

**FERTILIZACIÓN FOSFATADA CON ENMIENDAS ORGÁNICA E
INORGÁNICA EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* var. amiláceo L.)**

ALDER DELOSANTOS DUARTE MONZÓN

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

**FERTILIZACIÓN FOSFATADA CON ENMIENDAS ORGÁNICA E
INORGÁNICA EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* var. amiláceo L.)**

ALDER DELOSANTOS DUARTE MONZÓN

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

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. (MSc.) María del Pilar Galeano Samaniego

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

**FERTILIZACIÓN FOSFATADA CON ENMIENDAS ORGÁNICA E
 INORGÁNICA EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* var. amiláceo L.)**

Esta Tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de Ingeniero Agrónomo, otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción.

Autor: Alder Delosantos Duarte Monzón

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

Alvarez

Miembros del Comité Asesor

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

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Prof. Ing. Agr. (MSc.) María del Pilar Galeano Samaniego

San Lorenzo – Paraguay, 29 de Noviembre de 2016

DEDICADO

*A mis Queridos Padres,
Alejandro y Luisa, quienes me dieron la vida,
me inculcaron siempre el amor, el respeto,
la honestidad y sobre todo, el valor.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso y a la Virgen María por engrandecerme espiritualmente, mantenerme con salud, guiar mis pasos y por darme la fuerza necesaria para seguir siempre adelante y alcanzar mis sueños.

A mis padres Alejandro y Luisa por la confianza de siempre, el constante e incondicional apoyo, a quienes debo este triunfo profesional, por todo su trabajo y dedicación para darme una formación académica y sobre todo humanista y espiritual. De ellos es este triunfo y para ellos es todo mi agradecimiento. Además por la gran colaboración en facilitar el terreno, maquinarias e implementos para la realización del trabajo de Tesis.

A mis hermanos por la ayuda que siempre me han brindado, por sus consejos, apoyo moral e incondicional, por estar siempre ahí.

A mis orientadores Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Alvarez, Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas e Ing. Agr. (MSc.) María del Pilar Galeano Samaniego, por el apoyo, confianza, sus excelentes guías para esta investigación y simplemente por ser personas increíbles.

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), por el financiamiento de la Tesis dentro del Marco del Proyecto 14-INV-130 “Manejo Sostenible de la Fertilidad del Suelo para la Producción de Alimentos”.

Al CAIASA (Complejo Agroindustrial Angostura S.A.) por proveer la ceniza, utilizada como uno de los tratamientos en la presente investigación.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción en especial al Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, por el apoyo brindado para la realización del trabajo de Tesis.

A mis compañeros Eugenio González, Samuel Salvador y Derlis Enciso por la ayuda brindada para la ejecución del presente experimento. Y los demás compañeros de la Orientación de Suelos por la ayuda, la comprensión y la amistad brindada durante estos años de estudio.

FERTILIZACIÓN FOSFATADA CON ENMIENDAS ORGÁNICA E INORGÁNICA EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* var. amiláceo L.)

Autor: Alder Delosantos Duarte Monzón

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

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. (MSc.) María del Pilar Galeano Samaniego

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial y compone uno de los cultivos de subsistencia tradicional de las familias campesinas. El experimento se realizó en Ybyrarobana, Canindeyú, con el objetivo de evaluar los efectos de dosis de fósforo, con la utilización de enmiendas orgánica e inorgánica sobre la producción del maíz chipá. El diseño usado fue de parcelas subdivididas. Las enmiendas (estiércol de bovino, ceniza de expeller de soja y testigo) ocuparon las parcelas y las dosis de P_2O_5 (0, 40, 80, 120 y 160 kg ha^{-1}) las subparcelas, estas se distribuyeron en el campo en un diseño de bloques completamente al azar, en cuatro bloques. En todos los tratamientos fueron aplicados, 80 kg ha^{-1} de N y 70 kg ha^{-1} de K_2O . Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 5 m de largo por 3,5 m de ancho ($17,5 \text{ m}^2$). Se determinó análisis del suelo posterior a la cosecha, altura de planta, diámetro del tallo, N° hojas planta $^{-1}$, masa seca aérea, longitud y diámetro de espiga, peso de mil granos y rendimiento del cultivo. Todos los datos fueron sometidos a ANAVA y comparación de medias mediante el test de Tukey al 5%. En todos los parámetros analizados se observaron diferencias significativas entre las enmiendas utilizadas a excepción en la longitud de espiga. No se encontraron significancia estadística entre las dosis aplicadas de P_2O_5 en las variables analizadas, siendo la media general de altura de planta, diámetro del tallo, masa seca aérea, N° hojas planta $^{-1}$, longitud y diámetro de espiga, peso de mil granos y rendimiento de granos del maíz; 2,41 m; 22,39 mm; $11.907 \text{ kg ha}^{-1}$; 14,36; 17,04 cm; 37,61 mm; 223 g y 4.339 kg ha^{-1} , respectivamente. En cuanto al análisis de suelos existe una tendencia de aumento del pH con la ceniza, y en el potasio con el estiércol de bovino. El maíz respondió a los tratamientos con enmiendas, en cambio, no respondieron a los tratamientos con dosis de P_2O_5 .

Palabras clave: avatí chipá, fósforo, estiércol de bovino, ceniza.

FERTILIZAÇÃO FOSFATADA COM EMENDAS ORGÂNICA E INORGÂNICA EM MILHO CHIPÁ (*Zea mays* var. amiláceo L.)

Autor: Alder Delosantos Duarte Monzón

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

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. (MSc.) María del Pilar Galeano Samaniego

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais importantes a nível mundial e compõe um dos cultivos de subsistência tradicional das famílias camponesas. O experimento realizou-se em Ybyrarobana, Canindeyú, com o objetivo de avaliar os efeitos de doses de fósforo, com a utilização de emendas orgânica e inorgânica sobre a produção do milho chipá. O desenho usado foi de parcelas subdivididas. As emendas (esterco bovino, cinza de expeller de soja e testemunha) ocuparam as parcelas e as doses de P_2O_5 (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) as subparcelas, estas se distribuíram no campo num desenho de blocos ao acaso, em quatro blocos. Em todos os tratamentos foram aplicados, 80 kg ha⁻¹ de N e 70 kg ha⁻¹ de K₂O. Cada unidade experimental teve uma dimensão de 5 m de comprimento por 3,5 m de largura (17,5 m²). Determinou-se a análise do solo posterior à colheita, altura de planta, diâmetro do caule, N° folhas planta⁻¹, massa seca aérea, longitude e diâmetro de espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos. Todos os dados foram submetidos a ANAVA e foi realizado comparação de médias pelo teste de Tukey ao 5%. Em todos os parâmetros analisados se observaram diferenças significativas entre as emendas utilizadas a exceção na longitude de espiga. Não se encontraram significância estatística entre as doses aplicadas de P_2O_5 nas variáveis analisadas, sendo a média geral de altura de planta, diâmetro do caule, massa seca aérea, N° folhas planta⁻¹, comprimento e diâmetro de espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos do milho; 2,41 m; 22,39 mm; 11.907 kg ha⁻¹; 14,36; 17,04 cm; 37,61 mm; 223 g y 4.339 kg ha⁻¹, respectivamente. Quanto à análise do solo existe uma tendência de aumento no pH com a cinza, e no potássio com o esterco bovino. O milho respondeu aos tratamentos com emendas, mas, não responderam aos tratamentos com doses de P_2O_5 .

Palavras-chave: avatí chipá, fósforo, esterco bovino, cinza.

FERTILISATION FOSFATADA WITH ORGANIC AND INORGANIC AMENDMENTS IN CORN CHIPÁ (*Zea mays* var. *amiláceo* L.)

Author: Alder Delosantos Duarte Monzón

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

Co- Advisor: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Co- Advisor: Prof. Ing. Agr. (MSc.) María del Pilar Galeano Samaniego

SUMMARY

The corn (*Zea mays* L.) is one of the most important cereals in the world and composes one of the crops of traditional subsistence of the family's peasants. The experiment made in Ybyrarobana, Canindeyú, and the objective of the investigation was to evaluate the effects of dose of phosphorus, with the utilization of organic and inorganic amendments on the production of the corn chipá. The design used was of plots subdivided. The amendments (cattle manure, ash of soya expeller and control) occupied the plots and the doses of P_2O_5 (0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹) the subplots, these distributed in the field in a design of blocks entirely randomized, in four blocks. In all treatments were applied, 80 kg ha⁻¹ of N and 70 kg ha⁻¹ of K₂O. Each experimental unit had 5 m of long by 3,5 m of width (17,5 m²). It determined analysis of the soil analyses after harvest, height of plant, diameter of the cut, N° leaves plants⁻¹, aerial dry mass, length and diameter of spike, weight of one thousand grains and performance of grains of the corn. All the data were subjected to ANAVA and comparison of averages by means of the test of Tukey to 5%. In all the parameters analyzed observed significant differences between the amendments used to exception in the length of spike. They did not find significance statistical between the doses applied of P_2O_5 in the variables analyzed, Being the general average of height of plant, diameter of the cut, aerial dry mass, N° leaves plants⁻¹, length and diameter of spike, weight of one thousand grains and performance of grains of the corn; 2,41 m; 22,39 mm; 11.907 kg ha⁻¹; 14,36; 17,04 cm; 37,61 mm; 223 g and 4.339 kg ha⁻¹, respectively. Regarding the analysis of floors exists a tendency of increase in the pH with the ash, and in the potassium with the muck of bovine. The corn answered to the treatments with amendments, instead, did not answer to the treatments with dose of P_2O_5 .

Key words: avatí chipá, phosphorus, cattle manure, ash.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
RESUMO.....	vi
SUMMARY.....	vii
TABLA DE CONTENIDO	viii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ANEXOS	xii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Aspectos generales del cultivo de maíz.....	3
2.2 Ciclo del Fósforo	5
2.3 Fósforo en el suelo	7
2.4 Fósforo en la planta	10
2.5 Absorción del fósforo por las plantas.....	11
2.6 Disponibilidad de fósforo en el suelo.....	12
2.7 Utilización de fertilizantes fosfatados	13
2.8 Determinación del nivel crítico del fósforo.....	15
2.9 Utilización de enmiendas orgánicas e inorgánicas.....	15
3 MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Localización y caracterización del área experimental.....	18
3.2 Diseño experimental y tratamientos	20
3.3 Implantación y manejo del experimento	22
3.3.1 Colecta de suelo	22
3.3.2 Preparación del terreno	22
3.3.3 Delimitación y marcación del terreno.....	22
3.3.4 Aplicación de enmiendas y fertilizantes	23
3.3.5 Siembra y cosecha del cultivo	23
3.4 Variables evaluadas	24
3.5 Método de control de calidad de datos	25

TABLA DE CONTENIDO (Continuación)

3.6 Método de análisis de datos.....	25
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1 Análisis de suelos posterior a la cosecha del cultivo.....	26
4.2 Efectos de dosis de P ₂ O ₅ y fuentes de enmiendas en parámetros de crecimiento del maíz	29
4.3 Efectos de dosis de P ₂ O ₅ y fuentes de enmiendas en caracteres de rendimiento del maíz	32
5 CONCLUSIONES	38
6 REFERENCIAS	39
7 ANEXOS	50

LISTA DE TABLAS

1. Características físico-químicas del suelo utilizado en el experimento.....	20
2. Descripción de los tratamientos con diferentes dosis de fósforo y dosis única de enmiendas orgánica e inorgánica.	22
3. Análisis de suelo de la camada 0-10 cm al culminar el experimento en función a fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.	26
4. Altura de planta, número de hojas por planta, masa seca aérea y diámetro del tallo del maíz en función a dosis de P_2O_5 y fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.....	29
5. Longitud de espiga, diámetro de espiga y peso de mil granos del maíz en función a dosis de P_2O_5 y fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.....	32
6. Rendimiento de granos del maíz en función a fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.....	33

LISTA DE FIGURAS

1. Ubicación del experimento en el Departamento de Canindeyú, Distrito de Ybyrarobana, Colonia Lomas Valentinas. 18
2. Representación mensual de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del maíz (septiembre de 2015 a febrero de 2016) y media histórica. Fuente: Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) – Campo Experimental Yjhovy, Canindeyú. 19
3. Distribución de tratamientos en la parcela experimental. 21
4. Rendimiento de granos del maíz en función a dosis de P_2O_5 . Ybyrarobana, Canindeyú, 2016. 35

LISTA DE ANEXOS

A1. Precipitación ocurrida durante el ciclo del maíz (septiembre 2015 a febrero 2016).	51
A2. Tabla general de datos en función a dosis de P_2O_5 y fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.....	52
A3. Análisis de suelos posterior a la cosecha	53
A4. Análisis de varianza del pH.....	54
A5. Análisis de varianza del aluminio intercambiable.....	54
A6. Análisis de varianza del potasio	54
A7. Análisis de enmiendas utilizadas	55
A8. Análisis de varianza de la materia orgánica	56
A9. Análisis de varianza del fósforo disponible	56
A10. Análisis de varianza del calcio	56
A11. Análisis de varianza del magnesio	57
A12. Análisis de varianza del sodio	57
A13. Análisis de varianza de la variable altura de planta	57
A14. Análisis de varianza de la variable número de hojas por planta	58
A15. Análisis de la varianza de la variable diámetro del tallo.....	58
A16. Análisis de la varianza de la variable masa seca aérea	58
A17. Análisis de varianza de la variable longitud de espiga.....	59
A18. Análisis de varianza de la variable diámetro de espiga.....	59
A19. Análisis de varianza de la variable peso de mil granos.....	59
A20. Análisis de varianza de la variable rendimiento de granos	60
A21. Preparación del terreno.....	60
A22. Delimitación del área experimental.....	61

LISTA DE ANEXOS (Continuación)

A23. Aplicación de enmiendas	61
A24. Siembra del cultivo de maíz	62
A25. Aplicación de fertilizantes.....	62
A26. Cuidados Culturales	63
A27. Cosecha del cultivo de maíz.....	64

1 INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial. En Paraguay se ha extendido en todos los sectores agrícolas, se constituye como uno de los cultivos de subsistencia tradicional de las familias campesinas.

La incorporación de materiales orgánicos es una práctica de manejo agrícola realizada por los productores campesinos para disminuir o hacer más eficiente el uso de fertilizantes inorgánicos en el sistema de producción de maíz. Las enmiendas orgánicas aportan al suelo materia orgánica y nutrientes, con lo que se favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas, sin embargo, aunque contiene todos los nutrientes que la planta necesite, tienen baja concentración de algunos macronutrientes, comparado con los fertilizantes inorgánicos.

La fertilización de manera general, es uno de los factores decisivos para lograr altos rendimientos, entre los macronutrientes, el fósforo, es uno de los limitantes en los suelos de esta zona, por su baja disponibilidad, por tal razón es necesario un suministro adecuado de este fertilizante fosfatado.

Las superficies cultivadas con granos, en muchas fincas de la Región Oriental de Paraguay poseen suelos ácidos (pH 4,5-5,9), contienen baja concentración de fósforo disponible para las plantas. Este nutriente es uno de los más difíciles de manejar y disponibilizar para los cultivos debido a su elevada capacidad de reacción en el suelo. Además, estos suelos no tienen la capacidad para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento eficiente del maíz o para el rendimiento adecuado, por lo que es necesario recurrir al empleo de fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes aumenta el rendimiento de los cultivos, por ende este trabajo se realizó para determinar la dosis de fósforo y la fuente de enmienda más conveniente para la producción económicamente sustentable del maíz. Los resultados de esta investigación son útiles para los productores que se dedican a este rubro, ya que tendrán el conocimiento de la cantidad exacta de fertilizantes a aplicar.

