

**FERTILIZACIÓN FOSFATADA CON ESTIÉRCOL BOVINO EN MAÍZ
CHIPA EN EL DISTRITO DE CAAGUAZÚ**

ALICIA MACCARENA RIVAS MENDIETA

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de
Asunción, como requisito para obtener el grado de Ingeniera Agrónoma

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agronómica
Área de Suelos y Ordenamiento Territorial

SAN LORENZO – PARAGUAY

2018

**FERTILIZACIÓN FOSFATADA CON ESTIÉRCOL BOVINO EN MAÍZ
CHIPA EN EL DISTRITO DE CAAGUAZÚ**

ALICIA MACCARENA RIVAS MENDIETA

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

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. M Sc. Cristian Andrés Britos Benítez

Especialista Invitado: Ing. Agr. Marcos Fabián Sanabria Franco

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

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agronómica
Área de Suelo y Ordenamiento Territorial

SAN LORENZO – PARAGUAY

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**FERTILIZACIÓN FOSFATADA CON ESTIÉRCOL BOVINO EN MAÍZ
CHIPA EN EL DISTRITO DE CAAGUAZÚ**

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

Autor: Alicia Maccarena Rivas Mendieta

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos A. Leguizamón

Co-Orientador: Ing. Agr. (Dr.) Diego A. Fatecha

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Cristian A. Britos

Miembros de la mesa examinadora

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

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

Prof. Ing. Agr. Cristian Andrés Britos Benítez

Ing. Agr. Marcos Fabián Sanabria Franco

San Lorenzo, 14 de Junio de 2018

DEDICATORIA

A mis padres Mirna y Rodney

A mis hermanas Leticia, Alicia, Laura y Rosi

A mi hermana Monserrath (+)

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme, cuidarme y acompañarme en esta etapa de mi vida, por permitirme terminar satisfactoriamente mi carrera universitaria.

A mis padres, especialmente a mi madre por darme la oportunidad de cumplir mis sueños y por confiar y apoyarme incondicionalmente en la elección de esta carrera.

Al Prof. Ing. Agr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas, por orientarme durante la ejecución de la tesis, por los momentos alegres que pasábamos gracias a sus bromas, siempre con profesionalismo durante el trabajo de campo.

Al Prof. Ing. Agr. Diego Augusto Fatecha Fois por la predisposición, por el tiempo dedicado para la lectura del trabajo y por las sugerencias realizadas. Al Prof. Ing. Agr. Cristian Andrés Britos por el apoyo incondicional.

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

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por la formación profesional que he recibido y por el apoyo mediante la utilización de equipos para la ejecución del trabajo tanto de campo como de gabinete.

Al Ing. Agr. Marcos Sanabria Franco, por la ayuda incondicional durante la fase de campo del proyecto, y a sus padres el señor Pedro Sanabria y la señora Porfiria Franco, por la hospitalidad brindada y por facilitar la infraestructura y el terreno para la ejecución de dicha investigación.

A mis compañeros de la orientación Suelos, Astrid Reichert, René Carvallo, Alicia González y Leticia Osorio, por la ayuda continua tanto en el trabajo de campo como de gabinete para la realización de esta investigación y por los momentos compartidos.

FERTILIZACION FOSFATADA CON ESTIERCOL BOVINO EN MAIZ CHIPA EN EL DISTRITO DE CAAGUAZU

Autor: Alicia Maccarena Rivas Mendieta

Orientador: Prof. Ing. Agr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Diego Augusto Fatecha Fois

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Cristian Andrés Britos Benítez

RESUMEN

La disminución de la fertilidad del suelo en las pequeñas propiedades de la región Oriental del Paraguay, afectan la sustentabilidad de la producción de alimentos. Con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización fosfatada con estiércol bovino en la producción del maíz chipá, se realizó el experimento en el distrito de Caaguazú. El diseño utilizado fue de parcelas subdivididas, siendo evaluados dos factores; el factor dosis de estiércol bovino (0–7,5–15 t ha⁻¹), distribuidas en las parcelas; y el factor dosis de P₂O₅ (0-35-70-105-140 kg ha⁻¹), distribuidas en las subparcelas. Estos tratamientos se establecieron en el campo en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En todos los tratamientos fueron aplicadas dosis fijas de N y K₂O (60 y 50 kg ha⁻¹ respectivamente). El experimento corresponde a un segundo año de evaluación de los mismos factores, siendo cultivado anteriormente Mandioca. Se evaluaron variables vegetativas y productivas del maíz, siendo los resultados sometidos a análisis de varianza, comparación de medias y análisis de regresión. Se observó efecto significativo en todas las variables por las dosis de EB, en tanto que las dosis de fertilización fosfatada no afectaron significativamente a dichas variables. Ambos factores no presentaron interacción. Los valores más altos se obtuvieron con la dosis de 15 t ha⁻¹ de EB en todas las variables analizadas; el rendimiento de granos, la masa seca aérea y el índice de cosecha tuvieron un aumento del 80,8 %, 60% y 58,1% respectivamente, con respecto al testigo, esto verifica la importancia de la utilización de los abonos orgánicos originados en la finca, que incluso no representan un gasto económico adicional al pequeño productor.

Palabras clave: fósforo, enmienda orgánica, *Zea mays* var. amiláceo.

FERTILIZAÇÃO FOSFACTADA COM ESTILO BOVINO EM MILHO CHIPA NO DISTRITO DE CAAGUAZU

Autor: Alicia Maccarena Rivas Mendieta

Orientador: Prof. Ing. Agr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Diego Augusto Fatecha Fois

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Cristian Andrés Britos Benítez

RESUMO

A diminuição da fertilidade do solo nas pequenas propriedades da região leste do Paraguai afeta a sustentabilidade da produção de alimentos. Com o objetivo de avaliar o efeito da adubação fosfatada com esterco bovino na produção do milho chipá, o experimento foi conduzido no município de Caaguazú. O delineamento utilizado foi de parcelas subdivididas, sendo avaliados dois fatores; o fator dose do esterco bovino (0-7,5-15 t ha⁻¹), distribuído nas parcelas; e o fator de dose de P₂O₅ (0-35-70-105-140 kg ha⁻¹), distribuído nas subparcelas. Estes tratamentos foram estabelecidos em campo em delineamento de blocos completos casualizados com quatro repetições. Em todos os tratamentos, doses fixas de N e K₂O foram aplicadas (60 e 50 kg ha⁻¹, respectivamente). O experimento corresponde a um segundo ano de avaliação dos mesmos fatores, sendo Mandioca previamente cultivada. As variáveis vegetativas e produtivas do milho foram avaliadas, sendo os resultados submetidos à análise de variância, comparação de médias e análise de regressão. Um efeito significativo foi observado em todas as variáveis pelas doses de EB, enquanto as doses de fertilização fosfatada não afetaram significativamente essas variáveis. Ambos os fatores não mostraram interação. Os maiores valores foram obtidos com a dose de 15 t ha⁻¹ de EB em todas as variáveis analisadas; o rendimento de grãos, a massa seca aérea e o índice de colheita tiveram um aumento de 80,8%, 60% e 58,1% respectivamente, com relação ao controle, isso verifica a importância do uso dos fertilizantes orgânicos oriundos a fazenda, que nem representa uma despesa econômica adicional para o pequeno produtor.

Palavras-chave: fósforo, alteração orgânica, *Zea mays* var. amiláceo.

FOSFACTED FERTILIZATION WITH BOVINE STYLE IN MAIZE CHIPA IN THE DISTRICT OF CAAGUAZU

Author: Alicia Maccarena Rivas Mendieta
Advisor: Prof. Ing. Agr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas
Co-Advisor: Prof. Ing. Agr. Diego Augusto Fatecha Fois
Co-Advisor: Prof. Ing. Agr. Cristian Andrés Britos Benítez

SUMMARY

The decrease in soil fertility in the small properties of the Eastern region of Paraguay affects the sustainability of food production. In order to evaluate the effect of phosphate fertilization with bovine manure in the production of chipá maize, the experiment was conducted in the district of Caaguazú. The design used was of subdivided plots, two factors being evaluated; the dose factor of bovine manure (0-7.5-15 t ha⁻¹), distributed in the plots; and the dose factor of P₂O₅ (0-35-70-105-140 kg ha⁻¹), distributed in the subplots. These treatments were established in the field in a randomized complete block design with four repetitions. In all treatments, fixed doses of N and K₂O were applied (60 and 50 kg ha⁻¹ respectively). The experiment corresponds to a second year of evaluation of the same factors, Mandioca being previously cultivated. Vegetative and productive variables of maize were evaluated, the results being subjected to analysis of variance, comparison of means and regression analysis. A significant effect was observed in all the variables by the doses of EB, while the doses of phosphate fertilization did not significantly affect these variables. Both factors showed no interaction. The highest values were obtained with the dose of 15 t ha⁻¹ of EB in all the variables analyzed; the grain yield, the aerial dry mass and the harvest index had an increase of 80.8%, 60% and 58.1% respectively, with respect to the control, this verifies the importance of the use of the organic fertilizers originated in the farm, which does not even represent an additional economic expense to the small producer.

