

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

**LUIS SAMUEL SALVADOR MULLER**

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

2016

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

**LUIS SAMUEL SALVADOR MULLER**

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

2016

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

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

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: Luis Samuel Salvador Muller \_\_\_\_\_  
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 FCA/UNA \_\_\_\_\_  
Prof. Ing. Agr. (M. Sc.) María del Pilar Galeano S. FCA/UNA \_\_\_\_\_  
Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas FCA/UNA \_\_\_\_\_

San Lorenzo, 6 de diciembre de 2016

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre Erica Salvador Muller y padrastro Silvino González, por el apoyo incondicional que me brindaron en todo momento.

A mi orientador Prof. Ing. Agr. Dr. Jimmy Rasche Álvarez y a mi coorientadora Prof. Ing. Agr. M. Sc. María del Pilar Galeano, por la paciencia, enseñanzas y apoyo incondicional brindado.

Al Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas, a la Prof. Ing. Agr. Mg. Alba Liz González y a la Prof. Ing. Agr. M. Sc. Guillermina Macchi, por las sugerencias y ayuda brindadas.

Al Sr. Alejandro Duarte y a su esposa la Sra. Luisa Monzón por recibirme en su casa y buenos momentos pasados durante la etapa de trabajo.

A mis compañeros y amigos de trabajo Eugenio González Cáceres, Alder Duarte Monzón y Derlis Enciso Santacruz, por la cooperación durante la investigación.

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 y comprensión durante mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo durante la elaboración de la tesis.

A mis amigos y compañeros por todo apoyo que me brindaron y a todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron para la realización de mis estudios.

# FUENTES DE FÓSFORO CON PROMOTORES DE CRECIMIENTO (PGPR) EN CULTIVO DE MAÍZ CHIPA (*Zea mays* L. var. *amylacea* Sturtev.)

Autor: Luis Samuel Salvador Muller

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

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

## RESUMEN

La limitada disponibilidad de P en los suelos de la Región Oriental restringe la productividad del maíz chipa. La fertilización con fosfatos solubles es una de las alternativas para compensar ese déficit nutricional del cultivo. El ensayo tuvo lugar en el Departamento de Canindeyú, Distrito de Yvyrarovaná, con el objetivo de evaluar el efecto de fuentes de fósforo con promotores de crecimiento (PGPR) en el cultivo de maíz chipa. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas divididas. Los factores fueron fuentes de fósforo (5 niveles) y PGPR (2 niveles: con y sin), dando lugar a 10 tratamientos con 4 repeticiones. Las fuentes de fosfato utilizados fueron el superfosfato triple (SFT), superfosfato simple (SFS), fosfato termomagnesiano (TFM) y roca molida (RM), aplicados a dosis de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a excepción de la roca molida que fue aplicada en una dosis de 300 kg ha<sup>-1</sup>. Los PGPR fueron aplicados a dosis de 3 mL kg<sup>-1</sup> de semilla. Las variables evaluadas fueron: altura de planta y de inserción de mazorca, número de hojas, diámetro del tallo, longitud y diámetro de mazorca, hilera de granos por mazorca, granos por hilera de mazorca, masa de 1.000 granos, rendimiento, masa seca aérea, índice de cosecha, eficiencia agronómica y económica, así como rentabilidad. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza. No se encontró diferencia significativa respecto a la utilización de PGPR, pero si entre fuentes fosfatadas, todos los parámetros estudiados, excepto masa de 1.000 granos, diámetro de mazorca, índice de cosecha y eficiencia agronómica, tuvieron mejores resultados con las fuentes de P más solubles (SFT y SFS), donde medias más altas se obtuvieron con el SFT, con rendimiento de 3.870 kg ha<sup>-1</sup> y eficiencia agronómica de 18,9 kg de granos por kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado, generando una rentabilidad de hasta 176 % a nivel de mercado. Existe una efectividad diferenciada para las diferentes fuentes de P, donde SFT>SFS>TFM>RM.

**Palabras Clave:** Fertilización fosfatada, solubilidad de P, rizobacterias, cereales

## **FONTES DE FÓSFORO COM PROMOTORES DE CRESCIMENTO (PGPR) NA CULTURA DO MILHO CHIPA (*Zea mays* L. var. *amylacea* Sturtev.)**

Autor: Samuel Luis Salvador Muller

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

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

### **RESUMO**

A limitada disponibilidade de P em solos da Região Leste restringe a produtividade milho chipa. A adubação fosfatada solúvel é uma das alternativas para compensar a deficiência nutricional da cultura. O experimento teve lugar no Departamento de Canindeyú, Distrito Yvyrarovaná, a fim de avaliar os efeitos de diferentes fontes de fósforo com os promotores de crescimento (PGPR) na cultura de milho chipa. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas. Os fatores foram fontes de fósforo (5 níveis) e PGPR (2 níveis: com e sem), resultando em 10 tratamentos com 4 repetições. As fontes de fosfato utilizadas foram superfosfato triplo (SFT), superfosfato simples (SFS), fosfato termomagnésiano (TFM) e rocha moída (RM), aplicado numa dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, exceto para a rocha moída que foi aplicada a numa dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>. Os PGPR foram aplicadas em doses de 3 mL Kg semente. As variáveis avaliadas foram: altura da planta e de inserção da espiga, número de folhas, diâmetro do caule, comprimento e diâmetro da espiga, fileiras de grãos por espiga, grãos por fileira da espiga, massa de 1.000 grãos, produtividade, massa seca aérea, índice de colheita, eficiência agrônômica e econômica, assim como a rentabilidade. Os resultados foram submetidos a análise de variância de acordo com o delineamento em questão. Não foi encontrada diferença significativa na PGPR, mas sim entre as diferentes fontes, todos os parâmetros estudados, exceto em massa de 1.000 grãos, diâmetro da espiga, índice de colheita e eficiência agrônômica, tiveram melhores resultados com fontes de fósforo mais solúvel (SFT e SFS), onde as maiores médias foram obtidas com o SFT, com rendimento de 3.870 kg ha<sup>-1</sup> e eficiência agrônômica de 18,9 kg de grãos por kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicados, gerando um retorno de até 176% ao nível do mercado. Há uma eficácia diferenciada para as diferentes fontes de P, onde SFT > SFS > TFM > RM.

**Palavras chave:** Adubação fosfatada, solubilidade de P, rizobacterias, cereais

# **SOURCES OF PHOSPHORUS WITH GROWTH PROMOTERS (PGPR) IN CULTIVATION OF CHIPA MAIZE (*Zea mays* L. var. *amylacea* Sturtev.)**

Author: Luis Samuel Salvador Muller

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

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

## **SUMMARY**

The limited availability of P in the soils of the Eastern Region restricts the productivity of chipa maize. Fertilization with soluble phosphates is one of the alternative to compensate for this nutritional deficit of the crop. The experiment was carried out in the Department of Canindeyú, Yvyrarovaná District, in order to evaluate the effects of different sources of phosphorus with growth promoters (PGPR) on chipa maize cultivation. A randomized complete block design with factorial arrangement in split plots was used. The factors were sources of phosphorus (5 levels) and PGPR (2 levels: with and without), giving rise to 10 treatments with 4 replicates. The sources of phosphate used were triple superphosphate (SFT), simple superphosphate (SFS), thermomagnesium phosphate (TFM) and ground rock (RM), applied at a dose of 80 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, with the exception of ground rock that was applied in a dose of 300 kg ha<sup>-1</sup>. The PGPR were applied at doses of 3 mL kg of seed. The variables evaluated were: plant height and ear insertion, number of leaves, stem diameter, ear length and diameter, row of grains per ear, grains per row of ears, mass of 1.000 grains, yield, aerial dry mass, Crop index, agronomic and economic efficiency, as well as profitability. The results were subjected to analysis of variance according to the design in question. No significant difference was found regarding the use of PGPR, but if among the different sources, all parameters studied, except 1.000 grain mass, ear diameter, harvest index and agronomic efficiency, had better results with the most soluble P sources (SFT and SFS), where higher averages were obtained with the SFT, with yield Of 3.870 kg ha<sup>-1</sup> and agronomic efficiency of 18.9 kg of grains per kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> applied, generating a profitability of up to 176% at the market level. There is a differentiated effectiveness for the different sources of P, where SFT> SFS> TFM> RM.

Key words: Phosphate fertilization, solubility of P, rizobacterias, cereals

## ÍNDICE

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Ciclo del fósforo .....	3
2.2 Fósforo en el suelo .....	4
2.2.1 Disponibilidad, fijación y adsorción .....	5
2.2.2 Movilidad .....	6
2.3 Fósforo en la planta .....	7
2.4 Fertilización fosfatada: fuentes de fósforo y formas de aplicación.....	8
2.5 Promotores de crecimiento .....	11
2.6 Maíz chipa y su importancia en el país .....	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
3.1 Localización de la investigación .....	14
3.2 Población de unidades y variables de medición .....	16
3.3 Diseño para la recolección de datos primarios .....	17
3.4 Recursos materiales y equipos técnicos .....	18
3.5 Descripción del proceso de recolección de datos primarios.....	18
3.5.1 Muestreo de suelo.....	18
3.5.2 Preparación del terreno.....	18
3.5.3 Delimitación de parcelas .....	19
3.5.4 Siembra y aplicación de tratamientos.....	19
3.5.5 Cuidados culturales .....	19
3.5.6 Cosecha .....	20
3.5.7 Medición de variables .....	20
3.6 Métodos de control de calidad de los datos.....	22
3.7 Modelo de Análisis e Interpretación .....	23
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
4.1 Condiciones climáticas.....	24
4.2 Altura de planta e inserción de mazorca.....	24
4.3 Número de hojas y diámetro del tallo .....	26
4.4 Diámetro y longitud de mazorca, hileras de granos y granos por hilera de mazorca. ....	28
4.5 Masa de 1.000 granos y rendimiento.....	30
4.6 Masa seca aérea e índice de cosecha .....	32
4.7 Eficiencia agronómica y eficiencia económica del fósforo.....	34
4.8 Rentabilidad del cultivo.....	36
5 CONCLUSIONES .....	40
6 RECOMENDACIONES .....	41
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
ANEXOS .....	51

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
1. Tratamientos del experimento resultantes de la combinación de fuentes de fosforo con promotores de crecimiento.....	17
2. Promedio de altura de planta y altura de inserción de la mazorca 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).Yvyarovaná, Canindeyú, 2016.....	25
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).Yvyarovaná, Canindeyú, 2016.....	26
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).Yvyarovaná, Canindeyú, 2016.....	28
5. Promedio de masa de 1000 granos 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).Yvyarovaná, Canindeyú, 2016.....	30
6. Promedio 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).Yvyarovaná, Canindeyú, 2016.....	32
7. Promedio de eficiencia agronómica (EA) y eficiencia económica (EE) del fósforo 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).Yvyarovaná, Canindeyú, 2016.....	34
8. Rentabilidad del cultivo de maíz chipa 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).Yvyarovaná, Canindeyú, 2016.....	36

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Imagen Satelital del Distrito de Yvyarovaná, Departamento de Canindeyú.....	14
2. Datos de precipitación, temperatura máxima y mínimas registradas durante el lapso de estudio a campo.....	15
3. Croquis de distribución de los tratamientos a campo.....	17

## 1 INTRODUCCIÓN

El maíz chipa (*Zea mays* L. var. *amylacea* Sturtev.), conocido también como avatí morofí posee una destacada importancia en el sector rural, principalmente en fincas de pequeños productores, tanto por su uso para consumo como por la alternativa de renta que éste genera, siendo considerado un rubro de gran relevancia en el contexto socioeconómico de la agricultura familiar.

Su producción es practicada principalmente en las pequeñas propiedades, que en la mayoría de los casos están ubicadas en zonas con suelos de baja fertilidad, dado en muchas situaciones por el limitado contenido de nutrientes o bien por su limitada disponibilidad, particularidad observada con el fósforo, que se encuentra en altas concentraciones en suelos del país, sin embargo en muchos suelos de la Región Oriental, solo una porción muy pequeña del elemento está disponible para las plantas.

El fósforo cumple un papel sumamente importante en el maíz y su disponibilidad insuficiente genera bajo rendimiento, provocando consecuentemente insatisfacción de los productores. Para potenciar la tarea productiva y de esta forma mejorar la producción y rentabilidad se buscan estrategias que puedan generar un proceso productivo eficaz.

La necesidad de producir cada día más puede ser impulsada por el uso de diferentes tipos de fertilizantes químicos, principalmente aquellos con menor tasa de pérdida en el suelo y mejor aprovechados por las plantas. Además, con el avance de la biotecnología es posible optar por el uso de productos a base de microorganismos

que inclusive, pueden ser combinados con los fertilizantes, reduciendo el costo de producción y generando aumentos en la cosecha.

El objetivo general de este trabajo consistió en evaluar el efecto de diferentes fuentes de fertilizantes fosfatados y promotores de crecimiento sobre la producción de maíz chipa. 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, la masa seca aérea producida, el índice de cosecha, la masa de mil granos, el rendimiento, la eficiencia agronómica y económica del fósforo e identificar cuál de los tratamientos aplicados genera mayor rentabilidad.

La hipótesis planteada en la investigación fue que el rendimiento y rentabilidad del cultivo aumentarán con la aplicación de los fertilizantes fosfatados y los promotores de crecimiento en relación al Control, donde las fuentes de P soluble (SFT y SFS) reflejaran mayor productividad.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Ciclo del fósforo**

El ciclo del fósforo dentro del ecosistema terrestre puede ser visto como un sistema que manifiesta pérdidas y ganancias del elemento. Barrios et al. (2010) mencionan que el fósforo no se encuentra en su estado puro en la naturaleza, sino en forma de fosfatos. Este grupo complejo de minerales puede perderse con cierta facilidad del medio, según Camas et al. (2012) y Almendro et al. (2003) sostienen que la erosión, la escorrentía, el lavado y la extracción por cosecha son las causas de la pérdida de este elemento, mientras que otros factores como fijación y precipitación no se consideran pérdidas, pero reducen su biodisponibilidad.

