **VICENTE DANIEL ROMERO RIVEROS**

Orientador: **Prof. Ing. Agr. (Dr.) JIMMY WALTER ALVAREZ RASCHE**

Co-orientador: **Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.**

RESUMO

O fósforo é um elemento muito importante para o desenvolvimento das culturas, entre estas o milho chipá e, devido à sua disponibilidade limitada nos solos da Região Oriental, há uma diminuição da produtividade das culturas. Uma forma de corrigir esse déficit nutricional, é realizar fertilização com fontes de fosfatos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a incidência de diferentes fontes de fosfato e promotores de crescimento de plantas na produção de milho chipá. O experimento foi realizado no Departamento de Canindeyú, Distrito de Ybyrarobaná, com um desenho de blocos completos ao acaso com arranjo fatorial em parcelas sub divididas.. Os fatores foram fontes de fósforo (5 níveis) e PGPR (2 níveis: com e sem), com 10 tratamentos e 4 repetições. As fontes de fósforo utilizadas foram superfosfato triplo (SFT), superfosfato simples (FSS), fosfato termomagnesio (MBT) e rocha moída (RM), aplicado a 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com exceção da rocha moída foi aplicado a uma dose de 300 kg ha^{-1} . O PGPR foi aplicado a doses de 3 mL kg^{-1} de semente. As variáveis avaliadas foram: altura da planta e inserção da orelha, número de folhas, diâmetro do caule, comprimento e diâmetro da orelha, fileira de grãos por orelha, grãos por linha de orelhas, peso de 1000 sementes, rendimento, massa seca aérea e índice de colheita. Os resultados foram submetidos a análise de variância. Não houve diferença significativa no uso de PGPR, mas em fontes de fosfato, com significância estatística para as variáveis altura da planta, número da folha, massa seca aérea e índice de colheita, sendo os valores mais altos 2,12 m; 10,78 folhas planta⁻¹; 12.098 kg ha⁻¹ e 64,08 %, respectivamente. Quanto à altura de inserção da orelha, foi registrada a interação entre as fontes de fósforo e os promotores do crescimento da planta, onde a rocha moída (RM) com a aplicação do inoculante apresentou uma resposta positiva. O uso de PGPR e fertilização fosfatada não aumentou a produção de grãos no milho chipá.

PALAVRAS-CHAVE: Fosfato natural, fontes de fosfato, promotores de crescimento de plantas.

SOURCES OF PHOSPHORUS AND GROWTH PROMOTERS (PGPR) IN CHIPA MAIZE (*Zea mays* L. var. *Amilácea* Sturtev.) (YEAR II)

Author: **VICENTE DANIEL ROMERO RIVEROS**

Advisor: **Prof. Ing. Agr. (Dr.) JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ**

Co-advisor: **Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.**

SUMMARY

Phosphorus is a very important element for the development of crops, including chipá maize, and due to its limited availability in soils of the Eastern Region, there is a decrease in crop productivity. In order to supply this nutritional deficit, one of the options is to carry out fertilization with phosphate sources. The objective of this research was to evaluate the incidence of different phosphate sources and promoters of plant growth on the production of chipá maize. The trial took place in the Department of Canindeyú, District of Ybyrarobaná, with a design of complete blocks at random with factorial arrangement in sub divided parcels. The factors were sources of phosphorus (5 levels) and PGPR (2 levels: with and without), with 10 treatments and 4 repetitions. The phosphorus sources used were triple superphosphate (SFT), simple superphosphate (SFS), thermo-magnesian phosphate (TFM) and ground rock (RM), applied at a dose of 80 kg ha⁻¹ of P₂O₅, with the exception of ground rock. It was applied in a dose of 300 kg ha⁻¹. The PGPR was applied in doses of 3 mL kg⁻¹ of seed. The evaluated variables were: height of plant and insertion of ear, number of leaves, diameter of the stem, length and diameter of ear, row of grains per ear, grains per row of ear, weight of 1000 seeds, yield, aerial dry mass and Harvest index. The results were subjected to analysis of variance. No effect was found with respect to the use of PGPR, but if between phosphate sources, with influence for the variables of plant height, number of leaves, aerial dry mass and harvest index, the highest values being 2.12 m; 10.78 leaves plant⁻¹; 12,098 kg ha⁻¹ and 64.08%, respectively. Regarding the height of insertion of the ear, there was an interaction between the sources of phosphorus and the promoters of plant growth, where the ground rock (RM) with the application of the inoculant presented a positive response. The use of PGPR and phosphate fertilization did not increase the production of grains in the chipá maize.

KEY-WORDS: Natural phosphate, phosphate sources, plant growth promoters.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PORTADA.....	i
HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
SUMMARY.....	vi
RESUMO.....	vii
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ANEXOS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Generalidades.....	3
2.2 Importancia de los microorganismos en la agricultura.....	4
2.3 Promotores del crecimiento vegetal.....	5
2.4 El género <i>Azospirillum</i>	6
2.5 El género <i>Bradyrhizobium</i>	7
2.6 El género <i>Pseudomonas</i>	8
2.7 El fósforo.....	9
2.8 Fuentes de fósforo.....	10
2.9 Disponibilidad del fósforo en el suelo y en la planta.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 Antecedentes.....	15
3.2 Localización y caracterización del área experimental.....	15
3.3 Población de unidades y variables de medición.....	17

	Página
3.4 Diseño para la recolección de datos primarios	18
3.5 Recursos materiales y equipos técnicos.....	19
3.6 Descripción del proceso de recolección de datos primarios.....	19
3.6.1 Preparación del terreno	19
3.6.2 Delimitación de parcelas.....	19
3.6.3 Siembra y aplicación de tratamientos	19
3.6.4 Cuidados culturales	20
3.6.5 Cosecha	20
3.6.6 Medición de variables.....	20
3.7 Métodos de control de calidad de los datos.....	22
3.8 Modelo de análisis e interpretación.....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Altura de planta.....	24
4.2 Altura de Inserción de mazorca.....	25
4.3 Número de hojas y diámetro del tallo.....	27
4.4 Diámetro y longitud de mazorca, hileras de granos y granos por hilera de mazorca.....	29
4.5 Peso de 1.000 semillas y rendimiento.....	31
4.6 Materia seca aérea e índice de cosecha.....	34
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
5.1 Conclusiones.....	37
5.2 Recomendaciones.....	38
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
7. ANEXOS.....	47

LISTA DE TABLAS

	Página
1. Tratamientos del experimento resultante de la combinación de fuentes de fósforo con promotores de crecimiento en el cultivo de maíz chipá (segundo año).....	17
2. Promedio de altura de planta (m) 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, 2017.....	24
3. Promedio de número de hojas y diámetro del tallo 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, 2017.....	27
4. Promedio de diámetro de mazorca (DM), longitud de mazorca (LM), hileras de granos por mazorca (HGM) y granos por hilera de mazorca (GHM) 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, 2017.....	29
5. Promedios de peso de 1.000 semillas y rendimiento 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, 2017.....	32
6. Promedios de masa seca aérea e índice de cosecha 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, 2017.....	35

LISTA DE CUADROS

Página

1. Medias de interacción de la altura de inserción de la mazorca (m) 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, 2017..... 26

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Imagen Satelital del local del experimento en el Dpto. de Canindeyú.	15
2. Representación diaria de las precipitaciones y temperaturas medias ocurridas durante el ciclo del maíz (16 de septiembre de 2016 al 15 enero de 2017). Fuente: Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) – Campo Experimental Yjhovy, Canindeyú.	16
3. Croquis de distribución de los tratamientos a campo.....	18

LISTA DE ANEXOS

	Página
A1. Precipitaciones diarias ocurridas durante el periodo del experimento (16 de setiembre del 2016 hasta el 15 de enero del 2017), medido con un pluviómetro instalado en el área del experimento.....	48
A2. Temperatura media diaria ocurrida durante el periodo del experimento (16 de setiembre del 2016 hasta el 15 de enero del 2017), medido con un pluviómetro instalado en el área del experimento.....	49
A3. Análisis de varianza de la variable altura de planta con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	50
A4. Análisis de varianza de la variable altura de inserción de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	50
A5. Análisis de varianza de la variable hojas por planta con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	51
A6. Análisis de varianza de diámetro del tallo con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	51
A7. Análisis de varianza de diámetro de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	52
A8. Análisis de varianza de longitud de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	52
A9. Análisis de varianza de hilera de granos por mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	53
A10. Análisis de varianza de granos por hilera de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	53
A11. Análisis de varianza de peso de 1000 semillas con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	54
A12. Análisis de varianza de rendimiento con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	54
A13. Análisis de varianza de masa seca aérea con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	55
A14. Análisis de varianza de índice de cosecha con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.....	55

A15. Datos de las mediciones realizadas a las variables para cada unidad experimental.....	56
A16. Datos de las mediciones realizadas a las variables para cada unidad experimental (continuación).....	57

1. INTRODUCCIÓN

La superficie de maíz en el territorio paraguayo abarca casi un millón de ha con rendimiento que oscila entre 3.500 a 4000 kg ha⁻¹. Gran parte del maíz cultivado en el país es el maíz amarillo que tiene como principal uso la exportación para la fabricación de ración animal, sin embargo, unas 80.000 ha son cultivadas con maíz blanco o avatí chipá, principalmente por los pequeños productores que lo utilizan para la fabricación de harina de maíz, destinado a la culinaria típica del país como la elaboración de sopa paraguaya, bori bori entre otros que requieren de su utilización.

Ante la producción y demanda de este cultivo en nuestro territorio es necesario emplear mecanismos, como la fertilización y utilización de promotores de crecimiento, que incidan de alguna manera en el aumento en la productividad de los granos. En cuanto al manejo de la fertilidad, en el maíz chipá casi no existen estudios que favorezcan a la adecuada aplicación de la misma.

Debido a esta necesidad y atendiendo a que la disponibilidad insuficiente del fósforo genera bajo rendimiento y la importancia que ejercen los microorganismos en la transformación del fósforo en el suelo y en las plantas, se ha propuesto la utilización de fuentes de fósforo y bacterias promotoras de crecimiento (PGPR), que son bacterias de vida libre, que otorgan a la planta un mayor crecimiento, mejorando la salud, suprimiendo varias enfermedades causadas por patógenos y acelerando la asimilación y disponibilidad de nutrientes.

El objetivo general de esta investigación consistió en evaluar la incidencia de diferentes fuentes fosfatadas y promotores de crecimiento vegetal sobre la producción de maíz chipá. Los objetivos específicos consistieron en determinar el

efecto de los tratamientos sobre la altura de planta e inserción de mazorca, el número de hojas, el diámetro del tallo, el diámetro y longitud de la mazorca, el número de hileras por mazorca, el número de granos por hilera de mazorca, la masa seca aérea producida, el índice de cosecha, el peso de mil semillas y el rendimiento.

La hipótesis planteada en la investigación fue que los diferentes fertilizantes fosfatados y los promotores de crecimiento provocarían un aumento en el rendimiento del cultivo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades del maíz

La mayor parte de los alimentos en el mundo proviene de siete especies de plantas gramíneas que son el trigo, el arroz, el centeno, la avena, la cebada, el sorgo y el maíz. Este último es el segundo cereal más cultivado en el mundo teniendo la capacidad de germinar y desarrollarse en todos los continentes, menos en la Antártida (Hipp 2004).

El cultivo de maíz se adapta generalmente desde 50° de latitud norte, hasta alrededor de 40° de latitud sur, lo cual abarca múltiples regiones del mundo. La temperatura media óptima durante el ciclo vegetativo es de 25 a 30°C. Es así que temperaturas por debajo de 10°C retardan o inhiben el proceso de germinación, pero también cuando existen temperaturas que sobrepasan los 40°C afecta la polinización. En cuanto a la humedad exige niveles óptimos y que no existan riesgos climáticos en el lugar donde se implantará el cultivo. Con la utilización de variedades adaptadas, es posible conseguir buenos rendimientos con más o menos 500 mm de precipitación pluvial distribuido durante el ciclo vegetativo (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza- CATIE 1990).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO citado por Actualitix (2016) en el año 2014 la producción de cereales en el Paraguay fue de 4.931.500 Mg.

El maíz blanco es muy parecido al maíz amarillo, si bien se visualiza en la apariencia de los granos del mismo un tono blanquecino ligeramente pálido debido a

la ausencia de los pigmentos de aceite de carotina que originan el color del grano amarillo, son idénticas en cuanto a las condiciones de producción y los métodos de cultivo (FAO 2000).

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG (2008) en el país existen 134.835 fincas en las que se cultiva maíz chipá siendo la superficie total cultivada 80.759 ha y la producción total obtenida es 85.772 kg.