El objetivo general fue evaluar los efectos de diferentes dosis de fósforo, con la utilización de enmiendas orgánica e inorgánica sobre la producción del maíz chipá, y como objetivos específicos determinar diámetro del tallo, altura de la planta, longitud de espiga, diámetro de espiga, número de hojas por planta, materia seca de la parte aérea, rendimiento del cultivo, peso de mil granos y análisis de suelo posterior a la cosecha.

La hipótesis del trabajo es que la aplicación conjunta de fósforo y enmienda orgánica producirá el mayor desarrollo y producción del maíz, donde la dosis más adecuada de fósforo para obtener los máximos rendimientos oscilará entre 80 a 120 kg ha⁻¹. Por otro lado el requerimiento del fósforo será menor cuando su aplicación es combinada con la enmienda orgánica o inorgánica.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos generales del cultivo de maíz

El cultivo de maíz, es muy variado, y según estudios e investigaciones realizados es originado en Mesoamérica (México, Guatemala), probablemente en la zona de México Central o del Sur, pero no fue difundido hasta el descubrimiento de América por Cristóbal Colón. En la actualidad, la mayoría de los expertos en el área de la genética coinciden en que deriva del teocintle, por tener semejanza en cuanto a la genética de las plantas y facilidad de entrecruzamiento, obteniéndose entre ambos híbridos fértiles (Acosta 2009).

El Avatí chipá, es cultivado principalmente en fincas entre 1 a 20 ha que representa el 88,4% de las fincas con avatí chipá según el MAG (2007), solo o asociado con otros cultivos de consumo como el poroto, zapallo, mandioca (Salhuana y Machado 1999), generalmente parte del mismo es usado en la alimentación familiar y parte vendido para la obtención de ingresos en la finca. En el 2008 se sembraron 80.759 ha de maíz chipá, distribuidas en 134.835 fincas, con rendimiento promedio a nivel país de 1.062 kg ha⁻¹. En el Departamento de Canindeyú se constataron 4.962 ha distribuidas en 6.200 fincas, con rendimiento promedio a nivel departamental de 1.140 kg ha⁻¹ (MAG 2007).

El maíz tiene gran importancia como fuente de energía para los seres vivos. Su composición química difiere por diversos factores, como la variedad, localización geográfica y las condiciones de clima. Este cereal es rico en carbohidratos (aproximadamente 58 - 72%), pero presenta gran deficiencia tanto en calidad como en cantidad de proteínas. La mayor parte de la proteína se encuentra en el germen del grano de maíz, su contenido promedio es de 10%. Lo que define la calidad de la proteína del maíz es su alto contenido de aminoácido leucina y su bajo contenido de isoleucina (López et al. 2012).

Los mismos autores expresan que el grano del maíz contiene alrededor de 5% de lípidos, como la mayoría de los aceites de origen vegetal y contiene bajos niveles de grasas saturadas. El contenido de ácidos grasos saturados, como el palmítico (C16) y el esteárico (C18), es relativamente bajo en comparación con los ácidos grasos no saturados, como el oleico y linoleico, los cuales representan la mayoría del total de los lípidos contenidos en el grano de maíz. Entre las clases de maíz, el blanco es el más nutritivo por su alto contenido de vitamina A y es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta.

En el Paraguay entre los años 70-80 se realizó un levantamiento de los maíces de Paraguay, principalmente en colonias indígenas y zonas relativamente aisladas donde se mantienen los germoplasmas originales y se clasificó el material colectado en 10 compuestos raciales que son avatí morotí, avatí mitá, avati-ti, avatí guapy, tupi morotí, blanco dentado, amarillo duro, amarillo dentado, pichingá redondo y pichingá dentado (Santander 1999).

Acosta (2009) clasificó al maíz en siete grupos, considerando la variación dentro del grano (la textura o estructura del endospermo): maíz tunicado: *Zea mays tunicata* St.; maíz pichingá o pororó: *Zea mays everta* St.; maíz cristalino: *Zea mays indurata* St.; maíz dentado: *Zea mays indentata* St.; maíz dulce: *Zea mays saccharata* St.; maíz ceroso: *Zea mays ceratina* Kul.; maíz amiláceo: *Zea mays amilácea* St.

El maíz amiláceo o avatí chipá se caracteriza por ser harinoso, los granos están constituidos principalmente por almidón blando y son escasamente o no dentados. Es uno de los tipos más antiguos de maíz. Es usado en la fabricación de harinas porque le confiere un color más blanco y causa admiración por el gran tamaño de su grano y su rendimiento.

El maíz exige un clima relativamente cálido y agua en cantidades adecuadas. Para la germinación, la temperatura media diurna mínima debe estar a no menos de 10° C, siendo la óptima entre los 18 y 20° C. La cantidad, distribución y eficiencia de la lluvia son factores importantes en la producción del maíz. El calor y la sequía durante el periodo de polinización, a menudo causan la desecación del tejido foliar y la formación deficiente del grano. La cantidad de agua durante la temporada de crecimiento no debe ser menor de 300 mm, la cantidad óptima de lluvia es de 550 mm y la máxima de 1.000 mm (Bonilla 2009).

Según Salhuana y Machado (1999) el avatí chipá necesita más horas luz que los demás maíces, es de ciclo tardío y llega a requerir 1052 unidades térmicas para llegar a la floración, siendo que las flores femeninas necesitan entre 62 a 107 °C de calor a más que las masculinas.

Rodríguez y Rabery (2003) afirman que la época de siembra, el distanciamiento entre hileras y la altura de la planta no influyen en el rendimiento del maíz amiláceo (avati moroti), esto se constató con la siembra de este cultivo en diferentes épocas y densidades, en donde se obtuvo un rendimiento promedio de 1.084 kg ha⁻¹ en la primera época de siembra (agosto) y un promedio de 1.101 kg ha⁻¹ en la segunda época de siembra (octubre). La altura de la planta fue mayor en la segunda época con un valor promedio de 175 cm, contra 131 cm de la primera época de siembra, pero estos resultados no afectaron el rendimiento de granos. También se puede destacar que el ciclo del cultivo se redujo en la segunda época de siembra.

2.2 Ciclo del Fósforo

El fósforo al igual que otros elementos pasa por diversos cambios, cuyo conjunto forman su ciclo en la naturaleza. El ciclo del fósforo es un sistema

compuesto, regulado por reacciones-transformaciones estrechamente químicas e intervenidas por la biota del suelo y por las plantas (Teixeira et al. 2004).

Se encuentra en el suelo, las plantas lo asimilan de allí y los animales herbívoros de las plantas; el retorno se produce por las excreciones y por la descomposición de la materia orgánica muerta (Barrios et al. 2010). Gatiboni et al. (2007) afirman que en suelos donde son aplicados fertilizantes fosfatados en cantidades adecuadas para el desarrollo de las plantas, las formas orgánicas e inorgánicas tienen capacidades similares. Sin embargo, las formas orgánicas de fósforo son las encargadas principalmente de proveer este nutriente a las plantas en suelos con poca o sin ninguna aplicación de fertilizante fosfatado.

Barrios et al. (2010) mencionan que las extracciones de fósforo van empobreciendo lenta pero progresivamente a los suelos de este vital nutriente, lo que está indicando que el fósforo es un recurso natural no renovable, que es imprescindible realizar un buen manejo para disminuir la pérdida del mismo. Para reponerlo es indispensable la intervención del hombre extrayendo el fósforo de los depósitos naturales de fósforo, transformarlo en algún tipo de fosfato soluble o parcialmente soluble y agregarlo al suelo como fertilizante. Por otra parte Gatiboni et al. (2008) observaron aumentos de 559 mg kg^{-1} del fósforo en la fracción inorgánica lábil del suelo con la aplicación de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de enmienda orgánica en relación al testigo en una profundidad de 0-2,5 cm. Ceretta et al. (2010) aplicando $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ del mismo tratamiento obtuvieron incrementos de 811 mg kg^{-1} de fósforo a una profundidad de 0-2 cm, comparado con el tratamiento sin enmienda.

Cuando hay precipitaciones, parte de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos de fósforo, por erosión del suelo y posterior escurrimiento van a parar a los cursos hídricos (Soares et al. 2007). Estas pérdidas traen consigo consecuencias ambientales como la eutrofización de las aguas (Teixeira et al. 2004). Rheineimer y Anghinoni (2001) mencionan que el movimiento del fósforo que se encuentra en el suelo a los cursos de agua es causado por el uso inadecuado del suelo, por las actividades agrícolas y por los desechos de las zonas urbanas.

2.3 Fósforo en el suelo

El fósforo se encuentra en el suelo en tres fracciones, una parte en la solución del suelo, la cual se encuentra disponible para la absorción de las plantas, la fracción lábil, la que representa la cantidad de fósforo que puede pasar a la solución del suelo en una temporada del cultivo, y la fracción no lábil que representa todos aquellos componentes fosforados en el suelo que no salen a la solución del suelo durante la época del cultivo (Rheinheimer y Anghinoni 2001).

Una de las formas del fósforo en el suelo, es como ácido ortofosfórico. El mismo es uno de los compuestos de fósforo más conocido e importante. Los minerales de fósforo encontrados en la naturaleza son todos ortofosfatos, siendo el principal la fluorapatita (Van 2004).

Conte et al. (2003) aplicando dosis crecientes de P_2O_5 durante más de cinco años constataron incrementos de 336 mg kg^{-1} de fósforo total en el suelo, con la dosis mayor en relación al testigo. Por otra parte Gonçalves y Meurer (2009) adicionando SFT en cuatro tipos de suelos observaron aumentos en los tenores de fósforo moderadamente lábil (P inorgánico) y en menor proporción la fracción fósforo lábil.

Los compuestos formados pueden encontrarse en forma de sales en solución, sales cristalinas o sales adsorbidas por los coloides del suelo. 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" (Cerón y Aristizábal 2012).

Según el tipo de suelo la cantidad total de fósforo en el mismo varía ampliamente. En este sentido, en mollisoles, Zamuner et al. (2008) observaron niveles de P total entre 533 a 578 mg kg^{-1} . Araujo et al. (2004) obtuvieron entre 262 a 391 mg kg^{-1} en oxisoles y ultisoles de zonas semidesérticas. Por su parte Santos et al. (2008) observaron cerca de 490 mg kg^{-1} de P en bosque de suelos arcillosos. El agente que determina la cantidad total de fósforo es el material de origen de los suelos. En la solución del suelo, la cantidad de este elemento es muy baja (Van 2011).

En general más de 75% de fósforo aplicado en el suelo, queda retenido en las partículas del mismo, por lo que ocurre su acumulación en los suelos cultivados. Se calcula que los niveles de fósforo acumulado en los suelos agrícolas es suficiente para satisfacer la producción agrícola mundial (Teixeira et al. 2004). Rheinheimer y Anghinoni (2001) sostienen que al aplicar diferentes dosis de P_2O_5 en el suelo, el sistema de siembra directa (SSD) provoca mayor acumulación de fósforo en la camada superficial, en comparación al sistema convencional (SC). Además el SSD produce una mejor recuperación de los tenores de fósforo inorgánico lábil y no lábil fijado al Ca. Por otra parte, Lopes et al. (2008) con la aplicación de dosis de P_2O_5 (Superfosfato triple) al suelo observaron mayor acumulación de fósforo en la fracción no lábil (264 mg ka^{-1}), seguido por la fracción poco lábil (182 mg ka^{-1}) y lábil (16 mg ka^{-1}).

Según Van (2011) en los suelos ácidos, la inmovilización a formas menos lábiles de fosfato adicionado a los suelos ocurre debido a ciertas condiciones como: mayores tenores de arcilla, mayor ocurrencia de la fracción de óxido de hierro y aluminio, y valores más bajos de pH. Hunt et al. (2007) aplicando diferentes dosis y fuentes de materia orgánica en arcillominerales de goetita, gibsita y caolinita, observaron que en general el agregado de materia orgánica al suelo disminuyó la adsorción de P a los arcillominerales. Esta disminución varió de acuerdo al material orgánico y al tipo de mineral, siendo que la adsorción varió de acuerdo al mineral en la gibsita (68%), goetita 48% y caolinita (20%). Mientras que en suelos alcalinos el factor condicionante fue la reacción con el calcio, resultando en compuestos insolubles. Wang et al. (2010) observaron que la aplicación continua de P en suelos calizos después de 21 años produjo aumento de la disponibilidad de P y cantidad de P inorgánico, sin embargo, la aplicación de P soluble en estos suelos indujo a la formación de fosfato de calcio preferentemente frente a otras formas de P.

Los microorganismos del suelo además de la mineralización de formas orgánicas del fósforo, especialmente los heterotróficos tienen la capacidad de movilizar formas insolubles de fosfatos inorgánicos (Teixeira et al. 2004). En ese sentido Martinazzo et al. (2007) observaron que el fósforo microbiano varía en el suelo entre $13,4$ y $21,4 \text{ mg kg}^{-1}$.

Los mismos autores mencionan que elevados niveles de fosfato orgánico puede ser encontrado en el suelo (hasta 400 kg ha^{-1}), representando de 1% a 3% de la materia orgánica (humificado o no). El fosfato orgánico ocurre en las formas de fosfatos de inositol (30% a 50% de fosfato orgánico), ácidos nucleicos y nucleótidos (3% a 5%), fosfolípidos y otros (cantidades pequeñas). Estos diferentes compuestos pueden estar en forma lábil, susceptible o resistente a la descomposición y a la mineralización en el suelo.

Cerón y Aristizábal (2012) afirman que la principal fuente de compuestos orgánicos de fósforo la constituyen restos de plantas, animales y microorganismos, que liberan compuestos como ácidos nucleicos, fosfolípidos y ésteres, lo que representa entre un 30 y un 60% del fósforo total en el suelo. La mineralización de éstos, retornándolos a fosfatos HPO_4^{2-} y de H_2PO_4^- inorgánicos (Pi), permite el reciclaje del elemento en el suelo para su aprovechamiento por la biota.

Con bajo contenido de fósforo en el suelo se observa disminución en el área foliar y materia seca del maíz, por lo tanto, para la adaptación del cultivo a la deficiencia del fósforo se asocia con un microorganismo (*Glomus spp*), el cual presenta estructura especializada que se establecen en las raíces (son como extensiones de la raíz) y se asocian con éstas ayudando a la absorción de nutrientes y protegiéndolas contra patógenos, además aumenta la tasa de crecimiento, concentración de azúcares en el tejido y nutrición mineral, debido a la función del fósforo en la síntesis de hidratos de carbono, además le proporciona a las plantas capacidad de adaptación al estrés (Roveda y Polo 2007).

Martín et al. (2007) encontraron rendimientos superiores de maíz con la utilización de Canavalia + HMA (hongos micorrizógenos arbusculares) en comparación al maíz sembrado en barbecho natural, en los dos tratamientos no se utilizó fertilización química; los rendimientos fueron de 2.148 kg ha^{-1} y 1.357 kg ha^{-1} respectivamente.

Fatecha (2004) menciona que de las 955 muestras de suelos analizadas en el Departamento de Canindeyú, 1 a 25 % poseen fertilidad alta, 28 a 60% fertilidad

media y 29 a 52% fertilidad baja, pero gran parte de los suelos presentan baja concentración de fósforo.