Para contrarrestar las pérdidas, se están explotando a gran escala depósitos de fosfatos para su utilización como fertilizantes. Según la Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes - ANFF (2012) la producción global de fosfatos fue de 194 millones de toneladas en el 2011, en el mismo año se consumió 164 millones de toneladas. Jasinski (2011) realizó una estimación en ese periodo, señalando que se disponían a nivel mundial de 65 billones de toneladas de fosfatos, de las cuales más del 83% del total se hallaban en Marruecos.

La descomposición de la roca madre misma, la importante 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, son los factores que contribuyen al aumento del fósforo (Domínguez 1997).

## 2.2 Fósforo en el suelo

El fósforo en el suelo puede ser dividido en dos fracciones, una orgánica y otra mineral o inorgánica. Una parte importante del fósforo en el suelo se halla en forma orgánica, en rangos de 30 a 85% del suelo y lo restante corresponde a la fracción inorgánica (Domínguez 1997), sin embargo, Guerra et al. (1996) observaron que el fósforo orgánico total varió de 7 hasta 272 mg kg<sup>-1</sup> de suelo, en 17 muestras de suelos estudiadas, con una variación porcentual de 13 a 47%.

Boschetti et al. (2003) señalan que los valores absolutos de fósforo total varían desde un promedio de 125 mg de P kg<sup>-1</sup> de suelo en los Entisoles e Inceptisoles hasta alrededor de 700 mg de P kg<sup>-1</sup> en Oxisoles y Ultisoles. Además mencionan que la distribución del fósforo en las formas disponibles y estables, como así también en las formas orgánicas e inorgánicas, dependió de la génesis y del estado de evolución de los suelos.

Munera y Meza (2014) mencionan que a este fósforo orgánico se le atribuyen dos orígenes: el proveniente de la síntesis microbial y aquel resultante de la degradación de los residuos orgánicos en general.

Los mismos autores señalan que las principales formas de fosfato inorgánico se encuentran en forma de Fosfatos de calcio, hierro y aluminio. La cantidad relativa de cada uno dependerá del contenido de materia orgánica y del pH, además del origen del suelo.

Rheinheimer y Anghinoni (2001) observaron que en la camada de 0-2,5 cm, en un suelo bajo siembra directa el tenor de fósforo total es superior a un suelo trabajado convencionalmente; lo opuesto ocurre a profundidad de 7,5-17,5 cm. Cubilla et al. (2012) mencionan que en un sistema de siembra directa hay una gran variabilidad vertical de fósforo en el suelo relacionadas a la forma de aplicación de los fertilizantes, deposición de los residuos de cosechas y la baja movilidad de este nutriente en el perfil.

### 2.2.1 Disponibilidad, fijación y adsorción

La disponibilidad de fósforo en el suelo puede ser apenas 1% o inclusive menos de la cantidad existente. La solubilidad del fosfato está controlada por varios factores, entre ellos la cantidad del compuesto en la fase sólida presente en el suelo, cuanto mayor sea el contenido total en el suelo, la posibilidad de tener más fósforo en la solución también es mayor (Guzmán 2009).

Fernández et al. (2006) encontraron que en suelos nativos de las Ordenes Entisol, Alfisol y Vertisol la cantidad de P total fue de 79,77 mg kg<sup>-1</sup>, 151,43 mg kg<sup>-1</sup> y 214,79 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente y la cantidad de P asimilable (Bray I) fueron de 3,7 mg kg<sup>-1</sup> en el Entisol, 6,4 mg kg<sup>-1</sup> en Alfisol y 6,6 mg kg<sup>-1</sup> para el Vertisol.

La absorción del fósforo por las plantas se ve directamente relacionada a su disponibilidad, que se ve influenciada por la textura, dosis de fertilizante y por el tiempo de contacto con el suelo. En general, cuanto mayor sea el contenido de arcilla en el suelo, mayor será la adsorción del fósforo y menor su disponibilidad, lo mismo sucede cuando permanece por mucho tiempo en el suelo (Machado et al. 2011).

Su disponibilidad depende en gran parte de pH del suelo, principalmente en rango entre 6,5 y 7,5; condiciones en las cuales ocurre la máxima solubilidad de fósforo inorgánico en el suelo (Munera y Meza 2014).

La fijación del fósforo soluble ocurre rápidamente después de la aplicación de un fertilizante fosfatado, especialmente si el fertilizante es mezclado con el suelo, reflejando la importancia de la aplicación localizada y evitando menor contacto posible del fertilizante con el suelo (Rojas 2015).

Machado et al. (2011) señalan que los suelos con tenor medio de arcilla (alrededor de los 25%) presentaran mayor probabilidad de adsorber el fósforo posterior a una aplicación de fertilizantes, limitando su disponibilidad en hasta 64% a una dosis de 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A medida que el pH se vuelve menos ácido,

superior a 5,5; la capacidad de adsorción del elemento se vuelve menor (Ramírez et al. 2011).

Reiche (2011) observó que la fijación de fósforo incrementó de 10 a 50 mg kg<sup>-1</sup> en los suelos aluviales, conforme aumentaba la dosis de 100 mg kg<sup>-1</sup> a valores superiores a 300 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo, teniendo fósforo altamente disponible, no así en los suelos evolucionados, cuyo comportamiento es opuesto, superando los 82 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo fijado a dosis de 300 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo aplicado. Esto fue debido a que poseía elevado contenido de arcilla caolinita, relacionada con óxido de hierro, que adsorbieron fosfatos con más intensidad que los suelos aluviales con minerales silicatados.

El ion fosfato puede, además, ser directamente adsorbido por los coloides del suelo o puede formar enlaces de gran estabilidad con los hidróxidos de Fe, Al o Mn que forman parte de los coloides del suelo. Estos últimos constituyen el fósforo fijado (Munera y Meza 2014).

### **2.2.2 Movilidad**

El fósforo se mueve principalmente por difusión, donde el movimiento del nutriente se produce de acuerdo a un gradiente de alta concentración a uno de baja concentración, la otra forma en que se mueve en el suelo es por flujo de masa, donde los nutrientes se encuentran suspendidos en el agua y sufren la acción del gradiente de transpiración (Kass 1998 y Ronen 2008).

El movimiento del fósforo hacia las raíces por difusión para reemplazar al que ha sido tomado por las plantas, es dependiente del gradiente de concentración de fósforo en la solución y de las interacciones entre el fósforo de la solución y de la fase sólida (Munera y Meza 2014).

Este elemento se caracteriza por presentar una limitada movilidad en el suelo, lo que generalmente resulta en una deficiencia de este macroelemento para las

plantas, a pesar de que los compuestos orgánicos continuamente sean mineralizados en el suelo (Melgar y Díaz 2008).

Según Ronen (2008) una ruta de absorción de nutrientes es la intercepción radicular. Es una manera de evadir la reducida movilidad del fósforo. Para ello la planta debe presentar un sistema radicular de gran volumen y tener el mayor contacto posible con el suelo aumentando la absorción del elemento (Yamada 2003).

### **2.3 Fósforo en la planta**

Guzmán (2009), Rojas (2015) mencionan que las plantas pueden absorber el fósforo de la solución del suelo en forma de iones de fosfato ( $\text{HPO}_4^-$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Aunque puede ser absorbido por contacto directo de las raíces con los elementos sólidos (Gros y Domínguez 1992).

Este elemento se mueve en la planta en forma de iones orto fosfato y como fósforo incorporado en los compuestos orgánicos formados, es de esta forma también que se mueve a otras partes de la planta donde estará disponible para más reacciones (Munera y Meza 2014).

En forma de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) es componente fundamental de compuestos celulares, como los intermediarios azúcar-fosfato de la respiración y la fotosíntesis y los fosfolípidos que forman parte de las membranas vegetales. Además es un componente de los nucleótidos utilizados en el metabolismo energético vegetal como el ATP y en las moléculas de DNA y RNA (Taiz y Zeiger 2006).

En la etapa temprana del desarrollo de la planta es cuando la tasa de absorción de fósforo es mayor (Bruulsema et al. 2013), caso se presente insuficiencia, repercutiría de manera negativa, limitando la producción de biomasa (Parra et al. 2011).

## 2.4 Fertilización fosfatada: fuentes de fósforo y formas de aplicación

El fósforo es un elemento relativamente abundante en la corteza terrestre y a pesar de su escasa biodisponibilidad, han evolucionado y también persisten una serie de mecanismos o formas que permiten proveer a las plantas este nutriente (Jaramillo 2010). Se describen a continuación las fuentes de fósforo utilizadas.

El superfosfato triple es un fertilizante que resulta de la reacción de ácido fosfórico líquido con la roca fosfórica molida y contiene entre 44 a 48% de  $P_2O_5$  y 13 a 15% de Ca. Tiene el mayor contenido de P de los fertilizantes sólidos que no contienen nitrógeno, como el 90% del P total es soluble en agua, se vuelve rápidamente disponible para las plantas cuando los gránulos son disueltos por la humedad del suelo (Bruulsema et al. 2013).

El súper fosfato simple se obtiene por el 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 (Gros y Domínguez 1992; Bruulsema et al. 2013). Es de reacción ácida y se diluye en menor grado que el superfosfato triple, aproximadamente un 85% de solubilidad (Fatecha 2006).

El fosfato termomagnesiano o Yoorin (nombre comercial) es un fertilizante que contiene fósforo, calcio y magnesio y la presentación en polvo contiene 18% de  $P_2O_5$ , 20% de Ca y 9% de Mg. El proceso de disolución del P de este fertilizante es más lento, debido a que depende de las reacciones químicas con el suelo. Sin embargo, con el tiempo, el fósforo residual podrá equipararse o hasta superar los resultados de la fuente soluble en agua (Stefanutti et al. 1995).

La roca molida es una fuente de fósforo de liberación lenta debido a su baja solubilidad en agua, es simplemente el producto resultante de moler y tamizar roca. Los fosfatos naturales son utilizados como punto de partida para la producción de los superfosfatos simple y triple, y una mínima parte se utiliza en la aplicación directa al suelo (Bruulsema et al. 2013). Este fertilizante es producido en el Paraguay, en el

Distrito de Caazapá y los elementos de interés que contiene son  $2,3 \text{ mg kg}^{-1}$  de potasio,  $9,0 \text{ mg kg}^{-1}$  de calcio,  $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$  de magnesio y  $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$  de fósforo (Bogado et al. 2014).

El uso de roca fosfórica en cultivos de maíz induce el desarrollo de raíces más finas y el aumento de la longitud y superficie radical (Mayerling y Ramírez 2000). Además, Resende et al. (2006) señalan que empleando fosfatos naturales se obtiene una relación costo-beneficio más compensador al compararlo con el superfosfato triple o con un termofosfato. Sin embargo, los rendimientos comerciales son menores a los obtenidos con los fertilizantes químicos (Bogado et al. 2014).

La respuesta a la fertilización depende principalmente del nivel de reservas de fósforo que tenga el suelo, en aquellos suelos deficientes el grado de utilización de los fertilizantes se encuentra entre 25 y 40%, superior a aquellos bien provistos, en los cuales solamente 5 a 10% del fertilizante es absorbido y el restante lo obtiene del suelo (Gros y Domínguez 1992).

Barraco et al. (2007) al realizar aplicaciones incorporadas y al voleo de fósforo en cultivos de maíz en un suelo arenoso observaron que la fertilización fosfatada en suelos potencialmente deficientes en fósforo fue de mayor eficiencia cuando se realizaron localizadas en bandas incorporadas en el suelo debajo de la línea de siembra y que la aplicación al voleo permitió aumentar los rendimientos del maíz cuando se realizan a altas dosis.

Prado et al. (2001) verificaron que la aplicación de fertilizantes fosfatados en surco resultó más eficiente que cuando realizado al voleo, logrando un incremento de la producción de maíz de  $0,45$  a  $3,04 \text{ Mg ha}^{-1}$  en surcos simples y de  $0,21$  a  $4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  en surcos dobles.

La respuesta del cultivo también varía según la forma en que se aplique el fosfato, e así que, Barreto y Fernández (2002) observaron que por cada  $\text{kg}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  al

ser aplicada al voleo la productividad en granos fue de 31,6 kg y en surcos de 23,4 kg.

Bruulsema et al. (2013) mencionan que la aplicaciones en banda son probablemente el método de fertilización más eficiente en suelos de poca fertilidad, con dosis de aplicación baja y cuando el nutriente se mueve principalmente por difusión.

Los mismos autores expresan que la colocación de nutrientes al lado y debajo de la semilla del maíz es adecuada para su uso por las raíces a inicios de la temporada obteniendo una producción de rendimientos equivalentes o más altos que otras formas de aplicación.

Según Cubilla et al. (2012) cuando el contenido de fósforo en el suelo esté en niveles medios a elevados, realizar la fertilización al voleo o en línea resultarían en una eficiencia productiva similar. Su aplicación no se ve como un riesgo para el ambiente a menos que sea removido junto con las partículas del suelo en un proceso erosivo (Lazcano 1996). La probabilidad de pérdida del P es menor cuando incorporado, al ser aplicado al voleo corre mayor riesgo de ser arrastrado por las agua de escorrentía que el fósforo incorporado (Iida y Shock 2009)

La aplicación de fósforo al suelo, independientemente de la forma que se realice resulta en un incremento significativo en la producción de biomasa y en la presencia del elemento en el follaje del maíz (Parra et al. 2011).

Silva et al. (2006) al experimentar con fuentes de fósforo mezcladas con urea en cultivo de trigo, observaron que los tenores de fósforo en el suelo y su disponibilidad variaron con la dosis y fuente utilizada. Los mismos autores mencionan que en estadios tempranos y etapas finales del ciclo del cultivo existió un incremento en la biodisponibilidad del fósforo por el efecto de interacción fósforo-urea, destacando la importancia del nitrógeno para disponibilizar el fósforo en el suelo.

## 2.5 Promotores de crecimiento

En la zona de la rizosfera existe un gran número de microorganismos que integran el microbioma del suelo y tienen la capacidad de establecer relación con las plantas a nivel radicular (García 2012 y Chaparro et al. 2012).

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

Paredes (2013) señala que con el uso de biofertilizantes se incrementa la presencia de microorganismos benéficos que se asocian a las raíces de las plantas, que son excelentes mejoradores del suelo y en la actualidad su utilización es la forma de nutrición más eficiente y económica de la alimentación vegetal. Además auxilian a alcanzar mayor productividad en el sector agrícola, reducen impactos ambientales generados por los fertilizantes químicos y ofrecen facilidades para su aplicación (Sangoi et al. 2015; Carvajal y Mera 2010).