En general los productores de la variedad chipá tienen una superficie de siembra que varía de media a una hectárea, cuyo principal fin es el consumo (Ministerio de Agricultura y Ganadería- MAG y Dirección de Extensión Agraria – DEAg 2010).

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG (2008), en el Departamento de Canindeyú existen 6.200 fincas productoras de maíz chipá, estando distribuidas en las mismas 4.962 ha del mencionado cultivo presentando un rendimiento promedio a nivel departamental de 1.140 kg ha⁻¹

2.2 Importancia de los microorganismos en la agricultura

Los microorganismos desempeñan un papel sumamente importante en los procesos de transformación del fósforo, nitrógeno y otros elementos en el suelo. Es así que los bio-fertilizantes o abonos biológicos basados en microorganismos, promueven y benefician a la nutrición y crecimiento de las plantas, facilitando de forma directa o indirecta, la disponibilidad de nutrientes y el agua, además de producir fitohormonas promotoras de crecimiento vegetal. A sabiendas de que el uso de fertilizantes químicos genera un considerable costo a la agricultura, es conveniente el uso de microorganismos para aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, esto además de reducir el costo de producción constituye sin lugar a dudas una excelente alternativa para reducir la contaminación ambiental y mejorar la productividad de los cultivos (Investigación y Desarrollo Agroalimentario- IDEAGRO 2015).

Reyes et al. (2008), constataron a través de un ensayo experimental utilizando microorganismos biológicos en maíz, que el porcentaje de germinación aumentó en 21 %, el nitrógeno en 2,23 %, el fósforo en 0,053% y el peso seco en $0,11 \text{ g planta}^{-1}$.

Al inocular semillas de maíz con cepas de dos bacterias biológicas (*Pseudomonas* y *Azospirillum*) a dosis de 8 mL kg^{-1} , Faggioli et al. (2008), verificaron una diferencia de $592,2 \text{ kg ha}^{-1}$ en el rendimiento de granos.

En los últimos años aumentó la importancia de la utilización de los biofertilizantes basados en microorganismos, debido a la necesidad de contribuir con la sostenibilidad de los ecosistemas y agroecosistemas. Es fundamental prestar atención al momento de seleccionar los microorganismos a utilizar, como también cuidar las condiciones en las que se encuentra el sitio, debido a que estos puntos son elementos determinantes en el éxito del uso de microorganismos (Ferrera y Alarcón 2001).

2.3 Promotores del crecimiento vegetal

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal estimulan el crecimiento de las plantas llevando a cabo varios procesos como: producción de sustancias reguladoras de crecimiento, producción de antibióticos, producción de sideróforos, producción de sustancias que generan resistencia sistémica en algunas plantas, fijación de nitrógeno, solubización de nutrientes y otros (Loredo et al. 2004).

Según los mismos autores, para tener un buen desarrollo radicular al introducir bacterias promotoras del crecimiento vegetal en los cultivos, es importante la forma en que estas se establecen y persisten a lo largo del proceso de crecimiento radicular. De esta manera, introduciendo bacterias en la rizósfera de gramíneas, estas pueden ocasionar un efecto benéfico o nocivo en las mismas.

La rizósfera es la zona estrecha del suelo que rodea a la raíz de las plantas, esta se encuentra ocupada por una cantidad elevada de microorganismos benéficos como bacterias y hongos que contribuyen al aumento del crecimiento de las plantas (García y Guerrero 2000). De manera a potenciar la acción de estos microorganismos benéficos en su lucha contra los patógenos, es importante la aplicación de biofertilizantes, contribuyendo también al mejoramiento de las condiciones del suelo, estimulando el aumento de nódulos en las raíces y reduciendo la contaminación del aire, suelo y agua (Paredes 2013).

Ferrera y Alarcón (2001), afirman que los PGPR desarrollan diversas interacciones benéficas en las plantas y en los agroecosistemas ayudando a encontrar soluciones para lograr un desarrollo sostenible y favorable al medio ambiente agrícola.

2.4 El género *Azospirillum*

Este género comprende un grupo de bacterias diazotróficas del grupo de las gram negativas, promotoras del crecimiento vegetal de vida libre. Los representantes de este género bacteriano tienen la habilidad de producir fitohormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas que mejoran el crecimiento radicular y la absorción de agua y minerales, también son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico cuando la tensión parcial de oxígeno es baja. Debido a estas características el mencionado género bacteriano es una potencial alternativa como biofertilizante (Sangoquiza 2011).

Esta bacteria es el PGPR más estudiado en gramíneas. Actualmente se han identificado más de doce especies de *Azospirillum*, aunque en la producción de inoculantes comerciales se han utilizado *A. brasilense* y *A. lipoferum*, siendo la primera la más común a nivel mundial (Ferraris y Couretot 2007).

El efecto del *Azospirillum* se aplica a los mecanismos de fijación de nitrógeno (N) atmosférico en el suelo y la producción de reguladores vegetales. El

mecanismo de fijación de nitrógeno a través de esta bacteria ha sido blanco de muchos cuestionamientos debido a que las cantidades de nitrógeno fijadas por la bacteria son bajas, alcanzando en promedio tres a diez $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; considerando que la asociación *Rhizobium*-leguminosa puede llegar a fijar hasta $700 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Carrera 2012).

Sangoi et al. (2015), al inocular semillas de maíz con *A. brasilense* obtuvieron una diferencia de 719 kg ha^{-1} en el rendimiento en relación al testigo.

Por otro lado, Araújo et al. (2013), experimentaron con fertilización nitrogenada (dosis de 30 kg ha^{-1}) e inoculación con *A. brasilense* y observaron diferencias de $8,49 \text{ g kg}^{-1}$ de N; $0,19 \text{ g kg}^{-1}$ de P; $6,53 \text{ g kg}^{-1}$ de K; $0,31 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca y $0,06 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg en relación al control.

2.5 El género *Bradyrhizobium*

Son bacterias que se mueven con un flagelo polar o subpolar y poseen cepas de lento crecimiento. Las colonias son circulares, rara vez translúcidas, blancas y convexas con un diámetro menor a 1 mm. Estas bacterias necesitan 5 a 7 días de incubación para la formación de colonias en un medio específico (Wang et al. 2000).

Los mismos autores mencionan que son tres las especies definidas de este género: *B. japonicum*, *B. elkanii* y *B. liaoningense* que presentan resultados positivos en inoculaciones realizadas para aumentar la nodulación de algunos cultivos, pero se han visualizado mejores resultados en inoculaciones hechas en soja.

B. japonicum se distingue de *B. elkanii* por diferencias en algunas secuencias de ADN, en los patrones de enzimas metabólicas y de polisacáridos, en su contenido de ácidos grasos y en su contenido de hemoproteínas (Paredes 2013).

Al inocular semillas de maíz con cepas de *B. japonicum* y *A. brasilense*, Cassán et al. (2009), verificaron que a los 7 días el porcentaje de germinación aumentó en 3% en comparado al control y en cuanto a la longitud de raíces en 8 cm.

En un experimento de inoculación de semillas de maíz con *B. japonicum*, Prévost et al. (2000), constataron que la materia seca aumentó en 8,66%, el rendimiento en 8,65%, el contenido de magnesio en 21,3%, el fósforo en 15,3%, el cobre en 76,9% y el zinc en 87,6%.

2.6 El género *Pseudomonas*

Representa un grupo grande e importante de bacterias Gram negativas, que incluyen especies de gran variabilidad metabólica. Varias especies de este género participan activamente en el ciclo del carbono en la naturaleza. Uno de los mecanismos más importantes por los que las *Pseudomonas fluorescens* causan el crecimiento vegetal es por la supresión de microorganismos patógenos. Manifiestan sus efectos promotores de crecimiento de una manera indirecta y disminuye las enfermedades causadas por diferentes patógenos (García y Guerrero 2000).

Según Ferraris y Couretot (2007), la inoculación con microorganismos que actúan sobre el ciclo del fósforo como *Pseudomonas*, micorrizas, *Azospirillum* y otros, posibilita el aumento de los rendimientos en 315 a 700 kg ha⁻¹ en promedio en relación a los no inoculados, dependiendo de las condiciones climáticas durante el desarrollo fisiológico del cultivo. Es así que a bajos niveles de fertilización fosfatada, el uso de microorganismos favorece la adquisición de nutrientes del suelo.

Por su parte, Santillana (2006), realizó una investigación en donde inoculó semillas de maíz con asociación de varios géneros de biobacterias, entre ellas 3 cepas de *Pseudomonas* sp, aplicando diferentes dosis de las mismas, y visualizó aumentos de 77 a 99 % en la materia seca de la parte aérea.

2.7 El fósforo

Barrios et al. (2010) mencionan que el fósforo no se encuentra en su estado puro en la naturaleza, sino en forma de fosfatos. Este elemento posee una limitada movilidad en el suelo, lo que da como resultado una deficiencia en su disponibilidad para las plantas (Melgar y Díaz 2008).

Domínguez (1997), indica que algunos factores que provocan el aumento del fósforo son la descomposición de la roca madre, la acción de la fracción orgánica que involucra residuos y desechos de origen tanto vegetal como animal, además de la descomposición de los tejidos de microorganismos que abundan en el suelo.

El fósforo está presente en procesos tales como fotosíntesis, absorción de iones y otros. Este elemento llega a las raíces por difusión, donde el movimiento del nutriente se produce de acuerdo a un gradiente de alta concentración a uno de baja concentración. Si existe un mayor desarrollo y penetración de raíces, hay elevada concentración del nutriente en la solución y una mayor temperatura y humedad del suelo, por lo tanto, habrá mayor absorción de P por la planta. El fósforo es absorbido como ión ortofosfato o fosfato mono o di ácido contra un gradiente electroquímico, por lo que la absorción es activa, con gasto de energía, y se realiza a través de transportadores. El P absorbido no necesita ser reducido para su asimilación integrándose rápidamente a compuestos orgánicos (Uhart y Echeverría 1998).

Según los mismos autores, al tener deficiencia de fósforo en los cultivos se observan hojas de color verde oscuro con puntas o bordes violáceos. Al reducirse el nivel del P disminuye la translocación de asimilados acumulándose azúcares en hojas y tallos, los que a su vez generan antocianinas, que son los pigmentos que producen las tonalidades mencionadas más arriba. La misma coloración se observa en tallos y hojas cuando se elimina total o parcialmente la espiga, generando una limitación por destinos o un excedente de fuente.

2.8 Fuentes de fósforo

De manera a suplir la deficiencia del mencionado elemento y alcanzar sus niveles críticos en los suelos, es sumamente necesario la aplicación de fertilizantes, buscando aportar mayor cantidad de fósforo disponible para los suelos y las plantas (Robinson 2010).

Al aplicar dosis crecientes de P_2O_5 por más de cinco años seguidos, Conte et al. (2003), constataron incrementos de 336 mg kg^{-1} de fósforo total en el suelo, con la dosis mayor en relación al control.

Antes de aplicar cualquier tipo de fertilizante es necesario separar el terreno en áreas de muestreo bien homogéneas, según el tipo de topografía existente, el historial de aplicación de correctivos, y el cultivo anterior que fue implantado en el lugar (Moriya 2006).

Los fertilizantes a utilizar son el súper fosfato simple que se obtiene a través del tratamiento de la roca fosfórica con ácido sulfúrico y contiene entre 18 a 20% de P_2O_5 , 11% de S y alrededor de 18 a 21% de Ca (Bruulsema et al. 2013).

El súper fosfato triple, según los mismos autores, es el fertilizante que posee el mayor contenido de fósforo (44 a 48% de P_2O_5) entre los fertilizantes sólidos que no contienen nitrógeno. El mencionado fertilizante se disponibiliza rápidamente para las plantas cuando los gránulos son disueltos por la humedad del suelo.

La roca molida que consiste en un fertilizante no sintético obtenido de roca basáltica finamente triturada y tamizada que contiene minerales y oligoelementos, siendo muy utilizado en la agricultura ecológica como fuente alternativa a la fertilización química. Este fertilizante contiene 18 a 23 % de P_2O_5 y en el Paraguay es producido en el distrito de Caazapá (Bruulsema et al. 2013 y Bogado et al. 2014).

Enciso et al. (2016) aplicaron dosis de polvo de roca en el cultivo de tomate y con dosis de 2 Mg ha^{-1} constataron un aumento de $2,13 \text{ kg planta}^{-1}$ en cuanto al rendimiento.

Fatecha et al. (2017) realizaron un experimento en donde aplicaron roca molida de manera a evaluar su efecto en la productividad de la sucesión soja-trigo y no encontraron respuesta significativa entre las medias.