Keywords: phosphorus, organic amendment, *Zea mays* var. amiláceo.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
RESUMO	vi
SUMMARY	vii
ÍNDICE	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE ANEXOS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Fertilidad de los suelos de la Región Oriental	3
2.2 Cultivo del maíz y composición del grano	4
2.3 Ciclo del fósforo en sistemas agrarios	5
2.4 Fósforo en la planta y su función	7
2.5 Fertilización fosfatada y formas de aplicación	8
2.6 El uso del estiércol bovino en la producción agraria	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Localización y caracterización del área experimental	12
3.2 Diseño experimental y tratamientos	14
3.3 Implantación y manejo del experimento	15
3.3.1 Colecta de suelo	15
3.3.2 Preparación del terreno	16
3.3.3 Aplicación de los fertilizantes y siembra	17

3.3.4	Cuidados Culturales	17
3.3.5	Cosecha	17
3.4	Variables evaluadas	18
3.5	Método de control de calidad de datos	19
3.6	Modelo de Análisis e interpretación	19
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1	Altura final de planta, diámetro de tallo y cantidad de plantas con mazorca	21
4.2	Diámetro de la mazorca, longitud de la mazorca y peso de mil semillas.....	23
	Factores	23
4.3	Rendimiento de granos, índice de cosecha y masa seca aérea.....	24
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	29
6.	REFERENCIAS.....	30
7.	ANEXOS	36

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Precipitación mensual ocurrida durante el ciclo del experimento (setiembre de 2016 hasta enero de 2017), en relación al promedio de precipitación histórica.	13
2. Distribución espacial de las unidades experimentales.	16
3. Respuesta del rendimiento de granos a la aplicación de P ₂ O ₅ y estiércol bovino. Distrito de Caaguazú, 2017.	26

LISTA DE TABLAS

	Página
1. Características físico-químicas del suelo antes del experimento.	14
2. Tratamientos del experimento resultantes de la combinación de dosis de fósforo (P_2O_5) y dosis de estiércol bovino (EB).....	14
3. Altura de la planta del maíz, diámetro del tallo del maíz y cantidad de plantas con mazorca, con aplicación de dosis de P_2O_5 y dosis de estiércol bovino. Caaguazú, Caaguazú, 2017.	21
4. Peso de mil semillas, diámetro y longitud de la mazorca con aplicación de dosis de P_2O_5 y dosis de estiércol bovino. Caaguazú, Caaguazú, 2017.....	23
5. Índice de cosecha, materia seca aérea y rendimiento de granos de maíz con aplicación de dosis de P_2O_5 y dosis de estiércol bovino. Caaguazú, Caaguazú, 2017.	25

LISTA DE ANEXOS

	Página
1. Análisis de varianza de la altura final de la planta de maíz.	36
2. Análisis de varianza de la variable diámetro del tallo del maíz.	36
3. Análisis de varianza de la longitud de la mazorca.	36
4. Análisis de varianza del diámetro de la mazorca.	37
5. Análisis de varianza de la variable rendimiento de granos.	37
6. Análisis de varianza de la variable peso de mil semillas.	37
7. Análisis de varianza de la variable plantas con mazorca ha ⁻¹	38
8. Análisis de varianza, variable materia seca.	38
9. Análisis de varianza, variable índice de cosecha.	38
10. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis P ₂ O ₅ en maíz chipa. Caaguazú, 2017.	39
11. Tabla general de datos de las variables masa seca aérea e índice de cosecha evaluadas con aplicación de dosis de P ₂ O ₅ . Caaguazú, 2017.	41
12. Preparación del terreno.	42
13. Tratamiento de semillas previa a la siembra.	42
14. Distribución del factor enmienda.	43
15. Distribución del factor fosforo.	43
16. Efecto del factor enmienda en la longitud de la mazorca.	44

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los cereales más importantes a nivel mundial es el maíz, el cual es utilizado tanto para el consumo humano como animal. En el Paraguay el maíz es ampliamente cultivado, en las pequeñas propiedades, se siembran principalmente las variedades avati morotĩ (chipa), avati porã (locro), avati pichinga (pororó) destinadas al consumo o venta y la variedad karape pytã para alimentación animal, destacando que el avati morotĩ es un ingrediente principal de varias comidas típicas del Paraguay.

El rubro del maíz, así como el de otros rubros de pequeña propiedad en general presentan muy bajo rendimiento, afectando la seguridad alimentaria y el ingreso económico de la familia campesina. Una razón principal para esta situación es la degradación de los suelos de las fincas, con limitaciones de proporcionar nutrientes en cantidad necesaria para el crecimiento de cultivos, así como, en constituirse en un substrato adecuado para el crecimiento vegetal.

Un problema generalizado de los suelos de la región oriental del Paraguay es la deficiencia de fósforo, extraído continuamente por cosechas sucesivas de cultivos agrícolas provocando su deficiencia, que podría suplirse con la utilización de fertilizantes químicos, cuyo uso demandara un gasto adicional al productor. Otra limitación de los suelos, especialmente de pequeña propiedad es la baja concentración de materia orgánica, ocasionados principalmente por el uso de fuego, por la labranza convencional y por las condiciones climáticas subtropicales. Una alternativa para corregir la degradación del suelo, y disminuir la deficiencia de fósforo, podría ser el uso del estiércol bovino, que normalmente está disponible en mayor o menor cantidad en la finca del productor y que no acarreará un costo económico adicional al mismo.

Los nutrientes disponibles en el suelo generalmente limitan la producción de maíz, siendo necesario conocer los requerimientos del cultivo y la oferta del suelo para determinar las necesidades de fertilización. La implementación de la fertilización fosfatada, en conjunto con el estiércol bovino generado en la propia finca, puede contribuir a mejorar las condiciones de fertilidad del suelo, específicamente, la disponibilidad de fósforo, además de aumentar el rendimiento del maíz chipa y de los demás rubros de la pequeña propiedad.

El objetivo general de este trabajo fue evaluar el efecto de fertilización fosfatada con estiércol bovino sobre el rendimiento del maíz, y los objetivos específicos fueron: determinar la altura de la planta, el diámetro del tallo; el diámetro y longitud de la mazorca, número de plantas con mazorca, peso de mil semillas, la materia seca aportada por la planta de maíz, el rendimiento en grano y estimar el índice de cosecha.

La hipótesis planteada fue que las variables tanto vegetativas como reproductivas del maíz aumentarán con la fertilización fosfatada y con la aplicación de estiércol bovino. El requerimiento del fertilizante fosfatado para alcanzar una misma producción de maíz será menor cuando se realiza en forma conjunta con aplicación de estiércol bovino.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Fertilidad de los suelos de la Región Oriental

Florentín et al. (2001) afirman que las explotaciones agrícolas en la región oriental del país se sitúan sobre dos tipos de suelos: los arenosos derivados de areniscas y los arcillosos derivados de basalto, afirmando que estos últimos poseen una mayor fertilidad que los arenosos pero tienen la misma susceptibilidad a degradarse, y que la degradación de los suelos acarrea una reducción de los ingresos económicos y el aumento de la pobreza en las familias campesinas.

Para el MAG/DGP (1996), uno de los principales problemas que se presentan en las pequeñas y medianas fincas es la baja fertilidad de sus suelos, ocasionados principalmente por el laboreo continuo y la práctica del monocultivo; lo cual resulta en cosechas continuas con bajo rendimiento. Para Sánchez (1997), la causa del bajo rendimiento en los cultivos se da por el deterioro de los suelos, especialmente ocasionados por la erosión.

Fatecha (1999) afirma que el fósforo es el nutriente más deficiente en los suelos de la Región Oriental del Paraguay, seguido por el nitrógeno, calcio, magnesio y por último potasio.

Según un trabajo de levantamiento de los suelos de la del Región Oriental del Paraguay, Fatecha (2004) constata que en 214 distritos más del 80% de los análisis de suelos realizados desde el año 1980 hasta el 2002, se encuadraron en niveles bajos o de insuficiencia de fósforo para las plantas. Por su parte Jorge (2012) de las 306 muestras analizadas por el mismo del distrito de Caaguazú 44% presenta un nivel bajo de fósforo, 48% nivel medio y 8% . En tanto que Fullaondo (2014) observo nivel bajo

de MO , mientras que Bataglia (2011) afirma que el departamento posee un rango de pH ligeramente ácido.

2.2 Cultivo del maíz y composición del grano

En un estudio realizado entre 1970 y 1980, fueron colectados maíces cultivados en Paraguay, específicamente en colonias indígenas, clasificados en en avatí morotĩ, avati-ti, avati guapy, tupi morotĩ, blanco dentado, amarillo duro, amarillo dentado, pichingá redondo y pichingá dentado (Santander 1999), indican de la existencia de diversidad de germoplasmas de este cultivo en el país.

El fruto de este cereal está compuesto por 80% de carbohidratos, 10% de proteína, 5% de grasas, 3% de fibra y 1,5 % de minerales, considerándose deficiente en aminoácidos esenciales. El maíz a la vez es rico en fósforo, potasio y hierro; pobre en calcio, magnesio y sodio (López et al. 2015).

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).

El maíz chipá en el Paraguay es producto de la Agricultura Familiar Campesina. Es destinado en mayor parte para autoconsumo, ya que el mismo es ingrediente principal de varias comidas tradicionales, el excedente es comercializado para la obtención de ingresos. El maíz morotĩ lleva ese nombre (que en español significa maíz blanco), debido al color blanco de su harina (MAG 2007).

De acuerdo al JICA/FCA-UNA (2016), la época de siembra del maíz en nuestro país, va desde el mes de julio hasta octubre, donde se lo puede asociar con

mucuna a los 75 o 90 días después de la siembra, el distanciamiento entre 0,8 y 0,9 m entre hileras, no influyendo el distanciamiento entre hileras para el rendimiento del maíz amiláceo variedad avati morotí (Rodríguez y Rabery 2003).

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

2.3 Ciclo del fósforo en sistemas agrarios

En el ciclo del fósforo en los sistemas agrarios, ocurren tanto ganancias como pérdidas, las ganancias se dan por la descomposición de los residuos orgánicos de plantas y animales, que van liberando nutrientes incluidos el fósforo, además de la deposición atmosférica y por la aplicación de fertilizantes fosfatados; en tanto que las pérdidas están representadas por las cosechas, el lavado, escurrimiento y la misma erosión (Rojas 2013)

El fósforo total de los suelos varía con la textura, ya que cuanto más fina la textura mayor es su contenido. En suelos de áreas tropicales parece estar ligado a la materia orgánica y su evolución pedológica. Al aumentar la concentración de MO y los fosfatos orgánicos se obtiene una mayor cantidad de P total (Fassbender y Bonermisza 1987).

Para Meurer (2000) el fósforo está presente en el suelo en dos formas, el orgánico formado por el fósforo que se encuentra en los tejidos de las plantas, restos de cultivo, animales y el fósforo microbiano; y el inorgánico compuesto por el fósforo que se encuentra adsorbido a los coloides del suelo y a los oxi-hidroxidos de hierro y aluminio, respectivamente. Picone y Zamuner (2002) expresan que una fracción pequeña del fósforo en el suelo se encuentra de forma soluble, la cual está en equilibrio con la fracción lábil que comprende el fósforo orgánico fácilmente mineralizable y los

fosfatos débilmente adsorbidos de las arcillas. Además expresan que el fósforo orgánico representa una fracción importante oscilando entre 15% y 80% del fósforo total en el horizonte superficial dependiendo del tipo de suelo, es así que en el caso de los Oxisoles y Ultisoles el fósforo orgánico representa un 18% y 28% del fósforo total.