López et al. (2008) experimentaron con bacterias fijadoras de nitrógeno (FN) y solubilizadoras de fósforo (SF) sobre el crecimiento de maíz sobre dos tipos de suelos, de alta y baja fertilidad. Las variables altura de la planta, diámetro del tallo, largo y ancho de la hoja y biomasa de raíces y parte aérea manifestaron un efecto positivo a la inoculación con las bacterias fijadoras de nitrógeno en ambos suelos y las solubilizadoras de fósforo en suelo de baja fertilidad, logrando demostrar el efecto de los promotores de crecimiento en suelos de poca fertilidad.

Ferraris y Couretot (2007) en su experimento de maíz con diferentes fuentes de fósforo e inoculación con microorganismos que actúan sobre el ciclo del fósforo, observaron el aumento del rendimiento y además la mejora en la eficiencia en el uso de fósforo.

El tribacterial utilizado en el experimento está conformado por *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bradyrhizobium japonicum*, donde cada uno cumple una determinada acción en el área de la rizosfera; fijación de nitrógeno por *A. brasilense* (Paredes 2013), solubilización de fósforo por *P. fluorescens* y según Rouws et al. (2014) algunas especies del género *Bradyrhizobium* también contribuyen a la fijación de nitrógeno en la periferia radicular de las poáceas, cuyos resultados se observaron en experimentos con caña de azúcar. Goulart (2011) observó que estirpes aisladas del género *Bradyrhizobium* actúan como promotores de crecimiento, los resultados fueron observados en pasto Tanzania y pasto Bahía.

Bécquer et al. (2011) experimentaron con cepas aisladas de rizobios, entre ellas algunas del género *Bradyrhizobium*, inoculadas en maíz con fertilización química de fondo de 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, observaron que los resultados fueron estadísticamente superiores al control absoluto en cuanto a peso de mazorca y producción de granos.

En estadios iniciales del cultivo del maíz (V4) la inoculación con cepas de *P. fluorescens* genera un incremento en la proporción de raíces con respecto a la biomasa aérea, así mismo se verifica un contenido mayor de fósforo en las plantas cuando son inoculadas con estos microorganismos (Faggioli et al. 2008).

Oliveira et al. (2012) constataron que la inoculación del maíz con *P. fluorescens* asociada a una fertilización en siembra con 250 kg ha<sup>-1</sup> de NPK favorece el desarrollo y desempeño productivo del maíz zafriña.

## **2.6 Maíz chipa y su importancia en el país**

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

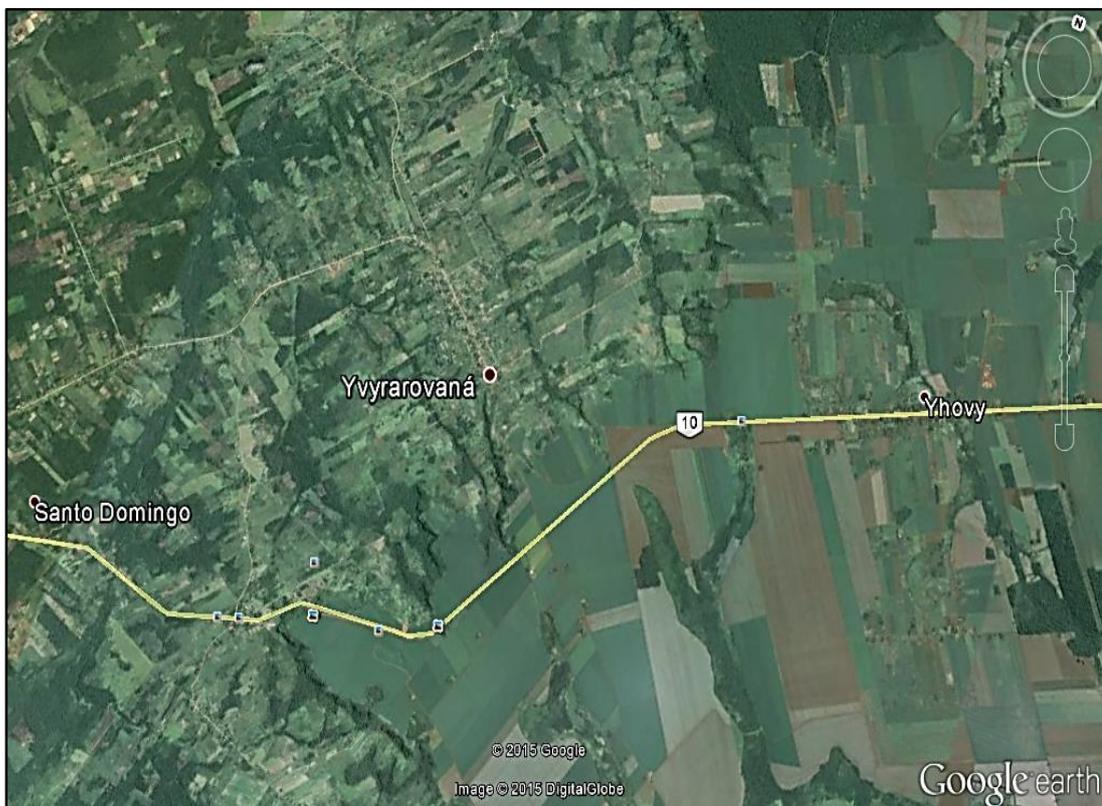
El maíz posee una destacada importancia social por su explotación mayoritaria por pequeños agricultores. Según el MAG y la Dirección de Extensión Agraria – DEAg (2010) en la finca de los productores, la variedad chipa tiene una superficie de siembra que varía de media a una hectárea, que es destinada al consumo.

Birbaumer et al. (2008) mencionan que los suelos con fertilidad media a alta posibilitan la obtención de rendimientos de 1.500 kg ha<sup>-1</sup> sin realizar fertilización química, sin embargo, aplicando todos los cuidados necesarios existe la posibilidad de obtener rendimientos entre 2.500 a 3.300 kg ha<sup>-1</sup>. Según MAG y DEAg (2010) el maíz chipa puede rendir hasta 4.690 kg ha<sup>-1</sup>.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización de la investigación

El ensayo se llevó a cabo en el Departamento de Canindeyú, Distrito de Yvyrarovaná, Colonia Lomas Valentinas. Las parcelas para el estudio en cuestión fueron establecidas en la propiedad de un productor del distrito, las coordenadas de ubicación de las parcelas experimentales fueron  $24^{\circ}18'59,16''S$  y  $55^{\circ}02'46,81''O$  (Figura 1).

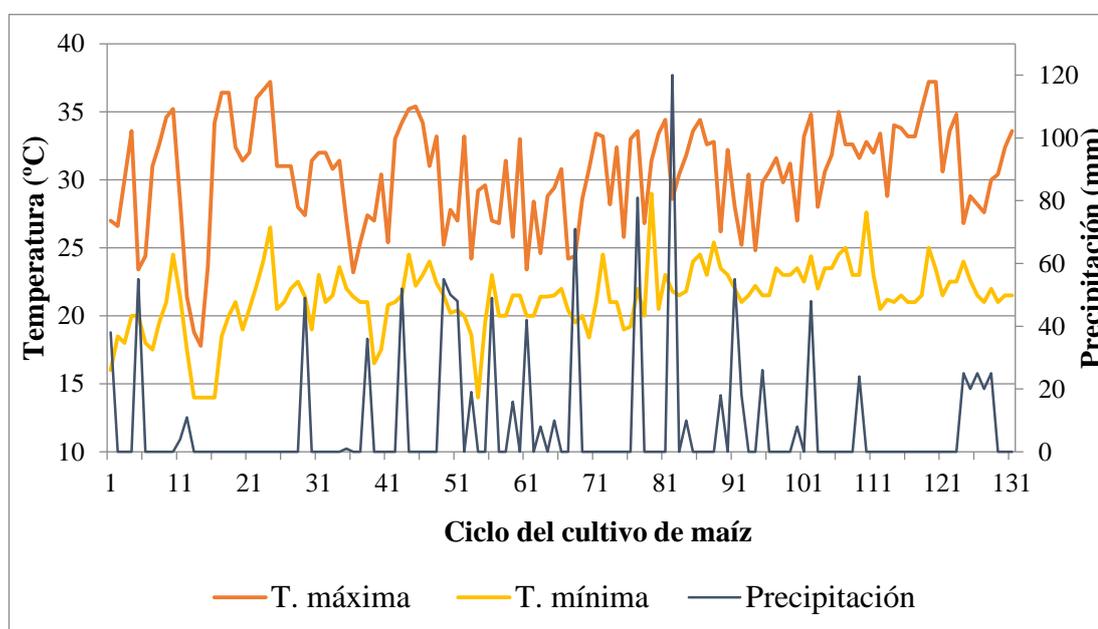


**Figura 1.** Imagen satelital del Distrito de Yvyrarovaná, Departamento de Canindeyú.

Según López et al. (1995) 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, relieve de 0 a 3%, con buen drenaje y pedregosidad nula.

Mediante el análisis químico de suelo se constató que el pH fue 5.1,  $Al^{+3}+H^+$   $0,63 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , MO de 0,9 %, P  $9 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $Ca^{+2}$   $1,13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $Mg^{+2}$   $0,29 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $K^+$   $0,11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .

La temperatura ha tenido un comportamiento muy variante durante el periodo de investigación, verificándose medias de temperaturas máximas de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  y temperatura mínima de  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ , con temperatura promedio a lo largo del ciclo del cultivo de  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ , además se registró precipitación pluviométrica total de 1.136 mm (Figura 3), valor relativamente alto en relación a la media historia de precipitación de 726 mm registrada (mismo lapso de tiempo) de los últimos 5 años en la estación meteorológica ubicada en la zona (campo experimental Yhovy).



**Figura 2.** Datos de precipitación, temperaturas máximas y mínimas registradas durante el lapso de estudio a campo.

El presente trabajo de investigación se realizó en el marco del Proyecto Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos, apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

### 3.2 Población de unidades y variables de medición

Para el estudio se utilizó el diseño de parcelas subdivididas, evaluando dos factores. El primer factor fue el uso de promotores de crecimiento (PGPR) (Factor A) que se ubicó en las parcelas, y el factor fuentes de fósforo (Factor B) que se ubicó en las subparcelas, donde las fuentes de fertilizantes fueron Superfosfato triple (SFT), Superfosfato simple (SFS), Fosfato termomagnesiano (FTM), Roca molida, dispuesto en cuatro bloques, totalizando 40 unidades experimentales.

El PGPR utilizado consistió en un tribacterial compuesto por colonias de *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens*. Los fertilizantes fosfatados fueron aplicados a dosis de 80 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> y los PGPR a 3 mL kg<sup>-1</sup> de semilla.

Las unidades experimentales estaban 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 por 5 metros de largo (17,5 m<sup>2</sup>), con un área útil de tres hileras centrales de cada parcela por 3 metros de largo (6,3 m<sup>2</sup>), con una superficie total de las parcelas experimentales de 700 m<sup>2</sup>.

Las variables evaluadas fueron: altura de planta, altura de inserción de mazorca, número de hojas, diámetro del tallo, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, hilera de granos por mazorca, granos por hilera de mazorca, masa de 1.000 granos, índice de cosecha, masa seca aérea, rendimiento del cultivo, eficiencia agronómica (EA), eficiencia económica (EE) y rentabilidad del cultivo.

En la Tabla 1 se presentan los tratamientos del experimento y en la Figura 2 el croquis de distribución de los mismos.

**Tabla 1.** Tratamientos del experimento resultantes de la combinación de fuentes de fósforo con promotores de crecimiento.

TRATAMIENTOS	Cantidad de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Cantidad de PGPR (mL kg <sup>-1</sup> de semilla)
T1: Control	0	0
T2: SFT	80	0
T3: SFS	80	0
T4: TFM	80	0
T5: Roca molida	*	0
T6: PGPR	0	3
T7: SFT + PGPR	80	3
T8: SFS + PGPR	80	3
T9: TFM + PGPR	80	3
T10: Roca molida + PGPR	*	3

SFT: superfosfato triple, SFS: superfosfato simple, TFM: fosfato termomagnesiano  
 \*Dosis recomendada por fabricante de 300 kg.ha<sup>-1</sup> del fertilizante (1% P total).

	B-I	B-II	B-III	B-IV	
-----costa con maíz de misma variedad-----	T2	T8	T6	T5	-----costa con maíz de misma variedad-----
	T1	T6	T9	T1	
	T4	T7	T8	T2	
	T5	T10	T7	T4	
	T3	T9	T10	T3	
	T9	T5	T3	T7	
	T6	T3	T5	T6	
	T7	T2	T1	T8	
	T8	T1	T2	T10	
	T10	T4	T4	T9	
-----costa con bosque-----					

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

### 3.3 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 fue el de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas divididas.

### **3.4 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 Chipa 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.

### **3.5 Descripción del proceso de recolección de datos primarios**

#### **3.5.1 Muestreo de suelo**

El proceso de muestreo consistió en la recolección de 10 submuestras de suelo del terreno correspondiente a media hectárea y a partir de la mezcla de estas submuestras se obtuvo una muestra representativa que fue analizada en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, para la determinación de sus propiedades químicas.

#### **3.5.2 Preparación del terreno**

Para la preparación del terreno se procedió a la selección de la superficie total utilizada y se realizaron dos rastreadas para eliminar malezas, remover y uniformizar el suelo, lo que permitió obtener una buena cama de siembra.

Previo a la remoción del suelo, según el análisis de suelo obtenido se verificó la necesidad de incorporar enmiendas calcáreas, y realizar la aplicación de  $800 \text{ kg ha}^{-1}$  de cal agrícola considerando los niveles de Ca y Mg en el suelo.

### **3.5.3 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 cual se delimitaron 40 unidades experimentales con dimensiones de 3,5 m de ancho y 5 m de largo.