El fosfato termomagnesiano que consiste en un fertilizante que se obtiene previo proceso de fusión de fósforo, calcio y magnesio. Su contenido de P_2O_5 es de 18% y es un fertilizante totalmente soluble en ácido cítrico y altamente recomendado para agricultura orgánica (Zapata y Roy 2007).

En una investigación, Silva (2011), aplicó diferentes dosis de fertilizante fosfatado de manera a evaluar si producía algún efecto en el rendimiento del cultivo de caña de azúcar y constató mejor respuesta con la dosis de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 que presentó un rendimiento de 70 Mg ha^{-1} .

Salvador (2016), experimentó con fertilización fosfatada en el cultivo de maíz chipá, con los tratamientos con súper fosfato simple y súper fosfato triple visualizó que la altura de la planta aumentó en 0,26 m en relación al testigo, en cuanto a la altura de inserción de mazorca observó que con el tratamiento con súper fosfato triple aumentó en 0,17 m en relación al testigo. Así también, en cuanto al rendimiento de granos, el tratamiento con súper fosfato triple arrojó una diferencia de 1503 kg ha^{-1} comparado al testigo.

Duarte (2016), aplicando diferentes dosis de P_2O_5 en el cultivo de maíz chipá, observó que no hubo diferencia significativa en cuanto a la altura de planta. Sin embargo, en el rendimiento de granos con la dosis de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 visualizó una diferencia de 655 kg ha^{-1} .

Al aplicar fertilizante fosfatado sobre el cultivo de maíz, Alvarado (2002), observó una diferencia de 857 kg ha^{-1} en cuanto al rendimiento de granos con la dosis de 70 kg ha^{-1} de $\text{P}_2 \text{O}_5$.

González y Ruiz Díaz (2013), aplicaron distintas dosis de $\text{P}_2 \text{O}_5$ en el cultivo de maíz de manera a comparar las respuestas de las mismas en cuanto al rendimiento de granos y verificaron que la dosis de 180 kg ha^{-1} arrojó una diferencia de 2.222 kg ha^{-1} , siendo la misma la más efectiva para obtener una óptima producción.

Para que la fertilización con las diversas fuentes mencionadas presente una respuesta positiva el factor que influirá en mayor porcentaje será el nivel de reservas de fósforo que esté presente en el suelo, en los suelos deficientes el grado de utilización de los fertilizantes se encuentra entre 25 y 40%, en cambio, en aquellos que presentan buena provisión, solamente 5 a 10% del fertilizante es absorbido y el restante lo obtiene del suelo (Gros y Domínguez 1992), también es importante destacar que Prado et al. (2001), al aplicar fertilizantes fosfatados en surcos dobles constataron que el rendimiento del maíz aumentó hasta $4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$.

2.9 Disponibilidad del fósforo en el suelo y en la planta

La cantidad de fósforo disponible en el suelo varía de acuerdo a las condiciones ambientales, que a su vez influyen sobre el suelo y el desarrollo de las plantas. La fijación del fósforo soluble ocurre rápidamente después de la aplicación de un fertilizante fosfatado, especialmente si se realiza una mezcla del fertilizante con el suelo. Las plantas pueden absorber el fósforo de la solución del suelo en forma de iones de fosfato, HPO_4^{--} y H_2PO_4^- (Rojas 2015).

Munera y Meza (2014) afirman que la disponibilidad del fósforo en el suelo depende en un alto porcentaje del pH del suelo, principalmente al tener un rango de 6,5 a 7,5; debido a que en estas condiciones se da la máxima solubilidad de fósforo inorgánico en el suelo.

Los mismos autores señalan que el fósforo se mueve en la planta en forma de iones orto fosfato y como fósforo incorporado en los compuestos orgánicos formados, de esta manera también se mueve a otras partes de la planta donde podrá disponibilizarse para integrar o formular más reacciones.

Según Schlindwein y Gianelo (2008), el fosfato se encuentra principalmente en la camada superficial del suelo debido a la adición continua de fertilizantes fosfatados a los suelos cultivados. Sin embargo, en suelos no cultivados el fosfato se acumula principalmente debido a la descomposición del mantillo o restos de hojas caídas.

El fósforo presenta gran movilidad en la planta trasladándose rápidamente de tejidos viejos hacia los nuevos (meristemos activos). Al tener deficiencia del mismo se observa como consecuencia principal la disminución del crecimiento (Van Raij 2011).

De 955 muestras de suelos analizadas en el Departamento de Canindeyú, 25 % poseen fertilidad alta, 44 % fertilidad media y 31 % fertilidad baja, pero la mayoría de los suelos presentan deficiencias de fósforo (Fatecha 2004).

Al analizar muestras de suelos de la Región Oriental del Paraguay colectadas a profundidad de 0-20 cm, Jorgge (2012) constató que 77 % poseían nivel bajo de fósforo, 18% nivel medio, y 5 % nivel alto.

Con la aplicación de dosis crecientes de fósforo en distintos suelos, Peroni (2005), visualizó a los 45 días posteriores al trasplante aumentos de hasta 12 cm en la altura de la planta de maíz, y en la masa seca de la parte aérea aumentos de hasta 39 g.

El nivel crítico del fósforo, mediante el empleo del extractante Mehlich-1, en suelos con 410 a 600 g kg⁻¹ de arcilla es de 12 mg kg⁻¹, y en suelos con 210 a 400 g kg⁻¹ es de 15 mg kg⁻¹ (Cubilla et al. 2007).

Al aplicar diferentes dosis de P_2O_5 en suelos arenosos, para determinar el nivel crítico del fósforo en el suelo y evaluar el rendimiento de los cultivos trigo, maíz y soja, a través del empleo del extractante Mehlich-1, se observó que la dosis de máxima eficiencia técnica fue $69 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$, la dosis de máxima eficiencia económica fue de $56 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$, y al estudiar dos datos de diferentes experimentos se determinó que el nivel crítico de fósforo es $11,4 \text{ mg dm}^{-3}$, sin embargo, al considerar solamente suelos arenosos con menos de 20% de arcilla el nivel crítico es de 16 mg dm^{-3} (Britos et al. 2012).

Peroni y Rasche (2007), experimentando en suelos de diferentes localidades del Paraguay, visualizaron que el contenido de fósforo disponible varía específicamente en función a la textura del suelo, dificultando de esta manera tener un nivel crítico exclusivo para el fósforo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Antecedentes

La presente investigación inició en el año 2016 en la propiedad de un productor del Distrito de Ybyrarobaná, Colonia Lomas Valentinas. Fue realizada la delimitación del terreno, aplicación de cal agrícola en dosis de 2 Mg ha^{-1} , incorporación de la misma, aplicación de tratamientos de manera similar al del presente experimento, siembra y cosecha correspondiente del cultivo de maíz chipá. Más detalles sobre el experimento del primer año se puede observar en Salvador (2016).

3.2 Localización y caracterización del área experimental

El ensayo se llevó a cabo en el Departamento de Canindeyú, distrito de Ybyrarobaná, Colonia Lomas Valentinas. Las coordenadas de ubicación de las parcelas experimentales son $24^{\circ}18'59,16''\text{S}$ y $55^{\circ}02'46,81''\text{O}$ (Figura 1).



Figura 1. Imagen Satelital del local del experimento en el Dpto. de Canindeyú.

El tipo de suelo predominante en la zona corresponde a un Arenic Rhodic Paleudult, con textura francosa gruesa, paisaje de lomadas, material de origen arenisca. El área del experimento posee menos de 3% de pendiente, con buen drenaje y pedregosidad nula (López et al. 1995).

El clima de la zona es subtropical, los niveles de precipitación pluvial se encuentran entre 1500 y 1800 mm y las temperaturas máximas medias y mínimas medias están entre 29°C y 23°C (Ferreira 2002).

La precipitación total registrada durante el ciclo del experimento fue de 634 mm, de acuerdo a estos datos y teniendo en cuenta los datos históricos de precipitación media, 905 mm registrada (mismo lapso de tiempo) de los últimos 7 años en la estación meteorológica ubicada en la zona (campo experimental Yjhovy), la precipitación presentada durante el experimento fue relativamente baja en relación a datos históricos, lo que podría haber influido en los resultados finales del experimento (Figura 2).

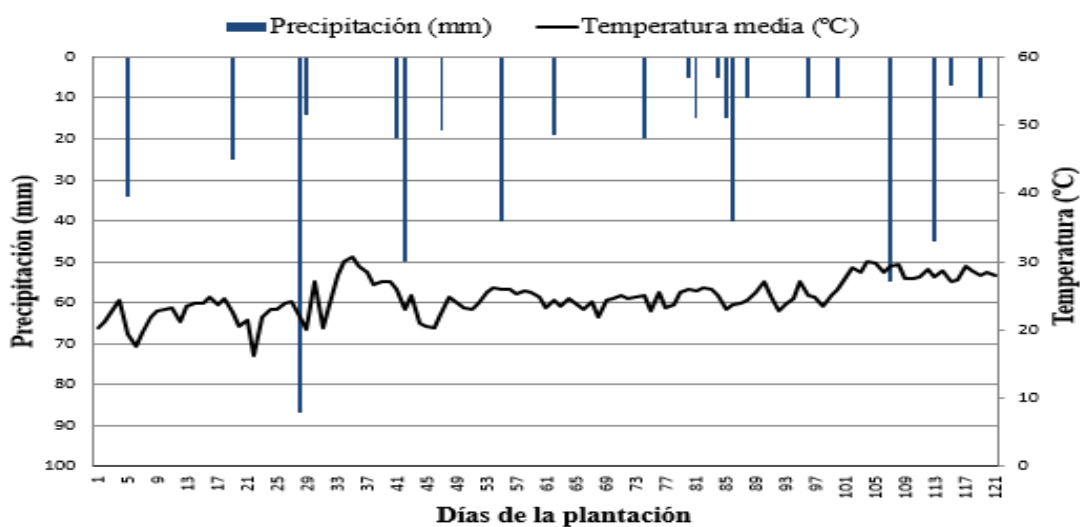


Figura 2. Representación diaria de las precipitaciones y temperaturas medias ocurridas durante el ciclo del maíz (16 de septiembre de 2016 al 15 enero de 2017). Fuente: Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) – Campo Experimental Yjhovy, Canindeyú.

3.3 Población de unidades y variables de medición

Los tratamientos consistieron en la combinación de dos factores en un experimento con parcelas sub divididas, donde en las parcelas estaban las fuentes de fertilizantes fosfatados Superfosfato triple (SFT), Superfosfato simple (SFS), Fosfato termomagnesiano, roca molida y el testigo y en las sub parcelas la aplicación o no de promotores de crecimiento (PGPR), dando lugar a 10 tratamientos con cuatro repeticiones, totalizando 40 unidades experimentales.

El PGPR utilizado consistió en un tribacterial compuesto por colonias de *Bradirizobium japonicum*, *Azospirillum brasiliensis* y *Pseudomonas fluorescens*. Los fertilizantes fosfatados fueron aplicados a dosis de 80 kg de P_2O_5 ha⁻¹, a excepción de la roca molida que fue aplicada en una dosis de 300 kg de P_2O_5 ha⁻¹, y los PGPR a 3 mL kg⁻¹ de semilla.

Las unidades experimentales estuvieron constituidas de cinco hileras de maíz a 0,7 metros entre las mismas y 0,25 metros entre plantas, las dimensiones de las parcelas fueron de 3,5 metros de ancho por 5 metros de largo (17,5 m²), con un área útil de tres hileras centrales de cada parcela por 3 metros de largo (6,3 m²), con una superficie total de las parcelas experimentales de 700 m².

Tabla 1. Tratamientos del experimento resultante de la combinación de fuentes de fósforo con promotores de crecimiento en el cultivo de maíz chipá (segundo año).

TRATAMIENTOS	Cantidad de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Cantidad de PGPR (mL kg ⁻¹ de semilla)
T1: Control	0	0
T2: Súper Fosfato Triple (SFT)	80	0
T3: Súper fosfato Simples (SFS)	80	0
T4: Fosfato Termomagnesiano (FTM)	80	0
T5: Roca molida	300	0
T6: PGPR	0	3
T7: SFT + PGPR	80	3
T8: SFS + PGPR	80	3
T9: FTM + PGPR	80	3
T10: Roca molida + PGPR	300	3

B-I	B-II	B-III	B-IV
SFT	SFS+ PGPR	<u>TESTIGO</u>	Roca Molida
<u>TESTIGO</u>	<u>TESTIGO</u>	FTM + PGPR	<u>TESTIGO</u>
FTM	SFT + PGPR	SFS + PGPR	SFT
Roca Molida	Roca Molida + PGPR	SFT + PGPR	FTM
SFS	FTM + PGPR	Roca Molida + PGPR	SFS
FTM + PGPR	Roca Molida	SFS	SFT + PGPR
<u>TESTIGO</u>	SFS	Roca Molida	<u>TESTIGO</u>
SFT + PGPR	SFT	<u>TESTIGO</u>	SFS + PGPR
SFS + PGPR	<u>TESTIGO</u>	SFT	Roca Molida + PGPR
Roca Molida + PGPR	FTM	FTM	FTM + PGPR

Figura 3. Croquis de distribución de los tratamientos a campo.