El fósforo es liberado a través de los procesos de meteorización, lixiviación, erosión y extracción de las apatitas y depósitos de fosfato natural, en forma de fosfolípidos, esteres y ácidos nucleicos que posteriormente al pasar al estado inorgánico se vuelven aprovechables para las plantas y la biomasa del suelo. El mismo indica que el fósforo inorgánico ya liberado es fijado fuertemente a cationes como el Ca^{+2} , Fe^{+2} , Mg^{+2} y Al^{+3} formando fosfatos con los mismos, ocluyéndose así en los óxidos de hierro y aluminio. Para Fassbender (1987), la distribución de esta forma de fósforo es dependiente del valor de pH en los suelos, es así, que en suelos neutros o alcalinos predominan los fosfatos de calcio y en suelos ácidos los fosfatos de Fe y Al (Cerón 2012)

Para Yamada y Abdalla (2004), la absorción del elemento dependerá de la acidez del suelo, es así que cuando el pH del suelo se eleva, disminuye la absorción, en tanto, que la disponibilidad de fósforo dependerá del tipo de suelo, siendo el tenor de arcilla uno de los factores directamente relacionado con la fijación del fósforo. Esto concuerda con lo expuesto por la SBCS (2007), que indica que la máxima adsorción de P por el suelo debe ser máxima con bajos valores de pH, como es el caso de los suelos de la Región Oriental del Paraguay.

Para el mismo autor existen también otros factores que influyen en la disponibilidad del fósforo en el suelo, entre los cuales se encuentran el tipo y la cantidad de arcilla, la aireación del suelo, la época de aplicación del fertilizante, la compactación del suelo, nivel de fosfato en el mismo, además de la presencia de otros nutrientes. Para Hernández et al. (2005) factores como la temperatura, la acidez del suelo, la precipitación pluvial, la actividad biológica, el contenido de materia orgánica y el grado de desarrollo de los suelos intervienen en la aparición tanto del fósforo orgánico como del inorgánico.

2.4 Fósforo en la planta y su función

Según Yamada y Abdalla (2004), el transporte del fósforo desde la solución del suelo hasta la raíz se realiza exclusivamente por difusión. Los mismos a la vez explican que una vez ingresado el fósforo al citoplasma ocurre también la entrada a diferentes orgánulos como las mitocondrias hasta el propio núcleo. Malavolta et al. (2004) señalan como camino del fósforo del suelo a la planta el siguiente; de la solución del suelo el fósforo pasa a la pared celular, a la membrana plasmática, al citoplasma, al tonoplasto y finalmente termina depositado en la vacuola.

Alonzo (1982) y EMBRAPA (1996) concuerdan que el fósforo en el interior de la planta forman compuestos de gran importancia como el di y trifosfato de adenosina (ADP, ATP), quienes son los portadores de energía para reacciones enzimáticas, fosfolípidos, ácidos nucleicos como el RNA y DNA, y el di nucleótido adenina nicotinamida (NADPH).

Ferreira et. al. (2007), hacen referencia a que el fósforo cumple un papel fundamental en la fotosíntesis, respiración, almacenamiento, transferencia de energía y división celular, además mejora la calidad de los frutos tanto para hortalizas como granos, promueve la formación de semillas y está implicado en la transferencia de información hereditaria.

Existen varios factores que influyen en la absorción de fósforo por la planta, como factores propios de la planta y factores del medio en donde ésta se desarrolle. Entre los factores de la planta se encuentran la genética, el nivel de fósforo en el floema, y el nivel de fósforo y carbohidratos en la micorriza. En tanto que entre los factores del medio se pueden citar la concentración externa de fósforo en la solución, el pH y la temperatura (Yamada y Abdalla 2004). Además, los mismos autores afirman que en casos de déficit hídrico prolongado será afectada la absorción del fósforo superficial por las plantas.

EMBRAPA (1992) afirman que los síntomas de deficiencia de este elemento en las plantas se verifica de la siguiente manera, tamaño reducido de las plantas, hojas de coloración oscura y retardo del estadio de maduración. La FAO (1995) asegura que las plantas con deficiencia de fósforo además de presentar un retraso en el crecimiento, poseen folíolos pequeños verdes oscuros azulados, y que dichos síntomas aparecen en las hojas más viejas debido a su alta movilidad dentro de la planta.

2.5 Fertilización fosfatada y formas de aplicación

Según CQFS-RS/SC (2016) el diagnóstico de la necesidad de fertilización fosfatada se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial. Los mismos recomiendan aumentar las dosis de fertilización fosfatada en el sistema de siembra directa principalmente cuando el tenor de fósforo en el suelo es bajo, como el caso del distrito de Caaguazú, según lo mencionado por Jorgge (2012).

Cubilla et al. (2007) afirman que 15 mg dm^{-3} de P, determinado por el método de Mehlich-1, es un nivel crítico para suelos del Paraguay con tenor de arcilla no superior a los 400 g kg^{-1} , en tanto que para suelos con tenor de arcilla entre 410 a 600 g kg^{-1} determinaron un nivel crítico de 12 mg dm^{-3} de P.

De acuerdo a lo expuesto por Gianello y Wiethölter (2004) el sistema de fertilización utilizado en el Estado de Rio Grande del Sur y Santa Catarina, Brasil, está compuesto de una fertilización correctiva para las categorías por debajo del nivel crítico, y de mantenimiento/reposición para las categorías por encima de este nivel.

La cantidad de P_2O_5 a aplicar es dependiente del nivel de este elemento en el suelo, del cultivo, de la expectativa de rendimiento y de la disponibilidad de recursos financieros (CQFS-RS/SC 2016). Cubilla et al. (2012), establecen que para suelos con tenor de arcilla entre 210 y 400 g kg^{-1} , para alcanzar el nivel crítico (fertilización correctiva) se debe aplicar 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , en suelos con categoría de fertilidad de P “muy baja” como es el caso de gran parte de los suelos del distrito de Caaguazú

En suelos donde exista carencia de fósforo, Melgar y Torres (2005) al igual que Bianchini et al. (2004) recomiendan realizar la fertilización fosfatada en forma localizada, por debajo y al costado del surco de plantación, en forma de bandas y al momento de la siembra. Los mismos autores indican que se debe tener cuidado de que el fertilizante no tenga un alto contenido de nitrógeno, ya que las plántulas pueden presentar problemas por fitotoxicidad. En este sentido Berardo (1994) obtuvo mayor rendimiento en trigo realizando la fertilización fosfatada en líneas de siembra, en comparación con la fertilización al voleo.

Cultivos como el maíz, trigo y la soja responden a la aplicación de fertilización fosfatada, principalmente en suelos con bajo tenor de fósforo. El grado de respuesta a la fertilización fosfatada está directamente relacionado con el historial de aplicación de fósforo y la concentración de fósforo en el suelo (Britos et al. 2012).

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

En un experimento realizado en invernadero, en donde se utilizaron como fuentes de fósforo al superfosfato triple (SFT) y a la roca fosfórica, en dos tipos de suelos, el rendimiento en materia seca fue 34% mayor cuando se utilizó superfosfato triple respecto a la aplicación de roca fosfórica, en donde se obtiene a su vez, una producción 10% mayor que en el testigo (Cruz et al. 2001). Salvador (2016) al utilizar diferentes fuentes fosfatadas en cultivo de maíz chipa, obtuvo un mayor valor promedio en masa seca aérea y rendimiento de granos al utilizar como fuente al SFT.

La caña de azúcar responde significativamente a la aplicación de P_2O_5 , previa incorporación de cal agrícola, aumentando los rendimientos entre 10 a 12 t ha⁻¹ por cada 30 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Espínola 2010). Por otro lado, Duarte (2016) no encontró respuesta a la fertilización fosfatada en maíz chipa en experimento conducido en

Ybyrarobana, Canindeyú; el mismo indica que una de las causas pudo haber sido el nivel inicial de P en el suelo, que fue de 9 mg kg^{-1} , siendo similar al promedio de P del departamento de Caaguazú (Jorge 2012) e inferior al nivel del punto crítico para este elemento.

Rojas (2013) en cultivo de soja (*Glycine max*), determinó que con aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes fosfatados, el cultivo no expuso efecto significativo en el rendimiento de granos, obteniendo un valor promedio de 1.498 kg ha^{-1} con la fuente SFT, misma fuente utilizada en esta investigación.

2.6 El uso del estiércol bovino en la producción agraria

Varios materiales orgánicos pueden ser utilizados como fertilizantes (CQFS-RS/SC 2016). Los estiércoles de animales de las fincas, los restos de cultivos o de abonos verdes constituyen las principales fuentes de fertilizantes orgánicos disponibles utilizados por los pequeños productores.

Según Martínez (2010), los abonos orgánicos pueden disponibilizar algunos nutrientes y por ende satisfacer parte de la demanda de nutrientes de los cultivos, disminuyendo así el uso de fertilizantes químicos. Además, los abonos orgánicos mejoran las características de suelos que han sido deteriorados por la continua labranza y/o el uso excesivo de agroquímicos

El estiércol bovino está formado por deyecciones sólidas y líquidas, siendo la sólida fuente de nitrógeno como nutriente para la mayoría de las plantas, además del nitrógeno también es fuente de elementos esenciales (Primavesi 1988). La composición química del estiércol es variable, Gómez (1971) menciona que la composición depende de la especie animal, el tipo de cama utilizada y de las prácticas de manejo antes de su aplicación, además afirma que con la aplicación de estiércol no solo mejora las características químicas del suelo sino también las propiedades físicas del mismo, proporcionando una mayor cohesión y adhesión entre partículas. En tanto que Fatecha (1999) establece que la composición de los estiércoles además de la especie, depende de la edad y el régimen alimenticio.

Para Fatecha (1999), el estiércol bovino está compuesto aproximadamente por 0,6% de N, 0,17% de P₂O₅, y 0,45% de K₂O. En tanto que la (CQFS-RS/SC 2016) establece que el estiércol posee valores superiores a los establecidos por Fatecha (1999), siendo 1,5% de N, 1,4% de P₂O₅ y 1,5% de K₂O.