2.4 Fósforo en la planta

El fósforo (P) es clasificado como un macronutriente primario, pero los tenores de este elemento en las plantas son más bajos en comparación a los de nitrógeno y potasio, acercándose más a la cantidad de los macronutrientes secundarios. A diferencia de lo que ocurre en el suelo, el fósforo presenta alta movilidad en la planta, se transloca rápidamente de tejidos viejos hacia los nuevos, que son los meristemas activos. Aun así la carencia de este elemento tiene efecto significativo en retrasar el desarrollo del cultivo de una forma general, pero los síntomas de su deficiencia no son notorios, como ocurre con nitrógeno y potasio, este se manifiesta más en la disminución del crecimiento (Van 2011).

El P juega un papel importante en todos los procesos que requieren transferencia de energía en la planta. Los fosfatos de alta energía, que son parte de la estructura química de la adenosina difosfato (ADP) y de la ATP, son la fuente de energía que empuja una gran cantidad de reacciones químicas dentro de la planta. La transferencia de los fosfatos de alta energía del ADP y ATP a otras moléculas (proceso denominado fosforilación), desencadena una gran cantidad de procesos esenciales para la planta (Munera y Meza 2012).

El P participa de manera esencial en diversos procesos metabólicos de las plantas, como también en los procesos de transferencia de energía y su suministro adecuado. Para el inicio del desarrollo del vegetal es fundamental, así como en la formación de la parte reproductiva. En tenores adecuados este nutriente, estimula el desarrollo del sistema radicular, y es primordial para la buena formación de frutos y semillas, e incrementa la precocidad en la producción (Van 2011).

Una vez dentro de la raíz, el fósforo puede quedarse almacenado en esta parte o puede ser transportado a las partes superiores de la planta. El mismo se mueve en la planta en forma de iones orto fosfato y como fósforo incorporado en los compuestos orgánicos (Munera y Meza 2012).

2.5 Absorción del fósforo por las plantas

La eficiencia de absorción es un factor fundamental en la utilización del fósforo del suelo y el uso racional de los fertilizantes fosfatados. Debido a la predominancia de arcilla, la mayoría de los suelos de las regiones tropicales presentan grandes capacidades de fijación de fósforo, llegando a competir con las plantas por este nutriente aplicado en la fertilización. La cantidad requerida de fósforo presente en la solución del suelo varía entre especies, cultivares y genotipo, morfología del sistema radicular, presencia de otros nutrientes en la solución, presencia de microorganismos en la rizósfera, formación de micorrizas, etc. (Teixeira et al. 2004).

La cantidad de fósforo en la solución del suelo suele estar en torno a $0,05\text{mg kg}^{-1}$, concentración muy baja en comparación a lo adsorbido por las superficies activas del suelo: de 10^2 a 10^3 veces menos. Por lo tanto, cuando las plantas se desarrollan en el suelo, sólo una pequeña cantidad de fósforo entrará en contacto con la superficie radicular, que será absorbido rápidamente, y se requiere su desplazamiento para permitir el normal desarrollo de las plantas, por flujo de masas o difusión (Fernández 2007).

El contacto entre el fósforo en la solución del suelo y la raíz se hace casi exclusivamente por difusión, proceso en el cual el elemento se transloca a cortas distancias en una fase acuosa estacionaria, denominada solución del suelo, a favor del gradiente de concentración (Malavolta 2004).

El mismo autor menciona que el fósforo también puede ser absorbido a través de las hojas, mediante tres formas: el nutriente penetra por la cutícula lipídica y las paredes de las células epidérmicas por difusión; es absorbido en la superficie del plasmalema; y pasa a través de membranas plasmáticas y entra al citoplasma.

Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ (ión fosfato diácido) y HPO_4^{-2} (ión fosfato monoácido), la absorción de esta última forma se incrementa a medida que sube el pH. Posterior a la fertilización el fósforo es casi inmediatamente incorporado en compuestos orgánicos de las plantas (Van 2011).

2.6 Disponibilidad de fósforo en el suelo

La disponibilidad de fosfatos asimilables por la planta depende fuertemente del valor del pH del suelo. La mejor reposición del fósforo se presenta con un valor de pH entre 6 y 7. Con la disminución del pH del suelo se incrementa el peligro de la fijación del fósforo. En suelos con un pH bajo, la disponibilidad puede ser mejorada por medio de una fertilización orgánica y en el caso de un pH bajo por medio de la aplicación de cal agrícola (Carbonato de Calcio) (Finck 2009).

Las formas de reacción del fósforo en el suelo controlarían los componentes de las fracciones lábiles y no lábiles, como el mecanismo de adsorción-desorción a través de las reacciones del fosfato con las arcillas del suelo, el mecanismo de precipitación-disolución en la formación de compuestos fosforados en el suelo, dependiente del pH del suelo y de la concentración de iones en la solución del suelo, y el mecanismo de mineralización-inmovilización del fósforo ligado a la materia orgánica del suelo (Ferreira et al. 2007).

El fósforo lábil se encuentra estable y de forma rápida con el fósforo en solución. Él es representado en suelos fertilizados con fósforo, por fracciones compuestos metaestables, de compuestos de fósforo aún malformados. Por el contrario, el fósforo no lábil, es responsable de la mayor parte de fósforo inorgánico del suelo y representado por compuestos insolubles, solo se pueden transformar lentamente en fosfatos lábiles (Van 2011).

El mismo autor menciona que los fosfatos lábiles y no lábiles no se relacionan con las formas inorgánicas de fósforo ligado a calcio, hierro y aluminio. Cualquiera de esas formas puede existir en estado más o menos lábil, dependiendo principalmente del tiempo de reacción del fosfato y de las condiciones existentes en el suelo.

Cubilla et al. (2007) afirman que la clase textural no influyó en la elevación de tenor de fósforo en los suelos en áreas bajo Sistema de Siembra Directa y donde se realizó reposición completa de los nutrientes exportados, debido a que en suelos con $410 - 600 \text{ g kg}^{-1}$ de arcilla, para elevar 1 mg dm^{-3} de fósforo disponible, es

necesario adicionar $18,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , y en suelos con $250 - 400 \text{ g kg}^{-1}$ es necesario adicionar $18,3 \text{ g kg}^{-1}$.

Los mismos autores mencionan que es preciso aplicar un promedio de $35,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} de fósforo disponible en los suelos con bajo contenido inicial de fósforo y con una historia de fertilización limitada (reposición parcial de los nutrientes exportados). Por otra parte, en suelos con nivel medio o alto y con una historia de fertilización adecuada (reposición completa de los nutrientes exportados) es necesario aplicar $18,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 .

Fernández (2007) menciona que las raíces son capaces de modificar la concentración de iones en su entorno más próximo, debido a la incidencia en el flujo de masas y difusión de iones como resultado de la absorción de agua e iones; segregación de exudados radiculares, sustancias orgánicas, que contienen una proporción elevada de ácidos quelantes, que pueden intercambiarse con el fósforo superficial, pasando éste a la disolución, de donde puede ser adsorbido por el vegetal; exudados de iones H^+ , OH^- , HCO_3^- para mantener el balance de aniones y cationes adsorbidos y que da lugar a cambios de pH y a la actividad microbiana en la rizosfera de las plantas.

2.7 Utilización de fertilizantes fosfatados

La respuesta a la fertilización fosfatada depende de otros factores como la disponibilidad de fósforo en el suelo, la disponibilidad de otros nutrientes, de la especie y variedad vegetal cultivada y de las condiciones climáticas (Gomes de Sousa y Lobato 2004).

El fósforo es el nutriente que más limita la productividad de los cultivos en la mayoría de los suelos no fertilizados, aunque es exigido en cantidades menores que el nitrógeno y potasio (Van 2011).

La inmovilización del fósforo en el estado sólido del suelo es a consecuencia de diversos procedimientos químicos y físicos, que establecen compuestos en el reservorio con diversos niveles de disponibilidad (Silva 2013).

Según Melgar y Torres (2005) por la carencia de fósforo disponible en el suelo se debe aplicar los fertilizantes fosfatados al momento de la siembra, que puede ser realizado en forma de bandas. Por la característica del fósforo, de ser inmóvil en el suelo es recomendada su aplicación en forma localizada, por debajo y al costado de la línea de siembra. En caso de que no se disponga de una sembradora con trenes de fertilización separados, el fertilizante se puede depositar acoplado a la línea de semillas, pero se debe atender que el fertilizante no tenga un alto contenido de nitrógeno, o que las dosis a utilizar no sean muy altas, ya que se puede tener pérdidas de plántulas por fitotoxicidad. Se conoce que aplicando 20 a 30 kg ha⁻¹ de N con un distanciamiento de 0,7 m se puede evitar los efectos fitotóxicos.

Al aplicar diferentes dosis de P₂O₅ en caña de azúcar con la incorporación de cal agrícola, N₂ y K₂O se notó un incremento entre 10 a 12 Mg ha⁻¹ por cada 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Espínola 2010).

De acuerdo a un experimento realizado con el cultivo de maíz se observó que el maíz almacena 50 kg ha⁻¹ de fósforo en la biomasa aérea. Desde la floración, aproximadamente 50% del P se encuentra almacenado en la biomasa aérea hasta la cosecha (Andrade et al. 1995).

Con el objetivo de evaluar el rendimiento del cultivo de caña de azúcar se aplicó diferentes dosis de fertilizante fosfatado. En dicho experimento la dosis que obtuvo mejor respuesta fue la de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, con un rendimiento de 69,6 Mg ha⁻¹ (Silva 2011).

Fatecha (2010) recomienda aplicar 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sobre el cultivo de maíz en un suelo con tenores de fósforo entre 0 a 5 mg kg⁻¹ y en un suelo con 6 a 12 mg kg⁻¹ aplicar 40 kg ha⁻¹. Por otro lado, según la recomendación de Cubilla et al. (2012), en un suelo con 410 a 600 g ha⁻¹ de arcilla se debe aplicar 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mientras que en un suelo con 210 a 400 g ha⁻¹ aplicar 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, considerando en los dos casos como expectativa de rendimiento entre 4000 a 6000 kg ha⁻¹. Los mismos autores mencionan que el cultivo de maíz exporta 8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por cada tonelada de grano producido.

2.8 Determinación del nivel crítico del fósforo

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

Cubilla et al. (2007) determinaron que el nivel crítico del fósforo, mediante el empleo del extractante Mehlich-1, en suelos con $410 - 600 \text{ g kg}^{-1}$ de arcilla es de 12 mg kg^{-1} y en suelos con $250 - 400 \text{ g kg}^{-1}$ es de 15 mg kg^{-1} .

Según experimento realizado por Granada (2010), con el objetivo de determinar el nivel crítico del fósforo en los suelos de Coronel Oviedo y Campo 9 y la dosis adecuada para la aplicación del fertilizante fosfatado, el nivel crítico del fósforo en el suelo es $9,3 \text{ mg dm}^{-3}$ si se determina con el extractante Mehlich-1. Para aumentar 1 mg dm^{-3} la concentración de fósforo en el suelo, se necesitó emplear 8 y 18 kg ha^{-1} de P_2O_5 en Coronel Oviedo y Campo 9, respectivamente. No obstante, al exportar 3 kg ha^{-1} de P_2O_5 en Coronel Oviedo y 29 kg ha^{-1} de P_2O_5 en Campo 9 disminuye 1 mg dm^{-3} la concentración de fósforo en el suelo.

2.9 Utilización de enmiendas orgánicas e inorgánicas

Las enmiendas orgánicas son consideradas como residuos de origen animal y cosechas vegetales (Paneque y Calaña 2004), que adicionadas a los suelos mejoran sus características químicas, físicas y biológicas, que pueden ser utilizadas como fertilizante de cultivos, una vez se haya mineralizado (Soto 2003), debido a que estimulan la flora microbiana del suelo y la nutrición de las plantas, además, de favorecer la producción (Sosa 2005). Las enmiendas orgánicas varían en su composición química de acuerdo con el proceso y duración de elaboración, actividad biológica y clases de material utilizados (Meléndez 2003).

En la utilización de materiales orgánicos (gallinaza y compost) e inorgánicos (cal), se observa mejor respuesta en la combinación del fertilizante

orgánico con el mineral, mejorando la disponibilidad del fósforo en el suelo para las plantas, mediante la disminución de la retención del fósforo por parte de óxidos de Fe y Al (Daza et al. 2006).

Según Comese et al. (2009) la mejor enmienda orgánica que se puede utilizar para el mantenimiento de las propiedades físicas y químicas del suelo es la combinación de lombricompost y harina de hueso. Para dicha afirmación se realizó un estudio con la aplicación de distintos tipos y cantidades de enmiendas orgánicas de compost-lombricompost y harina de hueso, donde se observó en el suelo un aumento de carbono orgánico particulado, fósforo extractable, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

Con la utilización asociada de estiércol, rastrojo y cobertura de leguminosa se puede disminuir el empleo de fertilizantes químicos en la agricultura, que a su vez protege al medio ambiente de la contaminación, se tiene mayor actividad microbiana, aumento de la materia orgánica del suelo y el rendimiento del maíz (Álvarez et al. 2010).

Los mismos autores mencionan que con la combinación de estiércol, rastrojo y cobertura de leguminosa, en el momento de la floración del maíz, el suelo mostró una biomasa microbiana 20% más alta en comparación a la fertilización química sin enmiendas orgánicas. Así también se tuvo un mayor aprovechamiento del C y aumento de la materia orgánica lábil del suelo, y como respuesta a los ya mencionados, se obtuvo un aumento en el rendimiento de granos del maíz.

Mediante el empleo de la vinaza en la agricultura como corrector del suelo y enmienda para la siembra del maíz, con aplicación de diferentes dosis, se obtuvo unas respuestas significativas, en cuanto a mayor producción con la aplicación de 7,5 Mg ha⁻¹, mayor peso de los granos con el empleo de 5,8 Mg ha⁻¹, mayor altura y los tallos más gruesos de la planta con la utilización de 15 Mg ha⁻¹ y mayor cantidad de materia follaje fresco con la aplicación de 12,5 Mg ha⁻¹ (Forero et al. 2010).

El fósforo de las cenizas no se encuentra en formas solubles en agua y la cantidad aportada con las cenizas es baja comparado con los fertilizantes comerciales. Su disponibilidad depende del pH y del tipo de suelo, de tal manera que,

será máxima a pH comprendidos entre 6,0 - 7,0 y disminuirá a pH por encima de 8,0. Las cenizas además de aportar elementos primarios como fósforo y potasio, también incluyen la adición de otros elementos secundarios, como calcio y magnesio. Este mismo autor considera que, por las características físicas de las cenizas, éstas no permiten el fácil lixiviado de los macronutrientes, pudiendo ser consideradas por tales características como un fertilizante ecológico (Omil 2007).

Väätäinen et al. (2000) recomiendan aplicar mayores cantidades de ceniza en comparación a la fertilización convencional (4-5 Mg de ceniza por hectárea frente a 0,5 Mg de otros fertilizantes comerciales). El poder fertilizante de las cenizas depende de la concentración de fósforo, potasio y boro de las mismas comparando con los fertilizantes comerciales (N, P y K). Las cenizas presentan la ventaja de que su efecto fertilizante es más duradero que el de los fertilizantes comerciales con la misma concentración de P y K.

Solla et al. (2001) aseguran que las cenizas presentan un importante carácter alcalino, por la abundancia de óxidos, principalmente de Ca, Mg y K, por lo que sería posible su uso para la corrección de suelos ácidos. Con el incremento del pH del suelo, aumentan las actividades de los microorganismos descomponedores de la materia orgánica y contribuyen al aumento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El aporte de cenizas incrementó las concentraciones de Ca y Mg en la planta.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

El experimento se realizó en la propiedad del productor Alejandro Duarte Sanabria, ubicado en el Departamento de Canindeyú, Distrito de Ybyrarobana, Colonia Lomas Valentinas, como se observa en la Figura 1. Las coordenadas geográficas del lugar son 24° 20' 20.45'' S – 55° 06' 51.9'' W.