3.4 Diseño para la recolección de datos primarios

El tipo de investigación realizado fue cuantitativo, que usó la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Hernández et al. 2010).

El modelo de diseño experimental seleccionado para llevar a cabo la investigación fue el de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas sub divididas.

3.5 Recursos materiales y equipos técnicos

Los recursos materiales utilizados fueron: fertilizantes fosfatados, cloruro de potasio, urea, cal agrícola, promotores de crecimiento, semillas de maíz (variedad Avatí chipá 254), bolsas plásticas y de papel, bolsas de arpillera, cinta métrica, hilo de ferretería, estacas, herramientas agrícolas, materiales de oficina e insecticidas.

Los equipos técnicos requeridos fueron: maquinarias agrícolas, computadora, impresora, balanza de precisión, paquímetro digital, pulverizadora.

3.6 Descripción del proceso de recolección de datos primarios

3.6.1 Preparación del terreno

Para la preparación del terreno se procedió a identificar la superficie total a utilizar durante la ejecución del experimento.

Luego de la identificación correspondiente se realizó la limpieza del lugar de manera a dejarlo en condiciones para la delimitación, fertilización y posterior siembra.

3.6.2 Delimitación de parcelas

Posterior a la preparación del terreno se realizó la delimitación de la parcela experimental, con dimensiones de 14 m de ancho y 50 m de largo. En la parcela experimental se delimitaron 40 unidades experimentales con dimensiones de 3,5 m de ancho y 5 m de largo.

3.6.3 Siembra y aplicación de tratamientos

La siembra se realizó en la última semana de setiembre utilizando semillas de maíz chipá sin tratamiento químico. En los tratamientos con promotores de crecimiento, las semillas fueron inoculadas con un tribacterial en el momento de la siembra, que se realizó en forma manual a una profundidad de 3 cm, depositando 3

semillas en cada punto de siembra, la distancia entre plantas fue de 0,25 m y entre hileras de 0,70 m. Para cada tratamiento los fertilizantes fosfatados fueron aplicados aproximadamente a 5 cm de la semilla.

Para suplir las necesidades básicas de nutrición del cultivo, luego de analizar los resultados obtenidos, fueron aplicados fertilizantes a base de potasio 100 kg de K_2O ha^{-1} al momento de la siembra y nitrógeno 66,7 kg ha^{-1} en forma de urea en dos aplicaciones, al momento de la siembra a dosis de 16,7 kg ha^{-1} y el restante en cobertura a los 40 días después de la siembra.

3.6.4 Cuidados culturales

Posterior a la emergencia, luego de dos semanas, fue realizado el raleo de las plantas quedando una sola planta por punto de siembra, para evitar la competencia y mantener la densidad de siembra. En tanto, el control de plagas y enfermedades se realizó de acuerdo a la aparición de las mismas y solo en caso de que la densidad poblacional de estas interfiera con el cultivo.

3.6.5 Cosecha

La cosecha del área útil de cada unidad experimental se realizó en forma manual, cuando culminó el ciclo del cultivo. Las espigas cosechadas fueron colocadas en bolsas de arpillera y llevadas a un galpón para protegerlas y realizar las evaluaciones correspondientes.

3.6.6 Medición de variables

Las variables fueron evaluadas cuando el cultivo de maíz llegó a la etapa reproductiva y a la madurez. A continuación se menciona el proceso de evaluación de las variables.

Altura de plantas: Se midió la distancia media, en metro (m), entre la superficie del suelo y la inflorescencia masculina, para ello se tomaron aleatoriamente 10 plantas del área útil de cada parcela.

Altura de inserción de la mazorca: Se evaluó la distancia media entre la superficie del suelo y la inserción de la mazorca de 10 plantas tomadas aleatoriamente del área útil, expresándose los valores promedios en metro (m).

Diámetro del tallo: Se utilizó un paquímetro digital para medir el diámetro promedio de los tallos, luego del segundo nudo, partiendo de la base del tallo, de 10 plantas seleccionadas aleatoriamente de la parcela útil. Los valores fueron expresados en centímetros.

Número de hojas: Se evaluó por medio del conteo de todas las hojas de la planta, fueron tomadas 10 plantas al azar del área útil presentando un valor promedio.

Longitud de mazorca: Se utilizó una regla centimetrada con la que se midió la longitud de 10 mazorcas provenientes del área útil de cada unidad experimental y sus valores fueron expresados en centímetros.

Diámetro de mazorca: Se evaluó considerando 10 mazorcas seleccionadas del área útil, el valor promedio fue expresado en centímetros.

Número de hileras de granos por espiga: Se evaluó con la contabilización del número de hileras de granos en 10 espigas seleccionadas aleatoriamente en cada unidad experimental, expresando un número promedio de hileras.

Número de granos por hileras: Se evaluó contabilizando el número de granos en una hilera de cada mazorca seleccionada, expresando el número promedio de granos por hilera encontrados.

Índice de cosecha: Fueron extraídas 10 plantas enteras seleccionadas de forma aleatoria en el área útil de cada parcela (representando 1,75 m² del área útil) y pesadas a campo. Posteriormente fueron trituradas y separadas con anterioridad las mazorcas sin la chala. Se colectaron muestras de 100 g del material triturado y se llevó a estufa a 60°C por 72 horas. El marlo fue separado del grano y llevado a estufa en las mismas condiciones y al grano se le realizó la medición de humedad que fue extrapolado a cero por ciento de humedad. Las muestras fueron pesadas por separado, los valores fueron expresados en kg y extrapolados para una hectárea y utilizados en la siguiente fórmula:

$$\text{IC: } \frac{\text{Masa de grano seco}}{\text{Masa seca total (planta triturada + marlo + grano)}} * 100$$

Masa seca aérea: Fueron considerados los valores obtenidos para el cálculo del índice de cosecha, expresando los valores en kg ha⁻¹.

Rendimiento del cultivo: Se determinó a partir de la cosecha y desgrane de todas las espigas de una superficie de 2,1 m² del área útil de cada unidad experimental, los cuales fueron pesados obteniendo el rendimiento promedio. Los valores fueron extrapolados para una hectárea y expresados en kg ha⁻¹.

Peso de mil semillas: Se determinó utilizando el promedio del peso de cuatro repeticiones de 100 granos provenientes de cada unidad experimental, multiplicando por 10, la humedad fue ajustada al 13% y los valores expresados en gramos.

3.7 Métodos de control de calidad de los datos

Posterior a la recolección de los datos, se verificó la consistencia y la calidad de los mismos. En caso de que alguna unidad de observación o parcela de datos haya registrado valores de ciertas variables que no correspondían al estándar y

hayan sido dudosas, no encajando entre los límites reales esperados, se realizaban nuevamente las mediciones para confirmar lo obtenido.

3.8 Modelo de análisis e interpretación

Los datos obtenidos de las variables estudiadas fueron analizados mediante análisis de varianza (ANAVA), para verificar si existen diferencias significativas en los parámetros estudiados, por el efecto de las diferentes fuentes de fósforo y la combinación de los mismos con los PGPR. En los tratamientos que arrojaron diferencias significativas se realizó la comparación de medias por el Test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Para llevar a cabo el análisis se procedió a ordenar la información obtenida de cada variable evaluada, utilizando planillas electrónicas del programa Excel. Con la ayuda del software estadístico Assistat se realizó el análisis de las mismas según el diseño experimental utilizado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de planta

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos para la variable altura de planta posterior al análisis de varianza. No se verifica respuesta significativa para el uso de los promotores de crecimiento, sin embargo, se aprecia diferencia estadística entre los promedios obtenidos con las fuentes de fósforo utilizadas en el experimento. No hubo interacción significativa entre las fuentes de fósforo y el PGPR.

Tabla 2. Promedio de altura de planta (m) 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, 2017.

Factor	Tratamientos	Altura de planta (m)
PGPR	Sin	1,97 a
	Con	1,94 a
FUENTES	Control	1,84 b
	SFT	1,93 ab
	SFS	2,12 a
	TFM	2,00 ab
	RM	1,86 ab
CV (%)		9,51
DMS PGPR		0,12
DMS FUENTES		0,27

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

Estos resultados coinciden con los de Chaves et al. (2013), que al inocular semillas de maíz con *P. fluorescens*, tampoco observaron respuestas significativas en cuanto a la altura de plantas. Sin embargo, a través de un experimento en dos tipos de suelos (alta y baja fertilidad), en donde fueron inoculadas semillas de maíz con cepas aisladas de bacterias especializadas en la fijación de nitrógeno y solubilización de

fósforo, López et al. (2008), visualizaron diferencias significativas de hasta 30% en cuanto a la altura de planta.

Con la aplicación de diferentes fuentes fosfatadas se verificó una diferencia de 0,28 m entre los promedios obtenidos para la altura de plantas, donde el SFS fue el tratamiento con mayor promedio y el testigo a su vez con el menor promedio. En cuanto al SFT, TFM y roca molida presentaron medias estadísticamente similares a los demás tratamientos.

Estos resultados coinciden con los de Colman y Ortiz (2012), quienes al aplicar un par de fuentes de fósforo encontraron diferencias significativas entre las medias de la altura de plantas, constatando aumentos de hasta 38 cm en relación al control. Sin embargo, difieren a lo observado por Alvarado (2002), quien no encontró significancia estadística entre los promedios de la altura de plantas con la aplicación de algunas fuentes de fósforo en el cultivo de maíz.

4.2 Altura de inserción de mazorca

Los resultados promedios de la altura de inserción de la mazorca no presentaron diferencia significativa para el uso de promotores de crecimiento, sin embargo, si existió significancia estadística con la aplicación de fuentes fosfatadas. De la misma manera se observa que hubo interacción significativa entre las fuentes de fósforo y el PGPR.

Cuadro 1. Medias de interacción de la altura de inserción de la mazorca (m) 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, 2017.

Factor 1 x Factor 2 (A x B)					
PGPR (A)	Fuentes de fósforo (B)				
	Testigo(B1)	SFT(B2)	SFS(B3)	TFM(B4)	RM(B5)
SIN(A1)	0,79 aB	0,87 aAB	1,02 aA	0,87 aAB	0,74 bB
CON (A2)	0,73 aA	0,84 aA	0,85 bA	0,85 aA	0,90 aA

DMS para columnas: 0,1392 (**letra minúscula**) DMS para filas: 0,1980 (**letra mayúscula**)

El SFS sin la aplicación de PGR expresó el mayor valor (1,02 m) en cuanto a la altura de inserción de la mazorca, siendo estadísticamente diferente al testigo (0,79 m) y a la RM (0,74 m) pero semejante al SFT y TFM, que arrojaron valores de 0,87 m respectivamente (Cuadro 1).

Sin embargo, con la aplicación del promotor de crecimiento vegetal combinado con las fuentes fosfatadas, no se observa diferencias significativas en las medias de altura de inserción de la mazorca.

En referencia a la aplicación de fuentes fosfatadas sin y con PGPR, no existe diferencia estadísticamente significativa para los tratamientos SFT, TFM y testigo. Sin embargo, se observa que el SFS con la aplicación del PGPR, presentó una disminución de 0,17 m en la altura de inserción de la mazorca en relación al no inoculado. Caso contrario se verificó con la RM, en donde con la aplicación del promotor de crecimiento vegetal la altura de inserción de la mazorca aumentó en 0,16 m.

Estos resultados podrían deberse a que *Pseudomonas fluorescens*, uno de los componentes del inoculante utilizado, según García y Guerrero (2000), posee alta capacidad de solubilizar fosfatos a través de dos vías, la producción de ácidos orgánicos y a través de las fosfatasa, que son enzimas que liberan grupos fosfatos de la materia orgánica a la solución del suelo, lo que favoreció a disponibilizar mayor

cantidad de fósforo proveniente de la roca molida al suelo para luego ser aprovechado por la planta.