Según Martínez (2010), en suelos arenosos el estiércol bovino ayuda para que exista una mayor cohesión entre partículas, permitiendo una mayor retención de humedad y por ende una mayor disponibilidad de nutrientes, mientras que en suelos arcillosos evita la formación de costras o terrones y dispersa las partículas permitiendo una mejor aireación.

En los primeros años de aplicación de estiércol la mineralización no ocurre con tanta eficiencia ya que la relación C:N del estiércol fluctúa alrededor de 30 a 38 y su impacto en disponibilidad de N depende, además de esta relación, del tipo de suelo y manejo del mismo (riego, labranza, etc.), lo que propicia una inmovilización del nitrógeno (Tisdale et al. 1999, Uratani et al. 2004).

Según Duarte (2016), el maíz presenta aumento en variables tanto vegetativas como reproductivas en respuesta a la aplicación de dosis de estiércol bovino. Para Martínez (2010), la aplicación de estiércol bovino en el pasto elefante cultivar Camerún, en dosis de 20, 30 y 40 t ha⁻¹ incrementa significativamente el rendimiento de materia verde en el primer corte (90 días). Sin embargo, para materia seca en el primer corte (90 días), no hubo efecto significativo en el rendimiento.

De la misma manera Hernández et al. (2004) indican que la producción de materia seca vegetal es mayor aplicando lodo residual y estiércol bovino en cultivo de sorgo. En tanto que en cultivo de mandioca Sanabria (2016) afirma que la aplicación de estiércol bovino en cultivo de mandioca favorece al aumento en altura de la planta y el rendimiento de raíces total y comercial, no así en el rendimiento de raíces no comerciales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

La investigación forma parte del proyecto “Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos”, financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Se llevó a cabo en el predio de la finca del señor Pedro Sanabria, ubicado en la Compañía 3° Línea Agua, Distrito de Caaguazú, Departamento del mismo nombre, distante unos 190 km al este de Asunción, la latitud del mismo es 25° 23`18``S y la longitud 56° 02` 36``O, altitud de 315 msnm.

El experimento se inició con el cultivo de mandioca, con el mismo diseño estadístico y los mismos factores, dosis de estiércol bovino, los cuales para dicho cultivo fueron 0, 15 y 30 t ha⁻¹ y dosis de fertilización fosfatada, los cuales fueron coincidentes con el experimento en maíz (0, 35, 70, 105 y 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅). En las mismas parcelas se continuó aplicando los tratamientos mencionados, reduciéndose las dosis de estiércol a 0, 7,5 y 15 t ha⁻¹

El clima se caracteriza por ser húmedo y mesotérmico, con 1.429 mm de precipitación media anual, 22,5 °C de temperatura media anual, y con ocurrencia de heladas entre los meses de mayo a agosto (Aquino 2014).

En la figura 1 se observa el régimen de precipitaciones ocurrida en el área, durante el periodo de ejecución del experimento (setiembre de 2016 hasta febrero de 2017) y promedios históricos para la región. Se verifica que en los meses de octubre y febrero se obtuvieron las mayores precipitaciones, y fueron superiores a las medias

históricas, en los otros meses, la precipitación fue inferior a la media histórica. La precipitación total durante el ciclo del maíz fue de 1.022 mm.

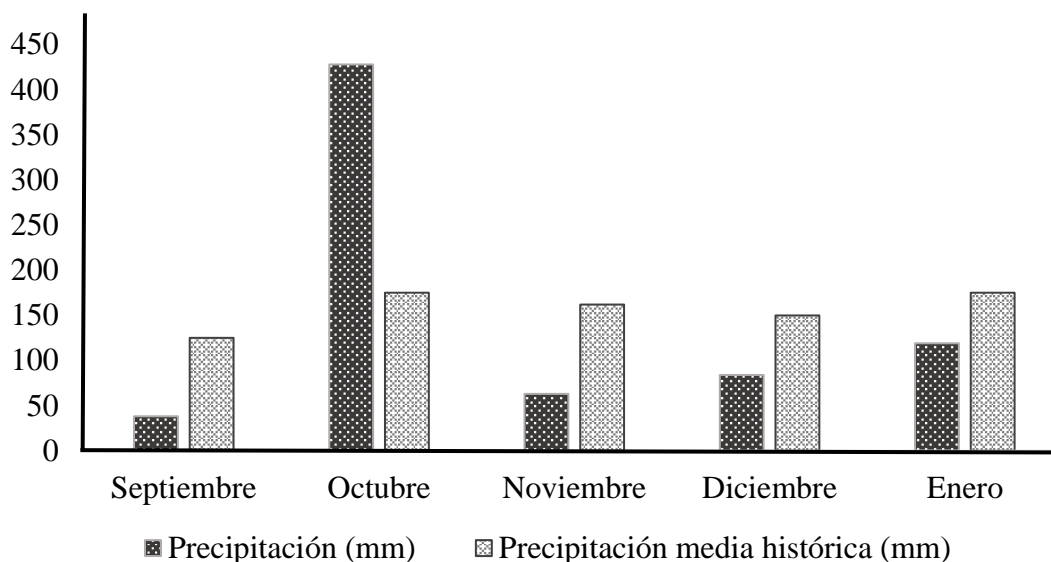


Figura 1. Precipitación mensual ocurrida durante el ciclo del experimento (setiembre de 2016 hasta enero de 2017), en relación al promedio de precipitación histórica.

(López et al. 1995) constató que el suelo predominante del lugar corresponde a un Arenic Rhodic Paleudult (Ultisol), cuyas características generales son suelos minerales con horizonte iluvial de arcilla y baja saturación de bases, con textura entre arenosa y franco arcillosa en el horizonte B, buena aireación y permeabilidad, con poca plasticidad y pegajosidad, además posee una buena retención de humedad en las capas más profundas.

A continuación se presenta las características físico-químicas del suelo posterior al experimento con mandioca. En el mismo se observa que las parcelas poseen un pH ligeramente ácido, presentando un ligero aumento en la parcela tratada con la mayor dosis de EB, además se observan niveles bajos tanto de materia orgánica como de fósforo.

Tabla 1. Características físico-químicas del suelo antes del experimento.

Código	Prof. (cm)	pH	M.O. %	P (mg kg ⁻¹)	Ca⁺² -----	Mg⁺² -----	K⁺ -----	Na⁺ -----	Al⁺³ -----	Text
					cmol _c kg ⁻¹ -----					
0 t ha ⁻¹ EB	0-10	5,85	0,77	2,0	0,38	0,16	0,05	0,0	0,0	af
15 t ha ⁻¹										
EB	0-10	5,9	0,91	1,1	0,43	0,24	0,03	0,0	0,0	af
30 t ha ⁻¹										
EB	0-10	6,25	0,9	3,8	0,7	0,43	0,06	0,0	0,0	af

Extractores: pH = Agua; P y K⁺ = Mehlich-1; Ca⁺², Mg⁺² y Al⁺³ = KCl 1M; af=areno franco

3.2 Diseño experimental y tratamientos

En el estudio se utilizó el diseño de parcelas subdivididas, y se evaluaron dos factores. El primer factor fue dosis de enmienda (Factor A) que fue distribuido en las parcelas, y el otro factor dosis de fósforo (Factor B), distribuido en las subparcelas. La enmienda utilizada fue estiércol bovino y las dosis fueron 0, 7,5 t ha⁻¹ y 15 t ha⁻¹. Las dosis de fósforo evaluadas fueron cinco (0, 35, 70, 105 y 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Tabla 2. Tratamientos del experimento resultantes de la combinación de dosis de fósforo (P₂O₅) y dosis de estiércol bovino (EB).

Tratamientos	Dosis de EB	Dosis de P ₂ O ₅
	(t ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
T1: Testigo	0	0
T2	0	35
T3	0	70
T4	0	105
T5	0	140
T6	7,5	0
T7	7,5	35
T8	7,5	70
T9	7,5	105
T10	7,5	140
T11	15	0
T12	15	35
T13	15	70
T14	15	105
T15	15	140

Las parcelas y subparcelas fueron distribuidas en el área experimental con un diseño de bloques completos al azar con 15 tratamientos y 4 repeticiones, totalizando 60 unidades experimentales. Cada unidad experimental contó con un área de 15 m² (5 m x 3 m)

Dichas unidades experimentales estuvieron constituidas por seis hileras distanciadas a 0,80 m cada una y 0,25 m entre plantas, dejándose dos plantas por hoyo. En cada unidad experimental se obtuvieron 144 plantas, de las cuales se recolectaron como muestras las plantas ubicadas en el área útil (4,48 m²), representando la parte central de la unidad experimental.

El estiércol bovino utilizado provino de la finca. El fósforo aplicado en los diferentes tratamientos se obtuvo a partir del súper fosfato triple (00-46-00) y fueron las mismas que se adicionaron en el cultivo de la mandioca. También, en cada unidad experimental se aplicaron dosis fijas de N y K₂O (60 y 50 kg ha⁻¹ respectivamente), siendo utilizadas como fuente la urea (45-00-00) y el cloruro de potasio (00-00-60) respectivamente. Las dosis fijas de N y K correspondieron a las dosis utilizadas en el experimento anterior, en el cultivo de la mandioca.

3.3 Implantación y manejo del experimento

3.3.1 Colecta de suelo

Antes del inicio del experimento, para la determinación de las características físico-químicas de la parcela se extrajo una muestra de suelo por cada parcela de estiércol bovino, el cual contó con cinco subparcelas de P₂O₅, las mismas fueron transportadas y enviadas al laboratorio del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias, ubicada en el predio del campus de la Universidad Nacional de Asunción.

B-I		B-II		B-III		B-IV	
EB t ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	EB t ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	EB t ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	EB t ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹
0	140	7,5	70	7,5	140	15	105
	0		140		105		140
	70		105		0		0
	35		0		35		70
	105		35		70		35
7,5	35	15	0	0	105	0	140
	105		105		0		105
	0		140		35		0
	70		35		140		35
	140		70		70		70
15	140	0	70	15	140	7,5	0
	35		0		105		105
	0		105		35		140
	105		35		0		35
	70		140		70		70

Figura 2. Distribución espacial de las unidades experimentales.