### **3.5.4 Siembra y aplicación de tratamientos**

En la última semana de setiembre se realizó la siembra con semilla sin tratamiento químico. En los tratamientos con promotores de crecimiento, las semillas fueron inoculadas con el tribacterial en el momento de la siembra, que se realizó en forma manual a una profundidad de 3 a 4 cm, depositando 2 a 3 semillas en cada hoyo a una distancia entre plantas 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, fueron aplicados fertilizantes a base de potasio ( $70 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) al momento de la siembra y nitrógeno ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en forma de urea, este último aplicado en el momento de la siembra en una dosis de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  y el restante en cobertura a los 40 días después de la siembra.

### **3.5.5 Cuidados culturales**

Posterior a la emergencia, luego de dos semanas, se realizó el raleo de las plantas a modo que quede una sola planta por punto de siembra, para evitar la competencia y mantener la densidad de siembra. En tanto, al control de plagas 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.

### **3.5.6 Cosecha**

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

### **3.5.7 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.

En cada parcela fueron seleccionadas 10 plantas del área útil, midiéndose la altura de plantas, correspondiente a la distancia media entre la superficie del suelo y la inflorescencia masculina, expresándose los valores promedios en metro (m).

En cuanto a la altura de inserción de la mazorca, correspondió a la distancia media entre la superficie del suelo y la inserción de la mazorca expresándose los valores promedios en metro (m).

La variable número de hojas fue evaluada por medio del conteo de todas las hojas de la planta, presentando los valores promedios.

Para la variable diámetro del tallo, se utilizó un paquímetro digital, con el cual se midió el diámetro promedio de los tallos en cm, luego del segundo nudo de los tallos. Los valores fueron expresados en centímetros (cm).

En cada parcela se cosechó una superficie de 2,1 m<sup>2</sup> del área útil, donde para cada unidad experimental, de las mazorcas cosechadas fueron seleccionadas

aleatoriamente 10, a las cuales fueron aplicadas las evaluaciones. Para la medición de la longitud de mazorcas, se utilizó una regla centimetrada con la que fueron medidas las longitudes de cada una y los valores promedios fueron en centímetros.

El diámetro de mazorca fue medido con un paquímetro digital, los valores promedios de cada unidad experimental fueron expresados en centímetros.

La variable hileras de granos fue evaluada contabilizando del número de hileras de granos de las 10 mazorcas, expresando el número promedio de hileras presentadas.

La variable 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 presentadas.

Posterior a la trilla manual del maíz cosechado, se determinó la masa de mil granos utilizando el promedio de la masa 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 (g).

Para determinar el índice de cosecha, fueron extraídas 10 plantas enteras seleccionadas de forma aleatoria en el área útil de cada parcela (representando 1,75 m<sup>2</sup> del área útil), posteriormente fueron separadas en sus componentes: planta, chala, y mazorca. La planta junto con la chala se pesó a campo antes de ser trituradas, de este material triturado se tomó 100 gr de muestra que fue llevado a estufa a 60°C por 72 horas para determinar el contenido de humedad. El marlo fue separado del grano y también llevado a estufa en las mismas condiciones. Al grano se 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:

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

Para la variable masa seca aérea, fueron utilizadas las muestras recolectadas para el cálculo de índice de cosecha. La masa seca que representa los 1,75 m<sup>2</sup> fue extrapolada a una hectárea y expresados los promedios en kg ha<sup>-1</sup>.

Para determinar el rendimiento del cultivo, el maíz cosechado y trillado de la superficie de 2,1 m<sup>2</sup> (3 hileras de 1 m) del área útil de cada unidad experimental, fue pesado, obteniéndose el rendimiento promedio. Los valores se extrapolaron a una hectárea, con la humedad ajustada al 13% y fueron expresados en kg ha<sup>-1</sup>.

Para calcular la eficiencia agronómica (EA) de las fuentes de P se determinó la cantidad de granos producidos por cada kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado, considerando la siguiente fórmula:

$$EA: \frac{\text{Rendimiento del tratamiento} - \text{Rendimiento del control}}{\text{Cantidad de P}_2\text{O}_5 \text{ aplicado}}$$

El cálculo de la eficiencia económica (EE) de las fuentes de P consistió en determinar la cantidad de granos producidos por la inversión económica realizada, considerando la siguiente fórmula:

$$EE: \frac{\text{Rendimiento del tratamiento} - \text{Rendimiento del control}}{\text{Cantidad de } \text{€} \text{ invertidos}}$$

Para determinar la Rentabilidad del cultivo se realizó una relación entre el costo total de los tratamientos y el ingreso neto o ganancia, posteriormente el producto resultante fue multiplicado por 100, expresándose el resultado en porcentaje (%).

$$\text{Rentabilidad: } \frac{\text{Ganancia}}{\text{Costo total}} \times 100$$

### 3.6 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. Prestando atención en cada unidad experimental evaluada a

modo de obtener valores confiables para cada variable estudiada y cuando verificado algún dato dudoso y que no encajaba entre los límites reales esperados, se realizaban nuevamente las mediciones para confirmar lo obtenido.

### 3.7 Modelo de Análisis e Interpretación

Los datos obtenidos de las variables estudiadas fueron analizados mediante análisis de varianza (ANAVA), para determinar la existencia o no de diferencias significativas en los parámetros estudiados por el efecto de las diferentes fuentes de fósforo y la combinación de los mismos con los PGPR. Se realizó el Test de Tukey al 5%.

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

Además fue determinado el coeficiente de correlación de Pearson entre rendimiento y las demás variables evaluadas, considerando las medias de cada unidad experimental, aplicando la fórmula presentada a continuación,

$$r_{x,y} : \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde: *Cov*: covarianza; *X* e *Y*: promedios de las muestras de cada unidad experimental (matriz);  $\sigma$ : desvío estándar de cada matriz. Cuando *r* es mayor a 0,7 hay fuerte correlación, *r* de 0,7 a 0,3 indica correlación moderada y *r* menor a 0,3 indica baja correlación (Rasche et al. 2016).

## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Condiciones climáticas**

Las cálidas temperaturas acompañadas de los elevados niveles de precipitación generaron una condición de humedad propicia para el desarrollo de hongos, que se verificó durante el desarrollo del cultivo, con mayor incidencia en la fase de floración y cargado de granos, lo que se estima fue causante de la reducción en la productividad. Además, la coincidencia de lluvias con la maduración del cultivo causó la pudrición de las puntas de las mazorcas que también contribuyó a reducir la calidad de los granos.

### **4.2 Altura de planta e inserción de mazorca**

De acuerdo al análisis de varianza de los resultados obtenidos de altura de plantas y de inserción de la mazorca (Anexo 1 y 2), no se verifica respuesta significativa para el uso de los PGPR, sin embargo, se aprecia diferencia estadística entre los promedios obtenidos con las fuentes de fósforo utilizadas (Tabla 2).

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

**Tabla 2.** Promedio de altura de planta e inserción de la mazorca 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). Yvyrarovaná, Canindeyú, 2016.

Factor	Tratamientos	Altura de planta (m)	Inserción de la mazorca (m)
PGPR	Sin	2,31 <sup>a</sup>	1,07 <sup>a</sup>
	Con	2,30 <sup>a</sup>	1,07 <sup>a</sup>
FUENTES	Control	2,17 <sup>b</sup>	0,98 <sup>b</sup>
	SFT	2,43 <sup>a</sup>	1,15 <sup>a</sup>
	SFS	2,43 <sup>a</sup>	1,14 <sup>a</sup>
	TFM	2,33 <sup>ab</sup>	1,11 <sup>ab</sup>
	RM	2,17 <sup>b</sup>	0,98 <sup>b</sup>
CV (%)		5,00	10,01
DMS PGPR		0,07	0,06
DMS FUENTES		0,16	0,13

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

Con la aplicación de las diferentes fuentes fosfatadas fue posible detectar una variación de 2,17 a 2,43 m entre las medias de altura de las plantas. Observándose que con aquellos tratamientos con SFS y SFT se obtuvieron los valores más altos y lo contrario se observa con la RM, este último arrojó valores similares al del tratamiento Control, cuyo promedio también fue de 2,17 m. El TFM presentó valores de altura de planta (2,33 m) estadísticamente semejante a los demás tratamientos (Tabla 2).

Los resultados obtenidos difieren de las obtenidas por Saltos (1996) en cuanto efectividad de los fertilizantes, quien encontró diferencia significativa en altura de planta con el empleo de diferentes fuentes fosfatadas, sin embargo observaron una menor altura de planta con el uso de SFT. No obstante, Valdez y Gray (2014) al estudiar un par de fuentes de fósforo no encontraron influencia significativa sobre la altura de plantas de maíz. Referente al fosfato natural, Hanish et al. (2011) observaron que la aplicación de polvo de roca (2 hasta 12 Mg ha<sup>-1</sup>) no generó diferencia estadística en la altura de plantas de maíz.

En relación a la altura de inserción de mazorca como respuesta a la aplicación de los diferentes fertilizantes fosfatados, se observa diferencia significativa, obteniéndose el valor más alto usando SFT con promedio 1,15 m, seguido del SFS con 1,14 m. El TFM generó un promedio de 1,1 m, mientras que el menor valor se verificó con la RM de 0,98 m, igual que el tratamiento Control (Tabla 2). Respecto a lo observado, Quinto (2015) también encontró resultados estadísticamente semejantes en cuanto a inserción de mazorca al utilizar dos fuentes de fósforo de alta solubilidad.

#### 4.3 Número de hojas y diámetro del tallo

Los resultados promedios de número de hojas y diámetro del tallo sometidos al análisis de varianza (Anexo 3 y 4), no verifican diferencia significativa para el uso de los PGPR, pero con las fuentes de P utilizadas se observa diferencia estadística entre los promedios obtenidos (Tabla 3).

**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). Yvyrarovaná, Canindeyú, 2016.

Factor	Tratamientos	Número de hojas (hojas planta <sup>-1</sup> )	Diámetro del tallo (cm)
PGPR	Sin	13,9 <sup>a</sup>	1,96 <sup>a</sup>
	Con	14,0 <sup>a</sup>	2,01 <sup>a</sup>
FUENTES	Control	13,3 <sup>c</sup>	1,85 <sup>c</sup>
	SFT	14,5 <sup>ab</sup>	2,11 <sup>ab</sup>
	SFS	14,8 <sup>a</sup>	2,15 <sup>a</sup>
	TFM	13,7 <sup>bc</sup>	1,94 <sup>bc</sup>
	RM	13,4 <sup>b</sup>	1,86 <sup>c</sup>
CV (%)		4,5	6,23
DMS PGPR		0,4	0,08
DMS FUENTES		0,9	0,18

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

Como se observa en la tabla de promedios, con una DMS de 0,4 hojas planta<sup>-1</sup> no se encontró diferencia estadística en la variable de respuesta número de hojas al emplear los promotores de crecimiento, lo mismo se verifica para la variable diámetro del tallo con una DMS de 0,08. No obstante, para este último parámetro se observa una tendencia de mayor diámetro del tallo con PGPR. Chaves et al. (2013) al realizar inoculaciones con *P. fluorescens* en semillas de maíz tampoco obtuvieron respuesta significativa en el diámetro del tallo.

Sin embargo, Moreno y Galvis (2013) lograron observar que algunas bacterias aumentan significativamente el diámetro del tallo de maíz, obteniendo valores que llegan a incrementarse hasta un 50% a nivel de invernadero.

Se observa que la media para número de hojas por planta varió con las diferentes fuentes (Tabla 3), donde el SFS con un promedio de 14,8 hojas planta<sup>-1</sup>, fue la media más alta registrada con respecto a las demás fuentes, siendo similar a la obtenida con el SFT y diferente significativamente con respecto al TFM y la RM, así como el Control, tratamiento en el que se registró el menor promedio con 13,3 hojas.planta<sup>-1</sup>.

Referente al diámetro del tallo, con una DMS de 0,18 cm para el factor fuentes de fósforo, se verifica que hubo diferencias estadísticas significantes entre las medias obtenidas, donde el tratamiento con SFS arrojó el promedio más alto, con 2,15 cm de diámetro, no existiendo diferencia significativa con respecto al SFT, pero sí con el TFM y la RM, al igual que con el tratamiento Control, con el que se obtuvo el menor promedio con solo 1,85 cm.

Con respecto a estos resultados Nascimento et al. (2014) también encontraron valores más altos en el diámetro del tallo utilizando un fosfato soluble, para el caso un SFT en relación a un fosfato natural.

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

Mediante el análisis de varianza realizado a resultados obtenidos de diámetro y longitud de mazorca, hilera de granos y granos por hilera (Anexo 5, 6, 7 y 8) se constató la ausencia de respuesta al usar PGPR, no así con las fuentes de fósforo utilizadas, donde se puede apreciar que existió diferencia estadística entre los promedios obtenidos, con excepción del diámetro de la mazorca (Tabla 4).

**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). Yvyrarovaná, Canindeyú, 2016.

Factor	Tratamientos	DM (cm)	LM (cm)	HGM (hilera.maz <sup>-1</sup> )	GHM (granos.hilera <sup>-1</sup> )
PGPR	Sin	3,57 <sup>a</sup>	15,47 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	27 <sup>a</sup>
	Con	3,57 <sup>a</sup>	15,50 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	27 <sup>a</sup>
FUENTES	Control	3,48 <sup>a</sup>	14,73 <sup>b</sup>	12 <sup>ab</sup>	25 <sup>b</sup>
	SFT	3,64 <sup>a</sup>	16,38 <sup>a</sup>	12 <sup>ab</sup>	30 <sup>a</sup>
	SFS	3,66 <sup>a</sup>	16,34 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>
	TFM	3,59 <sup>a</sup>	15,44 <sup>ab</sup>	12 <sup>ab</sup>	26 <sup>b</sup>
	RM	3,49 <sup>a</sup>	14,55 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	24 <sup>b</sup>
CV (%)		4,57	5,79	5,3	8,7
DMS PGPR		0,10	0,58	0,4	1,5
DMS FUENTES		0,23	1,30	0,9	3,5

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

Para los dos factores estudiados, en el diámetro de mazorca no se percibió diferencia significativa entre los promedios, con una variación de las medias de 3,48 a 3,66 cm, estimándose que esta variable dependió más bien de las características genotípicas del cultivo, considerando que González (2016) tampoco encontró diferencias significativas estudiando esta variable con la misma variedad de maíz ,donde obtuvo una media de 3,62 cm de diámetro, valor que se encuentra entre los rangos de las medias obtenidas en el presente estudio.