4.3 Número de hojas y diámetro del tallo

Para las variables número de hojas y diámetro del tallo, se constató la ausencia de respuesta con el uso de promotores de crecimiento, sin embargo, para la variable número de hojas, con la aplicación de fuentes de fósforo existió diferencia estadística entre los promedios, no así para el diámetro del tallo, en donde con la aplicación de fuentes fosfatadas no existió respuesta estadística (Tabla 3). No hubo interacción entre los factores, tanto para número de hojas como para diámetro del tallo.

Tabla 3. Promedio de número de hojas y diámetro del tallo 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, 2017.

Factor	Tratamientos	Número de hojas (hojas planta ⁻¹)	Diámetro del tallo (cm)
PGPR	Sin	10,26 a	2,04 a
	Con	10,03 a	1,99 a
FUENTES	Control	9,70 b	1,93 a
	SFT	9,98 ab	1,98 a
	SFS	10,78 a	2,21 a
	TFM	10,17 ab	2,03 a
	RM	10,08 ab	1,93 a
CV (%)		6,40	10,75
DMS PGPR		0,42	2,93
DMS FUENTES		0,95	6,70

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

El tallo es un órgano muy importante para las plantas ya que realiza funciones de sostén, conducción, reserva y asimilación. Su ocupación principal radica en constituir la vía de circulación de agua y nutrientes entre las raíces y las hojas de las plantas, por lo tanto, al tener un mayor diámetro o grosor del tallo, aumentaría la circulación de agua y el aprovechamiento de los nutrientes, lo que

favorecería a obtener un incremento en la productividad y producción de materia seca de los cultivos.

En un experimento sobre inoculación de semillas de maíz con algunas bacterias diazótroficas, realizado por Moreno y Galvis (2013), constataron que las mismas aumentan considerablemente el diámetro del tallo.

En cambio, Basi (2013) inoculando con *Azospirillum brasilense* en el cultivo de maíz, no verificó diferencias estadísticamente significativas en lo que compete al diámetro del tallo.

Por otro lado, Robles y Barea (2004), a través de un experimento realizado con la aplicación de diferentes bacterias en el cultivo de maíz, no registraron diferencias significativas entre las medias del número de hojas.

En cuanto al factor fuentes de fósforo, para el número de hojas, con una DMS de 0,95, se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, siendo el SFS el que arrojó la media más alta con 10,78 hojas planta⁻¹, y el tratamiento control la más baja con 9,70 hojas planta⁻¹. En cuanto al SFT, TFM y RM, presentaron medias semejantes entre los tratamientos. El número promedio de hojas por planta en el cultivo de maíz chipá es de 15,6 (Salhuana y Machado 1999), mientras que los resultados obtenidos en el presente trabajo se encuentran por debajo del promedio normal para este cultivo.

Estos resultados concuerdan con los de Salvador (2016), que al aplicar diferentes fuentes de fósforo en maíz chipá verificó significancia estadística entre las medias del número de hojas, obteniendo el mayor valor (14,8 hojas planta⁻¹) con la aplicación de SFS.

Sin embargo, Basantes (2012), al trabajar con algunas fuentes de fósforo aplicados en diferentes niveles en el cultivo de maíz, no observó diferencia

estadística entre los promedios del número de hojas, siendo 13 hojas planta⁻¹ el mayor valor alcanzado en cuanto a esta variable.

En lo concerniente al diámetro del tallo, con una DMS de 6,70 cm para el factor fuentes de fósforo, se comprueba que no hubo diferencias estadísticas significativas entre los promedios obtenidos. Este resultado difiere a lo conseguido por Alvarado (2002), que aplicando algunas fuentes de fósforo en el cultivo de maíz, encontró diferencias de hasta 2,91 cm en el diámetro del tallo.

4.4 Diámetro y longitud de mazorca, hileras de granos y granos por hilera de mazorca

Los resultados promedios de diámetro de mazorca, longitud de mazorca, hileras de granos por mazorca y granos por hilera de mazorca, no presentaron diferencia significativa para el uso de promotores de crecimiento y fuentes fosfatadas. Tampoco hubo interacción significativa entre las fuentes de fósforo y el PGPR para estas cuatro variables citadas anteriormente.

Tabla 4. Promedio de diámetro de mazorca (DM), longitud de mazorca (LM), hileras de granos por mazorca (HGM) y granos por hilera de mazorca (GHM) 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, 2017.

Factor	Tratamientos	DM (cm)	LM (cm)	HGM (hilera.maz ⁻¹)	GHM (granos.hilera ⁻¹)
PGPR	Sin	3,80 a	17,33 a	12 a	31 a
	Con	3,83 a	17,99 a	12 a	32 a
FUENTES	Control	3,89 a	16,95 a	12 a	31 a
	SFT	3,81 a	17,57 a	13 a	33 a
	SFS	3,83 a	16,90 a	13 a	32 a
	TFM	3,79 a	17,86 a	12 a	29 a
	RM	3,75 a	19,01 a	12 a	32 a
CV (%)		7,27	14,28	5,24	11,07
DMS PGPR		0,18	1,63	0,41	2,25
DMS FUENTES		0,40	3,68	0,93	5,07

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

Melo (2014), realizó un ensayo en donde inoculó semillas de maíz con *A. brasilense* y tampoco verificó significancia estadística para las variables diámetro de mazorca e hileras de granos por mazorca.

Por su parte, Enciso (2017), con la aplicación de *A. brasilense* en cultivo de maíz chipá tampoco observó diferencias estadísticamente significativas entre los promedios del diámetro de mazorca y longitud de mazorca, sin embargo, en el número de hileras de granos por mazorca, constató un aumento de 0,4 hileras con la aplicación del inoculante.

Por otro lado, Oliveira et al. (2012), emplearon inoculante a base de *P. fluorescens* y fertilización mineral a través diferentes dosis de NPK, de manera a analizar el desempeño agronómico del cultivo de maíz, y en cuanto a las variables LM y GHM no visualizaron diferencias estadísticamente significativas en lo que concierne a la inoculación bacteriana, sin embargo, con la combinación de ambos factores, si existió interacción estadística con valores de F de 3,64 cm y 3,99 respectivamente.

En relación a la aplicación de fuentes de fósforo, no se verifica diferencia significativa entre las medias obtenidas para las variables DM, LM, HGM y GHM.

Duarte (2016), utilizando la misma variedad de maíz tampoco observó diferencias significativas en cuanto al diámetro y longitud de mazorca, lo que indica que estas variables dependen más bien de las características genotípicas del maíz.

Valdez y Gray (2014) al aplicar un par de fuentes de fósforo en el cultivo de maíz no encontraron influencia significativa sobre la longitud de la mazorca. De la misma manera, Britos y Emategui (2015) aplicando varias fuentes de fósforo en el cultivo de maíz, tampoco lograron verificar significancia estadística para la longitud de la mazorca.

En el mismo local del experimento González (2016) encontró un nivel inicial de fósforo de 9 mg kg^{-1} y según Britos et al. (2012) el nivel crítico de este elemento en suelos de textura arenosa es de 12 mg kg^{-1} , pudiendo ser otro de los motivos por lo que no hubo respuesta a la fertilización fosfatada.

En base a lo mencionado anteriormente, Parra et al. (2011), indican que la deficiencia del fósforo en la etapa inicial del cultivo, afecta de forma negativa al desarrollo de la planta de maíz.

La baja disponibilidad de este elemento (P) en el suelo de la parcela experimental, pudo haber disminuido de cierto modo la acción de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal, que ante la insuficiencia no pudieron efectuar una elevada solubilización de fosfatos, teniendo como consecuencia su indisponibilidad para las plantas.

La falta de respuesta a la inoculación bacteriana también podría atribuirse al bajo contenido de materia orgánica en el suelo (0,9%) y un pH (5,08) considerado como ácido. Según Perotti et al. (2005) y Ramos y Zúñiga (2008) la supervivencia de los microorganismos esta favorecida por altos contenidos de materia orgánica en el suelo y un pH cercano a la neutralidad.

4.5 Peso de 1.000 semillas y rendimiento

Con el análisis de varianza aplicado a los resultados promedios obtenidos de masa de 1000 granos y rendimiento, se comprobó que no existe respuesta estadística para el uso de promotores de crecimiento y fuentes fosfatadas.

Tabla 5. Promedios de peso de 1.000 semillas y rendimiento por efecto de la aplicación de promotores de crecimiento (PGPR) y de fuentes de fósforo, Súper fosfato triple (SFT), Súper fosfato simples (SFS) Fosfato termomagnésico (TFM) y Roca molida (RM). Ybyrarobaná, Canindeyú, 2017.

Factor	Tratamientos	Peso de 1.000 semillas (g)	Rendimiento (Kg ha ⁻¹)
PGPR	Sin	276,00 a	4816 a
	Con	275,66 a	4815 a
FUENTES	Control	272,91 a	5132 a
	SFT	277,08 a	4876 a
	SFS	276,25 a	4238 a
	TFM	278,75 a	5061 a
	RM	274,16 a	4773 a
CV (%)		5,55	28
DMS PGPR		9,93	864
DMS FUENTES		22,37	1945

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

Melo (2014), con la aplicación de inoculante a base de *A. brasilense* en cultivo de maíz, constató diferencias significativas en cuanto al peso de mil semillas, siendo 316,7 g el mayor promedio conseguido. Sin embargo, Enciso (2017), al inocular semillas de maíz de la misma variedad utilizada en el presente experimento, con *A. brasilense*, no observó discrepancia estadística para el peso de 1000 semillas, por otro lado, para el rendimiento en granos del maíz, si identificó significancia estadística entre las medias, con una diferencia de 367 kg ha⁻¹ para el tratamiento en el cual fue utilizado el inoculante.

Faggioli et al. (2008) realizaron un trabajo de inoculación con cepas de *P. fluorescens* y *A. brasilense* en el cultivo de maíz, y visualizaron diferencias significativas entre los promedios evaluados para el rendimiento de granos, llegando a tener un aumento de 7 a 8 % en comparación al testigo (sin bacteria).

En cuanto al factor fuentes de fósforo, con una DMS de 22,37 y 1945,46 respectivamente, no se verificó diferencias estadísticamente significativas para las variables peso de 1000 semillas y rendimiento.

Este resultado difiere a lo observado por Alvarado (2002), quien realizó un ensayo en donde aplicó fertilizante fosfatado en el cultivo de maíz, y verificó diferencia significativa entre las medias del rendimiento, donde el mayor valor fue de 6.545 kg ha⁻¹ y el menor 5.688 kg ha⁻¹.

González (2016), al aplicar dosis de nitrógeno con enmiendas orgánica e inorgánica en la misma variedad de maíz, no observó diferencia significativa entre los promedios del rendimiento de granos, siendo 4.155 kg ha⁻¹ el mayor valor conseguido con la dosis de 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno y 4.521 kg ha⁻¹ con el estiércol bovino.

Por su parte, Salvador (2016), empleando diferentes fuentes de fósforo en maíz chipá, no constató significancia estadística entre las medias de peso de 1000 semillas, sin embargo, en el rendimiento del cultivo observó diferencia significativa entre los promedios evaluados, en donde el tratamiento con SFT obtuvo el mayor valor (3.870 kg ha⁻¹) y con el tratamiento control el menor (2.367 kg ha⁻¹).

De la misma manera, Duarte (2016), al utilizar diferentes dosis de fósforo en el cultivo de maíz chipá no observó significancia estadística entre los promedios del peso de mil semillas y el rendimiento. Cabe resaltar que con la dosis de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a base de SFT, obtuvo el pico más alto con 4.754 kg ha⁻¹ en cuanto a producción de granos.

Hanisch et al. (2011), aplicaron diferentes dosis de polvo de roca (0, 2, 4, 8 y 12 Mg ha⁻¹) en el cultivo de maíz, en suelos manejados normalmente con siembra directa y corroboraron la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias del rendimiento de granos, con un aumento de hasta 831 kg ha⁻¹ en relación a las sub parcelas en donde no fue aplicado el fertilizante natural.

Pese a que no existió significancia estadística en el peso de 1000 semillas para los dos factores estudiados, es importante destacar que los valores promedios obtenidos están por encima de la media registrada para la variedad de maíz utilizada

en el presente experimento, que según el Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria – IPTA (2015) se encuentra entre 250 a 255 g normalmente.