3.3.2 Preparación del terreno

El sistema que se implementó en este experimento fue el de Siembra Directa, en donde no existe remoción de suelo, manteniendo la cobertura sobre el mismo, en este caso fueron restos del cultivo anterior que fue mandioca.

En fecha 10 de agosto del 2016 se procedió a delimitar los bloques y se aplicó Glifosato como herbicida post-emergente en una dosis de 300 mL ha⁻¹. Posterior a eso se delimitaron las parcelas y subparcelas experimentales con la utilización de estacas e hilos de ferretería.

3.3.3 Aplicación de los fertilizantes y siembra

La aplicación del estiércol bovino fue realizada un día antes de la siembra, aplicando las dosis de cada tratamiento en forma manual y al voleo en toda la parcela y no fue incorporada.

La siembra del maíz se realizó también de manera manual, con la utilización de una sembradora tipo matraca, el distanciamiento utilizado fue de 0,80 m entre hileras y 0,25 m entre plantas, y se dejó tres semillas por hoyo. La semilla del maíz utilizado será de la variedad amiláceo GUARANI VS 254.

La dosis fija de N se aplicó en dos etapas, la mitad de la dosis al momento de la siembra y lo restante aproximadamente 45 días más tarde, en ambos casos en surcos paralelos a la hilera de siembra que posteriormente fueron cubiertas. Las dosis de P_2O_5 y el K_2O fueron aplicadas e incorporadas al momento de la siembra, como descrito para el N.

3.3.4 Cuidados Culturales

El raleo del cultivo se realizó el 9 de octubre del 2016, 22 días después de la siembra, al igual que la primera carpida dejándose solo dos plantas por hoyo. La carpida se realizó con azadas eliminando así las malezas que interferían en el correcto desarrollo de las plantas, totalizando tres carpidas realizadas durante el experimento. También se realizaron dos aplicaciones de insecticida, Clorpirifos, por la aparición de plagas conocidas como cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

3.3.5 Cosecha

La cosecha del cultivo se realizó de forma manual, en fecha 30 de enero del 2017, una vez que los granos alcanzaron su madurez fisiológica. La superficie cosechada fue de 4,48 m², lo correspondiente al área útil por cada unidad experimental.

3.4 Variables evaluadas

Altura final de planta: antes de realizar la cosecha, se seleccionaron y midieron diez plantas por unidad experimental con la utilización de cinta métrica, desde el cuello hasta el ápice de la flor masculina.

Diámetro del tallo del maíz: al momento de la medición de la variable anterior, se midió el diámetro del tallo, de las mismas plantas, con la utilización de un paquímetro, se midió el diámetro del tallo, en un punto entre el cuello y el primer nudo.

Cantidad de plantas con mazorca: al momento de la cosecha, se procedió al conteo de plantas con mazorcas en el área útil de la parcela, el resultado fue expresado por hectárea.

Longitud de espiga del maíz: se seleccionaron ocho espigas pertenecientes a las plantas ubicadas en al área útil, se realizó la medición con la utilización de una cinta métrica, previa remoción de la chala.

Diámetro de la espiga de maíz: de las mismas mazorcas seleccionadas para la variable anterior, se midió el diámetro con la ayuda del paquímetro.

Masa seca aérea del maíz: se seleccionaron todas las plantas del área útil obteniendo así un peso total por cada unidad experimental, posteriormente se procedió a realizar un peso reducido de las mismas, y se introdujeron a estufa todas las muestras por tratamiento, por un lapso de 48 horas. Luego se registró el peso con el cual salieron las muestras de la estufa y se compararon con su peso inicial, utilizándose la siguiente formula:

$$MSA = PH - \left(\frac{PH * \% H^{\circ}}{100} \right)$$

Las muestras para determinación de masa seca aérea incluyen tallo, hojas flores masculinas, chala y marlo.

Peso de mil semillas: para el efecto, se seleccionaron al azar 3 submuestras de 100 semillas por unidad experimental, las cuales fueron pesadas en balanza de precisión registrándose así un promedio, y luego se procedió a multiplicar por 10 para obtener el peso de mil granos.

Rendimiento en kg ha⁻¹: se determinó una vez desgranados las mazorcas del área útil. Posteriormente se determinó el contenido de humedad de los granos para ajustar el rendimiento al 13 % de humedad, para el efecto se aplicó la siguiente formula por cada unidad experimental:

$$R_{13\% H^{\circ}} = RH - \left(RH * \frac{\% H^{\circ} - 13 \%}{100} \right)$$

Índice de cosecha: esta variable fue calculada en las subparcelas de menor y mayor dosis de P₂O₅, es decir, se obtuvieron dos muestras por cada parcela de estiércol vacuno. Se realizó la relación dividiendo el peso del grano y la materia seca total (incluyendo peso de granos), y se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{\text{masa de grano seco}}{\text{masa seca total (planta triturada + marlo + grano)}} \times 100$$

3.5 Método de control de calidad de datos

Cada actividad fue realizada de manera minuciosa, al igual que la manipulación de los datos. El trabajo tanto de campo como de gabinete estuvo supervisado tanto por el orientador y coorientador.

3.6 Modelo de Análisis e interpretación

Los datos obtenidos de las variables estudiadas fueron sometidos a análisis de varianza (ANAVA), para observar la existencia de diferencias significativas en los parámetros estudiados por el efecto de las dosis de fósforo y la combinación de los mismos con las dosis de estiércol vacuno. En casos donde se obtuvieron resultados con

diferencia significativa se procedió a realizar el Test de Tukey al 5% de probabilidad de error y/o análisis de regresión.

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura final de planta, diámetro de tallo y cantidad de plantas con mazorca

En la tabla 3 se presentan los valores obtenidos de las variables altura total de la planta, diámetro del tallo y cantidad de plantas con mazorca. En estas tres variables se verifica que hubo diferencias significativas por el efecto de las dosis de enmienda aplicadas. Sin embargo, no se constata efecto estadístico significativo por las dosis de fósforo aplicadas para estas variables y tampoco se encontró interacción entre ambos factores (Anexos 1, 2 y 7).

Tabla 3. Altura de la planta del maíz, diámetro del tallo del maíz y cantidad de plantas con mazorca, con aplicación de dosis de P_2O_5 y dosis de estiércol bovino. Caaguazú, Caaguazú, 2017.

Factores	Altura final de planta (m)	Diámetro del tallo (cm)	Cantidad de plantas con mazorca/ha
Dosis de estiércol bovino (t ha⁻¹)			
0	1,6 a	1,63 a	36.834 a
7,5	2,09 b	2,07 b	53.683 b
15	2,26 c	2,18 c	58.929 c
Dosis de P_2O_5 (kg ha⁻¹)			
0	1,99 ^{ns}	1,97 ^{ns}	48.921 ^{ns}
35	1,97	1,94	47.247
70	1,97	1,92	47.619
105	2,00	1,99	50.223
140	1,98	1,98	54.315
CV (%)	6,64	7,1	25,28

CV: Coeficiente de variación. ns: medias en la columna sin diferencia significativa. Medias seguidas por diferentes letras en la columna, difieren entre sí por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

La dosis de 15 t ha⁻¹ de EB fue superior al testigo, arrojando un promedio de 2,26 m de altura, 2,18 cm de diámetro del tallo y 58.929 plantas con mazorca por hectárea como se observa en la tabla 3, mientras que el testigo arrojó un promedio de solo 1,6 m, 1,63 cm y 36.834 plantas con mazorca ha, respectivamente.

La aplicación de dosis creciente de estiércol incrementó linealmente la altura final de la planta, el diámetro del tallo y la cantidad de plantas con mazorca por hectárea; ajustándose los mismos a las siguientes ecuaciones (altura de planta = $0,044x + 1,6533$, $R^2 = 0,93$), indicándose que por cada tonelada de estiércol adicionado, la altura aumenta en un 0,044 m, (diámetro del tallo = $0,0367x + 1,685$, $R^2 = 0,89$), verificándose un incremento de 0,036 cm en el diámetro por cada tonelada adicionada de estiércol bovino, (cantidad de plantas con mazorca por hectárea = $1.473x + 38.768$, $R^2 = 0,9158$), observándose un incremento de 1.473 plantas productivas por hectárea por cada tonelada de estiércol bovino adicionado.

Duarte (2016), aplicando 30 t ha⁻¹ de estiércol bovino en cultivo de maíz, obtuvo un valor promedio de 2,47 m de altura y 2,3 cm en el diámetro del tallo. Valores similares fueron los obtenidos por González (2016), que con aplicación de 25 t ha⁻¹ de estiércol bovino, obtuvo un promedio de 2,21 cm para el diámetro del tallo del maíz, valor similar obtenido en esta investigación con aplicación de 15 t ha⁻¹. Para Longoria (2000), el diámetro del tallo del maíz posee una tendencia a incrementar en grosor en respuesta a la fertilización con estiércol bovino.

Sanabria (2016) aplicando las mismas dosis de fertilización fosfatada en cultivo de mandioca, apenas encontró diferencia estadísticamente significativa para la altura de la planta, entre las dosis 70 y 105 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aunque ambos no difirieron significativamente del testigo. Esto concuerda con Duarte (2016), quien tampoco encontró efectos de la fertilización fosfatada en las variables altura de la planta del maíz y diámetro del tallo. Valdez y Gray (2014), tampoco encontraron efectos significativos en altura de la planta de maíz con aplicación de dosis de P. En tanto que De Grazia et al. (2003) encontraron efecto significativo en altura de la planta y diámetro del tallo con aplicación de 0, 40 y 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

4.2 Diámetro de la mazorca, longitud de la mazorca y peso de mil semillas

El diámetro de la mazorca, la longitud de la mazorca y el peso de mil semillas fueron significativamente afectados por el factor estiércol bovino, en tanto que no presentaron efectos significativos a la aplicación de la fertilización fosfatada. Por otro lado no se presenta interacción entre los factores para ninguna de las variables evaluadas (Anexos 2, 3 y 6) (Tabla 4)

Tabla 4. Peso de mil semillas, diámetro y longitud de la mazorca con aplicación de dosis de P₂O₅ y dosis de estiércol bovino. Caaguazú, Caaguazú, 2017.