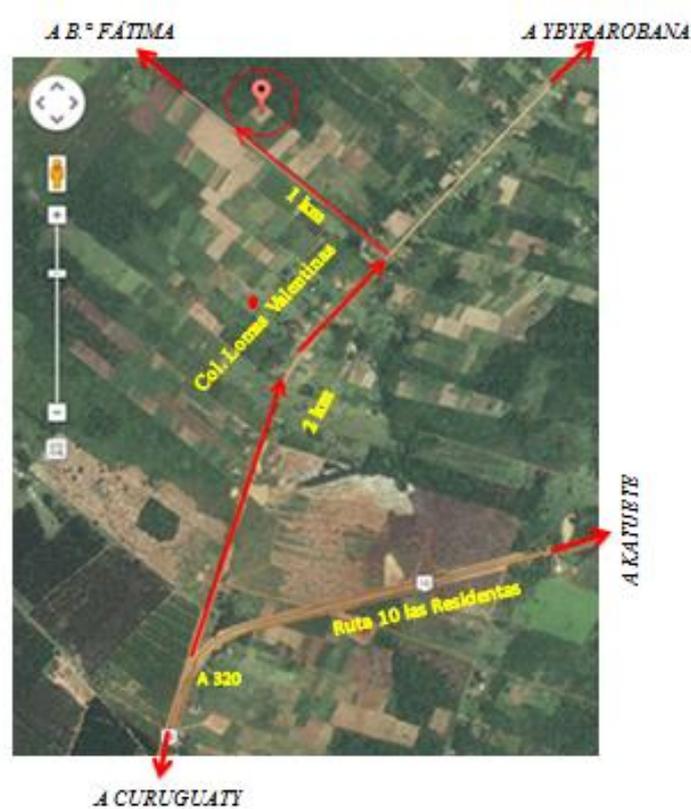


Figura 1. Ubicación del experimento en el Departamento de Canindeyú, Distrito de Ybyrarobana, Colonia Lomas Valentinas.

La zona de localización del experimento presenta un clima subtropical, la temperatura media anual es de 21°C, disminuyendo levemente hacia el noreste. La máxima es de 39°C en el verano y la mínima llega a 0°C durante el invierno. El promedio anual de precipitación oscila entre los 1.600 a 1.700 milímetros (DINAC 2013). En la Figura 3, se observa el régimen de precipitaciones ocurrido en la zona de Ybyrarobana, Departamento de Canindeyú, durante el periodo del experimento, que fue desde septiembre de 2015 hasta febrero de 2016 y las medias históricas mensuales.

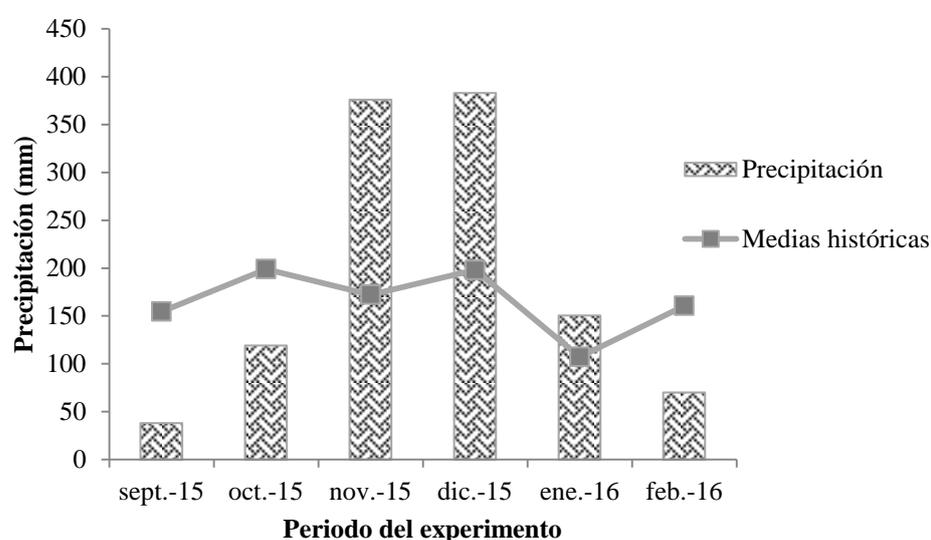


Figura 2. Representación mensual de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del maíz (septiembre de 2015 a febrero de 2016) y medias históricas. Fuente: Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) – Campo Experimental Yjhovy, Canindeyú.

Las precipitaciones durante el experimento tuvieron comportamientos muy favorables para el cultivo, superando precipitaciones históricas, destacando que la mayor cantidad de lluvias se registraron en los meses de noviembre y diciembre, obteniéndose en total 1.136,5 mm (Figura 2 y Anexo 1).

El suelo predominante de la zona donde fue implantado el estudio está clasificado como Arenic Rhodic Paleudult (Soil Taxonomy, USDA) según López et al. (1995). Para conocer sus características físico-químicas se extrajo una muestra para un análisis previo correspondiente, cuyas características se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características físico-químicas del suelo utilizado en el experimento

Prof.	pH	M.O.	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	P	Text
cm.	Agua	%	-----cmol _c kg ⁻¹ -----				mg kg ⁻¹		
0-20	5,1	0,9	0,02	1,13	0,29	0,11	0,63	9	a

Extractores: pH= Agua; P y K⁺= Mehlich-1; Ca⁺² + Mg⁺² y Al³⁺= KCl 1Mol L⁻¹; a= Arenoso

3.2 Diseño experimental y tratamientos

El estudio se evaluó en un diseño de parcelas subdivididas, uno de enmiendas (parcela) y otra dosis de fósforo (subparcela) en el cultivo de maíz chipá. Las parcelas y subparcelas se distribuyeron en el campo en un diseño de bloques completamente al azar, en cuatro bloques. Las enmiendas ocuparon las parcelas y fueron estiércol de bovino (30 Mg ha⁻¹), ceniza de expeller de soja (870 kg ha⁻¹) y testigo (sin aplicación de enmienda). Las dosis de fósforo estudiadas fueron 0, 40, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, dispuestas en las subparcelas (Figura 3). Producto de las 3 dosis de enmiendas y las 5 dosis de fósforo se tuvieron 15 tratamientos por bloque y considerando los 4 bloques fueron en total 60 unidades experimentales. En el Anexo 6 se presentan los resultados de análisis del estiércol de bovino y la ceniza de expeller de soja.

Las unidades experimentales tuvieron una dimensión de 5 m de largo por 3,5 m de ancho (17,5 m²), con 5 hileras de maíz de 5 m de largo con un distanciamiento de 0,70 m entre hileras y 0,25 m entre plantas. La fuente de P₂O₅ utilizada fue el Superfosfato triple (00-46-00). Además del P todos los tratamientos recibieron dosis fija de nitrógeno (80 kg ha⁻¹) y potasio (70 kg ha⁻¹), siendo utilizado urea y cloruro de potasio como fuente de fertilizante, respectivamente.

En la Figura 3 se observa la distribución de los tratamientos en la parcela experimental.

Frente del área experimental – Caminero

		BI		BII		BIII		BIV					
		EN	P ₂ O ₅	EN	P ₂ O ₅	EN	P ₂ O ₅	EN	P ₂ O ₅				
Parcela sembrada con otro cultivo	0		120	Estiércol (30 Mg ha ⁻¹)	160	Ceniza (870 kg ha ⁻¹)	40	Estiércol (30 Mg ha ⁻¹)	80				
			0				80			120		120	
			80				0			80		40	
			40				120			120		160	
			160				40			0		0	
	Ceniza (870 kg ha ⁻¹)		160	Ceniza (870 kg ha ⁻¹)	40	Estiércol (30 Mg ha ⁻¹)	0	0	0	40			
			0				120				160		120
			40				0				80		80
			120				80				40		160
			80				160				120		0
	Estiércol (30 Mg ha ⁻¹)		80	0	0	0	160	0	Ceniza (870 kg ha ⁻¹)	120			
			40				160				120		80
			160				40				80		0
			0				120				0		40
			120				80				40		160
								Camino a B° Fátima					

Figura 3. Distribución de tratamientos en la parcela experimental.

En la Tabla 2 se puede apreciar la descripción de los tratamientos con diferentes dosis de fósforo y dosis única de enmiendas orgánica e inorgánica.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos con diferentes dosis de fósforo y dosis única de enmiendas orgánica e inorgánica.

Trat.	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Trat.	P ₂ O ₅ +C* (kg ha ⁻¹)	Trat.	P ₂ O ₅ +EB** (kg ha ⁻¹ - Mg ha ⁻¹)
T1	0	T6	0 + 870	T11	0 + 30
T2	40	T7	40 + 870	T12	40 + 30
T3	80	T8	80 + 870	T13	80 + 30
T4	120	T9	120 + 870	T14	120 + 30
T5	160	T10	160 + 870	T15	160 + 30

*= Ceniza ; **= Estiércol de bovino

3.3 Implantación y manejo del experimento

3.3.1 Colecta de suelo

Se procedió a la toma de submuestras de suelo en zig-zag para determinar el nivel de fertilidad del mismo, a una profundidad de 0 – 20 cm, utilizando pala, machete y bolsas de polietileno para la extracción de las mismas. Las submuestras colectadas fueron depositadas sobre una carpa para luego mezclarlas con el fin de dejarlas bien homogéneas y así obtener una muestra compuesta. Posterior a la mezcla se extrajo de la misma una muestra de 500 g para llevarla al laboratorio de suelos del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, FCA – UNA, para su análisis.

3.3.2 Preparación del terreno

Primeramente se limpió el terreno para la implantación del experimento con una corpida. Luego con la utilización de un tractor y una rastra se realizó la primera remoción del suelo, con un tiempo de un mes de anticipación a la fecha de siembra, con el objetivo de modificar el estado del mismo a fin de proporcionar a los cultivos las condiciones adecuadas para un buen desarrollo, momentos antes de la siembra se realizó una pasada del tractor con su rastra, con el fin de romper los terrones y nivelar el terreno.

3.3.3 Delimitación y marcación del terreno

Una vez terminada la preparación del suelo se procedió a medir el terreno y luego se realizó el encuadre, marcando cada unidad experimental, para lo cual se utilizó cinta métrica, hilo de ferretería y estacas de madera. Las mismas fueron medidas de acuerdo a lo establecido en el ítem 3.2.

3.3.4 Aplicación de enmiendas y fertilizantes

El estiércol de bovino se consiguió de un potrero en una estancia de la zona y la ceniza de expeller de soja fue proporcionada por CAIASA (Complejo Agroindustrial Angostura S.A.), estos fueron aplicados 15 días antes de realizar la siembra del cultivo en estudio en toda el área según los tratamientos correspondientes y al voleo de forma uniforme, posteriormente fueron incorporados al suelo con rastrillo. La aplicación de los fertilizantes se realizó en forma manual, en surcos paralelas a las semillas, en el momento de la siembra. En el caso del fósforo se realizó en su totalidad según los tratamientos correspondientes, también se aplicó como base 70 kg ha^{-1} de K_2O y 20 kg ha^{-1} de N. A los 40 días de la siembra se aplicó en cobertura la cantidad restante de nitrógeno (60 kg ha^{-1}).

3.3.5 Siembra y cosecha del cultivo

La siembra se realizó utilizando semillas sin tratamientos químicos, con un espaciamiento de 0,70 m entre hileras y 0,25 m entre plantas, obteniendo así una densidad de $57.143 \text{ plantas ha}^{-1}$. La siembra fue realizada en forma manual con la utilización de la matraca, depositando 2 semillas por hoyo. En la segunda semana después de la emergencia se realizó el raleo, dejando una planta por hoyo.

Para el control de la *Spodoptera frugiperda* se aplicó un insecticida con principio activo Profenofos + Lufenuron, con dosis de 30 ml en 20 l de agua, por tres veces, la primera a los 15 días después de la siembra, la segunda a los 45 días y la tercera a los 75 días. El control de malezas fue realizado en forma manual, con la utilización de azadas. Con las carpidas se realizó el aporque cubriendo con suelo parte del tallo de la planta, con el objetivo de mejorar el enraizamiento y la sustentación de la planta para evitar el encamado.

Una vez cumplido el ciclo agrícola del cultivo de maíz, se procedió a la cosecha del mismo, para lo cual se tuvo en cuenta el efecto borde y cada una de las variables medidas. La superficie cosechada fue de $2,10 \text{ m}^2$ de cada unidad experimental, considerando las 3 hileras centrales, cosechando un metro de cada hilera.

3.4 Variables evaluadas

Diámetro del tallo: fueron seleccionadas 10 plantas en forma aleatoria dentro de la parcela útil que fueron medidas por encima del segundo nudo de cada planta, con un paquímetro digital. La medición se realizó en el momento de la madurez fisiológica del cultivo (grano duro), y los resultados fueron promediados y registrados en milímetros.

Altura de la planta: de las mismas 10 plantas seleccionadas dentro de la parcela útil se hizo la medición de altura con una cinta métrica, desde la base hasta la punta de la inflorescencia masculina (panoja), que fueron registradas en centímetro y promediadas por cada unidad experimental. La medición se realizó cuando la planta se encontraba en la madurez fisiológica.

Número de hojas por planta: para tal medición fueron seleccionadas 10 plantas de forma aleatoria, de las cuales fueron cuantificados el número de hojas, que posteriormente se promediaron.

Longitud de la espiga: de las plantas seleccionadas se cosecharon las espigas y se midieron con una regla, desde la base hasta el extremo superior, descartando las chalas y posteriormente se promediaron. Los datos fueron expresados en cm.

Diámetro de la espiga: para la medición de esta variable se tuvo en cuenta las espigas escogidas para la medición de la longitud de la espiga, para lo cual se utilizó un paquímetro digital, posteriormente los datos fueron promediados y registrados en milímetros.

Masa seca de la parte aérea: (tallos, hojas, espiga con chala y panoja), se utilizaron 5 plantas enteras de la parte central de cada unidad experimental, que fueron pesadas, molidas y mezcladas. De esta mezcla se extrajo una muestra que posteriormente fue pesada y sometida en estufa a 60 °C por 72 horas, después se pesó nuevamente para determinar la cantidad de materia seca, los resultados se expresaron en kg ha^{-1} .

Rendimiento del cultivo: se cosecharon las espigas del área útil de cada unidad experimental (2,10 m²), teniendo en cuenta el efecto borde, luego de forma manual se realizó el desgranado para posteriormente embolsarlos y pesarlos con una balanza de precisión, los resultados fueron expresados en kg ha⁻¹.

Peso de mil granos: en forma aleatoria se seleccionaron de cada unidad experimental 100 granos con 5 repeticiones, que fueron pesados con una balanza de precisión y posteriormente promediados. Finalmente del resultado de cada media, se calculó el peso de mil granos por regla de tres simple.

Análisis de suelo posterior a la cosecha: se realizaron muestreos de las parcelas (aplicación de enmiendas). De cada una de ellas se quitaron 5 submuestras a una profundidad de 0 – 10 cm, luego fueron mezcladas y extraída de la misma una muestra. En total se extrajeron 12 muestras que fueron llevadas al laboratorio de suelos del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, para su posterior y correspondiente análisis.