Se estima que la falta de respuesta estadísticamente significativa en ambas variables para la aplicación de fuentes fosfatadas podría ser a consecuencia de que el suelo en donde se realizó el experimento presenta una amplia heterogeneidad, es decir, se encuentra altamente deteriorado, lo que afecta negativamente a las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, siendo no suficiente para su recuperación la simple aplicación de fertilizantes por periodos de uno o dos años, teniendo como consecuencia una baja respuesta de los nutrientes aplicados. Según Corrêa et al. (2004), la eficiencia de aprovechamiento y la residualidad del fósforo suministrado vía fertilización, están condicionadas por las fuentes de fósforo, las propiedades del suelo, el modo de aplicación y la especie vegetal utilizada

Otro factor que pudo afectar el rendimiento del maíz fue el bajo nivel de materia orgánica del suelo (0,9%), situación que pudo haber influido en la no respuesta a la fertilización fosfatada. En ese sentido, Silva (2004) menciona que los suelos con bajo contenido de materia orgánica poseen escaso contenido coloidal y de arcilla, debido a que disminuyen el poder de adherencia de los nutrientes al suelo. Cuando la materia orgánica se pierde, los suelos tienden a endurecerse, compactarse y formar terrones, lo que afecta directa o indirectamente a la disponibilidad de nutrientes durante el crecimiento vegetativo.

4.6 Materia seca aérea e índice de cosecha

En la Tabla 6 se exponen los valores promedios obtenidos para las variables masa seca aérea e índice de cosecha. No se verificó respuesta significativa para el uso de los promotores de crecimiento, sin embargo, se aprecia diferencia estadística entre los promedios obtenidos con la aplicación de fuentes fosfatadas.

Tabla 6. Promedios de masa seca aérea e índice de cosecha por efecto de la aplicación de promotores de crecimiento (PGPR) y de fuentes de fósforo, Súper fosfato triple (SFT), Súper fosfato simples (SFS) Fosfato termomagnésico (TFM) y Roca molida (RM). Ybyrarobaná, Canindeyú, 2017.

Factor	Tratamientos	Masa seca aérea (kg ha ⁻¹)	Índice de cosecha (%)
PGPR	Sin	9989,95 a	51,09 a
	Con	10162,25 a	50,53 a
FUENTES	Control	8245,00 b	64,08 a
	SFT	12098,75 a	40,75 ab
	SFS	11511,38 a	37,13 b
	TFM	9920,87 ab	52,37 ab
	RM	8604,50 b	59,72 ab
CV (%)		14,93	34,87
DMS PGPR		971,86	11,50
DMS FUENTES		2185,35	25,91

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

En la tabla de medias se puede percibir que para el uso de los PGPR no existió diferencia significativa en cuanto a la masa seca aérea, con una diferencia mínima de 172,3 kg ha⁻¹.

Este resultado difiere a lo encontrado por Santillana (2006), quien al inocular semillas de maíz con *Pseudomonas* sp. encontró diferencia significativa entre las medias de la masa seca aérea, con un aumento de más de 40% en relación al testigo (no inoculado).

A su vez, Chaves et al. (2013) al inocular semillas de maíz con *P. fluorescens*, tampoco encontraron significancia estadística en la producción de masa seca aérea total con la utilización de cepas de la mencionada bacteria.

La falta de respuesta a los promotores de crecimiento vegetal podría atribuirse a las condiciones ambientales durante el periodo de ejecución del experimento, como también a las características genéticas de la variedad de maíz utilizada, que según Hungria (2011) son factores que repercuten de sobremanera en la eficacia del inoculante.

En referencia al factor fuentes de fósforo, se observa diferencia significativa entre los promedios de la masa seca aérea, siendo el SFT el que presentó mayor valor ($12.099 \text{ kg ha}^{-1}$) y el tratamiento control el menor (8.245 kg ha^{-1}), habiendo una diferencia de 3854 kg ha^{-1} entre los mismos. Por otro lado, el TFM presentó semejanza estadística con los demás tratamientos, sin embargo, la RM manifestó resultado numérico similar al testigo.

Peroni (2005), trabajó con diferentes niveles de fósforo en el cultivo de maíz, encontrando diferencias estadísticamente significativas en la masa seca aérea en evaluaciones realizadas a los 45 días posteriores a la siembra.

En relación al índice de cosecha se observa que no existió significancia estadística para el uso los promotores de crecimiento vegetal, sin embargo, para las fuentes de fósforo, con una DMS de 25,91; se percibe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la variable mencionada, siendo el tratamiento control el que arrojó mayor valor (64,08 %) y el SFS el menor (37,13 %). En cambio, el SFT, TFM y RM presentaron resultados estadísticamente semejantes a los demás tratamientos. El resultado obtenido difiere a lo encontrado por Salvador (2016), quien al aplicar algunas fuentes de fósforo en maíz chipá no encontró significancia estadística entre las medias del índice de cosecha.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El uso de los promotores de crecimiento vegetal no presenta efecto significativo en las variables evaluadas, las fuentes de fósforo utilizadas influyen en la altura de planta, número de hojas, masa seca aérea e índice de cosecha.

El diámetro de tallo, el diámetro de mazorca, la longitud de mazorca, las hileras de granos por mazorca, los granos por hilera de mazorca, peso de mil semillas, y el rendimiento, se comportan indiferentes ante las distintas fuentes de fósforo.

Existe interacción entre las fuentes de fósforo y los promotores de crecimiento vegetal en la altura de inserción de la mazorca, siendo la RM con la aplicación de los PGPR la única que presenta respuesta efectiva.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar más investigaciones referentes a las fuentes de fósforo y los promotores de crecimiento vegetal, de manera a detectar posibles respuestas en condiciones edafoclimáticas diferentes.

De igual manera, es importante mencionar que una correcta elección de la forma de presentar los resultados referentes a los promotores de crecimiento vegetal es de gran importancia en la investigación, debido a que su efecto puede ser disfrazado con mayor facilidad cuando es analizado en conjunto con otros factores.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Actualitix. 2016. Paraguay: producción de cereales (toneladas) (en línea). Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <https://es.actualitix.com/pais/ pry/paraguay-produccion-de-cereales.php>
- Alvarado Gómez, LC. 2002. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas. Tesis de Maestría. Nuevo León, MX, Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. 78 p.
- Araújo, É; Mercante, F; Vitorino, A; Nunes, D; Paim, L; Mendes, D. 2013. Estado nutricional do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae*. In Seminario Nacional de Milho Safrinha (XII, 2013, Dourados MS.). Dourados, Br. p. 1-6.
- Barrios, M; Sandoval, E; Camacaro, O; Borges, J. 2010. Importancia del fósforo en el complejo suelo-animal. Mundo Pecuario 6(2): 151-156.
- Basantés Morales, ER. 2012. Efecto de la aplicación de dos niveles nitrógeno y dos niveles de fósforo en el rendimiento del cultivo de maíz var. Chillos, en un suelo franco-arcillo limoso, sector de Sangolquí. Tesis de Maestría. Sangolquí, EC, Escuela Politécnica del Ejército. 68 p.
- Basi, S. 2013. Associação de *Azospirillum brasilense* e de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Tesis Ing. Agr. Guarapuava, BR, Pós-Grado en Agronomia Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO Campus CEDETEG. 19 p.
- Bogado, GA; Enciso, CR; Duarte, OJ. 2014. Polvo de roca: una alternativa para la fertilización del tomate. In I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo; IV Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. San Lorenzo, PY. p. 327 – 329.
- Britos, CA; Causarano, HJ; Rasche, JW; Barreto, UF; Mendoza, F. 2012. Fertilización fosfatada de los principales cultivos bajo siembra directa mecanizada en la región oriental del Paraguay (en línea). Investigación Agraria 14(2):87-92. Consultado 01 may. 2017. Disponible en <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/download/256/237>
- Britos, EM; Emategui Enciso, VE. 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, FCA-UNA. p. 134–137.
- Bruulsema, T; Fixen, P; Sulewski, G. 2013. 4R de la nutrición de plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. Estados Unidos, IPNI. 145 p.
- Carrera, A. 2012. Caracterización bioquímica, molecular y funcional del banco de cepas de *Azospirillum* spp del INIAP aisladas de la rizósfera del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) de la sierra ecuatoriana. Ecuador, Sangolquí, ESPE. 162 p.
- Cassán, F; Perrig, D; Sgroy, V; Masciarelli, O; Penna, C; Luna, V. 2009. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). *European Journal of Soil Biology* 45(1): 28-35.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1990. Guía para el manejo integrado de plagas de maíz. Informe Técnico 152:95.
- Chaves, D; Zucareli, C; Oliveira, A. 2013. Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina* 34(1): 57-72.
- Colmán Ribelatto, PJ; Ortiz Acosta, O. 2012. Inoculación con *Pseudomonas fluorescens* y aplicación de diferentes dosis de fertilizante fosfatado en maíz (*Zea mays*). In III Congreso Paraguayo de Ciencias del Suelo. San Lorenzo, PY, FCA-UNA. p. 530-531.
- Conte, E; Anghinoni, I; Rheinheimer dos Santos, D. 2003. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 27:893-900.
- Corrêa, JC; Mauad, M; Rosolem, CA. 2004. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciada pela abundância fosfatada e cobertura vegetal. *Pesq Agropec Bras, Brasília* 39(12):1231-1237.
- Cubilla, MM; Amado, CTJ; Wendling, A; Foletto Eltz, FL; Mielniczuk, J. 2007. Calibração visando à fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai (en línea). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (31):1463-1474. Consultado 02 may. 2017. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000600023&script=sci_arttext&tlng=e!n
- Domínguez, A. 1997. Tratado de fertilización. 3 ed. Madrid, ES, Mundi-Prensa. 613 p.
- Dos Santos, L; Aquino, L; Marques, P; Oliveira, F. 2013. Doses de nitrogênio na cultura do milho para altas produtividades de grãos (en línea). *Revista Brasileira*

- de Milho e Sorgo 12(3):270-279. Consultado 24 oct. 2017. Disponible en <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p270-279>
- Duarte, A. 2016. Fertilización fosfatada con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipá (*zea mays* var. Amiláceo L.). Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY. Carrera de Ingeniería Agronómica FCA-UNA. 78 p.
- Enciso, CR; Duarte, O; Bogado, GA; Santacruz, VR. 2016. Dosis de polvo roca y sus efectos sobre el rendimiento del tomate. Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável 11(1):37-42.
- Enciso, D. 2017. Azospirillum brasiliense y dosis de nitrógeno en maíz chipá en el departamento de Canindeyú. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, Paraguay, Universidad Nacional de Asunción. 72 p.
- Faggioli, VS; Cazorla, CR; Vigna, A; Berti, MF. 2008. Fertilizantes biológicos en maíz: ensayo de inoculación con cepas de *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens*. Argentina, INTA Estación Experimental Agropecuaria Marcos Suárez. 4 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000. El maíz blanco: un grano alimentario tradicional en los países en desarrollo. Consultado 25 abr. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-w2698s.pdf>
- Fatecha, D. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingeniería Agronómica FCA-UNA. 82 p.
- Fatecha, D; Rasche, J; Macchi, J; Román, S; Racchi, R; Alves, A. 2017. Atributos químicos do solo e produtividade de soja e trigo com aplicação de doses de pó de rocha em argissolo vermelho distrófico. Journal of Agronomic Sciences Umuarama 6(1): 96-107.
- Ferraris, G; Couretot, L. 2007. Inoculación con promotores de crecimiento y uso de diferentes dosis de fertilizante fosforado en maíz en ambientes con baja disponibilidad de fósforo en el suelo (en línea). Área de Desarrollo Rural, INTA, PERGAMINO. Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <http://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/inoculacion-con-promotores-de-crecimiento-y-uso-de-diferentes-dosis-de-fertilizantes-fosforados-en-maiz---2006>
- Ferreira, H. 2002. Portal guaraní: clima del Departamento de Canindeyú (en línea). Consultado 26 mar. 2017. Disponible en http://www.portalguarani.com/detalles_museos_otras_obras.php?id=27&id_obras=988&id_otras=127
- Ferrera, R; Alarcón, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible (en línea). Toluca, Mx. Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/104/10402108.pdf>

- García, E; Guerrero, I. 2000. Pseudomonas en Biotecnología (en línea). Consultado 24 abr. 2017. Disponible en www.smbb.com.mx/revista/Revista_2004_1/Pseudomonas.pdf
- González, E. 2016. Dosis de nitrógeno con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipa (*Zea mays* var. amiláceo L.). Tesis. Ing. Agr. San Lorenzo, PY, Dpto. de Suelos y Ordenamiento Territorial, CIA, FCA, UNA. 25 p.
- González, J; Ruiz Díaz, R. 2013. Producción de maíz (*Zea mays* L.) en función a la fertilización fosfatada, complementado con fertilizante foliar. Investigación Agraria 6(1):31-34.
- Gros, A; Domínguez, A. 1992 Abonos: guía práctica de la fertilización. 8 ed. Madrid, ES, Mundi-Prensa. 450 p.
- Hanisch, AL; Fonseca, JA; Vogt, GA; Balbinot Junior, AA; Spagnollo, E. 2011. Desempenho da cultura do milho em diferentes doses de pó de basalto, com e sem fertilização (en línea). Consultado 21 oct. 2017. Disponible en <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/911648/desempenh-oda-cultura-do-milho-em-diferentes-doses-de-po-de-basalto-com-e-sem-fertilizacao>
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P. 2010. Metodología de la investigación. 5 ed. PE, El Comercio. 613 p.
- Hipp, A. 2004. El maíz, por dentro y por fuera. New York, BUENAS LETRAS. p. 1-6.
- Hungria, M. 2011. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo (en línea). Londrina, PR, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Consultado 23 oct. 2017. Disponible en <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29560/1/DOC325.2011.pdf>
- IDEAGRO (Investigación y Desarrollo Agroalimentario). 2015. La importancia de las bacterias solubilizadoras de fósforo en agricultura (en línea). Consultado 23 abr. 2017. Disponible en <http://www.ideagro.es/index.php/noticias/82-el-papel-de-la-solubilizacion-de-fosforo-en-los-biofertilizantes>
- IPTA (Instituto Paraguayo de Tecnología Agrícola, PY). 2015. Programa de investigación de maíz, sorgo y girasol. Capitán Miranda, PY, IPTA-IMBIO. 2 p.
- Jorgge, MV. 2012. Clasificación del nivel de fósforo disponible del suelo de la Región Oriental del Paraguay. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingeniería Agronómica, FCA-UNA. 52 p.