De acuerdo a los resultados promedios de las variables LM, HGM y GHM se observa ausencia de respuestas significativas para el uso de los promotores de crecimiento (Tabla 4). Así mismo, Oliveira et al. (2012) tampoco encontraron efectos positivos en cuanto a número de hileras por mazorca cuando inoculadas las semillas de maíz con *P. fluorescens*, sin embargo al evaluar longitud de mazorca y granos por hilera de mazorca, verificaron diferencias únicamente cuando combinadas las bacterias con dosis de NPK en su efecto de interacción.

La LM aumentó con la aplicación de las fuentes de fósforo, donde el promedio más alto (16,38 cm) fue obtenido con el SFT, semejante a lo obtenido con el SFS y el TFM. Tanto el SFT como SFS difieren significativamente respecto al Control y a la RM, esta última, fuente con la cual se obtuvo la media más baja con 14,55 cm. En cuanto a HGM, el SFT ha generado una media superior estadísticamente a lo obtenido con la RM y semejante a lo obtenido con SFS, TFM y el Control. Para la variable GHM las fuentes SFT y SFS con medias de 30,7 y 30,3 granos por hilera respectivamente, son significativamente mayores a lo observado con el TFM, la RM y el Control, siendo estos últimos similares entre ellos.

Ante lo observado, Rissato (2016) utilizando fosfatos naturales y comparando resultados obtenidos con SFT, no encontró diferencias estadísticas en las medias tanto en diámetro de mazorca como en longitud de mazorca, pero si encontró importante aumento en el número de hileras de granos por mazorca utilizando el SFT. Quinto (2015) al estudiar el efecto de dos fuentes de fosfatos solubles sobre la longitud de mazorca e hileras de granos por mazorca, no encontró diferencia estadística entre las fuentes, no obstante, verificó que las medias diferían significativamente con respecto al testigo.

En líneas generales, los promedios de DM, LM, HGM y GHM fueron 3,57 cm, 15,48 cm, 12,5 hilera.mazorca<sup>-1</sup> y 27,5 granos.hilera<sup>-1</sup>, respectivamente. Los resultados obtenidos son menores a los encontrados por IPTA (2015) con la misma variedad, donde verificaron un largor de mazorca de 18 cm y un promedio de 14 hileras de granos por mazorca.

#### 4.5 Masa de 1.000 granos y rendimiento

De acuerdo al análisis de varianza de los resultados obtenidos de masa de 1000 granos y rendimiento del cultivo (Anexo 9 y 10), no se observó respuesta significativa para el empleo de los PGPR, la masa de 1.000 granos tampoco se vio favorecida con el uso de los fosfatos, sin embargo, se puede apreciar que en el rendimiento existe diferencia estadística entre los promedios obtenidos con las fuentes de fósforo utilizadas (Tabla 5).

**Tabla 5.** Promedios de masa de 1.000 granos 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). Yvyrarovaná, Canindeyú, 2016.

Factor	Tratamientos	Masa de 1.000 granos (g)	Rendimiento (Kg ha <sup>-1</sup> )
PGPR	Sin	175,6 <sup>a</sup>	3.008 <sup>a</sup>
	Con	176,6 <sup>a</sup>	3.044 <sup>a</sup>
FUENTES	Control	166,8 <sup>a</sup>	2.367 <sup>b</sup>
	SFT	178,1 <sup>a</sup>	3.870 <sup>a</sup>
	SFS	182,5 <sup>a</sup>	3.690 <sup>a</sup>
	TFM	183,2 <sup>a</sup>	2.827 <sup>b</sup>
	RM	169,6 <sup>a</sup>	2.376 <sup>b</sup>
CV (%)		11,2	16,92
DMS PGPR		12,8	332
DMS FUENTES		29,0	747

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

La masa de 1.000 granos en función a la inoculación con PGPR generó una media de 176,6 g., valor similar a lo obtenido sin el uso del tribacterial (175,6 g). Lo mismo se observa con el rendimiento, obteniéndose medias de 3.008 kg ha<sup>-1</sup> sin la inoculación y 3.044 kg ha<sup>-1</sup> con el uso del mismo. Respecto a esto, Chaves et al. (2013) al realizar inoculaciones con *P. fluorescens* en semillas de maíz no observaron incrementos en la masa de granos, tampoco aumento en el rendimiento. Similar observaciones tuvieron Rangel et al. (2014) al estudiar el efecto de la biofertilización con *Azospirillum* sp., verificando que el rendimiento de granos de

maíz no fue afectado significativamente por el uso de estos microorganismos. Y con la combinación de *P. fluorescens* y *Azospirillum brasilense* Faggioli et al. (2008) encontraron un incremento del 7% en el rendimiento de granos.

En cuanto al uso de fuentes de fósforo, se observa que las medias obtenidas en masa de 1.000 granos son similares entre sí, inclusive con el Control. Valdez y Gray (2014) tampoco encontraron diferencias significativas al estudiar la masa de mil granos con el uso diferenciado de fuentes fosfatados solubles. La media más alta fue de 183 g y el promedio general de 177 g, valores bastante por debajo a la media registrada para esta variedad, siendo que en el Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria – IPTA (2015) se observó que la masa promedio de 1.000 granos ronda los 253 g.

En el rendimiento existe una clara diferencia en las medias obtenidas con el uso de las diferentes fuentes de P, observándose el promedio más alto con el SFT con 3.870 kg ha<sup>-1</sup>, media similar se obtuvo con SFS (3.690 kg ha<sup>-1</sup>), esta última junto con el SFT presentan promedios que difieren significativamente en relación a los fosfatos naturales (TFM y la RM), así también con el Control, tratamiento en el cual fue registrado el menor resultado de apenas 2.367 kg ha<sup>-1</sup>.

Con respecto a lo anterior, Britos y Emategui (2015) estudiando varias fuentes de P observaron que estas generan rendimientos que difieren significativamente entre sí, constatando además que el SFT refleja superioridad en producción ante un fosfato natural. Respecto a los fosfatos insolubles, Hanish et al. (2011) utilizando polvo de roca, independientemente de la dosis aplicada (2 hasta 12 Mg ha<sup>-1</sup>) no encontraron diferencia estadística en el rendimiento de maíz, verificando un incremento promedio de solo 11%.

El rendimiento promedio del maíz chipa obtenido en el ensayo fue de 3.026 kg ha<sup>-1</sup>, con el SFT se logró el pico más alto en producción con 3.870 kg ha<sup>-1</sup>. Los resultados son inferiores a los obtenidos por IPTA (2015) de 5.200 kg ha<sup>-1</sup>, y Duarte

(2016) de 4.407 kg ha<sup>-1</sup> con una dosis de 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a base de SFT, ambos autores estudiaron la misma variedad utilizada en el experimento.

En cuanto a la correlación existente entre rendimiento y las demás variable estudiadas (Anexo 11), se observa una fuerte correlación entre rendimiento y altura de planta (r: 0,74), al igual que con diámetro del tallo (r: 0,74), GHM (r: 0,79) y con masa seca (r: 0,76), modera correlación fueron vistas entre rendimiento e inserción de mazorca (r: 0,62), así mismo con número de hojas (r: 0,68), DM (r: 0,56), LM (r: 0,63), HGM (r: 0,44) y masa de mil granos (r: 0,37), y baja correlación entre el rendimiento y el IC (r: 0,21).

#### **4.6 Masa seca aérea e índice de cosecha**

Con el análisis de varianza aplicado a los resultados promedios obtenidos de masa seca aérea e índice de cosecha (Anexo 12 y 13), se observa que no existe respuesta significativa para el uso de los PGPR, sin embargo, se puede apreciar que existe diferencia estadística entre los promedios obtenidos con las fuentes de fósforo utilizadas (Tabla 6).

La masa seca aérea presentó una pequeña variación de 9.999 a 10.050 kg ha<sup>-1</sup> con el uso de los PGPR, no siendo significativas las diferencias entre medias. Similar resultado lo observaron Reyes et al. (2008) quienes tampoco encontraron efectos significativos en el peso seco de plantas de maíz al estudiar varias rizobacterias promotoras del crecimiento.

Así mismo, Villa et al. (2014) al experimentar con algunas cepas de *Azospirillum* spp. no encontraron diferencias significativa en la producción de peso seco de follaje con las diferentes cepas estudiadas, tampoco verificaron diferencias con respecto al Testigo. No obstante, Santillana (2006) verificó que la inoculación con biofertilizantes a base de *Pseudomonas* sp. influyó de manera significativa en la producción de masa seca aérea generando un incremento de 45% en la producción.

**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 termomagnesiano (TFM) y Roca molida (RM). Yvyrarovaná, Canindeyú, 2016.

Factor	Tratamientos	Masa seca aérea (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice de cosecha
PGPR	Sin	9.999 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>
	Con	10.050 <sup>a</sup>	0,35 <sup>a</sup>
FUENTES	Control	8.282 <sup>c</sup>	0,35 <sup>a</sup>
	SFT	12.017 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>
	SFS	11.453 <sup>ab</sup>	0,35 <sup>a</sup>
	TFM	9.841 <sup>bc</sup>	0,34 <sup>a</sup>
	RM	8.530 <sup>c</sup>	0,34 <sup>a</sup>
CV (%)		13,05	7,29
DMS PGPR		849	0,01
DMS FUENTES		1.911	0,03

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

La masa seca aérea presentó aumento significativo con la aplicación de fósforo, como se verifica en la tabla de promedios. El SFT demostró superior efectividad ante el tratamiento Control, habiendo una diferencia de 3.735 kg entre estos dos tratamientos, con DMS de 1.911 kg las medias también fueron superiores significativamente con respecto al TFM y la RM. Resultados numéricos menores se obtuvieron con el SFS ante el SFT, pero fueron superiores al TFM y a la RM.

Conforme a lo observado en la variable masa seca aérea, los resultados son similares a los obtenidos por Rodas et al. (2001), quienes observaron que el SFT conduce a un mayor rendimiento en masa seca del maíz en relación a una Roca Fosfórica. Saltos (1996) no observó diferencias significativas en la producción de biomasa seca al estudiar cuatro fuentes fosfatadas, sin embargo la mayor producción apuntaba al uso del SFT.

El índice de cosecha no se vio afectado significativamente por los PGPR, al igual que con las diferentes fuentes de fosfatos, obteniéndose una media general de 0,34 o en otras palabras un promedio de producción de granos de 34%. En relación a

otras variedades como lo observado por Marozzi et al. (2005) en su ensayo con un maíz duro DK 682 MG obtuvo un promedio de índice de cosecha de 0,42 y Soplín et al. (1993) para la variedad Marginal 28 Tropical tuvieron un índice de cosecha de 0,35. Estos valores van a variar conforme varíe la materia seca cosechada, cuanto mayor sea la cantidad de grano cosechado, mayor será el índice de cosecha.

#### 4.7 Eficiencia agronómica y eficiencia económica del fósforo

En la Tabla 7 se presentan los valores medios de la eficiencia agronómica de las diferentes fuentes de fósforo y la eficiencia económica de los tratamientos aplicados. Mediante el análisis de varianza de las mismas (Anexo 14 y 15), se verifica la falta de respuesta de los promotores de crecimiento en ambas variables analizadas, así mismo las medias para las fuentes fosfatadas no difieren significativamente en la eficiencia agronómica del uso de P.

**Tabla 7.** Promedios de eficiencia agronómica (EA) y eficiencia económica (EE) del fósforo 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). Yvyarovaná, Canindeyú, 2016.

Factor	Tratamientos	EA*	EE**
PGPR	Sin	5,7 <sup>a</sup>	0,72 <sup>a</sup>
	Con	15,4 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>
FUENTES	SFT	18,9 <sup>a</sup>	1,95 <sup>a</sup>
	SFS	16,5 <sup>a</sup>	0,76 <sup>b</sup>
	TFM	5,6 <sup>a</sup>	0,26 <sup>bc</sup>
	RM	1,4 <sup>a</sup>	0,01 <sup>c</sup>
MEDIA		10,6	0,74
DMS PGPR		28,63	0,35
DMS FUENTES		54,28	0,67

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

\*kg de granos a más cosechados por kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado.

\*\*kg de grano cosechado por guaraníes invertidos (1.000 G).

A pesar de no encontrarse diferencia estadística para el uso de PGPR, se puede apreciar que mediante el uso de microorganismos es posible obtener en

promedio 9,69 kg más de granos de maíz por cada kg de  $P_2O_5$  aplicado cuando inoculado con PGPR, comparado con las medias obtenidas sin realizar la inoculación. Estos valores a favor del uso de los PGPR se ratifican con el uso de los fertilizantes de baja solubilidad, principalmente con la RM.

Considerando lo anterior, los fertilizantes de liberación lenta no suplen los requerimientos inmediatos de P y con el uso de los PGPR se puede solubilizar el fósforo no disponible y disponibilizarlo para las plantas, Fernández y Rodríguez (2005), Beltrán (2014) mencionan que mediante los mecanismos con los que cuentan estos microorganismos, como la liberación de ácidos orgánicos y de enzimas hidrolíticas se incrementa la movilización y disponibilidad de P. Así también, Corrales et al. (2014) señalan que su empleo es una excelente alternativa en el proceso de solubilización de fosfato.

En cuanto al uso de las diferentes fuentes fosfatadas, la eficiencia agronómica en aquellas de mayor solubilidad (SFT y SFS) es notable, a pesar de no ser significativo. El SFT fue la fuente de P con la cual se obtuvo la media más alta de 18,9 kg de granos por kg de  $P_2O_5$  aplicado, seguido por el SFS con 16,5 kg de granos por kg de  $P_2O_5$  aplicado y los menores valores se verificaron con el TFM y la RM, esta última con el menor promedio, apenas de 1,4 kg de granos por kg de  $P_2O_5$ .

Resende et al. (2006) encontraron mayores valores de eficiencia agronómica con el SFT y el termofosfato reactivo en relación a dos fosfatos naturales. La cantidad de granos cosechados resulta importante si se tiene en consideración lo observado por Duarte (2016) de que el SFT puede ser aplicado a dosis de hasta 120 kg de  $P_2O_5$ , sin embargo, con valores superiores el rendimiento del maíz chipa comienza a decrecer.