3.5 Método de control de calidad de datos

Todas las actividades fueron realizadas dando un seguimiento lógico a lo establecido en cada ítem, para evitar errores que pudieran comprometer los resultados del experimento. Y para que el experimento se lleve a cabo con eficiencia se contó con el apoyo del orientador y co-orientadores.

3.6 Método de análisis de datos

Una vez obtenidos los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANAVA) según modelo de parcelas subdivididas, para determinar si hubo o no diferencia significativa entre los tratamientos aplicados de acuerdo a la Tabla 2. Y los tratamientos que presentaron diferencias significativas fueron comparados con el test de Tukey al 5% de probabilidad de error y análisis de regresión. Los resultados obtenidos fueron presentados e interpretados a través de figuras y tablas.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de suelos posterior a la cosecha del cultivo

En la Tabla 3 se presentan los resultados del análisis laboratorial de pH, Materia Orgánica (M.O.), Fósforo (P), Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), Potasio (K^{+}), Sodio (Na^{+}) y Aluminio + Hidrógeno ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$).

Tabla 3. Análisis de suelo de la camada 0-10 cm al culminar el experimento en función a fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.

Fuentes de enmiendas	pH	M.O.	P	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$
		---%---	---mg kg ⁻¹ ---	-----cmol _c kg ⁻¹ -----				
Ceniza	5,38 a	0,78 ^{ns}	8,13 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,11 ab	0,02 ^{ns}	0,47 ^{ns}
Estiércol	5,23 ab	0,82	6,31	0,58	0,21	0,15 a	0,02	0,47
Sin enmienda	4,73 b	0,81	7,00	0,53	0,13	0,09 b	0,02	1,17
CV%	5,34	19,91	61,92	19,69	47,86	22,43	0,00	54,93

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo. Medias seguidas por diferentes letras difieren entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Los resultados de la lectura de pH (Anexo 4) presentados por el análisis laboratorial, muestran que los tratamientos con diferentes fuentes de enmiendas están dentro del nivel considerado ácido (menor a 5,6). La ceniza presentó un aumento en el pH (5,38) difiriendo estadísticamente del testigo (4,73). El estiércol de bovino (5,23) fue similar a la ceniza y al testigo.

Este aumento de pH en el tratamiento donde fue aplicado ceniza puede ser consecuencia de la presencia de óxidos, principalmente de Ca, Mg y K en las cenizas, por lo que Solla et al. (2001) aseguran que las cenizas presentan un importante carácter alcalino y que es posible su uso para la corrección de suelos ácidos.

En la Tabla 3 se puede apreciar que la acidez intercambiable no presentó significancia estadística (Anexo 5) y con la aplicación tanto de la ceniza como del estiércol se obtuvo una disminución de la misma hasta niveles considerados medios ($0,4 - 9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), sin embargo, en el tratamiento sin aplicación de enmienda (testigo) se encontraba en un nivel alto (Fatecha 2004; Bataglia 2011).

Resultado similar al presente experimento fue obtenido por González (2016) quien observó aumento de pH aplicando 870 kg ha^{-1} de ceniza, donde el pH pasó de 5,08 en el testigo a 5,65 donde se aplicó ceniza. En relación a la aplicación de estiércol de bovino (25 Mg ha^{-1}) de forma similar a lo observado en el presente experimento, el mismo no observó aumento de pH comparado con el testigo.

También Saucedo (2016) en dos suelos de diferentes texturas (Franco arcillo arenoso y areno) obtuvo aumento de pH al aplicar ceniza, llegando a eliminarse el Al^{+3} con dosis de $2,5$ y 5 Mg ha^{-1} , respectivamente. Estigarribia et al. (2015) constataron aumento de pH con la aplicación de ceniza pasando de 3,6 en el testigo a 6,3 donde se aplicó $8,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de ceniza. Hay que destacar que en el presente experimento solamente se aplicó 870 kg ha^{-1} de ceniza, lo que representa el 10,5% de la mayor dosis utilizada por Estigarribia et al. (2015) y mucho menos de lo utilizado por Saucedo (2016), quien utilizó hasta 20 Mg ha^{-1} .

Neukirchinger (2000) observó que aplicando entre 4 y 6 Mg ha^{-1} de ceniza el pH del suelo aumentó hasta 6,08 (ligeramente ácido) y 6,7 (neutro) respectivamente, considerados niveles óptimos, por otro lado, con la aplicación de 9 Mg ha^{-1} de ceniza se elevó a niveles más alcalinos (7,53).

La aplicación de estiércol de bovino incrementó la concentración de potasio (Anexo 6) a $0,15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, pasando a un nivel medio (mayor a $0,13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), siendo estadísticamente igual al tratamiento con aplicación de ceniza ($0,11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), pero superior al testigo ($0,09 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Mientras que en estos últimos la concentración de potasio intercambiable es interpretada como de nivel bajo (menor a $0,12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), según la tabla de interpretación de análisis de suelos propuesto por Moreno et al (2012).

Según el análisis de la ceniza (Anexo 7) la misma posee 1,69% de K. Al aplicar 870 kg ha⁻¹ de ceniza se aplicó solamente 17,8 kg ha⁻¹ de K₂O, por lo que era de esperarse que no haya aumento expresivo de la cantidad de K en el suelo. Neukirchinger (2000) sostiene que las cenizas presentan composiciones variables pero generalmente son ricos en potasio (K₂O).

Estos resultados son similares a los datos obtenidos por González (2016), quien incorporando diferentes fuentes de enmiendas, observó aumento en el aporte de potasio por parte de la enmienda orgánica (estiércol de bovino) (0,16 cmol_c kg⁻¹) en relación a la enmienda inorgánica (ceniza) (0,14 cmol_c kg⁻¹) y al tratamiento sin enmienda (0,11 cmol_c kg⁻¹).

Considerando las diferentes fuentes de enmiendas, como se observa en la Tabla 3, los valores de materia orgánica (Anexo 8), fósforo (Anexo 9), calcio (Anexo 10), magnesio (Anexo 11) y sodio (Anexo 12) se encuentran en un rango bajo y no presentaron diferencias significativas. Pero existe una tendencia de aumento en la materia orgánica con el estiércol de bovino, en cambio, para fósforo, calcio y magnesio presentó una tendencia de incremento con la ceniza.

Pisciotta (2011) trabajando con diferentes niveles de estiércol de bovino (enmienda orgánica) observó un incremento del contenido de materia orgánica en el suelo, a medida que aumentaba las dosis de la enmienda orgánica. Por su parte Salazar et al. (2007) constataron incrementos de la materia orgánica del suelo, con valores desde 3,59 hasta 6,35 % en el estrato de suelo de 0-15 cm, y valores de 2,2 a 4,8 % en el estrato de 15-30 cm de profundidad, con la incorporación de estiércol de bovino.

Por otro lado, Omil (2007) menciona que las cenizas además de aportar elementos primarios como fósforo y potasio, también adicionan otros elementos secundarios, como calcio y magnesio, por lo que se esperaba mayor incremento en estos elementos con la adición de ceniza. La adición de ceniza debería aumentar el pH del suelo, el contenido de magnesio intercambiable, calcio intercambiable, potasio intercambiable y fósforo disponible en el suelo. Sin embargo se debe recalcar

que en el presente trabajo solamente fueron aplicados 870 kg ha⁻¹ de ceniza y en los demás trabajos entre 5 a 20 veces más ceniza.

4.2 Efectos de dosis de P₂O₅ y fuentes de enmiendas en parámetros de crecimiento del maíz

En la Tabla 4, se presentan los valores medios obtenidos en la medición de los parámetros de crecimiento: altura de planta (Anexo 13), número de hojas por planta (Anexo 14), diámetro del tallo (Anexo 15) y masa seca aérea (Anexo 16).

Tabla 4. Altura de planta, número de hojas por planta, masa seca aérea y diámetro del tallo del maíz en función a dosis de P₂O₅ y fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.

Factor Enmienda Fuentes (Mg ha ⁻¹)	Dosis	Altura de planta ----m----	Hojas planta ⁻¹ ---número---	Masa seca aérea ---kg ha ⁻¹ ---	Diámetro del tallo ----mm----
Estiércol de bovino	30	2,47 a	14,67 a	12.757 a	23,06 a
Ceniza	0,87	2,42 ab	14,32 ab	12.122 ab	22,75 a
Sin enmienda	0	2,35 b	14,09 b	10.842 b	21,37 b
Media general		2,41	14,36	11.907	22,39
Factor Fósforo Dosis (kg ha⁻¹)					
	0	2,38 ^{ns}	14,18 ^{ns}	11.302 ^{ns}	21,79 ^{ns}
	40	2,39	14,35	12.184	22,00
	80	2,48	14,59	12.322	22,94
	120	2,41	14,29	11.577	22,81
	160	2,40	14,38	12.151	22,42
CV%		4,20	4,18	14,21	6,46
Media general		2,41	14,36	11.907	22,39

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo. Medias seguidas por diferentes letras difieren entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En las variables mencionadas se encontraron diferencias significativas a nivel estadístico entre las fuentes de enmiendas (Factor Enmienda), sin embargo, no presentaron diferencias significativas entre las dosis de P₂O₅ (Factor Fósforo).

En el factor enmienda para las variables altura de planta, N° de hojas por planta y masa seca aérea, la enmienda orgánica (estiércol de bovino) fue el

tratamiento con el mayor promedio, y superior al tratamiento sin enmienda (testigo). El tratamiento con ceniza arrojó resultados estadísticamente iguales al estiércol de bovino y al tratamiento sin enmienda. Con respecto al diámetro del tallo los resultados de las enmiendas orgánica e inorgánica arrojaron resultados estadísticamente iguales entre sí y superiores al testigo. Coincidiendo con lo mencionado en la hipótesis ya que el mayor crecimiento vegetativo del maíz se obtuvo con la combinación entre la enmienda orgánica y P_2O_5 .

Estos resultados son similares a los obtenidos por Lopez et al. (2015), quienes al aplicar estiércol de bovino obtuvieron incrementos en la altura de planta y masa seca aérea del maíz, a 2,56 m y 16.840 kg ha⁻¹ respectivamente, siendo estadísticamente significativo en comparación al testigo con valores 2,21 m y 10.990 kg ha⁻¹ respectivamente. Del mismo modo Figueroa et al. (2010) encontraron mayores alturas y masa seca aérea de 2,57 m y 19.500 kg ha⁻¹ con la aplicación estiércol de bovino. Sin embargo, Longoria (2000), no encontró significancia estadística al incorporar diferentes dosis de estiércol de bovino en la altura de planta de maíz, diámetro del tallo y masa seca aérea, siendo los valores promedios de 2 m; 2,28 cm y 108 g pl⁻¹ respectivamente.

Como se observa en la Tabla 4 no hubo diferencia significativa entre las dosis de P_2O_5 (Factor Fósforo), aunque se ve una tendencia de aumento en relación directa con el incremento de la dosis hasta los 80 kg ha⁻¹ y posteriormente se vio una tendencia de disminución en los cuatro parámetros mencionados con mayores dosis de fósforo.

Las variables mencionadas no presentaron interacciones significativas entre los factores, lo que indica que cada factor actuó de forma independiente. Los coeficientes de variación para los parámetros estudiados se presentan en la Tabla 4, los cuales indican la confiabilidad de los datos obtenidos en la investigación. Estos datos concuerdan con los obtenidos en relación al rendimiento de granos posiblemente debido a las mismas consecuencias encontradas en el mismo.

Estos resultados coinciden con los de Valdez y Gray (2014), quienes emplearon diferentes dosis de fósforo y no tuvieron influencia significativa en la

altura de planta de maíz, registrándose un promedio de $218 \pm 2,31$ cm. Sin embargo, Colman y Ortiz (2012) encontraron diferencias altamente significativas con la aplicación de diferentes niveles de fósforo en el cultivo de maíz, habiendo un incremento del 16,9 % (38 cm) en la altura.

Por su parte, Basantes (2012) menciona que en un experimento realizado con diferentes niveles de fósforo en el cultivo de maíz, no detectó diferencia significativa en la altura de planta y número de hojas por planta, observándose una mayor altura y número de hojas (214 cm y 13 respectivamente) con 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Pero observó respuesta significativa en masa seca aérea, siendo el tratamiento con 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 estadísticamente superior al tratamiento con 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 , con valores 257 y 229 g pl^{-1} respectivamente. Del mismo modo, Peroni (2005) con la aplicación de diferentes niveles de fósforo, encontró diferencias significativas en la parte aérea del cultivo de maíz, tanto en valores de masa seca y altura de planta, que fueron medidas 45 días después de la siembra.

En el empleo de diferentes dosis de fósforo, Serna et al. (2011) obtuvieron incremento de la altura de planta del maíz en un 2,1 % con la mayor dosis de P_2O_5 (90 kg ha^{-1}), lo cual indica que hubo una ligera respuesta del cultivo a la dosis creciente de fósforo. Por su parte, Alvarado (2002) al aplicar 0 y 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 observó una diferencia de 0,1 y 2,91 cm de diámetro del tallo y altura de la planta de maíz respectivamente, donde los mayores valores se obtuvieron de las plantas fertilizadas con 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Por otro lado, Britos y Emategui (2015) observaron un incremento de 32 cm en la altura de planta de maíz con la aplicación de fertilizantes fosfatados en comparación con el tratamiento sin aplicación de fertilizante (testigo).

Una de las causas puede ser el nivel inicial de P (fósforo) en el suelo, según Britos et al. (2012) el nivel crítico de P para suelos franco arenosos es de 12 mg kg^{-1} y este suelo inicialmente poseía 9 mg kg^{-1} , siendo similar al promedio de P del departamento que es de $8,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (Jorgge 2012), por lo que de cierta forma se puede atribuir a eso la falta de respuesta a la fertilización fosfatada.

4.3 Efectos de dosis de P₂O₅ y fuentes de enmiendas en caracteres de rendimiento del maíz

Los valores medios obtenidos en la medición de los caracteres de rendimiento: longitud de espiga (Anexo 17), diámetro de espiga (Anexo 18) y peso de mil granos (Anexo 19), se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Longitud de espiga, diámetro de espiga y peso de mil granos del maíz en función a dosis de P₂O₅ y fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.

Factor Enmienda Fuentes (Mg ha⁻¹)	Dosis	Longitud de espiga	Diámetro de espiga	Peso de mil granos
		----cm----	----mm----	----g----
Estiércol de bovino	30	17,13 ^{ns}	37,92 a	230 a
Ceniza	0,87	17,24	37,80 ab	224 ab
Sin enmienda	0	16,76	37,10 b	215 b
Media general		17,04	37,61	223
Factor Fósforo Dosis (kg ha⁻¹)				
	0	16,82 ^{ns}	37,22 ^{ns}	219 ^{ns}
	40	16,60	37,81	220
P ₂ O ₅	80	17,33	37,82	222
	120	17,39	37,75	231
	160	17,07	37,44	222
CV%		4,63	2,73	6,04
Media general		17,04	37,61	223

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo. Medias seguidas por diferentes letras difieren entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Se encontraron resultados significativamente diferentes entre los tratamientos del factor enmienda, para el diámetro de espiga y peso de mil granos, donde el estiércol de bovino arrojó resultados (37,92 mm y 230 g respectivamente) iguales estadísticamente a la ceniza (37,80 mm y 224 g respectivamente) y superiores al testigo (37,10 mm y 215 g respectivamente), siendo estos similares a la enmienda inorgánica. Por otro lado, para el parámetro longitud de espiga no hubo significancia estadística, pero hubo una tendencia de aumento con la ceniza (17,24 cm).