Factores			
Dosis de estiércol bovino (t ha⁻¹)	Diámetro de la mazorca (cm)	Longitud de la mazorca (cm)	Peso de mil semillas (g)
0	2,75 a	11,04 a	190,47 a
7,5	3,39 b	14,26 b	227,27 b
15	3,59 c	15,27 c	241,26 c
Dosis de P₂O₅ (kg ha⁻¹)			
0	3,24 ^{ns}	13,39 ^{ns}	216,25 ^{ns}
35	3,25	13,19	218,32
70	3,16	13,36	215,16
105	3,25	13,81	226,7
140	3,31	13,87	221,89
CV (%)	5,39	9,89	5,78

CV: Coeficiente de variación. ns: medias en la columna sin diferencia significativa. Medias seguidas por diferentes letras en la columna, difieren entre sí por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En relación a la respuesta del maíz a las dosis de estiércol bovino, se verificó incremento significativo con las dosis sucesivas de la enmienda, ajustándose los resultados a ecuaciones lineales. El diámetro de la mazorca (DM) se ajustó a la siguiente ecuación, $DM = 0,056x + 2,8233$ con coeficiente de determinación (R^2), $R^2 = 0,92$; en tanto que la longitud de mazorca (LM), $LM = 0,289x + 11,408$ con $R^2 = 0,92$. El peso de mil semillas (PMS) se ajustó a la ecuación $PMS = 3,386x + 194,27$ con $R^2 = 0,94$. Estas ecuaciones indican incrementos por tonelada de estiércol, en el diámetro de la mazorca de 0,056 cm, en la longitud de la mazorca de 0,29 cm y en el peso de mil semillas de 3,39 g. Todas estas variables están relacionadas con el

rendimiento en granos e indican que la aplicación de estiércol tendrá efecto significativo en el mismo, tal como fue constatado.

González (2016) quien aplicó 25 t ha⁻¹ de estiércol bovino en maíz chipa, obtuvo un promedio de 3,7 cm y 17,1 cm superior, tanto para el diámetro como para la longitud de la mazorca respectivamente. Longoria (2000) quien aplicando 0, 2,5 y 5 t ha⁻¹ de estiércol bovino no observó influencia en la longitud de mazorcas.

Con lo que respecta a la fertilización fosfatada, resultados similares fueron los obtenidos por Britos y Emategui (2015) quienes al aplicar diferentes formulaciones fosfatadas en maíz tampoco encontraron respuesta para las variables, diámetro y longitud de mazorca.

Romero (2017) obtuvo un valor promedio de 277 g con aplicación de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, en cultivo de maíz, utilizando el mismo fertilizante fosfatado empleado en este experimento.

Pese a que no existió significancia estadística en el peso de 1000 semillas con aplicación de dosis de P₂O₅, es importante destacar que los valores promedios obtenidos en esta investigación, están por debajo de la media registrada para la variedad de maíz utilizada en el presente experimento, que según el Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria- IPTA (2015) se encuentra entre 250 a 255 g por lo general. La causante de esta situación pudo haber sido el déficit hídrico por el cual atravesó el cultivo durante el periodo de polinización, que pudo haber afectado la formación del grano.

4.3 Rendimiento de granos, índice de cosecha y masa seca aérea

En la tabla 5, se presentan los resultados de rendimiento de granos, índice de cosecha y masa seca aérea obtenidos. Se observa que el factor enmienda presentó efecto significativo en dichas variables evaluadas (Anexos 5, 9 y 8), en tanto que el factor fósforo no afectó significativamente el índice de cosecha y masa seca aérea, no

así en el rendimiento, en el cual se constata un efecto significativo por la aplicación de las dosis 35 y 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por otro lado, no se constata la interacción entre ambos factores para ninguna de las tres variables mencionadas.

El efecto de las dosis de estiércol bovino se ajustó a una ecuación lineal (Rendimiento del grano = 218,78x + 956,59 R² = 0,97), indicando un incremento de 219 kg de granos de maíz por tonelada de estiércol adicionado.

Tabla 5. Índice de cosecha, materia seca aérea y rendimiento de granos de maíz con aplicación de dosis de P₂O₅ y dosis de estiércol bovino. Caaguazú, Caaguazú, 2017.

Factor	Índice de cosecha	Masa seca aérea	Rendimiento de granos
Dosis de estiércol bovino (t ha⁻¹)	(%)	(kg ha⁻¹)	(kg ha⁻¹)
0	20,4 a	1.929 a	779 a
7,5	47,2 b	3.720 b	2.952 b
15	48,7 b	4.811 c	4.061 c
Dosis de P₂O₅ (kg ha⁻¹)			
0	42,87 ^{ns}	3.269 ^{ns}	2.761 a b
35			2.140 a
70			2.238 a b
105			2.819 a b
140	40,63	3.704	3.029 b
CV (%)	20,43	23,35	26,56

CV: Coeficiente de variación. ns: medias en la columna sin diferencia significativa. Medias seguidas por diferentes letras en la columna, difieren entre sí por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Sanabria (2017) en el mismo local, antecediendo a este experimento aplicando 15 y 30 t ha⁻¹ de estiércol bovino en cultivo de mandioca, también obtuvo respuesta significativa en el rendimiento de raíces, observándose un efecto benéfico en ambos

cultivos. Duarte (2016) aplicando 30 t ha^{-1} de estiércol bovino obtuvo un valor promedio de 4.692 kg ha^{-1} en rendimiento en granos de maíz chipa, en tanto que en este experimento se alcanzó 4.061 con 15 t ha^{-1} , en la misma variedad de maíz. Brizuela (2010) afirma que cuando mayor es la dosis de fertilizante orgánico (estiércol bovino) mayor es el rendimiento de granos del maíz. El resultado de este trabajo coincide con lo encontrado por estos autores e indican la importancia del uso de las enmiendas orgánicas, que inclusive puede obtenerse en la propia finca.

En cuanto a las dosis de fósforo se observa que para el rendimiento de granos hubo diferencia significativa solamente entre las dosis 35 kg ha^{-1} y 140 kg ha^{-1} de P_2O_5 , no así entre el testigo y las diferentes dosis de fósforo. En la figura 3 se presenta la respuesta del rendimiento de granos a las diferentes dosis de fósforo, considerando las dosis de estiércol bovino. Por la prueba de comparación de medias no se verificó diferencias por efectos de dosis de fósforo en cada una de las dosis de estiércol.

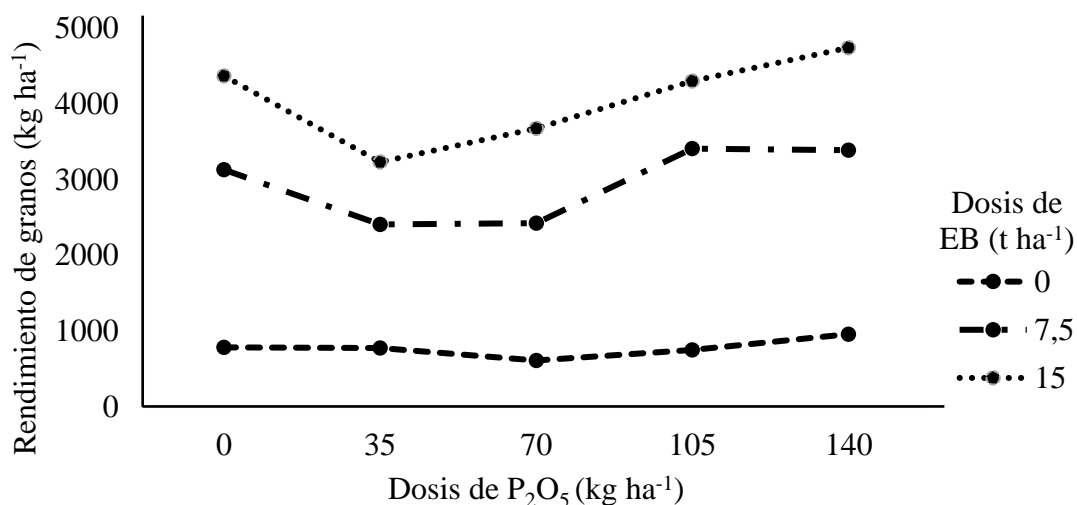


Figura 3. Respuesta del rendimiento de granos a la aplicación de P_2O_5 y estiércol bovino. Distrito de Caaguazú, 2017.

Resultado similar fue el obtenido por Duarte (2016), quien aplicando dosis crecientes de P_2O_5 en maíz chipa, tampoco obtuvo diferencia significativa entre las dosis aplicadas para esta variable, aun así, el mismo obtuvo un mayor rendimiento de granos (4.099 kg ha^{-1}) con la dosis de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Salvador (2016), al emplear misma dosis de fósforo utilizando diferentes fertilizantes fosfatados, no encontró efecto significativo de los tratamientos en el rendimiento de granos ni en el índice de cosecha, en la misma variedad maíz Chipa.

En la ecuación lineal se constata un aumento en el índice de cosecha tras la aplicación de estiércol bovino, presentando ambas dosis diferencia a nivel estadístico con respecto al testigo, no así entre ellas. Esta variable tuvo un incremento lineal por la aplicación de estiércol bovino, ajustándose a la ecuación ($IC = 1,8927x + 24,558$, $R^2 = 0,79$), que demuestra un aumento de 1,89% en el índice de cosecha por la adición de cada tonelada de estiércol, y que dicha ecuación explica el 79% del incremento

La producción de materia seca aérea es fundamental, ya que representa la cobertura con la cual quedara el suelo después de la cosecha, y el mismo será fuente de materia orgánica que contribuirá al mejoramiento de las característica del suelo, ayudando a que el pequeño productor aumente los rendimientos en sus cultivos sin necesidad de costos de producción elevados, en la tabla 5 se observa que la materia seca aérea tuvo un incremento lineal por la aplicación de estiércol bovino, ajustándose la misma, a la ecuación ($MSA = 192,13x + 2045,6$; $R^2 = 0,98$). La mayor producción de materia seca aérea se obtuvo con la aplicación de 15 t ha^{-1} de estiércol bovino, mientras que la menor producción se presentó en el testigo. En cuanto a las dosis de P_2O_5 , solamente fueron evaluados los tratamientos extremos, el testigo y la mayor dosis, no verificando efecto significativo de los tratamientos en la variable masa seca aérea y el índice de cosecha.