En cuanto a la eficiencia económica, los resultados son prácticamente indiferentes con el uso de los PGPR, a pesar de que se vio un aumento en la eficiencia agronómica con uso de microorganismos, principalmente cuando utilizado con los fosfatos menos solubles, sin embargo los incrementos a la productividad aun

no llegan a ser compensadores. En contraposición las fuentes de P si arrojaron una eficiencia diferenciada, obteniéndose con el uso de SFT la media más alta con 1,95 kg de maíz cosechado por cada 1.000 ₡ invertido en forma de fertilizantes fosfatados, siendo este significativamente superior respecto al SFS y las demás fuentes de menor solubilidad.

#### 4.8 Rentabilidad del cultivo

Considerando el rendimiento promedio obtenido en cada tratamiento verificable en la Tabla 5 y los precios de venta del maíz chipa, tanto en finca como en el mercado se presentan los resultados de rentabilidad del cultivo en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Rentabilidad del cultivo con venta del maíz chipa en finca y mercado, 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). Yvyrarovaná, Canindeyú, 2016.

Tratamientos	Costo de producción	R. finca (%)*	R. mercado (%)**
T1: Control	3.528.000	34	96
T2: SFT	4.293.600	84	176
T3: SFS	5.259.600	37	112
T4: TFM	5.314.000	9	69
T5: RM	4.248.000	5	58
T6: PGPR	3.655.000	30	91
T7: SFT + PGPR	4.420.600	72	160
T8: SFS + PGPR	5.386.600	40	117
T9: TFM + PGPR	5.441.000	1	57
T10: RM + PGPR	4.375.000	15	74

\*Precio de venta: 2.000 ₡.

\*\*Precio de venta: 3.500 ₡. Servicio de Información de Mercados Agropecuarios - SIMA (2016).

Conforme al costo de producción que varía en consecuencia a la diferencia de precio de los fertilizantes utilizados en cada tratamiento (Anexo 16), se obtiene los resultados presentados en la Tabla 8, donde se aprecia que el empleo de los PGPR conduce a un ligero aumento en la rentabilidad, únicamente con el SFS y la RM e relación a cuando no son utilizados.

Existe una diferencia importante en relación a la rentabilidad obtenida con las diferentes fuentes de fosfatos, donde se verifica que las fuente de P que generaron una rentabilidad tanto a nivel de finca como de mercado superior al tratamiento control, principalmente el SFT y en menor grado el SFS, en contrapartida el TFM y RM generaron rentabilidades muy por debajo, prácticamente no viables cuando el producto es comercializado en la finca.

Con todos los tratamientos la rentabilidad obtenida se verifica positiva, no obstante, el tratamiento con SFT fue el que generó el valor más alto en relación al Control, existiendo una diferencia de rentabilidad de 50% a nivel de finca y 80% a nivel mercado a favor de dicha fuente cuando es utilizada sin PGPR.

Con respecto a lo observado, datos del MAG (2009) señalan que la rentabilidad del cultivo de maíz (variedad no especificada) en un sistema convencional mecanizado se encuentra entre los 213%, considerando un costo de producción de 2.773.440 ₡.

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

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

Por otra parte, se pudo observar que utilizando los fertilizantes SFT y SFS las plantas llegaron a la fase reproductiva más rápido, al igual que a la madurez fisiológica. Verificándose que existe una diferencia importante en la senescencia de las plantas en relación al uso de los fertilizantes TFM y RM. Esto es debido a que los niveles de P en el suelo son bajos y la dilución de los fosfatos naturales es lenta, lo que disponibiliza trazas muy pequeñas de P, no satisfaciendo los requerimientos de la planta para llevar a cabo las reacciones químicas donde requiere de moléculas energéticas, siendo este el principal papel que cumple dicho elemento, retrasando el crecimiento de las plantas y consecuente la maduración de las mismas (Taiz y Zeiger 2006).

Lazcano (1999) inclusive señala que el fósforo influye en el crecimiento temprano, produciendo efecto de precocidad, a medida que se aplica más  $P_2O_5$  los días a madurez se reducen también para otras gramíneas como el arroz y el trigo, al igual que para el cultivo de algodón y algunas hortalizas.

Respecto a los resultados obtenidos con los promotores de crecimiento, no fueron encontrados efectos significativos en ninguno de los parámetros evaluados, esta ausencia de respuesta a la inoculación con el tribacterial podría estar relacionada a las condiciones del medio donde se efectuó el ensayo, puesto que la supervivencia de estos microorganismos esta favorecida por elevados contenidos de materia orgánica en el suelo (Perotti et al. 2005) y un pH cercano a la neutralidad es determinante para lograr elevada actividad microbiana (Ramos y Zúñiga 2008),

condiciones que no se verificaron durante el experimento puesto que el contenido orgánico se encontraba por debajo de los niveles considerados como bueno, con solo 0,9%, además de verificarse un pH de 5,1 considerado como ácido.

## **5 CONCLUSIONES**

El uso de los promotores de crecimiento no genera efecto significativo en las variables evaluadas, las fuentes de P influyeron en la altura de planta y de inserción de mazorca, número de hojas, diámetro del tallo, longitud de mazorca, hilera de granos y granos por hilera de mazorca, rendimiento, masa seca aérea y eficiencia económica del P.

El diámetro de mazorca, la masa de 1.000 granos, el índice de cosecha y la eficiencia agronómica se comportan indiferentes ante las distintas fuentes de P.

Económicamente, los tratamientos donde se empleó el SFT la rentabilidad del cultivo de maíz fue mayor.

## **6 RECOMENDACIONES**

La necesidad de tener resultados factibles en la producción requiere de muchas investigaciones. Se recomienda realizar más ensayos referentes a las fuentes de fósforo y los promotores de crecimiento para dar mayor confiabilidad en lo obtenido en el presente experimento.

Además, una correcta elección de la forma de presentar los resultados referentes a los promotores de crecimiento es de gran relevancia en la investigación debido a que su efecto puede ser enmascarado con mayor facilidad cuando es evaluado en conjunto con otros factores.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almendo, MB; Navarro J; Jordán, MM; Gómez, I. 2003. Movilidad y biodisponibilidad del fósforo en un Antrosol del Sureste Español (Alicante) enmendado con lodo de depuradora. *Edafología*, 10(1):7-14.
- ANFF - (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes). 2012. Nota de IFA sobre los falsos mitos sobre la escasez de reservas de fosfato roca (en línea). Consultado el 7 mayo 2016. Disponible en: <http://www.anffe.com/destacados/Todos/2012-03-06%20Nota%20de%20IFA%20sobre%20los%20falsos%20mitos%20sobre%20la%20escasez%20de%20reservas%20de%20fosfato%20roca/index.html>
- Barraco, M; Díaz, M; Álvarez, C. 2007. Aplicaciones incorporadas y “al voleo” de fósforo en cultivos de maíz en la región de la Pampa arenosa *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 35:17-17 (en línea). Consultado el 16 nov 2015. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/B55CFE9D4E9B605103257341005CF06A/\\$file/4.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/B55CFE9D4E9B605103257341005CF06A/$file/4.pdf)
- Barreto, AC; Fernandes, MF. 2002. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. *R. Bras. Ci. Solo.*, 26:151-156.
- Barrios, M; Sandoval, E; Camacaro, O; Borges, J. 2010. Importancia del fósforo en el complejo suelo-animal. *Mundo Pecuario*, 6(2): 151-156.
- Bécquer, CJ; Salas, B; Ávila, U; Palmero, L; Nápoles, JA. Ulloa, L; Suárez, Y; Colina, OL. 2011. Selección de cepas aisladas de rizobios, inoculadas en maíz (*Zea mays* L.), en condiciones de campo en ecosistemas ganaderos de Sancti Spíritus, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 45(4): 445-449.
- Beltrán, ME. 2014. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agrop.*, 15(1):101-113.
- Birbaumer, G; Espínola Alfonso, G; Vega, S; Arguello Meza, V; Florentín, M; Morel Paiva, M; Estigarribia, R; Fariña, H; Vera Sosa, E; Borsy, P. 2008. *Sistemas sostenibles de producción para los principales cultivos agrícolas, hortícolas, forestales y agroforestales de la Región Centro del Paraguay*. Asunción, PY. MAG-GTZ. 354 p.

- Bogado, GA; Enciso, CR; Duarte, OJ. 2014. Polvo de roca: una alternativa para la fertilización del tomate. I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo. IV Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. San Lorenzo, PY Pág. 327 – 329.
- Boschetti, NG; Quintero, CE; Benavidez, RA; Giuffre. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. *Ciencia del Suelo*, 21(1): 1-8.
- Britos, EM; Emategui, VE. 2015. Diferentes formulaciones fosfatadas en la fertilización del maíz. I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo. IV Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. San Lorenzo, PY Pág. 134 – 137.
- Bruulsema, T; Fixen, P; Sulwski, G. 2013. 4R de la nutrición de plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. Estados Unidos. IPNI. 145 p.
- Camas, R; Turrent, A; Cosrtes, JI; Livera, M; González, A; Villar, B; López, J; Espinoza, N; Cadena, P. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdidas de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 3(2): 231-243.
- Cano, M. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad y divulgación científica*, 14(2): 15-31.
- Carvajal, JS; Mera, AC. 2010. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*, 5(2): 77-96.
- Chaparro, JM; Sheflin, AM; Manter, DK; Vivanco, JM. 2012. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biol Fertl Soils*, 48: 489–499.
- Chaves, D. P.; Zucareli, C.; Oliveira Júnior, A. de. 2013. Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 34(1): 57-72.
- Corrales, LC; Arévalo, ZY; Moreno, VE. 2014. Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *NOVA - Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 12 (21): 67-79.
- Cubilla, MM; Wendling, A; Eltz, FL; Amado, TJ; Mielniczuk, J: 2012. Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay. Asunción, PY, CAPEECO. 86 p.
- Domínguez, A. 1997. Tratado de fertilización. 3ra ed. Madrid, ES, Mundi-Prensa. 613 p.

- Duarte, AD. 2016. Fertilización fosfatada con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipa (*Zea mays* var. amiláceo L.). Universidad Nacional de Asunción (UNA), Tesis de grado. San Lorenzo, PY. 68 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*. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Marcos Suárez. Argentina. 4 p.
- Fatecha, A. 2006. Fertilidad de suelos. San Lorenzo, PY. FCA-UNA. 201 p.
- Fernández, C; Mendoza, R; Vázquez, S. 2006. Fracciones de fósforo en los suelos de Corrientes con producción citrícola, arrocería y pastoril. *Ciencia del Suelo*, 24(2): 161-168 (en línea). Consultado el 12 nov 2016. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v24n2/v24n2a08.pdf>
- Fernández, MT; Rodríguez, H. 2005. El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39 (3): 27-34
- 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. Área de Desarrollo Rural, INTA, PERGAMINO (en línea). Consultado el 8 dic 2015. Disponible en: <http://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/inoculacion-con-promotores-de-crecimiento-y-uso-de-diferentes-dosis-de-fertilizantes-fosforados-en-maiz---2006>
- García, IE. 2012. Microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 5:12-16 (en línea). Consultado el 15 nov 2015. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/DB343D7F7A80B13C852579BA0074663C/\\$FILE/12.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/DB343D7F7A80B13C852579BA0074663C/$FILE/12.pdf)
- González, E. 2016. Dosis de nitrógeno con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipa (*Zea mays* var. amiláceo L.). Universidad Nacional de Asunción (UNA), Tesis de grado. San Lorenzo, PY. 57 p.
- Goulart, R. 2011. Promoção de crescimento em gramíneas forrageiras por rizóbios isolados de *Lotus corniculatus*. *Mestre em Ciencia do solo*. Faculdade de Agonomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, BR (en línea). Consultado el 8 dic 2015. Disponible en: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/70357/000876434.pdf?sequence=1>
- Gros A, Domínguez A. 1992 *Abonos: guía práctica de la fertilización*. 8 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 450 p.

- Guerra, JG; Lopes DE Almeida, D; De Araújo Santos, G; Silvestre, M. 1996. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesq. Agropec.*, 31(4): 291-299.
- Guzmán, M. 2009. *Manuel de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento*. México, DF, Limusa. 380 p.
- Hanisch, AL; Fonseca, JA da; 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 el 10 nov 2016. Disponible en: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/911648/desempenho-da-cultura-do-milho-em-diferentes-doses-de-po-de-basalto-com-e-sem-fertilizacao>
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P. 2010. *Metodología de la investigación*. 5 ed. PE, El Comercio. 613 p.
- Iida, CL; Shock, CC. 2009. El dilema del fósforo. Oregon State University, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (en línea). Consultado el 12 nov 2016. Disponible en: <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/20521/em8939-s-e.pdf?sequence=3>
- IPTA (Instituto Paraguayo de Tecnología Agrícola, PY). 2015. Programa de investigación de maíz, sorgo y girasol. IPTA - IMBIO. Capitán Miranda, PY. 2 p.
- Jasinski SM. 2011. Phosphate Rock. *Mineral Commodity Summaries*. Washington, U.S. Geological Survey (en línea). Consultado el 7 mayo 2016. Disponible en: <http://tinyurl.com/4x2fapq>
- Jaramillo, R. 2010. Manejo de fertilizantes fosfatados. Simposio Internacional sobre manejo y uso de fertilizantes. Lima, PE. IPNI (en línea). Consultado el 26 nov 2016. Disponible en: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/0/095799B3072C911305257ACB006E00A1/\\$FILE/Manejo%20de%20fertilizantes%20fosfatados%20pdf.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/0/095799B3072C911305257ACB006E00A1/$FILE/Manejo%20de%20fertilizantes%20fosfatados%20pdf.pdf)
- Kass, DCL.1998, *Fertilidad de suelos*. Ed. Nuñez Solís, J. San José, CR. EUNED. 272 p.
- Lazcano, I. 1996. ¿Se mueve o no se mueve el fósforo en el suelo?. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 1(6): 10-11 (en línea). Consultado el 13 nov 2016. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/AAA91C5C991AFE6E06256B80006F4CB9/\\$file/Breves+SE+MUEVE+O+NO+SE+MUEVE+EL+FOSFORO+EN+EL+SUELO.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/AAA91C5C991AFE6E06256B80006F4CB9/$file/Breves+SE+MUEVE+O+NO+SE+MUEVE+EL+FOSFORO+EN+EL+SUELO.pdf)
- Lazcano, I. 1999. Efectos del fósforo en la maduración de los cultivos. *Informaciones Agronómicas*, 3(7):1-6 (en línea). Consultado el 13 nov 2016. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/901882](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/901882)