En un experimento con incorporación de diferentes dosis de estiércol de bovino, Longoria (2000) no constató diferencias significativas en longitud y diámetro de espiga, obteniéndose medias generales de 28 y 4,63 cm respectivamente.

Por otro lado, no se detectaron significancias estadísticas entre los tratamientos del factor fósforo para todos los parámetros mencionados en la Tabla 5, siendo 17,04 cm; 37,44 cm y 223 g respectivamente, las medias generales de cada una de las variables. La aplicación de fertilizante fosfatado según Gonçalves et al. (2010); Britos y Emategui (2015), no influyó en la longitud de espigas del maíz, lo que coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Estos datos coinciden con los datos obtenidos por Valdez y Gray (2014), quienes tampoco encontraron diferencias en longitud de espiga con la aplicación de dosis crecientes de fósforo (P_2O_5) en el cultivo de maíz, registrándose promedio de $18 \pm 0,53$ cm. Por otro lado los mismos autores mencionan que el peso de mil granos es mayor cuando las plantas reciben fertilización fosfatada con un promedio de $120 \pm 1,9$ g ($p \leq 0,04$).

Romero et al. (2003) mencionan que el fósforo aumenta la síntesis de proteínas, carbohidratos y almidón presentes en los granos de maíz.

Los coeficientes de variación expresados en porcentaje de las variables mostradas en la Tabla 5, indican la confiabilidad de los datos obtenidos en el experimento.

En la Tabla 6 se presentan las medias de rendimiento de granos del maíz, obtenidas con la aplicación de diferentes fuentes enmiendas.

Tabla 6. Rendimiento de granos del maíz en función a fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.

Factor Enmienda Fuentes (Mg ha⁻¹)	Dosis	Rendimiento de granos
		---- kg ha ⁻¹ ----
Estiércol de bovino	30	4.692 a
Ceniza	0,87	4.395 ab
Sin enmienda	0	3.931 b
CV%		15,35
Media general		4.339

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo. Medias seguidas por diferentes letras difieren entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En el rendimiento de granos del maíz se encontró diferencia significativa a nivel estadístico entre las enmiendas utilizadas (Anexo 20). Con el estiércol de bovino (enmienda orgánica) se obtuvo 4.692 kg ha^{-1} , siendo el tratamiento con el mayor rendimiento de granos del maíz, superando al tratamiento sin aplicación de enmienda (testigo) en 761 kg ha^{-1} , mientras que el tratamiento con ceniza obtuvo 4.395 kg ha^{-1} , que fue estadísticamente igual al tratamiento sin enmienda y a la enmienda orgánica. De acuerdo con el ANAVA, estas variables no presentaron interacciones significativas entre los factores, lo que indica que los factores actuaron de forma independiente.

La aplicación de materia orgánica a través del estiércol de bovino es muy utilizada en la mayoría de los cultivos. González (2016) utilizando la misma variedad de maíz, observó que el rendimiento de granos del maíz aumentó hasta un 15% con relación al testigo, aplicando 25 Mg ha^{-1} de estiércol de bovino incorporado al suelo y con la aplicación de 870 kg ha^{-1} de ceniza de expeller de soja de forma similar al presente experimento no observó aumento en el rendimiento en relación al testigo. Por su parte, Brizuela (2010) obtuvo incremento en el rendimiento de granos de maíz con la aplicación de 20 Mg ha^{-1} de enmienda orgánica (estiércol de bovino) en combinación con el fertilizante mineral (10-30-10), comparado con el testigo (sin aplicación de estiércol de bovino y sin aplicación de fertilizante mineral), en un orden de 370 %.

Paredes citado por Ruffinelli (2011) afirma que la incorporación de fertilizantes orgánicos o enmiendas en el suelo interviene favorablemente en la disponibilidad de los macro y micronutrientes y en la fertilidad del suelo, incrementando la CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico), produciendo un aumento en la aireación y crecimiento radicular, así como en la capacidad de retención de agua y la actividad de los microorganismos.

El coeficiente de variación expresado en porcentaje (15,35%), indica la confiabilidad de los datos tomados del experimento.

En la Figura 4 se presentan las medias de rendimiento de granos del maíz, obtenidas con la aplicación de diferentes dosis de P_2O_5 . Además, se presenta la

ecuación polinómica cuadrática y el coeficiente de regresión correspondiente a la regresión polinómica de segundo grado.

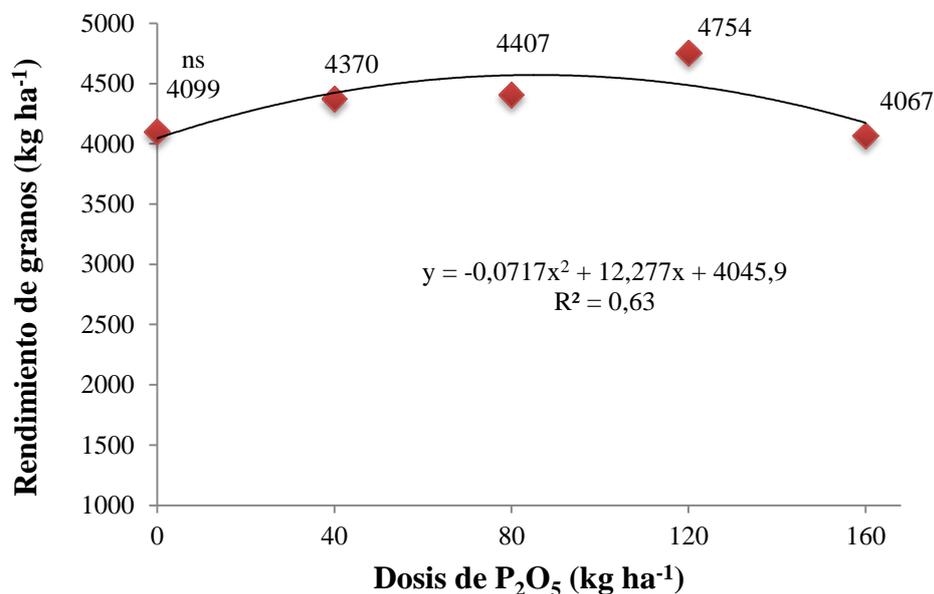


Figura 4. Rendimiento de granos del maíz en función a dosis de P₂O₅. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016.

En la Figura 4 se aprecia que las diferencias no significativas entre valores promedios para el rendimiento de granos del maíz, obtenidos aplicando dosis crecientes de P₂O₅, son muy pequeñas, motivo por el cual, el análisis de varianza, no detectó tales diferencias. Pero a pesar de no haber diferencias estadísticas, el tratamiento donde fue aplicado 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, presentó un mayor rendimiento con 4.754 kg ha⁻¹ comparado con el testigo donde se obtuvo 4.099 kg ha⁻¹. Los tratamientos con 0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, presentaron rendimientos crecientes de 4.099, 4.370, 4.407 y 4.754 kg ha⁻¹ respectivamente, y con la aplicación de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ se obtuvo una disminución en los rendimientos, con 4.067 kg ha⁻¹, posiblemente a consecuencia de un exceso en la dosis del fertilizante aplicado.

Cabe mencionar que la mejor dosis de P₂O₅ no se pudo constatar, como lo mencionado en una de las hipótesis, debido a que los resultados obtenidos en cada una de las dosis fueron estadísticamente iguales entre sí.

Estos resultados observados con las medias obtenidas en los parámetros de rendimiento, puede ser a consecuencia, según Silva (2007) de que solo el 20%

aproximadamente del fósforo (P_2O_5) aplicado es aprovechado por el cultivo en el primer año, debido a que el fósforo liberado puede ser adsorbido por coloides del suelo o formar compuestos insolubles de hierro y aluminio.

Se estima que otro factor que influyó para que no haya diferencia entre las dosis de P_2O_5 fue no haber aplicado cal agrícola, ya que el suelo donde fue implantado el experimento presentaba pH de rango ácido (Tabla 1), por lo que los nutrientes como el fósforo no fueron disponibilizados, para ser absorbidos por el cultivo de maíz. La aplicación de la cal agrícola no fue realizada porque se esperaba que con las enmiendas aplicadas se pueda aumentar el pH del suelo y por ende reducir la acidez.

Otro aspecto que se puede resaltar es que esos suelos ya están extremadamente deteriorados y la simple aplicación de fertilizantes en un año no es suficiente para su recuperación y principalmente la actividad biológica, la materia orgánica y la relación entre nutrientes no se encuentra beneficiada, por lo tanto, por más que se le dé los nutrientes a la planta, la parte física y orgánica del suelo limita la respuesta de los nutrientes aplicados, destacando que esos suelos están muy compactados.

Era de esperarse la falta de respuesta en el rendimiento de granos con la aplicación de dosis de P_2O_5 , ya que tanto la aplicación de ceniza como la aplicación de estiércol de bovino no aumentaron el nivel de fósforo en el suelo (Tabla 1 y 3).

En un experimento realizado, Britos y Emategui (2015) encontraron respuesta significativa en el rendimiento de granos del maíz fertilizada con fósforo y comparando con el tratamiento sin fósforo (testigo), registraron una diferencia de 2.363 kg ha^{-1} . Por otra parte, Alvarado (2002) encontró respuesta significativa con la aplicación de fertilizante fosfatado sobre la producción de maíz, donde el mayor rendimiento fue de 6.545 kg ha^{-1} obtenido aplicando 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 y el menor fue de 5.688 kg ha^{-1} , que se obtuvo con el testigo (0 kg ha^{-1} de P_2O_5). Sin embargo, no observó influencia estadística para los parámetros longitud y diámetro de espigas, obteniéndose un promedio de 13,33 y 4,31 cm respectivamente.

En un experimento realizado por Serna et al. (2011) las diferencias estadísticamente fueron significativas al aplicar diferentes niveles de fósforo en el cultivo de maíz, donde la dosis 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ incrementó el rendimiento de grano en un 11,5%, en comparación con la dosis de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Así mismo, Bonussi et al. (2009) encontraron respuestas en los rendimientos de granos de maíz a la fertilización fosfatada en forma creciente a los niveles aplicados, desde 30 kg ha⁻¹ hasta 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, con rendimientos de 5.708 y 7.185 kg ha⁻¹ respectivamente, siendo superiores al testigo (sin aplicación de fósforo) que presentó el mínimo rendimiento (5.100 kg ha⁻¹). Por su parte, Torres (2015) aplicando 100 kg ha⁻¹ de fertilizante fosfatado (Roca fosfórica), incrementó la longitud de espigas y el rendimiento de granos del maíz a 17,94 cm y 4.983 kg ha⁻¹, respectivamente, siendo estadísticamente significativo en comparación al testigo (sin fertilizante fosfatado) con valores 14,37 cm y 3.266 kg ha⁻¹, respectivamente.

El rendimiento de granos del maíz depende del resultado de número y peso de granos, siendo el primero afectado por el estado fisiológico del cultivo durante el período crítico, por otro lado, el peso de granos es una característica determinada por el genotipo (Valentinuz et al. 2010).

Debido a los factores predominantes que posiblemente llevaron a la ausencia de respuestas significativas a la aplicación de fertilizante fosfatado, es importante seguir evaluando el presente experimento por un periodo más largo de tiempo, de manera a detectar posibles respuestas del efecto residual de las dosis de fósforo en condiciones climáticas diferentes.

5 CONCLUSIONES

En las condiciones en que fue realizado el experimento y considerando los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos se puede concluir que:

El cultivo de maíz responde a los tratamientos con las fuentes de enmiendas, siendo el estiércol de bovino (enmienda orgánica) el que tiene mayor producción, superando al testigo (sin aplicación de enmiendas) en todos los parámetros estudiados. Los tratamientos con dosis de P_2O_5 no presentaron respuesta en ninguna de las variables analizadas. La incorporación del estiércol de bovino al suelo es una alternativa factible para aumentar la producción del cultivo y reponer nutrientes.

Con la aplicación de la ceniza disminuye el aluminio intercambiable y el horizonte superficial experimenta ligeros incrementos del pH, así como la concentración de calcio, magnesio y fósforo. Por consiguiente, una importante vía de reutilización es la aplicación de las mismas en el suelo como fertilizantes y corrector del pH.

6 REFERENCIAS

- Acosta, R. 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. *Cultivos Tropicales*. 30(2):113-120. (En línea). Consultado 02 abr 2016. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215047017>
- Alvarado Gómez, LC. 2002. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nueva León. 78p
- Álvarez Solís, JD; Díaz Pérez, E; León Martínez, NS; Guillén Velásquez, J. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*. 28(3):239-245. (En línea). Consultado 23 ago 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57316064006.pdf>
- Andrade, FH; Echeverría, H; González, H; Uhart, S; Darwich, N. 1995. Requerimientos de N y P de los cultivos de maíz, girasol y soja en el partido de Balcarce, Buenos Aires, Argentina. *Boletín Técnico No 134*. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA). Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 11 p
- Araújo, MSB; Schaefer, CEGR; Sampaio, EVSB. 2004. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:259-268
- Bataglia Meyer, VD. 2011. Clasificación de los niveles de acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis de Grado. San Lorenzo, PY. Carrera Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 60p.

- Barrios, M; Sandoval, E; Camacaro, O; Borges, J. 2010. Importancia del fósforo en el complejo suelo–animal. *Mundo Pecuario*. 6(2):151-156. (En línea). Consultado 02 abr 2016. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/31337/1/articulo4.pdf>
- Basantes Morales, ER. 2012. Efecto de la aplicación de dos niveles nitrógeno y dos niveles de fósforo en el rendimiento del cultivo de maíz var. Chillos, en un suelo franco-arcillo limoso, sector de Sangolqui. Tesis de Maestría. Escuela Politécnica del Ejército. 68p
- Bonilla Morales, N. 2009. Manual de recomendaciones técnicas: cultivo de maíz. San José, CR. INTA. 72p
- Bonussi, D, Hahn, EO; Cubilla, M. 2009. Productividad del maíz de segunda zafra sobre siembra directa bajo niveles de fertilización fosfatada en el Distrito de Obligado, Itapúa. 1^{er} Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. Paraguay. 105p
- Britos Benítez, CA; Causarano Medina, HJ; Rasche Álvarez, JW; Barreto Riquelme, UF; Mendoza Duarte, F. 2012. Fertilización fosfatada de los principales cultivos bajo siembra directa mecanizada en la región oriental del Paraguay. *Investigación Agraria*. 14(2):87-92. (En línea). Consultado 29 ago 2015. Disponible en: <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/download/256/237>
- Britos Sigmund, EM; Emategui Enciso, VE. Diferentes formulaciones fosfatadas en la fertilización del maíz. San Lorenzo, PY. I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo – IV Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. FCA-UNA. 134–137p
- Brizuela Rodas, FM. 2010. Efecto de diferentes dosis de estiércol vacuno y fertilizante mineral (10-30-10) en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) híbrido BR 106. Tesis de Grado. Caazapá, PY. Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 25p.