Basantés (2012), aplicando dosis de P_2O_5 en cultivo de maíz obtuvo efectos significativos en masa seca aérea, obteniendo un valor promedio de 257 g pl^{-1} con aplicación de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . En tanto que López et al. (2015) obtuvieron incrementos en la masa seca aérea del maíz aplicando dosis de estiércol bovino, con un promedio en la mayor dosis de $16.840 \text{ kg ha}^{-1}$ de masa seca.

De la misma manera Salazar et al. (2004), con aplicaciones de dosis crecientes de estiércol bovino, 40 y 80 t ha^{-1} , se obtienen 34.830 y $34.810 \text{ kg ha}^{-1}$ de materia seca

respectivamente, no encontrando diferencias estadísticamente significativas entre las dosis mencionadas, en tanto que, si existe diferencia a nivel estadístico entre la materia seca aportada por el testigo y las dosis citadas. En tanto que, Salvador (2016), con aplicación de 30 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino en cultivo de maíz, obtuvo mayores rendimientos tanto en las variables altura de planta, N° de hojas por planta y masa seca aérea, obteniendo para esta última variable un valor igual a 12.757 kg ha⁻¹

La falta de respuesta del maíz chipa a la fertilización fosfatada pudo deberse a factores como la disponibilidad de agua, siendo registrado durante la duración del experimento un periodo de baja ocurrencia de precipitaciones, específicamente en los meses de noviembre, diciembre y enero (Figura 1). Es sabido que el suelo debe presentar un buen contenido de humedad para poder disponibilizar a la planta macro y micro nutrientes.

Otro factor que pudo haber influido en los efectos no significativos de la fertilización fosfatada en la altura final de la planta, diámetro del tallo, diámetro y longitud de la mazorca, cantidad de plantas con mazorca, masa seca aérea, peso de mil semillas e índice de cosecha, pudo ser el pH del suelo, ya que Mendoza (1989) y Scheid (1989) concuerdan que tanto la humedad del suelo como el pH influyen en la proporción con la que el P es absorbido por la planta, habiendo una máxima disponibilidad de fósforo en un rango de pH de 6,5 a 7,5 (Munera y Meza 2014). Otra causa que pudo limitar la respuesta del maíz a la aplicación de dosis fosforo pudo haber sido los bajos niveles de Mg⁺² y Ca⁺² encontrados en la camada superficial del suelo.

El tenor de arcilla en el suelo es fundamental para que no ocurra la fijación de fosforo. En general, cuanto mayor sea el contenido de arcilla en el suelo, mayor será la adsorción del fósforo y menor su disponibilidad para las plantas cultivadas (Machado et al. 2011). Este factor no sería importante en este estudio, atendiendo que el suelo es de textura areno franca, con poco contenido de arcilla.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

El cultivo de maíz avati chipa responde favorablemente a la fertilización orgánica, en donde las variables de crecimiento y rendimiento de granos evaluados presentaron respuesta lineal en función a las dosis de estiércol bovino aplicadas.

La aplicación de dosis de fósforo no responde en las variables vegetativas y productivas del maíz chipa hasta una dosis de 140 kg ha^{-1} de P_2O_5 en el maíz avati chipa, en las condiciones de suelo y clima estudiados.

Se recomienda realizar más investigaciones referentes a la fertilización fosfatada y fertilización orgánica en cultivo de maíz, de manera a poder detectar posibles respuestas en condiciones edafoclimáticas diferentes.

6. REFERENCIAS

- Basantes, ER. 2012. Efecto de la aplicación de dosis de nitrógeno y dos niveles de fósforo en el rendimiento del cultivo de maíz var. Chillos, en un suelo franco-arcilloso limoso, sector Sangolqui. Tesis de Maestría. Escuela Politécnica del Ejercito. 68p
- Berardo A. 1994. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. In Simposio “El fósforo en la agricultura argentina”. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. Pp. 38-44.
- Bonilla Morales, N. 2009. Manual de recomendaciones técnicas: cultivo de maíz. San José, CR. INTA. 72p
- Britos, CA.; Causarano, HJ.; Rasche, JW.; Barreto, UF.; Mendoza, F. 2012. Fertilización fosfatada de los principales cultivos bajo siembra directa mecanizada en la región Oriental del Paraguay, Investigación Agraria, 14, 2. 8792. Consultado 16 de abril. 2017. Disponible en: http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S230506832012000200003&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
- 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. FCAUNA. 134–137p
- Cerón Rincón, LE.; Aristazabal, FA. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. IBUM, 14(1)

- Cubilla, MM.; Wendling, A.; Eltz, FLF.; Amado, TJC.; Mielniczuk, J. 2012. Recomendaciones de fertilización para Soja, Trigo, Maíz y Girasol bajo el Sistema de Siembra Directa en el Paraguay. Asunción-Py: Artemac S.A., 88 pág. Consultado 27 oct. 2016. Disponible en:http://capeco.org.py/wpcontent/uploads/2015/06/libro-final_recomendaciones-de-fertilizacionparaguay_2012.pdf.
- De Grazia, J. Tiftonell, PA. Germinara, D. Chiesa, A. (2003). Fertilizacion fosforada y nitrogenada en el cultivo de maíz dulce (*Zea mays* L. Var. Saccharata Bailey). Spanish Journal of Agricultural Research. 103-107 p. Consultado el 29 may 2018. Disponible en <http://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?articuloId=252925>
- Duarte, AD. 2016. Fertilización con enmiendas orgánicas e inorgánicas en maíz chipa (*Zea mays* var. Amilácea L.). Universidad Nacional de Asunción (UNA), tesis de grado. San Lorenzo, PY. 68p.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria). 1992. Soja: Recomendacoes técnicas para o Mato Grosso do Sul. Dourados, MS. (BR). 179p.
- FAO, 1995. El cultivo de la soja en los Trópicos: mejoramiento y producción. EMBRAPA, Roma. 255p.
- Fassbender, H. W. Bornemisza. 1987. Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto interamericano de cooperación para la Agricultura. Editorial IICA. San José, Costa Rica.
- Fatecha, A. 1999. Guía para la fertilización de cultivos anuales e perennes de la Región Oriental del Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaria de Estado de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola. Caacupé (PY).
- Fatecha, A. 2004. Fertilidad de Suelos (Material didáctico elaborado para la cátedra de Fertilidad de Suelos). /San Lorenzo, PY/ : CIA, FCA, UNA. 198p.

- 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
- Fullaondo, E. 2014. Clasificación del nivel de materia orgánica de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Universidad Nacional de Asunción (UNA), tesis de grado. San Lorenzo, PY. 74p.
- Florentin, M.; Peñalva, M.; Calegari, A.; Derpsch, R., 2001. Abonos Verdes y Rotación de Cultivos en Siembra Directa: Sistemas de Producción Tractorizados. Proyecto de Conservación de Suelos. MAG/GTZ/DIA/DEAG San Lorenzo, PY. 84p.
- García, J. García, R. 1982. Edafología y Fertilización Agrícola. Barcelona, ES: AEDO. P.19
- Gómez, EP. 1971 Adubos e adubações. São Paulo: Nobel 18p.
- González, E. 2016. Dosis de nitrógeno con enmienda orgánica e inorgánica en maíz chipa (*Zea mays* var. *amylaceo* L.) Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY, Dpto. de Suelos y Ordenamiento Territorial, CIA, FCA, UNA. 25p
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P. 2010. Metodología de la investigación. 5 ed. PE, El Comercio. 613 p.
- IPTA (Instituto Paraguayo de Tecnología Agrícola, PY). 2015. Programa de investigación de maíz, sorgo y girasol. Capitan Miranda, PY, IPTA-IMBIO. 2 p.
- Jorgge, V. Fatecha, D. Martinez, R. 2013. Clasificación de los tenores de fósforo y potasio del suelo de la Región Oriental del Paraguay. Universidad Nacional de Asunción (UNA), tesis de grado. San Lorenzo, PY. 68p.
- 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
- López Calderón, MJ.; Figueroa Viramontes, U.; Fortis Hernández, M.; Nuñez Hernández, G.; Ochoa Martínez, E; Sánchez 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 G., González, E.; DE Llamas., Molinas, A.; Franco, S.; García S.; Ríos, E. 1995. Estudio de Reconocimiento de Suelo, Capacidad de Uso de la Tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Proyecto de Racionalización del uso de la tierra. SSERNMA/MAG/BM. Asunción, PY

Machado, VJ; Souza, CH; Andrade, BB; Lana, RM; Korndorfer, GH. 2011. Curvas de disponibilidad de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. Biosci. J., Uberlândia, 27(1): 7076.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). DGP (Dirección General de Planificación). 2016. Hacia la diversificación agropecuaria y forestal V. Asunción, PY: La Rural Ediciones. 183p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY). 2007. Datos Preliminares del Programa Nacional del Maíz. 108p

Malavolta E., G. Vitti y S. A. de Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2ª. Ed. POTAFOS. Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Martínez, MR. 2010. Efecto de dosis de estiércol bovino sobre el rendimiento del pasto elefante (*Pennisetum purpureum, schum*) tercer año en un suelo Paleudult en el distrito de Caazapá. Universidad Nacional de Asunción (UNA). Tesis de grado. San Lorenzo, PY. 54p.

Melgar, R; Torres, M. 2005. Manejo de la fertilización en maíz. Proyecto fertilizar EEA INTA Pergamino. (En línea). Consultado 8 marzo 2018. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/manejo%20de%20la%20fertilizacion%20e%20n%20maiz.asp> Mendoza, RE. 1989. Ritmo de la reacción entre el fósforo y el suelo y su relación con el valor residual del fósforo aplicado para el crecimiento del trébol (en línea). Consultado 14 jun 2012. Disponible en http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_7n1y2/Mendoza.pdf.