ECD971F57D06256B84006B9877/\$file/Efectos+del+f%C3%B3foro+en+la+maduracion+de+los+cultivos.pdf

- 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. *Agronomía Trop.*, 58(4): 391-401 (en línea). Consultado el 25 de oct 2016. 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).
- Loredo, C; López, L; Espinosa, D. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Chapingo, MX. Terra Latinoamericana*, 22(2): 225-239.
- Machado, V. 2013. Productividad y adaptabilidad de cultivares de maíz harinoso Avati Morotí. *Investig. Agrar.*, 15(2): 75-81.
- Machado, VJ; Souza, CH; Andrade, BB; Lana, RM; Korndorfer, GH. 2011. Curvas de disponibilidad de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. *Biosci. J., Uberlândia*, 27(1): 70-76.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY). 2008. Censo de cultivos temporales: maíz chipa y pichinga (en línea). Consultado el 01 set 2015. 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. N° 1. San Lorenzo, PY. (en línea). Consultado el 01 set 2015. Disponible en: <http://www.mag.gov.py/guia%20tecnica.pdf>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY). 2009. Costo de producción de rubros agrícolas (en línea). Consultado el 9 nov 2016. Disponible en: <http://www.mag.gov.py/dgp/Costos%20rubros%20agricolas%202009%20MAG-DGP-UEA.pdf>
- Marozzi, DG; Debortoli, GD; Méndez, M; Currie, H. 2005. Determinación de algunos indicadores de rendimiento en el cultivo de maíz bajo dos sistemas de riego. *UNNE, Comunicaciones científicas y Tecnológicas* (en línea). Consultado el 21 nov 2016. Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/A-036.pdf>

- Mayerling, S; Ramírez, R. 2000. Efecto de la fuente de fósforo sobre la morfología radical y la acumulación del elemento en siete líneas de maíz. *Bioagro*, 12(2): 41-46.
- Melgar, RJ; Díaz Zorita, M. 2008. La fertilización de cultivos y pasturas. 2 ed. Buenos Aires, AR, Hemisferio Sur. 588 p.
- Moreno, LY; Galvis, F. 2013. Potencial biofertilizante diazótrofias aisladas de muestras de suelo rizosférico. *Pastos y Forrajes*, 36(1): 33-37.
- Munera, GA; Meza, DC. 2014. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. UTP. (en línea). Consultado 2 nov 2015. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/5248/1/el%20fosforo%20elemento.pdf>
- Nascimento, BLM; Lima, IMA; Iwata, BF; Aquino, BF. 2014. Altura e diâmetro do milho cultivado em função de diferentes doses de fertilizantes fosfatados. *Scientia Plena*, 10(9).
- Oliveira, MA; Zucareli, C; Spolaor, LT; Domingues, AR; Ferreira, AS. 2012. Desempenho agrônomico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobacterias. *Rev. Bras. de Eng. Agr. e Amb.*, 16(10):1040-1046 (en línea). Disponible en: <http://www.agriambi.com.br/revista/v16n10/v16n10a02.pdf>
- Paredes, MC. 2013. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina (en línea). Consultado el 7 dic 2015. 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. *Fac Agron (UCV)* 37(2): 86-92 (en línea). Consultado el 09 sep 2015. 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)
- 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.
- Planet, D; Etchebest, S; Mollier, A; Pellerin, S. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus. *Plant and Soil*, 233: 119-132 (en línea) Consultado el 14 nov 2016. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1004835621371>

- 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.
- Quinto, BE. 2015. Estudio sobre dos fuentes de fertilizantes con base en nitrógeno y fósforo en dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de grado para obtención de título de Ingeniera Agrónoma. Ecuador. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil. 82 p. (en línea). Consultado el 05 nov 2016. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7397/1/TESIS%20BARBARA%20QUINTO.pdf>
- Rasche, JW; Cabral, CC; Muller, EA; Drescher, GL; Souza, L. 2016. Fertilización fosfatada y encalado y su efecto sobre el desarrollo, productividad y ataque del barrenador en caña de azúcar. Centro Agrícola, 43(1): 36-43.
- Ramírez, VH; Rendón, L; Acevedo, L. 2011. Adsorción máxima del fósforo en suelos de la zona andina centro occidental de Colombia. Suelos Ecuatoriales, 41(2): 155-163.
- Ramos, E; Zúñiga, D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. Ecol. Apl. 7(1,2): 123-130 (en línea). Consultado el 14 nov 2016. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a15v7n1-2.pdf>
- Rangel, JA; Ramírez, RM; Cervantes, F; Mendoza, M; Garcia, E; Rivera, JG. 2014. Biofertilización de *Azospirillum* spp. y rendimiento de grano de maíz, sorgo y trigo. Rev. FCA UNCUYO, 46(2): 231-238.
- Reiche González, AC. 2011. Determinación de la fijación de fósforo y potasio en un suelo joven y un suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras. (en línea). Consultado el 2 nov 2015. Disponible en: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/558/1/Copia%20de%20T3143.pdf>
- Resende, AV; Furtini Neto, AE; Carvalho, VM; Muniz, JA; Curi, N; Faquin, V; Kimpara, DA; Lopes, JZ; Carneiro, LF. 2006. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. R. Bras. Ci. Solo. 30(3):453-466.
- Reyes, I; Álvarez, L; El-Ayoubi, H; Valery, A. 2008. Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimiento y maíz. Bioagro, 20(1): 37-48.
- Rheinheimer, DS; Anghinoni, I. 2001. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. Pesq. Agropec. Bras., 36(1): 151-160.
- Rissato, LE. 2016. Inoculación de *Pseudomonas* via semente e eficiência agronômica de fosfatos na cultura do milho. Teis de post grado para la obtención de

Maestría en Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. San Paulo, BR. 101 p.

- Rodas, A; Núñez, R; Espinosa, V; Alcántar, G. 2001. Asociación lupino-maíz en la nutrición fosfatada en un Andisol. *TERRA* 19(2): 141- 154 (en línea). Consultado el 21 de oct 2016. Disponible en: <https://chapingo.mx/terra/contenido/19/2/art141-154.pdf>
- Rojas, C. 2015. Interpretación de la disponibilidad de fósforo en los suelos de Chile. (en línea). Consultado el 2 nov 2015. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf>
- Ronen, E. 2008. Microelementos en la agricultura. *Red Hidroponía*. Boletín No 38: 1-10.
- Rouws, LF; Leite, J; Feitosa De MatoS, G; Zilli, JE; RODrigues Coelho, MR; Ribeiro, G; fisher, D; Hartmann, A; Massena, V; Baldani, JI. 2014. Endophytic Bradyrhizobium spp. Isolates from sugarcane obtained through different culture strategies. *Environmental Microbiology Reports*, 6(4): 354–363.
- Saltos, JA. 1996. Evaluación de sulfato de amonio y la humedad como solubilizantes de la roca fosfórica de Monte Fresco. Maracay, VE. UCV. 61 pág. (en líneas). Consultado el 25 de oct 2016. Disponible en: <https://books.google.com.py/books?id=WLMzAQAAMAAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Sangoi, L; Silva, LM; Mota, MR; Panison, F; Schmitt, A; Souza, NM; Giordani, W; Schenatto, DE. 2015. Desempenho Agronômico 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.
- Santillana, N. 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. *Ecol. Apl.*, 5(1,2): 87-91
- Silva, MM; Rollán, AA; Bachmeier, OA. 2006. Biodisponibilidad de fósforo en un suelo del sur de Santa Fe (Argentina). Efectos de dos fuentes fosfatadas y sus mezclas con urea. *Agriscientia*, 23(2): 91-97
- SIMA (Servicio de Información de Mercados Agropecuarios, PY). 2016. Situación de los Mercados de Productos Fruti-hortícolas en el Paraguay. San Lorenzo, PY. 28 pág (en línea). Consultado el 9 nov 2016. Disponible en: [http://www.mag.gov.py/Comercializacion/ENE\\_2016.pdf](http://www.mag.gov.py/Comercializacion/ENE_2016.pdf)
- Soplin, JA; Rengifo, AM; Chumbe, J. 1993. Análisis de crecimiento en *Zea mays* L y *Arachis hypogaea* L. *Folia Amazónica*, 5(1,2): 171 – 189
- Stefanuti, R; Malavota, E; Muraoka, T. 1995. Recuperação do fósforo residual do solo, derivado de um termofosfato magnesiano com diferentes granulometrias e do superfosfato simples granulado. *Sci. Agric.*, 52(2): 233-238 (en línea).

Consultado el 13 nov 2016. Disponible en: <http://www.revistas.usp.br/sa/article/viewFile/20284/22402>

- Taiz, L; Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. USA: Universitat Jaume I. 549 p.
- Valdez y Gray. 2014. Fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en maíz. III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, PY. Pág.: 295 - 297 (en líneas). Consultado el 25 de oct 2016. Disponible en: <http://www.agr.una.py/descargas/tapas/IICNCA2014.pdf>
- Villa, L; Mayek, N; Garcia, JG; Hernandez JL. 2014. Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. Avances de Investigación Agropecuaria, 18(1): 33-38.
- Yamada, T. 2003. Como mejorar la eficiencia de la fertilización aprovechando las interacciones entre nutrientes. Informaciones Agrarias, 50: 1-6.
- Zapata, F; Roy, RN. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. FAO, Roma. 177 p.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Análisis de varianza de la variable altura de planta con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura Planta	40	0,67	0,52	5,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,72	12	0,06	4,50	0,0006
Factor A (PGPR)	1,2E-04	1	1,2E-04	0,01	0,9243
Factor B (Fuentes)	0,55	4	0,14	10,33	<0,0001
Repeticiones	0,11	3	0,04	2,80	0,0593
Factor A*Factor B	0,06	4	0,01	1,07	0,3902
Error	0,36	27	0,01		
Total	1,08	39			

**Anexo 2.** Análisis de varianza de la variable altura de inserción de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura Mazorca	40	0,48	0,25	10,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,29	12	0,02	2,10	0,0537
Factor A (PGPR)	1,0E-05	1	1,0E-05	8,7E-04	0,9767
Factor B (Fuentes)	0,24	4	0,06	5,33	0,0027
Repeticiones	0,02	3	0,01	0,68	0,5701
Factor A*Factor B	0,02	4	0,01	0,46	0,7670
Error	0,31	27	0,01		
Total	0,60	39			

**Anexo 3.** Análisis de varianza de la variable hojas por planta con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Hojas por planta	40	0,60	0,42	4,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15,99	12	1,33	3,36	0,0043
Factor A (PGPR)	0,11	1	0,11	0,28	0,6023
Factor B (Fuentes)	14,07	4	3,52	8,87	0,0001
Repeticiones	1,00	3	0,33	0,84	0,4832
Factor A*Factor B	0,81	4	0,20	0,51	0,7301
Error	10,71	27	0,40		
Total	26,70	39			

**Anexo 4.** Análisis de varianza de diámetro del tallo con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro del tallo	40	0,69	0,55	5,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	83,66	12	6,97	4,99	0,0003
Factor A (PGPR)	2,07	1	2,07	1,48	0,2339
Factor B (Fuentes)	64,28	4	16,07	11,51	<0,0001
Repeticiones	14,38	3	4,79	3,43	0,0309
Factor A*Factor B	2,93	4	0,73	0,52	0,7190
Error	37,70	27	1,40		
Total	121,36	39			

**Anexo 5.** Análisis de varianza de diámetro de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro de mazorca	40	0,35	0,06	4,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,39	12	0,03	1,20	0,3292
Factor A (PGPR)	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Factor B (Fuentes)	0,23	4	0,06	2,20	0,0962
Repeticiones	0,09	3	0,03	1,08	0,3756
Factor A*Factor B	0,07	4	0,02	0,61	0,6588
Error	0,72	27	0,03		
Total	1,10	39			

**Anexo 6.** Análisis de varianza de longitud de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Longitud de mazorca	40	0,63	0,46	5,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	36,49	12	3,04	3,78	0,0020
Factor A (PGPR)	0,01	1	0,01	0,01	0,9227
Factor B (Fuentes)	23,78	4	5,94	7,40	0,0004
Repeticiones	7,14	3	2,38	2,96	0,0499
Factor A*Factor B	5,57	4	1,39	1,73	0,1721
Error	21,70	27	0,80		
Total	58,19	39			

**Anexo 7.** Análisis de varianza de hilera de granos por mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Hilera de granos por mazorca	40	0,42	0,16	5,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9,00	12	0,75	1,64	0,1399
Factor A (PGPR)	0,03	1	0,03	0,05	0,8171
Factor B (Fuentes)	5,00	4	1,25	2,73	0,0500
Repeticiones	2,88	3	0,96	2,09	0,1249
Factor A*Factor B	1,10	4	0,27	0,60	0,6658
Error	12,38	27	0,46		
Total	21,38	39			

**Anexo 8.** Análisis de varianza de granos por hilera de mazorca con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Granos por hilera de mazorca	40	0,66	0,51	8,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	301,10	12	25,09	4,32	0,0008
Factor A (PGPR)	2,50	1	2,50	0,43	0,5173
Factor B (Fuentes)	267,65	4	66,91	11,52	<0,0001
Repeticiones	14,70	3	4,90	0,84	0,4820
Factor A*Factor B	16,25	4	4,06	0,70	0,5990
Error	156,80	27	5,81		
Total	457,90	39			

**Anexo 9.** Análisis de varianza de masa de 1000 granos con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Masa de 1.000 granos	40	0,28	0,00	11,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4176,10	12	348,01	0,88	0,5741
Factor A (PGPR)	11,02	1	11,02	0,03	0,8685
Factor B (Fuentes)	1811,75	4	452,94	1,15	0,3554
Repeticiones	2221,48	3	740,49	1,88	0,1573
Factor A*Factor B	131,85	4	32,96	0,08	0,9868
Error	10652,28	27	394,53		
Total	14828,38	39			