- Ceretta, CA; Lorensini, F; Brunetto, G; Girotto, E; Gatiboni Colpo, L; Lourenzi, CR; Tiecher TL; De Conti, L; Trentin, G; Miotto, A. 2010. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 45(6):593-602
- Cerón Rincón, LE; Aristizábal Gutiérrez, FA. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Revista Colombiana Biotecnológica. 14(1):285-295. (En línea). Consultado 02 abr 2016. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77624081026>
- Colmán Ribelatto, PJ; Ortiz Acosta, O. 2012. Inoculación con *Pseudomonas fluorescens* y aplicación de diferentes dosis de fertilizante fosfatado en maíz (*Zea mays*). III Congreso Paraguayo de Ciencias del Suelo. San Lorenzo, PY. FCA-UNA. 530-531p
- Comese, RV; González, MG; Conti, ME. 2009. Cambios en las propiedades de suelo de huerta y rendimiento de *Beta vulgaris* var. Cicla (l) por el uso de enmiendas orgánicas. Ciencia de Suelo. 27(2):271-275. (En línea). Consultado 26 ago 2015. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v27n2/v27n2a14.pdf>
- Conte, E; Anghinoni, I; Rheinheimer dos Santos, D. 2003. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciências do Solo. 27:893-900
- Cubilla, MM; Carneiro Amado, TJ; Wendling, A; Foletto Eltz, FL; Mielniczuk, J. 2007. Calibração visando à fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Revista Brasileira de Ciência do Solo. (31):1463-1474. (En línea). Consultado 13 may 2016. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000600023&script=sci_arttext&tlng=e!n
- Daza, MC; Álvarez, JG; Rojas, LA. 2006. Efecto de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de fósforo de un Oxisol de los Llanos Orientales colombianos. Agronomía Colombiana. 24(2):326-333. (En línea). Consultado 26 ago 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316239016>

- DINAC (Dirección Nacional de Aeronáutica Civil, PY). 2013. Dirección de Meteorología e hidrología. (En línea). Asunción, PY. Consultado 30 ago 2015. Disponible en: [http:// www.metreologiagov.py/serviciopublico.php](http://www.metreologiagov.py/serviciopublico.php)
- Espínola, C. 2010. Fertilización fosfatada en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en un alfisol de Escobar, Paraguarí. Tesis de Grado. San Lorenzo, PY. Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 48p
- Estigarribia G, E; Galeano S, MdelP.; Leguizamón R, CA. 2015. Ceniza como corrector de propiedades químicas del suelo y su efecto en el poroto *Vigna unguiculata*. I Congreso Paraguayo de Ciencias del Suelo. San Lorenzo, PY. FCA-UNA. 157-159p
- Fatecha, A. 2010. Guía para la fertilización de cultivos anuales y perennes de la Región Oriental del Paraguay. San Lorenzo, PY, Sociedad Paraguaya de Ciencias de Suelos, 33 p. Boletín Técnico V 1 – 2da. Reimpresión.
- Fatecha Fois, D. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay. Tesis de Grado. San Lorenzo, PY. Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 82p
- Fernández, MT. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 41(2):51-57. (En línea). Consultado 03 abr 2016. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=223114970009>
- Ferreira de Souza R; Faquin V; Teixeira Andrade, A; Ferreira Torres, PR. 2007. Formas de Fósforo em Solos Sob Influência da Calagem e Adubação Orgânica. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 31:1535-1544
- Figueroa Viramontes, U; Cueto Wong, JÁ; Delgado, JÁ; Núñez Hernández, G; Reta Sánchez, DG; Quiroga Garza, HM; Faz Contreras, R; Márquez Rojas, JL. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. Revista Terra Latinoamericana. 28(4):361-369

- Finck, A. 2009. Fertilizantes y Fertilización: fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Barcelona (ES). Editorial Reverté S.A. 63-301p
- Forero, FE; Fernández, JP; Álvarez Herrera, JG. 2010. Efecto de diferentes dosis de cachaza en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 13(1):77-86. (En línea). Consultado 5 set 2015. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n1/v13n1a09.pdf>
- Gatiboni Colpo, L; Brunetto, G; Kaminski, J; Rheinheimer dos Santos, D; Ceretta, CA; Basso, CJ. 2008. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquido de suínos em pastagem natural. Revista Brasileira de Ciências do Solo. 32:1753-1761
- Gatiboni Colpo, L; Kaminski, J; Rheinheimer dos Santos, D; Cassol Flores, JP. 2007. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciências do Solo. 31:691-699
- Gomes de Sousa, DM; Lobato, E. 2004. Fósforo na Agricultura Brasileira: adubação fosfatada em solos da região do cerrado. 3^{ra} ed. Piracicaba (BR). Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. 157-196p
- González Cáceres, E. 2016. Aplicación de dosis de nitrógeno con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipá (*Zea mays* var. amiláceo L.). Tesis de Grado. San Lorenzo, PY. Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 62p
- Gonçalves, GK; Meurer, EJ. 2009. Frações de fósforo no solo e sua relação com a absorção pelas plantas de arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciências do Solo. 33:357-362
- Gonçalves, JLM; Firme, DJ; Novais, RF; Ribeiro, AC. 2010. Produtividade e componentes de produção adubada com fósforo. Brasil. 150p
- Granada, JA. 2010. Calibración de fertilización fosfatada de trigo, soja y maíz cultivados en siembra directa en dos suelos del departamento de Caaguazú. Tesis de Grado. San Lorenzo, PY. Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 43p

- Hunt, JF; Ohno, T; He, Z; Honeycutt, CW; Dail, DB. 2007. Inhibition of phosphorus sorption to goethite, gibbsite, and kaolin by fresh and decomposed organic matter. *Biology Fertility Soils* 44:277-288
- Jorge Prieto, MV. 2012. Clasificación del nivel de fósforo disponible del suelo de la Región Oriental del Paraguay. Tesis de Grado. San Lorenzo, PY. Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 52p
- Longoria Garza, CS. 2000. Fertilización orgánica con estiércol bovino en diferentes fechas y dosis de aplicación en maíz blanco hualahuises. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. 90p
- Lopez Calderon, MJ; Figueroa Viramontes, U; Fortis Hernandez, M; Nunez Hernandez, G; Ochoa Martinez, E; Sanchez Duarte, JI. 2015. Evaluación de dosis equivalentes de fertilizante y estiércol en la producción de maíz forrajero (*Zea mays*). *Revista Internacional de Botánica Experimental*. 84:8-13
- López, O; González, E; De LLamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Rios, 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).
- Lopes Santos, JZ; Furtini Neto, AE; Vilela de Resende, Á; Curi, N; Carneiro, LF; Gigante de Andrade Costa, SEV. 2008. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 32:705-714
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY). 2007. Datos Preliminares del Programa Nacional del Maíz. 108p
- Martinazzo, R; Rheinheimer dos Santos, D; Gatiboni Colpo, L; Brunetto, G; Kaminski, J. 2007. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 31:563-570

- Malavolta, E. 2004. Fósforo na Agricultura Brasileira: o fósforo na planta e interações com outros elementos. 3^{ra} ed. Piracicaba (BR). Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. 35-98p
- Martín, GM; Costa Rouws, JR; Urquiaga, S; Rivera, RA. 2007. Rotación del abono verde *Canavalia ensiformis* con maíz y micorrizas arbusculares en un suelo nitisol ródico éútrico de Cuba. *Agronomía Tropical*. 57(4): 313-321
- Melgar, R; Torres, M. 2005. Manejo de la fertilización en maíz. Proyecto fertilizar EEA INTA Pergamino. (En línea). Consultado 8 ago 2015. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/manejo%20de%20la%20fertilizacion%20en%20maiz.asp>
- Meléndez, G. 2003. Abonos orgánicos: Principios, características e impacto en la agricultura. Ed Meléndez, G. San José, Costa Rica. 50-63 p
- Moreno Resquin, H; Causarano Medina, HJ; Rasche Álvarez, JW; Barreto Riquelme, UF; Mendoza Duarte, F. (2012). Fertilización potásica de los principales cultivos bajo siembra directa mecanizada en la región oriental del Paraguay. *Investigación Agraria*, 14(1):41-49
- Munera, GA; Meza, DC. 2012. El Fósforo Elemento Indispensable para la Vida Vegetal. 52p
- Neukirchinger Hennig, EG. 2000. Corrección de la acidez del suelo mediante la utilización de escoria de alto horno de ACEPAR y ceniza de madera. Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias Agrarias - UNA, Carrera de Ingeniería Agronómica, Orientación Producción Agrícola, San Lorenzo, PY. 58p
- Omil Ignacio, B. 2007. Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones jóvenes de *Pinus radiata*. Tesis de Doctorado. Escuela Politecnica Superior de Lugo Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Edafología y Química Agrícola. 326p

- Peroni Mayans, RS. 2005. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el tenor de fósforo de cinco suelos del Paraguay y crecimiento del maíz – *Zea mays* L. Tesis de Grado. San Lorenzo, PY. Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 55p
- Pisciotta Sanabria, EM. 2011. Influencia de diferentes proporciones de estiércol vacuno y arena gorda en el desarrollo de la planta de salvia (*Salvia splendens* Sp – Variedad, *Salvia splendens Vista mix*). Tesis de Grado. San Lorenzo (PY). Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 68p
- Rheinheimer dos Santos, D; Anghinoni I. 2001. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 36(1):151-160
- Rodríguez Cortesi, JL; Rabery Cáceres, SH. 2003. Rendimiento del maíz amiláceo variedad avati moroti sembrado en dos épocas y tres distancias entre hileras. Revista de Investigación Agraria. 5(2):30-36
- Romero, C; Alfonzo, S; Medina, R; Flores, R. 2003. Evaluación inicial de la fertilización con roca fosfórica en tres especies del género *Brachiaria*. Revista Zootecnia Tropical. 21(2):183-196
- Roveda, G; Polo, C. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus spp.* en suelos con bajo fósforo disponible. Agronomía Colombiana. 25(2):349-356. Consultado 26 ago 2015. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n2/v25n2a19.pdf>
- Ruffinelli Almada, S. 2011. Efecto de la aplicación de estiércol vacuno, gallinaza y fosfato natural en el rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), y sobre el ataque de *Diatrea saccharalis* (Fabr., 1974) (Lepidoptera: Crambidae), en un suelo de Guairá. Tesis de Grado. San Lorenzo (PY). Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 40p
- Santander, V. 1999. La biodiversidad de Paraguay. In: Diálogo LV, Avances de investigación en recursos genéticos en el Conosur. PROCISUR, Montevideo. 29-34p

- Santos JZ; Furtilli Neto, AE; Resende AV; Curi, N; Carneiro, LF; Costa A, SEVG. 2008. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:705-714
- Salazar Sosa, E; Trejo Escareño, HI; Vázquez Vázquez, C; López Martínez, JD. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Revista Internacional de Botánica Experimental*. 76(4):169-185
- Salhuana, W; Machado, V. 1999. Razas de maíz en Paraguay, consideraciones en la organización y utilización de los recursos genéticos de maíz. Publicación 025. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación en Agricultura. Programa de Investigación del maíz del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Paraguay. 148 p
- Saucedo Valverde, CMJ. 2016. Uso de ceniza como corrector de las propiedades químicas del suelo. Tesis de Grado. San Lorenzo (PY). Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 37p
- Serna López, C; Trujillo Cárdenas, LA; Urrea Gómez, R. 2011. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación edáfica de N-P-K en un Andisol de la Región Centro-Occidente de Caldas. *Revista Agronomía*. 17(1):68-76
- Silva, JA. 2007. Aplicação inicial de P_2O_5 no solo, avaliação em três cultivos sucessivos no feijão-caupi. Dissertação de mestrado. Areia, BR. Universidade Federal da Paraíba. 55p
- Silva, PR. 2011. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y el ataque de la broca del tallo (*Diatraea saccharalis*) (Fieb, 1851) Lepidoptera: Crambidae en un alfisol de Escobar Paraguari. AÑO II. Tesis de Grado. San Lorenzo, PY. Carrera de Ingeniería Agronómica. FCA-UNA. 44p
- Silva Rossi, MM; Rollán, AAC; Bachmeier, OA. 2013. Disponibilidad de fósforo en el área central de la Región Pampeana Argentina. *Spanish Journal of Soil Science*.

3(1):45-55. (En línea). Consultado 23 ago 2015. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4236666.pdf>.

Soares da Silva, A; Polivanov, H; Antunes, FS; Guerra, A. 2007. Influência da Rosão na Remoção de Fósforo em uma Topossequência no Município de Petrópolis (RJ). *Revista Brasileira Agrociência*. 13(1):47-54.

Solla Gullón, F; Rodríguez Soalleiro, R; Merino, A. 2001. Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Revista de Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*. 16(3):379-393p

Teixeira Andrade, A; Siqueira, JO; Faquin, V. 2004. Fósforo na Agricultura Brasileira: o papel dos microrganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. 3^{ra} ed. Piracicaba (BR). Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. 117-149p

Torres Moncada, JP. 2015. Efecto de la aplicación de cinco niveles de fósforo en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) var. Marginal 28 – t. en Yurimaguas. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía-Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 55p

Väätäinen, K; Sikanen, L.; Asikainen, A. 2000. Rakeistetum puutunhkan metsäänpalautuksen logística. (Logistics of returning granulated wood ask bark to forest). University of Joensuu, Faculty of Forestry, Research Notes 116.

Valdez Ibañez, AS; Gray Acuña, MG. 2014. Fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en maíz. San Lorenzo, PY. III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias, FCA-UNA. 295–297p

Valentinuz, O; Schmidt, N; Salcedo, A. 2010. Ajuste reproductivo del maíz (*Zea mays* L.) ante cambios en el canopeo post floración. Actualización Técnica N° 2 – Maíz, Girasol y Sorgo. 57-59p

Van Raij, B. 2011. Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes: fósforo. Piracicaba (BR). International Plant Nutrition Institute. 217-248p

- Van Raij, B. 2004. Fósforo na Agricultura Brasileira: fósforo no solo e interação com outros elementos. 3^{ra} ed. Piracicaba (BR). Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. 107-114p
- Wang, J; Liu, WZ; Mu, HF; Dang, TH. 2010. Inorganic Phosphorus Fractions and Phosphorus Availability in a Calcareous Soil Receiving 21-Year Superphosphate Application. *Pedosphere* 20(3):304-310
- Zamuner, EC; Picone, LI; Echeverria, HE. 2008. Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices. *Soil & Tillage Research* 99 131–138p

7 ANEXOS

A1. Precipitación ocurrida durante el ciclo del maíz (septiembre 2015 a febrero 2016).

DIAS	2015				2016	
	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
1					26	25
2			1	10		20
3		55				25
4						
5			36	71		
6					7,5	
7						
8					48	
9		4				
10			52			
11		11				
12						
13						
14				81		
15					24	
16			55			
17			50			
18			48			
19				120		
20			19			
21				10		
22						
23			49			
24						
25						
26			16	18		
27	38	49				
28			42	55		
29				18		
30			8		25	
31					20	
TOTAL	38	119	376	383	150,5	70
Medias Históricas	155	199	172	198	107	161

Fuente: Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) – Campo Experimental Yjhovy, Canindeyú.