- Loredo, C; López, L; Espinosa, D. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. *Terra Latinoamericana* 22(2):225-239.
- López, M; Martínez, R; Brossard, M; Bolívar, A; Afonso, N; Alba, A; Pereira, H. 2008. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos (en línea). *Agronomía Trop* 58(4):391-401. Consultado 20 oct. 2017. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5219306>
- López, O; González, E; De Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Ríos, E. 1995. Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental del Paraguay. Asunción, PY, MAG, Banco Mundial; Gobierno del Japón; Servicio Geodésico Interamericano. Escala 1:500.000. Color. (Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra).
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY). 2007. Datos preliminares del Programa Nacional del Maíz. San Lorenzo, PY. 108 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY). 2008. Censo de cultivos temporales: maíz chipa y pichinga (en línea). Consultado 25 mar. 2017. Disponible en <http://www.mag.gov.py/Censo/VOL%20III/CUADRO%2074.%20%20Maiz%20chipa%20y%20pichinga.pdf>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY); DEAg (Dirección de Extensión Agraria, PY). 2010. Guía técnica de rubros agropecuarios (en línea). San Lorenzo, PY. Consultado 25 mar. 2017. Disponible en <http://www.mag.gov.py/guia%20tecnica.pdf>
- Melgar, RJ; Díaz Zorita, M. 2008. La fertilización de cultivos y pasturas. 2 ed. Buenos Aires, AR, Hemisferio Sur. 588 p.
- Melo, FH. 2014. Adubação nitrogenada e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. Tesis. Ing. Agr. Curitiba, BR, Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Curitiba. 23 p.
- Moreno, LY; Galvis, F. 2013. Potencial biofertilizante diazótrofes aisladas de muestras de suelo rizosférico. *Pastos y Forrajes* 36(1):33-37.
- Moriya, K. 2006. Consideraciones sobre fertilidad de suelos: programa nacional de manejo y conservación de suelo (en línea). Consultado 07 may. 2017. Disponible en http://www.mag.gov.py/index.php/noticias/sistema-de-produccion-conservacionista-en-pequenas-propiedades?ccm_paging_p=7
- Munera, GA; Meza, DC. 2014. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal (en línea). UTP. Consultado 18 abr. 2017. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/5248/1/e1%20fosforo%20elemento.pdf>

- Oliveira, MA; Zucareli, C; Spolaor, LT; Domingues, AR; Ferreira, AS. 2012. Desempenho agrônomico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobacterias (en línea). Rev Bras de Eng Agr e Amb 16(10):1040-1046. Disponible en <http://www.agriambi.com.br/revista/v16n10/v16n10a02.pdf>
- Paredes, MC. 2013. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas (en línea). Trabajo Final Ingeniería en Producción Agropecuaria. Buenos Aires, AR, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Católica Argentina. Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Parra, JC; Ramirez, R; Lobo, D; Subero, N; Sequera, O. 2011. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) en la etapa temprana a las formas de aplicación de fósforo (en línea). Fac Agron (UCV) 37(2):86-92. Consultado 20 oct. 2017. Disponible en [http://www.researchgate.net/profile/Deyanira_Lobo2/publication/259622715_Respuesta_del_maz_\(Zea_mays_L.\)en_la_etapa_temprana_a_las_formas_de_aplicacin_de_fsforo/links/00b7d52cef2dabe0ad000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Deyanira_Lobo2/publication/259622715_Respuesta_del_maz_(Zea_mays_L.)en_la_etapa_temprana_a_las_formas_de_aplicacin_de_fsforo/links/00b7d52cef2dabe0ad000000.pdf)
- Peroni, RS. 2005. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el tenor de fósforo de cinco suelos del Paraguay y el crecimiento del maíz – *Zea mays* L. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingeniería Agronómica FCA-UNA. 55 p.
- Peroni, RS; Rasche, J. 2007. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el tenor de fósforo de cinco suelos del Paraguay y el crecimiento del maíz – (*Zea mays* L). Investigación Agraria 9(2):46-50.
- Perotti, EBR; Menéndez, LT; Gaia, OE; Pidello, A. 2005. Supervivencia de *Pseudomonas fluorescens* en suelos con diferente contenido de materia orgánica. Rev Argen Microbiol 37(2):102-105.
- Prado, RM; Fernandes, FM; Roque, CG. 2001. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. R Bras Ci Solo 25(1):83-90.
- Prévost, D; Saddiki, S; Antoun, H. 2000. Growth and mineral nutrition of corn inoculated with effective strains of *Bradyrhizobium japonicum*. In Proceedings of the 5th International PGPR workshop. 7 p.
- Ramos, E; Zúñiga, D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio (en línea). Ecol Apl 7(1,2):123-130. Consultado 20 nov. 2017. Disponible en <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a15v7n1-2.pdf>
- Reyes, I; Álvarez, L; El-Ayoubi, H; Valery, A. 2008. Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. Bioagro 20(1):37-48.

- Robinson, J. 2010. Deficiencias de fosforo (en línea). Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <http://www.hortalizas.com/miscelaneos/deficiencias-de-fosforo/>
- Robles, C; Barea, JM. 2004. Respuesta de la planta y del suelo a inoculación con *Glomus intraradices* y rizobacterias en maíz en cultivo intensivo Terra Latinoamericana 22(1): 59-69.
- Rojas, C. 2015. Interpretación de la disponibilidad de fósforo en los suelos de Chile (en línea). Consultado 18 abr. 2017. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf>
- Salhuana, W; Machado, V. 1999. Razas de maíz en Paraguay, consideraciones en la organización y utilización de los recursos genéticos de maíz. San Lorenzo, PY. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación en Agricultura. Programa de Investigación del maíz del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Paraguay. 148 p. Publicación 025.
- Salvador, LS. 2016. Fuentes de fósforo con promotores de crecimiento (PGPR) en cultivo de maíz chipa (*Zea mays* l. var. *amylacea sturtev.*). Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingeniería Agronómica FCA-UNA. 70 p.
- Sangoi, L; Silva, LM; Mota, MR; Panison, F; Schmitt, A; Souza, NM; Giordani, W; Schenatto, DE. 2015. Desempenho agrônômico do milho em razão do tratamento de sementes com *azospirillum* sp. e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. R Bras Ci Solo 39:1141-1150.
- Sangoquiza, C. 2001. Selección de cepas de *Azospirillum* spp como biofertilizante de *Zea mays* L. bajo estrés salino (en línea). Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/959/1/T-UTC-1255.pdf>
- Santillana, N. 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. Ecol Apl 5(1,2):87-91.
- Schlindwein, JA; Gianelo, C. 2008. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. R Bras Ci Solo 32:2037-2049.
- Silva, A. 2004. La materia orgánica en el suelo: funciones de la materia orgánica en el suelo (en línea). Consultado 20 nov. 2017. Disponible en <http://bibliofagro.pbworks.com/f/materia%2Borgánica%2Bdel%2Bsuelo.pdf>
- Silva, PR. 2011. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y el ataque de la broca del tallo (*Diatraea saccharalis*) (Fieb, 1974) Lepidoptera: Crambidae en un alfisol de Escobar Paraguari: año II. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingeniería Agronómica FCA-UNA. 44 p.

- SIMA (Servicio de Información de Mercados Agropecuarios, PY). 2017. Situación de los mercados de productos fruti-hortícolas en el Paraguay (en línea). San Lorenzo, PY. 2 p. Consultado 15 oct. 2017. Disponible en http://www.mag.gov.py/Comercializacion/2017/Octubre/B_13-10-2017.pdf
- Uhart, SA; Echeverría, HE. 1998. El rol del nitrógeno y del fósforo en la producción del maíz. Buenos Aires, AR, Ed Morgan-Mycogen 48 p. Boletín técnico.
- Valdez, A; Gray, M. 2014. Fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en maíz (en línea). *In* III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, PY. p. 295-297. Consultado 15 oct. 2017. Disponible en <http://www.agr.una.py/descargas/tapas/IIICNCA2014.pdf>
- Van Raij, B. 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes: fósforo. Piracicaba, BR, International Plant Nutrition Institute. p. 217-248.
- Wang, T; Martínez, J; López, I. 2000. Rhizobium y su destacada simbiosis con plantas (en línea). Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <http://www.biblioweb.tic.unam.mx/libros/microbios/Cap8/>
- Zapata, F; Roy, RN. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. Roma, FAO. 177 p.

7. ANEXOS

A1. Precipitaciones diarias ocurridas durante el periodo del experimento (16 de setiembre del 2016 hasta el 15 de enero del 2017), medido con un pluviómetro instalado en el área del experimento.

Días	2016				2017
	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
1					
2					
3	20	25		5	
4				15	
5	55				45
6					
7				5	7
8			40	15	
9				40	
10					
11				10	10
12		87			
13		14			
14					
15			19		5
16					
17					
18					
19	34			10	
20					
21					
22					
23				10	
24					
25					
26		20			
27		50	20		
28					
29					
30				55	
31		18			
TOTAL	109	214	79	165	67
MEDIA	36,3	35,6	26,3	18,3	16,7

A2. Temperatura media diaria ocurrida durante el periodo del experimento (16 de setiembre del 2016 hasta el 15 de enero del 2017), medido con un pluviómetro instalado en el área del experimento.

Días	Meses 2016-2017					
	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
1		23,7	28,8	23,6	27,5	
2		24,5	24	25,4	27,4	
3		22,5	23,2	25,8	27,7	
4		20,5	23	25,7	28,8	
5		21,4	24	26,2	27,8	
6		16,3	25,5	25,8	28,7	
7		21,8	26,2	25,1	27,1	
8		23	25,9	23	27,3	
9		23	26	23,6	29,3	
10		23,9	25,2	24	28,6	
11		24,2	25,7	24,4	28	
12		22	25,5	25,4	28,4	
13		20,1	24,7	27	28	
14		27	23,2	25,1	28,7	
15	20,2	20,3	24,3	22,8	29,6	
16	21,2	23,6	23,4	23,8	27,3	
17	23	28	24,6	24,5	25,6	
18	24,3	30	23,7	27,2	25,8	
19	19,4	30,8	23	25,1	28,3	
20	17,5	29,2	24,2	24,8	28	
21	19,6	28,5	21,8	23,4	28	
22	21,8	26,7	24,4	25	28,2	
23	22,8	27	24,6	26		
24	23	27,2	25	27,7		
25	23,2	26	24,5	29		
26	21,2	23	24,7	28,5		
27	23,5	25	25,1	30		
28	24	20,9	22,7	29,7		
29	24	20,5	25,6	28,5		
30	24,7	20,2	23,3	29,2		
31		22,3		29,55		
MEDIA	22,09	23,97	24,53	25,96	27,91	

A3. Análisis de varianza de la variable altura de planta con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Altura Planta	9,51				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	0,01019	1	0,01019	0,02942	0,5914
Factor B (Fuentes)	0,41701	4	0,10425	3,0096	0,0335
Tratamientos	0,52341	9	0,05816	1,6789	0,1382
Factor A*Factor B	0,09621	4	0,02405	0,6943	0,6018
Error	1,03	30	0,03464		
Total	1,56261	39			