**Anexo 10.** Análisis de varianza de rendimiento con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento	40	0,71	0,59	16,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17741639,70	12	1478469,98	5,64	0,0001
Factor A (PGPR)	12567,03	1	12567,03	0,05	0,8283
Factor B (Fuentes)	16385133,15	4	4096283,29	15,63	<0,0001
Repeticiones	1058171,68	3	352723,89	1,35	0,2804
Factor A*Factor B	285767,85	4	71441,96	0,27	0,8931
Error	7076564,08	27	262094,97		
Total	24818203,78	39			

**Anexo 11.** Coeficiente de correlación de Pearson entre las variables evaluadas.

Variabes	Altura planta	Inserción mazorca	Nº de hojas	Diámetro tallo	DM	LM	HGM	GHM	Masa mil granos	Masa seca	IC	Rend.
Altura de planta	1,00	0,89	0,89	0,78	0,51	0,63	0,53	0,78	0,22	0,83	0,10	0,74
Inserción mazorca	0,89	1,00	0,82	0,67	0,32	0,57	0,29	0,70	0,09	0,67	0,15	0,62
Nº hojas	0,89	0,82	1,00	0,81	0,45	0,63	0,52	0,77	0,12	0,80	0,07	0,68
Diámetro tallo	0,78	0,67	0,81	1,00	0,45	0,73	0,46	0,80	0,23	0,87	-0,02	0,74
DM	0,51	0,32	0,45	0,45	1,00	0,41	0,53	0,47	0,39	0,61	0,30	0,56
LM	0,63	0,57	0,63	0,73	0,41	1,00	0,34	0,87	0,34	0,74	0,20	0,63
HGM	0,53	0,29	0,52	0,46	0,53	0,34	1,00	0,44	0,26	0,47	0,20	0,44
GHM	0,78	0,70	0,77	0,80	0,47	0,87	0,44	1,00	0,34	0,81	0,32	0,79
Masa mil granos	0,22	0,09	0,12	0,23	0,39	0,34	0,26	0,34	1,00	0,33	0,22	0,37
Masa seca	0,83	0,67	0,80	0,87	0,61	0,74	0,47	0,81	0,33	1,00	-0,02	0,76
IC	0,10	0,15	0,07	-0,02	0,30	0,20	0,20	0,32	0,22	-0,02	1,00	0,21
Rend.	0,74	0,62	0,68	0,74	0,56	0,63	0,44	0,79	0,37	0,76	0,21	1,00

**Anexo 12.** Análisis de varianza de masa seca aérea con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Masa seca aérea	40	0,71	0,59	13,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	115206777,30	12	9600564,78	5,61	0,0001
Factor A (PGPR)	26625,60	1	26625,60	0,02	0,9017
Factor B (Fuentes)	90534547,25	4	22633636,81	13,22	<0,0001
Repeticiones	21024793,80	3	7008264,60	4,09	0,0162
Factor A*Factor B	3620810,65	4	905202,66	0,53	0,7157
Error	46240522,70	27	1712611,95		
Total	161447300,00	39			

**Anexo 13.** Análisis de varianza de índice de cosecha con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Índice de cosecha	40	0,35	0,06	7,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	12	7,6E-04	1,22	0,3228
Factor A (PGPR)	1,2E-03	1	1,2E-03	1,94	0,1752
Factor B (Fuentes)	8,0E-04	4	2,0E-04	0,32	0,8618
Repeticiones	2,5E-03	3	8,2E-04	1,31	0,2920
Factor A*Factor B	4,6E-03	4	1,2E-03	1,86	0,1468
Error	0,02	27	6,2E-04		
Total	0,03	39			

**Anexo 14.** Análisis de varianza de eficiencia agronómica del P con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Eficiencia agronómica del P	32	0,20	0,00	367,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7934,31	10	793,43	0,52	0,8548
Factor A (PGPR)	750,78	1	750,78	0,49	0,4895
Factor B (Fuentes)	1705,09	3	568,36	0,37	0,7722
Repeticiones	2883,84	3	961,28	0,63	0,6016
Factor A*Factor B	2594,59	3	864,86	0,57	0,6409
Error	31859,41	21	1517,11		
Total	39793,72	31			

**Anexo 15.** Análisis de varianza de eficiencia económica del P con el uso de promotores de crecimiento (PGPR) y fuentes de fósforo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura Planta	32	0,77	0,67	68,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18,63	10	1,86	7,21	0,0001
Factor A(PGPR)	0,02	1	0,02	0,07	0,7994
Factor B(Fuentes)	17,71	3	5,90	22,85	<0,0001
Repeticiones	0,49	3	0,16	0,63	0,6010
Factor A*Factor B	0,41	3	0,14	0,53	0,6695
Error	5,43	21	0,26		
Total	24,05	31			

**Anexo 16.** Datos utilizados para la elaboración de rentabilidad a nivel de finca y de mercado del cultivo de maíz chipa.

<b>Costo de insumos técnicos y físicos utilizados</b>				
Concepto	Cantidad	Unidad	Precio unitario (₡)	Precio total (₡)
Cal agrícola	800	Kg	450	360.000
Apl. de cal agr.	3	Jornal	75.000	225.000
Prep. del terreno	5	Jornal	75.000	375.000
Semillas	20	Kg	12.000	240.000
Siembra	3	Jornal	75.000	225.000
SFT	174	Kg	4.400	765.600
SFS	444	Kg	3.900	1.731.600
TFM	470	Kg	3.800	1.786.000
Roca molida	300	Kg	2.400	720.000
KCl	116	Kg	3.800	440.800
Urea	177	Kg	3.600	637.200
Fertilización	3	Jornal	75.000	225.000
Fertilización cob.	3	Jornal	75.000	225.000
Insecticida	1	L	200.000	200.000
Aplicación Insec.	3	Jornal	75.000	225.000
Tribacterial	1		127.000	127.000
Carpidas	6	Jornal	75.000	450.000
Flete (mercado)	5	t	-----	700.000

<b>Costo de producción e ingreso neto (IN) para cada tratamiento</b>					
Tratamientos	Rendimiento	Costo prod. finca	Costo prod. mercado	IN finca	IN mercado
T1: Control	2.362	3.528.000	4.228.000	1.196.000	4.039.000
T2: SFT	3.942	4.293.600	4.993.600	3.590.400	8.803.400
T3: SFS	3.605	5.259.600	5.959.600	1.950.400	6.657.900
T4: TFM	2.899	5.314.000	6.014.000	484.000	4.132.500
T5: RM	2.236	4.248.000	4.948.000	224.000	2.878.000
T6: PGPR	2374	3.655.000	4.355.000	1.093.000	3.954.000
T7: SFT + PGPR	3.798	4.420.600	5.120.600	3.175.400	8.172.400
T8: SFS + PGPR	3.776	5.386.600	6.086.600	2.165.400	7.129.400
T9: TFM + PGPR	2.756	5.441.000	6.141.000	71.000	3.505.000
T10: RM + PGPR	2.517	4.375.000	5.075.000	659.000	3.734.500
Precio de maíz por kg en finca de 2.000₡ y 3500₡ en el mercado por kg de grano					

**Anexo 17.** Datos de las mediciones realizadas a las variables para cada unidad experimental.

Factor A	Factor B	Rep.	Altura planta	Inserción mazorca	Nº hojas	Diámetro tallo	DM	LM
no PGPR	Control	1	2,29	1,07	13,7	1,9	3,5	15,5
no PGPR	Control	2	2,41	1,17	14,5	1,9	3,4	14,8
no PGPR	Control	3	2,15	0,94	13,0	1,9	3,3	13,9
no PGPR	Control	4	1,98	0,85	12,2	1,7	3,5	14,7
no PGPR	SFT	1	2,26	1,07	13,6	1,8	3,6	16,4
no PGPR	SFT	2	2,53	1,07	14,8	2,2	3,7	15,3
no PGPR	SFT	3	2,52	1,27	15,1	2,2	3,6	17,2
no PGPR	SFT	4	2,34	1,16	14,6	2,2	3,7	15,6
no PGPR	SFS	1	2,38	1,13	15,1	2,0	3,7	15,1
no PGPR	SFS	2	2,47	1,16	14,2	2,2	3,7	16,3
no PGPR	SFS	3	2,49	1,08	15,2	2,2	3,7	16,5
no PGPR	SFS	4	2,48	1,16	14,8	2,0	3,8	16,0
no PGPR	TFM	1	2,26	1,01	13,4	1,8	3,7	15
no PGPR	TFM	2	2,49	1,23	14,0	2,1	3,7	17,8
no PGPR	TFM	3	2,44	1,19	14,5	2,0	3,6	16,8
no PGPR	TFM	4	2,22	1,08	13,3	1,9	3,4	14,9
no PGPR	Roca Molida	1	2,20	0,99	13,9	1,7	3,6	13,9
no PGPR	Roca Molida	2	2,32	1,10	13,6	1,9	3,7	15,1
no PGPR	Roca Molida	3	2,00	0,89	12,7	1,9	3,0	14,7
no PGPR	Roca Molida	4	1,89	0,79	12,4	1,7	3,5	13,9
si PGPR	Control	1	2,14	0,98	13,3	1,7	3,4	13,7
si PGPR	Control	2	2,28	1,08	14,0	2,0	3,6	16,1
si PGPR	Control	3	2,01	0,83	13,1	1,9	3,7	15,8
si PGPR	Control	4	2,10	0,90	12,9	1,8	3,4	13,3
si PGPR	SFT	1	2,59	1,28	15,3	2,2	3,6	15,8
si PGPR	SFT	2	2,41	1,07	14,1	2,1	3,8	17,0
si PGPR	SFT	3	2,43	1,10	14,6	2,1	3,4	17,5
si PGPR	SFT	4	2,36	1,18	14,5	2,1	3,7	16,2
si PGPR	SFS	1	2,52	1,33	15,3	2,3	3,6	16,0
si PGPR	SFS	2	2,30	0,98	14,2	2,1	3,7	16,0
si PGPR	SFS	3	2,41	1,13	14,3	2,2	3,7	16,7
si PGPR	SFS	4	2,38	1,18	15,3	2,2	3,4	18,1
si PGPR	TFM	1	2,29	1,13	13,8	2,0	3,5	15,0
si PGPR	TFM	2	2,32	1,09	13,8	1,9	3,6	14,4
si PGPR	TFM	3	2,20	0,97	13,2	1,9	3,6	15,2
si PGPR	TFM	4	2,39	1,16	13,8	1,9	3,6	14,4
si PGPR	Roca Molida	1	2,19	1,04	13,6	1,8	3,2	15,1
si PGPR	Roca Molida	2	2,23	0,91	13,4	1,9	3,6	14,2
si PGPR	Roca Molida	3	2,37	1,07	14,9	2,3	3,8	16,4
si PGPR	Roca Molida	4	2,13	1,02	13,3	1,7	3,5	13,1

**Anexo 18.** Datos de las mediciones realizadas a las variables para cada unidad experimental (continuación).

Factor A	Factor B	Rep.	HGM	GHM	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	Masa mil granos	Masa seca kg ha <sup>-1</sup>	Índice cosecha
no PGPR	Control	1	13	28	2.604	157	8.935	0,38
no PGPR	Control	2	13	27	2.680	172	9.149	0,31
no PGPR	Control	3	12	22	2.764	160	8.603	0,28
no PGPR	Control	4	12	25	1.398	169	8.171	0,34
no PGPR	SFT	1	12	30	4.416	186	10.350	0,36
no PGPR	SFT	2	13	31	4.254	186	13.599	0,32
no PGPR	SFT	3	12	33	3.619	165	13.905	0,33
no PGPR	SFT	4	14	28	3.479	165	10.206	0,36
no PGPR	SFS	1	13	29	3.276	181	11.621	0,32
no PGPR	SFS	2	13	31	3.962	179	10.277	0,37
no PGPR	SFS	3	14	30	3.640	184	12.201	0,33
no PGPR	SFS	4	14	30	3.541	190	11.613	0,35
no PGPR	TFM	1	13	26	3.186	195	8.583	0,37
no PGPR	TFM	2	12	29	3.479	174	11.873	0,35
no PGPR	TFM	3	13	29	2.316	185	10.492	0,35
no PGPR	TFM	4	11	26	2.614	177	8.356	0,33
no PGPR	Roca Molida	1	12	23	2.592	156	8.732	0,35
no PGPR	Roca Molida	2	13	26	2.909	202	9.234	0,35
no PGPR	Roca Molida	3	12	22	1.673	160	7.401	0,27
no PGPR	Roca Molida	4	11	21	1.772	169	6.683	0,32
si PGPR	Control	1	12	23	2.235	147	6.491	0,37
si PGPR	Control	2	13	30	2.868	188	9.846	0,39
si PGPR	Control	3	13	26	2.537	185	8.698	0,35
si PGPR	Control	4	12	24	1.855	157	6.365	0,36
si PGPR	SFT	1	13	29	3.825	165	12.233	0,32
si PGPR	SFT	2	13	30	3.709	189	13.964	0,32
si PGPR	SFT	3	13	33	3.441	174	10.865	0,34
si PGPR	SFT	4	12	32	4.219	195	11.019	0,35
si PGPR	SFS	1	13	30	3.512	158	12.994	0,34
si PGPR	SFS	2	14	28	3.248	178	10.453	0,34
si PGPR	SFS	3	13	32	5.032	224	11.960	0,39
si PGPR	SFS	4	12	33	3.310	168	10.511	0,34
si PGPR	TFM	1	13	28	3.047	129	10.154	0,34
si PGPR	TFM	2	12	23	2.182	204	9.456	0,32
si PGPR	TFM	3	13	26	2.679	221	9.977	0,33
si PGPR	TFM	4	12	27	3.115	181	9.837	0,35
si PGPR	Roca Molida	1	12	27	2.297	190	8.654	0,39
si PGPR	Roca Molida	2	13	24	2.459	155	8.753	0,34
si PGPR	Roca Molida	3	13	30	3.101	182	12.550	0,35
si PGPR	Roca Molida	4	12	21	2.212	143	6.236	0,33