A2. Tabla general de datos en función a dosis de P_2O_5 y fuentes de enmiendas.
Ybyrarobana, Canindeyú, 2016

Trat y Rep	Altura de planta (cm)	Nº Hojas planta ⁻¹	Diámetro tallo (mm)	Longitud espiga (cm)	Diámetro espiga (mm)	Masa seca aérea (kg ha ⁻¹)	Rendimiento granos (kg ha ⁻¹)	Peso mil granos (g)
T1R1	234,30	13,90	21,17	16,20	35,99	11366	3743	225
T1R2	244,70	14,60	20,63	16,40	37,05	11011	3538	207
T1R3	224,10	13,70	19,57	16,00	36,26	9029	2912	195
T1R4	234,40	14,10	21,04	16,60	36,06	12348	3910	194
T2R1	222,30	12,90	22,04	16,10	38,50	10254	4335	230
T2R2	243,20	14,60	19,04	16,50	37,70	10900	2740	205
T2R3	218,80	14,00	19,27	15,60	36,12	8111	3095	206
T2R4	235,40	14,90	21,39	16,90	36,26	11415	4671	214
T3R1	213,10	11,40	20,39	16,00	37,47	12712	4035	217
T3R2	238,50	14,30	19,33	16,20	36,91	9860	3720	209
T3R3	247,10	15,10	21,76	18,40	38,59	11288	5147	226
T3R4	246,60	14,90	24,65	17,40	37,68	11958	4384	221
T4R1	223,30	13,40	22,98	15,40	36,26	9796	4274	228
T4R2	233,30	14,10	20,06	17,40	37,14	9826	3904	199
T4R3	243,00	14,10	22,31	17,60	37,91	9108	3982	227
T4R4	243,60	14,80	22,02	18,20	36,74	9386	4109	241
T5R1	231,90	13,00	22,30	16,10	39,18	11432	3894	225
T5R2	233,10	14,60	20,59	16,50	35,19	11337	3322	199
T5R3	245,40	14,80	23,09	16,90	37,61	11781	4352	217
T5R4	252,60	14,50	23,76	18,70	37,40	13936	4565	215
T6R1	227,50	12,80	21,87	17,20	39,39	10935	4556	234
T6R2	240,20	13,90	23,27	16,30	36,78	10046	3920	209
T6R3	242,20	14,20	23,41	17,60	38,87	16987	5737	257
T6R4	243,20	15,20	21,51	17,60	35,68	8996	3509	223
T7R1	221,00	13,10	22,09	15,80	37,76	13226	3783	204
T7R2	250,70	14,50	22,87	17,00	37,93	11625	4722	224
T7R3	255,00	14,50	22,96	16,50	38,43	12577	4400	207
T7R4	238,90	14,70	21,53	16,20	38,72	14336	4954	221
T8R1	257,20	14,70	23,64	16,80	38,97	13504	4231	214
T8R2	256,60	14,90	24,14	18,40	38,65	11262	5317	231
T8R3	259,10	15,30	25,08	16,60	38,76	12137	3363	205
T8R4	247,30	15,20	21,06	18,20	37,22	11924	4165	233
T9R1	248,60	14,70	24,79	17,70	38,38	13272	4875	230
T9R2	232,50	14,00	22,81	17,20	37,38	11654	5425	238
T9R3	239,90	13,80	23,08	17,70	38,29	11083	4658	226
T9R4	239,70	14,40	23,23	17,70	37,82	13340	4966	222
T10R1	215,00	13,30	21,30	16,40	37,09	11006	4011	212
T10R2	259,20	14,80	22,95	18,10	38,29	11667	4375	227
T10R3	245,00	14,40	23,74	16,80	37,24	10924	2970	241
T10R4	224,30	14,00	19,59	16,70	36,69	11943	3966	211
T11R1	240,80	14,30	21,85	17,10	38,27	9513	4573	230

Tabla general de datos en función a dosis de P₂O₅ y fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, 2016 (Continuación)

T11R2	241,60	14,30	21,69	16,30	36,11	13177	3673	209
T11R3	247,10	14,50	24,09	17,80	38,82	13172	5015	247
T11R4	242,60	14,60	21,40	16,70	37,31	9042	4104	203
T12R1	246,90	14,90	21,60	17,70	38,38	14334	5278	245
T12R2	246,70	15,00	23,48	16,80	38,10	14131	5345	244
T12R3	256,00	14,70	24,03	17,10	38,33	14771	4624	221
T12R4	244,60	14,40	23,66	17,00	37,53	10530	4490	222
T13R1	257,40	15,20	23,93	18,00	38,92	11943	5741	243
T13R2	254,70	14,70	24,10	18,20	36,93	11475	4494	208
T13R3	265,30	15,10	24,11	18,10	37,63	16644	4357	230
T13R4	238,20	14,30	23,12	15,60	36,05	13159	3934	224
T14R1	222,30	14,00	19,10	16,30	35,60	12387	3941	236
T14R2	246,50	14,40	23,88	17,50	38,70	13746	5273	243
T14R3	266,90	15,00	25,78	18,10	39,43	13729	6190	256
T14R4	254,20	14,80	23,62	17,90	39,31	11597	5457	221
T15R1	239,40	14,60	21,33	17,10	36,45	12923	4594	229
T15R2	246,30	15,00	23,89	17,10	37,69	12251	4026	229
T15R3	254,00	15,00	24,13	18,00	38,23	15352	4781	242
T15R4	235,90	14,60	22,38	16,40	38,19	11257	3951	222

A3. Análisis de suelos posterior a la cosecha

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias

Area de Suelos y Ordenamiento Territorial
Laboratorio de Servicio al Público

Planilla de resultados de análisis de suelos

Propietario: Alder Duarte Monzon
Departamento: Canindeyú
Distrito: Ybyrarobana
Fecha: 31/03/16

Nº	Lab.	Código	Prof. cm.	pH	Carbon.Org. %	P mg/kg	Ca ⁺² mg/kg	Mg ⁺² mg/kg	K ⁺ cmol./kg	Na ⁺ cmol./kg	Al ³⁺ +H ⁺ cmol./kg	Clase Textural	Munsell	Color Descripción
16	40i	Testigo R1	0-10	4,90	0,79	10,35	0,58	0,12	0,09	0,02	0,94	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	41i	Ceniza R1	0-10	5,90	0,60	17,34	0,77	0,35	0,09	0,02	0,00	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	42i	Estiercol R1	0-10	5,10	0,66	2,36	0,58	0,16	0,19	0,02	0,63	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	43i	Testigo R2	0-10	4,50	0,56	6,31	0,39	0,12	0,09	0,02	1,56	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	44i	Ceniza R2	0-10	5,20	0,88	4,73	0,58	0,12	0,15	0,02	0,63	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	45i	Estiercol R2	0-10	5,50	0,60	10,44	0,58	0,21	0,17	0,02	0,00	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	46i	Testigo R3	0-10	4,90	0,85	4,04	0,58	0,12	0,09	0,02	0,94	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	47i	Ceniza R3	0-10	5,40	0,92	3,15	0,77	0,35	0,11	0,02	0,31	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	48i	Estiercol R3	0-10	5,50	1,01	5,52	0,58	0,21	0,15	0,02	0,00	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	49i	Testigo R4	0-10	4,60	1,05	7,29	0,58	0,16	0,08	0,02	1,25	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	50i	Ceniza R4	0-10	5,00	0,72	11,53	0,39	0,07	0,09	0,02	0,94	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco
16	51i	Estiercol R4	0-10	4,80	1,01	6,90	0,58	0,26	0,09	0,02	1,25	Arenosa	5 YR 4/4	Marrón Rojizo Opaco

La siguiente tabla le ayudará a interpretar los resultados

Nivel	Mat. Org.	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al+H ⁺	pH
Bajo	< 1,2	< 12	< 2,51	< 0,4	< 0,12	< 1,5	< 0,4	< 5,6
Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2,51 - 6,0	0,4 - 0,8	0,13 - 0,17	1,5 - 3,0	0,4 - 0,9	5,6 - 6,4
Alto	> 2,8	> 30	> 6,0	> 0,8	> 0,17	> 3,0	> 0,9	6,5 - 7,4

Observación: Los resultados analíticos corresponden a las muestras recibidas en nuestro laboratorio

Q.A. Mg. Doralicia Zacarías Servín
Responsable de los análisis

Lic. Geol. Mg. Higinio Moreno Resquín
Coordinador Laboratorio



A4. Análisis de varianza del pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	12	0,76	0,56	5,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	1,40	5	0,28	3,77	0,0686
Enmienda	0,93	2	0,46	6,22	0,0344
Bloques	0,48	3	0,16	2,13	0,1976
Error	0,45	6	0,07		
Total	1,85	11			

A5. Análisis de varianza del aluminio intercambiable

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Al ³⁺ + H ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	12	0,71	0,48	54,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	2,25	5	0,45	3,01	0,1061
Enmienda	1,32	2	0,66	4,40	0,0667
Bloques	0,94	3	0,31	2,08	0,2037
Error	0,90	6	0,15		
Total	3,15	11			

A6. Análisis de varianza del potasio

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	12	0,75	0,54	22,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	5	2,4E-03	3,57	0,0765
Enmienda	0,01	2	6,8E-04	5,94	0,0378
Bloques	4,0E-03	3	1,3E-03	1,99	0,2174
Error	4,1E-03	6	4,0E-03		
Total	0,02	11			

A7. Análisis de enmiendas utilizadas

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial
 Laboratorio de Servicio al Público
Hoja de resultados de Fertilizante Orgánico

Propietario: Alder Delastaris Duarte
 Departamento: Camerindo

Dirección: Ytyerobón

Fecha: 04/11/2016

Año	N° Lab.	Código	pH	N	Mac.Org.	P	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Cu	Zn	Fe	Mn	
			mg/kg												
14-10	B	Ediferal Buena	7,57	0,64	17,62	0,31	0,41	0,24	0,60	0,12	11,04	35,06	3606,47	277,29	
14-10	M	Ceriza	9,79	0,23	2,42	2,30	5,80	1,25	1,69	0,16	142,08	179,33	6697,96	1246,92	



Q.A. Doraciela Zaccarias Servin
Responsable de los análisis



Dr. Oscar Miguel Magallon Martínez Bascuñán
Coordinador Laboratorio

N = 0,5 - 6,0%

K = 0,05 - 1,5%

Ca = 0,2 - 10%

Cu = 0,05 - 2,5%

Mg = 0,02 - 1,5%

Cu = 10 - 30 mg/kg

Zn = 10 - 500 mg/kg

Mn = 20 - 5000 mg/kg

Fe = 20 - 5000 mg/kg

Na = 10 - 200 mg/kg

S = 1 - 5 %

(*) Trazas de Macro y Microelementos totales en plantas y Exudatos Orgánicos
 Obs: Los resultados obtenidos corresponden única y exclusivamente a la muestra suministrada por el interesado

A8. Análisis de varianza de la materia orgánica

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Materia Orgánica (%)	12	0,54	0,16	19,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,18	5	0,04	1,43	0,3338
Enmienda	3,6E-03	2	1,8E-03	0,07	0,9326
Bloques	0,18	3	0,06	2,34	0,1726
Error	0,15	6	0,03		
Total	0,34	11			

A9. Análisis de varianza del fósforo disponible

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fósforo (mg kg ⁻¹)	12	0,31	0,00	61,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	56,89	5	11,38	0,54	0,7409
Enmienda	6,77	2	3,39	0,16	0,8546
Bloques	50,12	3	16,71	0,80	0,5395
Error	125,95	6	20,99		
Total	182,84	11			

A10. Análisis de varianza del calcio

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	12	0,46	0,01	19,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,07	5	0,01	1,02	0,4826
Enmienda	0,02	2	0,01	0,69	0,5364
Bloques	0,05	3	0,02	1,23	0,3776
Error	0,08	6	0,01		
Total	0,14	11			

A11. Análisis de varianza del magnesio

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	12	0,35	0,00	47,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	5	0,01	0,64	0,6791
Enmienda	0,02	2	0,01	1,00	0,4215
Bloques	0,01	3	4,0E-03	0,40	0,7580
Error	0,06	6	0,01		
Total	0,09	11			

A12. Análisis de varianza del sodio

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	12	sd	sd	0,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	5	0,00	sd	sd
Enmienda	0,00	2	0,00	sd	sd
Bloques	0,00	3	0,00	sd	sd
Error	0,00	6	0,00		
Total	0,00	11			

A13. Análisis de varianza de la variable altura de planta

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de planta (cm)	60	0,51	0,31	4,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	4492,82	17	264,28	2,57	0,0067
Factor A	1431,99	2	716,00	6,95	0,0025
Factor B	728,96	4	182,24	1,77	0,1531
Bloque	1617,28	3	539,09	5,23	0,0037
Factor A*Factor B	714,59	8	89,32	0,87	0,5513
Error	4326,63	42	103,02		
Total	8819,45	59			

A14. Análisis de varianza de la variable número de hojas por planta

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° hojas planta ⁻¹	60	0,49	0,28	4,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	14,30	17	0,84	2,34	0,0130
Factor A	3,47	2	1,73	4,81	0,0131
Factor B	1,12	4	0,28	0,78	0,5468
Bloque	7,58	3	2,53	7,02	0,0006
Factor A*Factor B	2,13	8	0,27	0,74	0,6554
Error	15,12	42	0,36		
Total	29,43	59			

A15. Análisis de la varianza de la variable diámetro del tallo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro del tallo (mm)	60	0,43	0,20	6,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	67,00	17	3,94	1,88	0,0488
Factor A	32,30	2	16,15	7,71	0,0014
Factor B	11,89	4	2,97	1,42	0,2444
Bloque	10,32	3	3,44	1,64	0,1943
Factor A*Factor B	12,49	8	1,56	0,74	0,6519
Error	88,01	42	2,10		
Total	155,00	59			

A16. Análisis de la varianza de la variable masa seca aérea

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa seca aérea (kg ha ⁻¹)	60	0,40	0,15	14,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	79680081,10	17	4687063,59	1,64	0,0976
Factor A	38018360,17	2	19009180,08	6,64	0,0031
Factor B	9403850,68	4	2350962,67	0,82	0,5193
Bloque	6582642,77	3	2194214,26	0,77	0,5195
Factor A*Factor B	25675227,49	8	3209403,44	1,12	0,3696
Error	120306644,36	42	2864443,91		
Total	199986725,45	59			

A17. Análisis de varianza de la variable longitud de espiga

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud de espiga (cm)	60	0,33	0,07	4,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	13,15	17	0,77	1,24	0,2747
Factor A	2,57	2	1,28	2,07	0,1392
Factor B	5,39	4	1,35	2,17	0,0892
Bloque	3,18	3	1,06	1,70	0,1807
Factor A*Factor B	2,01	8	0,25	0,40	0,9116
Error	26,10	42	0,62		
Total	39,24	59			

A18. Análisis de varianza de la variable diámetro de espiga

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de espiga (mm)	60	0,34	0,07	2,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	22,61	17	1,33	1,26	0,2642
Factor A	7,78	2	3,89	3,69	0,0335
Factor B	3,44	4	0,86	0,82	0,5221
Bloque	5,98	3	1,99	1,89	0,1461
Factor A*Factor B	5,40	8	0,68	0,64	0,7397
Error	44,32	42	1,06		
Total	66,92	59			

A19. Análisis de varianza de la variable peso de mil granos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de mil granos (g)	60	0,41	0,18	6,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	5366,43	17	315,67	1,74	0,0723
Factor A	2329,18	2	1164,59	6,43	0,0037
Factor B	964,07	4	241,02	1,33	0,2744
Bloque	913,50	3	304,50	1,68	0,1856
Factor A*Factor B	1159,68	8	144,96	0,80	0,6056
Error	7607,11	42	181,12		
Total	12973,53	59			

A20. Análisis de varianza de la variable rendimiento de granos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	60	0,41	0,16	15,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	12698083,26	17	746946,07	1,68	0,0856
Factor A	5877441,43	2	2938720,72	6,62	0,0032
Factor B	3715348,20	4	928837,05	2,09	0,0987
Bloque	168337,74	3	56112,58	0,13	0,9439
Factor A*Factor B	2936955,89	8	367119,49	0,83	0,5835
Error	18637295,10	42	443745,12		
Total	31335378,36	59			

A21. Preparación del terreno



A22. Delimitación del área experimental



A23. Aplicación de enmiendas



A24. Siembra del cultivo de maíz**A25. Aplicación de fertilizantes**

A26. Cuidados Culturales

A27. Cosecha del cultivo de maíz