A4. Análisis de varianza de la variable altura de inserción de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Altura de inserción de la mazorca	11,35				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	0,00515	1	0,00515	0,5551	0,4619
Factor B (Fuentes)	0,12938	4	0,03234	3,4843	0,0188
Tratamientos	0,24464	9	0,02718	2,9283	0,0128
Factor A*Factor B	0,11012	4	0,02753	2,9656	0,0354
Error	0,27848	30	0,00928		
Total	0,52312	39			

A5. Análisis de varianza de la variable hojas por planta con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Número de hojas por planta	6,40				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	0,55225	1	0.55225	1.3076	0.2627
Factor B (Fuentes)	5.11850	4	1.27963	3.0300	0.0347
Tratamientos	7.20225	9	0.80025	1.8949	0.0962
Factor A*Factor B	1.53150	4	0.38287	0.9066	0.4741
Error	11.40275	27	0.42232		
Total	19.01975	39			

A6. Análisis de varianza de diámetro del tallo con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Diámetro del tallo	10,75				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	0.01620	1	0.01620	0.3437	0.5624
Factor B (Fuentes)	0.42764	4	0.10691	2.2681	0.088
Tratamientos	0.58746	9	0.06527	1.3848	0.2434
Factor A*Factor B	0.14362	4	0.03590	0.7617	0.5593
Error	1.27269	27	0.04714		
Total	2.26007	39			

A7. Análisis de varianza de diámetro de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Diámetro de mazorca	7,27				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	0.01171	1	0.01171	0.1517	0.6998
Factor B (Fuentes)	0.09045	4	0.02261	0.2931	0.8799
Tratamientos	0.44189	9	0.04910	0.6365	0.7561
Factor A*Factor B	0.33973	4	0.08493	1.1010	0.3763
Error	2.08289	27	0.07714		
Total	2.92428	39			

A8. Análisis de varianza de longitud de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Longitud de mazorca	14,28				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	4.45365	1	4.45365	0.6999	0.41
Factor B (Fuentes)	23.67622	4	5.91906	0.9301	0.4612
Tratamientos	40.49348	9	4.49928	0.7070	0.6974
Factor A*Factor B	12.36360	4	3.09090	0.4857	0.7461
Error	171.81770	27	6.36362		
Total	370.76071	39			

A9. Análisis de varianza de hilera de granos por mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Hileras de granos por mazorca	5,24				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	0.02025	1	0.02025	0.0497	0.8251
Factor B (Fuentes)	4.63000	4	1.15750	2.8420	0.0435
Tratamientos	8.70625	9	0.96736	2.3751	0.0397
Factor A*Factor B	4.05600	4	1.01400	2.4896	0.0669
Error	10.99675	27	0.40729		
Total	24.04375	39			

A10. Análisis de varianza de granos por hilera de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Granos por hilera de mazorca	11,07				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	2.75625	1	2.75625	0.2286	0.6363
Factor B (Fuentes)	62.82850	4	15.70712	1.3025	0.2941
Tratamientos	128.57725	9	14.28636	1.1847	0.3437
Factor A*Factor B	62.99250	4	15.74813	1.3059	0.2928
Error	325.59975	27	12.05925		
Total	912.25975	39			

A11. Análisis de varianza de peso de 1000 granos con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Masa de 1000 granos	5,55				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	1.11109	1	1.11109	0.0047	0.9454
Factor B (Fuentes)	172.22244	4	43.05561	0.1839	0.9448
Tratamientos	1344.44639	9	149.38293	0.6380	0.7548
Factor A*Factor B	1171.11286	4	292.77821	1.2504	0.3136
Error	6322.21481	27	234.15610		
Total	19394.4345	39			

A12. Análisis de varianza de rendimiento con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Rendimiento	27,62				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	14.17171	1	14.17171	0.0000	0.9973
Factor B (Fuentes)	3991470.24	4	997867.56	0.5639	0.6909
Tratamientos	20967664.8	9	2329740.54	1.3167	0.2742
Factor A*Factor B	16976180.4	4	4244045.11	2.3985	0.0749
Error	47774738.3	27	1769434.75		
Total	79815476.2	39			

A13. Análisis de varianza de masa seca aérea con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Masa seca aérea	14,93				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	296872.9	1	296872.9	0.1313	0.7195
Factor B (Fuentes)	93550047.3	4	23387511.8	10.3404	<.0001
Tratamientos	97284296.6	9	10809366.2	4.7792	0.0004
Factor A*Factor B	3437376.35	4	859344.08	0.3799	0.8212
Error	67853129,0	30	2261770.96		
Total	165137426	39			

A14. Análisis de varianza de índice de cosecha con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	CV				
Índice de cosecha	34,87				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Factor A (PGPR)	3.14168	1	3.14168	0.0100	0.9209
Factor B (Fuentes)	4371.95706	4	1092.98927	3.4805	0.0203
Tratamientos	6302.93969	9	700.32663	2.2301	0.0518
Factor A*Factor B	1927.84094	4	481.96024	1.5347	0.2203
Error	8478.97076	27	314.03595		
Total	17176.5757	39			

A15. Datos de las mediciones realizadas a las variables para cada unidad experimental.

Factor A	Factor B	Rep.	Altura de planta	Inserción de mazorca	Nº de hojas	Diametro del tallo	DM	LM
SIN PGPR	Control	1	2,03	0,82	9,00	2,12	3,69	15,14
SIN PGPR	Control	2	2,10	0,95	10,60	2,20	3,88	16,40
SIN PGPR	Control	3	1,72	0,68	10,10	1,87	3,69	17,20
SIN PGPR	Control	4	1,90	0,73	10,20	1,98	3,84	16,40
SIN PGPR	SFT	1	1,74	0,72	8,40	31,34	3,09	22,60
SIN PGPR	SFT	2	2,03	0,86	9,70	2,13	4,24	16,70
SIN PGPR	SFT	3	2,03	0,94	11,20	2,29	3,74	15,25
SIN PGPR	SFT	4	2,08	0,96	10,80	2,09	4,08	16,60
SIN PGPR	SFS	1	2,19	0,98	12,20	2,34	3,27	17,20
SIN PGPR	SFS	2	1,93	0,88	10,30	2,24	4,01	16,30
SIN PGPR	SFS	3	2,33	1,16	11,60	2,10	3,59	15,00
SIN PGPR	SFS	4	2,04	1,07	10,70	2,37	4,02	19,70
SIN PGPR	TFM	1	1,92	0,86	9,80	1,82	4,26	21,16
SIN PGPR	TFM	2	2,11	0,88	10,20	2,25	3,65	19,00
SIN PGPR	TFM	3	2,10	0,86	10,10	2,00	3,90	15,10
SIN PGPR	TFM	4	2,01	0,88	10,50	2,18	3,75	15,80
SIN PGPR	RM	1	1,76	0,72	10,50	1,83	3,84	19,25
SIN PGPR	RM	2	2,08	0,86	10,40	1,97	4,03	17,70
SIN PGPR	RM	3	1,69	0,71	9,90	1,67	3,59	17,40
SIN PGPR	RM	4	1,69	0,69	9,10	2,00	3,88	16,70
CON PGPR	Control	1	1,69	0,76	9,50	1,55	4,26	20,90
CON PGPR	Control	2	1,80	0,75	10,00	2,04	4,02	17,10
CON PGPR	Control	3	1,51	0,58	8,80	1,59	3,87	15,90
CON PGPR	Control	4	2,04	0,86	9,40	2,12	3,94	16,60
CON PGPR	SFT	1	2,00	0,89	10,10	2,01	4,11	21,95
CON PGPR	SFT	2	1,99	0,84	9,70	1,78	3,87	17,00
CON PGPR	SFT	3	1,84	0,71	10,20	2,13	3,81	17,20
CON PGPR	SFT	4	1,81	0,92	9,80	2,10	3,58	13,30
CON PGPR	SFS	1	2,65	0,99	10,40	2,18	3,95	17,95
CON PGPR	SFS	2	1,95	0,78	10,60	2,24	3,94	15,50
CON PGPR	SFS	3	1,91	0,75	10,40	2,16	4,13	16,90
CON PGPR	SFS	4	2,04	0,90	10,10	2,07	3,75	16,70
CON PGPR	TFM	1	1,95	0,89	9,90	1,81	3,22	25,50
CON PGPR	TFM	2	2,00	0,89	10,50	2,11	3,98	15,25
CON PGPR	TFM	3	1,82	0,72	9,80	2,05	3,75	16,30
CON PGPR	TFM	4	2,11	0,94	10,60	2,04	3,85	14,80
CON PGPR	RM	1	1,81	0,93	10,30	1,55	3,22	28,80
CON PGPR	RM	2	1,77	0,84	10,00	1,84	4,01	19,30
CON PGPR	RM	3	2,12	0,91	10,70	2,41	3,68	13,20
CON PGPR	RM	4	2,02	0,93	9,80	2,20	3,78	19,80

A16. Datos de las mediciones realizadas a las variables para cada unidad experimental (continuación).

Factor A	Factor B	Rep.	HGM	GHM	Rendimiento	Masa de mil granos	Masa seca aerea	Indice de cosecha
SIN PGPR	Control	1	11,10	17,40	2.457	293,33	8.842	27,8
SIN PGPR	Control	2	12,80	30,10	5.371	280,00	8.900	60,4
SIN PGPR	Control	3	11,80	34,60	5.814	256,67	8.503	68,4
SIN PGPR	Control	4	12,30	33,60	6.286	250,00	8.300	75,7
SIN PGPR	SFT	1	12,50	29,40	3.757	306,67	10.552	35,6
SIN PGPR	SFT	2	13,70	32,50	5.786	303,33	14.090	41,1
SIN PGPR	SFT	3	12,30	33,40	4.848	266,67	13.500	35,9
SIN PGPR	SFT	4	13,60	36,00	6.605	256,67	9.800	67,4
SIN PGPR	SFS	1	10,90	20,60	2.214	313,33	11.152	19,9
SIN PGPR	SFS	2	12,50	32,40	5.243	273,33	10.551	49,7
SIN PGPR	SFS	3	11,80	34,00	2.362	233,33	12.306	19,2
SIN PGPR	SFS	4	13,00	35,00	2.286	256,67	11.523	19,8
SIN PGPR	TFM	1	11,10	21,70	5.714	313,33	8.684	65,8
SIN PGPR	TFM	2	11,90	30,90	3.486	263,33	11.901	29,3
SIN PGPR	TFM	3	12,80	34,60	6.590	250,00	10.501	62,8
SIN PGPR	TFM	4	12,10	36,80	6.376	280,00	8.400	75,9
SIN PGPR	RM	1	10,80	23,80	3.748	296,67	8.750	42,8
SIN PGPR	RM	2	12,50	37,00	6.114	306,67	9.350	65,4
SIN PGPR	RM	3	11,70	34,60	5.757	256,67	7.502	76,7
SIN PGPR	RM	4	13,00	33,80	5.514	263,33	6.692	82,4
CON PGPR	Control	1	12,80	32,70	5.257	300,00	6.502	80,9
CON PGPR	Control	2	11,70	33,80	6.429	283,33	9.300	69,1
CON PGPR	Control	3	11,90	30,20	3.548	263,33	9.205	38,5
CON PGPR	Control	4	11,80	32,70	5.890	256,67	6.408	91,9
CON PGPR	SFT	1	12,70	31,20	6.238	296,67	12.521	49,8
CON PGPR	SFT	2	12,00	32,70	5.210	263,33	14.100	36,9
CON PGPR	SFT	3	12,50	34,70	4.043	276,67	10.965	36,9
CON PGPR	SFT	4	11,50	33,80	2.524	246,67	11.262	22,4
CON PGPR	SFS	1	11,80	30,70	4.571	310,00	13.100	34,9
CON PGPR	SFS	2	13,20	35,00	4.843	260,00	10.504	46,1
CON PGPR	SFS	3	13,60	35,80	6.971	303,33	12.250	56,9
CON PGPR	SFS	4	13,40	32,80	5.414	260,00	10.705	50,6
CON PGPR	TFM	1	11,30	19,10	2.857	296,67	10.524	27,1
CON PGPR	TFM	2	11,40	24,80	4.943	286,67	9.505	52,0
CON PGPR	TFM	3	11,50	33,60	5.771	283,33	9.800	58,9
CON PGPR	TFM	4	11,30	33,30	4.748	256,67	10.052	47,2
CON PGPR	RM	1	11,40	29,60	2.662	303,33	8.700	30,6
CON PGPR	RM	2	13,20	34,10	5.552	256,67	8.802	63,1
CON PGPR	RM	3	12,40	28,30	2.857	246,67	12.702	22,5
CON PGPR	RM	4	11,90	33,80	5.976	263,33	6.338	94,3