- Meurer, E. J. (Ed). 2000. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre, BR: Génesis. 174p.
- Munera, GA; Meza, DC. 2012. El Fósforo Elemento Indispensable para la Vida Vegetal. 52p
- Primavessi, A. 1988. Manejo ecológico do solo, agricultura en regioes tropicais. Sao Paulo, (BR) Nobel. 550p.
- Rojas, AJ. 2013. Aplicación de diferentes fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en el cultivo de soja en un Oxisol. Universidad Nacional de Asunción (UNA), tesis de posgrado. San Lorenzo, PY. 67p.
- Romero, VD. 2017. Fuentes de fósforo y promotores de crecimiento (PGPR) en maíz chipa (*Zea mays* var. *amylacea sturtev*). Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingenieria Agronomica FCA-UNA. 72 P
- Salvador, LS. 2016. Fuentes de fosforo con promotores de crecimiento (PGPR) en cultivo de maíz chipa (*Zea mays* L. var. *Amylacea sturtev*). Tesis Ing. Agr. Sn Lorenzo, PY, Carrera de Ingenieria Agronomica FCA-UNA. 70p
- Sánchez G., B. 1997. Política Agraria y desarrollo: Paraguay 1954-1994. Asunción PY: Amambay Ediciones. 265p.
- Santander, V. 1999. La biodiversidad del Paraguay. In: Dialogo LV, Avances de investigación en recursos genéticos en el Conosur. PROCISUR, Montevideo. 29-34p.
- Semple, AT. 1974 Mejoras de los pastos del mundo. Roma: FAO.169p.
- Tisdale, S. L.; Beaton, J. D.; Havlinavlin, J. L.; and Nelson W. L. 1999. Nitrogen transformations in soil. In: Tisdale, S. L.; Beaton, J. D.; Havlin, J. L. and Nelson, W. L. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 6th (Ed.). Prentice-Hall, New Jersey, USA. 108-135 p.
- Uratani, A.; Daimon, H.; Ohe, M.; Harada, J. and Nakayama, Y. 2004. Ecophysiological traits of field-grownd*Crotalaria incana* and *pallida* as green manure. Plant Produc. Sci. 7:449-455.

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

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

Anexo 1. Análisis de varianza de la altura final de la planta de maíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (cm)	60	0,86	0,82	6,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,88	14	0,35	20,11	<0,0001
Factor A	4,77	2	2,38	137,63	<0,0001
Factor B	0,01	4	1,9E-03	0,11	0,9777
Factor 1*Factor 2	0,10	8	0,01	0,73	0,6619
Error	0,78	45	0,02		
Total	5,66	59			

Anexo 2. Análisis de varianza de la variable diámetro del tallo del maíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro del tallo (cm)	60	0,81	0,75	7,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,62	14	0,26	13,38	<0,0001
Factor A	3,34	2	1,67	86,34	<0,0001
Factor B	0,04	4	0,01	0,57	0,6862
Factor A*Factor B	0,24	8	0,03	1,54	0,1713
Error	0,87	45	0,02		
Total	5,50	59			

Anexo 3. Análisis de varianza de la longitud de la mazorca.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud (cm)	60	0,72	0,63	9,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	205,90	14	14,71	8,21	<0,0001
Factor A	194,77	2	97,38	54,39	<0,0001
Factor B	4,38	4	1,09	0,61	0,6568
Factor A*Factor B	6,76	8	0,84	0,47	0,8695
Error	80,58	45	1,79		
Total	286,48	59			

Anexo 4. Análisis de varianza del diámetro de la mazorca.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro(cm)	60	0,85	0,81	5,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,93	14	0,57	18,90	<0,0001
Factor A	7,63	2	3,81	127,32	<0,0001
Factor B	0,13	4	0,03	1,09	0,3721
Factor A*Factor B	0,17	8	0,02	0,71	0,6827
Error	1,35	45	0,03		
Total	9,28	59			

Anexo 5. Análisis de varianza de la variable rendimiento de granos.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	60	0,85	0,80	26,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	121504794,7	14	8678913,91	18,23	<0,0001
Factor 1	111467855,28	2	55733927,64	117,07	<0,0001
Factor 2	7209985,25	4	1802496,31	3,79	0,0098
Factor 1*Factor 2	2826954,22	8	353369,28	0,74	0,6540
Error	21423429,02	45	476076,20		
Total	142928223,77	59			

Anexo 6. Análisis de varianza de la variable peso de mil semillas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de mil semillas (g)	0	0,80	0,74	5,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	29480,49	14	2105,75	13,05	<0,0001
Factor 1	27529,27	2	13764,63	85,28	<0,0001
Factor 2	1058,85	4	264,71	1,64	0,1808
Factor 1*Factor 2	892,37	8	111,55	0,69	0,6972
Error	7263,56	45	161,41		
Total	36744,01	59			

Anexo 7. Análisis de varianza de la variable plantas con mazorca ha⁻¹.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Plantas con mazorca ha ⁻¹	60	0,47	0,31	25,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	637500210,46	14	455361443,60	2,89	0,0035
Factor 1	5566904686,86	2	2783452343,43	17,66	<0,0001
Factor 2	390293019,77	4	97573254,94	0,62	0,513
Factor 1*Factor 2	417862503,83	8	52232812,98	0,33	0,9494
Error	7093779647,64	45	157639547,73		
Total	13468839858,10	59			

Anexo 8. Análisis de varianza, variable materia seca.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Materia Seca	24	0,75	0,68	23,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	35919747,41	5	7183949,48	10,84	0,0001
Factor A	33877407,95	2	16938703,98	25,56	<0,0001
Factor B	1135957,14	1	1135957,14	1,71	0,2070
Factor A*Factor B	906382,31	2	453191,16	0,68	0,5174
Error	11930816,61	18	662823,14		
Total	47850564,02	23			

Anexo 9. Análisis de varianza, variable índice de cosecha.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Índice de cosecha	24	0,61	0,50	20,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2036,27	5	407,25	5,60	0,0028
Factor A	1856,02	2	928,01	12,75	0,0004
Factor B	30,08	1	30,08	0,41	0,5284
Factor A*Factor B	150,17	2	75,08	1,03	0,3766
Error	1310,09	18	72,78		
Total	3346,35	23			

Anexo 10. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis P₂O₅ en maíz chipa. Caaguazú, 2017.

Trat y Rep	Altura de planta (m)	Diámetro del tallo (cm)	Longitud de la mazorca (cm)	Diámetro de la mazorca (cm)	Cantidad de plantas con mazorca/ha	Rendimiento del grano (kg ha ⁻¹)	Peso de mil semillas (g)
T1R1	1,34	1,51	9,4	2,61	15.625	367,21	169,10
T1R2	1,81	1,73	12,68	2,76	31.250	1.080,23	221,29
T1R3	1,53	1,57	12,71	3,18	42.410	1.100,53	185,96
T1R4	1,58	1,63	9,62	2,82	31.250	597,25	178,94
T2R1	1,63	1,67	11,38	2,8	20.089	544,04	198,2
T2R2	1,82	1,66	14,67	3,15	46.875	1377,47	206,83
T2R3	1,48	1,58	9,91	2,7	51.339	798,74	177,36
T2R4	1,61	1,66	9,2	2,58	31.250	401,95	187,02
T3R1	1,63	1,71	11,11	2,46	17.857	518,27	182,36
T3R2	1,68	1,62	11,1	2,9	17.857	776,74	199,19
T3R3	1,59	1,56	9,68	2,66	62.500	505,97	165,98
T3R4	1,61	1,65	11,88	2,57	40.178	657,30	190,18
T4R1	1,58	1,79	9,33	2,51	26.785	436,14	196,21
T4R2	1,88	1,65	11,7	2,7	42.410	1240,30	202,31
T4R3	1,63	1,42	11,37	2,88	60.267	858,56	213,20
T4R4	1,63	1,61	9,9	2,71	20.089	481,83	180,96
T5R1	1,5	1,78	11,48	2,68	20.089	419,14	182,60
T5R2	1,79	1,62	14,02	3,21	49.107	2268,07	213,48
T5R3	1,44	1,35	11,16	2,61	55.803	779,54	193,77
T5R4	1,53	1,58	8,47	2,5	44.642	376,28	164,30
T6R1	2,20	2,1	13,65	3,1	46.875	4050,73	222,79
T6R2	2,03	2,09	14,63	3,43	62.500	3010,93	228,56
T6R3	2,21	1,86	12,81	3,26	66.964	2482,43	227,25
T6R4	2,12	2,05	15,01	3,3	53.571	2981,38	220,55
T7R1	2	2,01	12,86	3,28	42.410	1669,44	207,87
T7R2	2,06	1,98	14,02	3,38	40.178	1919,07	204,83
T7R3	2,21	1,97	13,62	3,28	64.732	2837,76	224,73
T7R4	2,02	1,97	14,75	3,46	60.267	3205,41	230,32
T8R1	2,18	2,10	15,35	3,51	37.946	2349,06	228,59
T8R2	1,75	1,67	12,21	3,16	53.571	1473,37	219,06
T8R3	2,13	1,80	13,82	3,41	60,267	3351,37	223,10
T8R4	2,02	1,90	13,75	3,22	42.410	2528,25	216,64
T9R1	2,16	2,12	15,58	3,56	46.875	3753,13	254,53
T9R2	2,05	2,20	15,86	3,45	37.946	2062,74	237
T9R3	2,23	2,01	14,32	3,45	64.732	4031,17	238,57
T9R4	2,14	2,19	14,3	3,37	66.964	3781,16	221,13
T10R1	2,22	2,12	15,92	3,72	44.642	3638,17	236,64

Anexo 10. (Continuación) Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis P₂O₅ en maíz chipa. Caaguazú, 2017.

Trat y Rep	Altura de la panta (m)	Diametro del tallo (cm)	Longitud de la mazorca (cm)	Diametro de la mazorca (cm)	Cantidad de plantas con mazorca/ha	Rendimiento del grano (kg ha⁻¹)	Peso de mil semillas (g)
T10R2	1,98	2,1	13,31	3,23	51.339	3189,82	226,38
T10R3	2,28	2,22	13,9	3,46	66.964	3460,07	240,44
T10R4	2,14	2,18	15,5	3,63	62.500	3265,82	236,23
T11R1	2,29	2,05	16,92	3,61	51.339	3654,33	229,50
T11R2	2,29	2,37	13,83	3,62	55.803	4361,33	223,60
T11R3	2,25	2,24	15,03	3,7	73.660	5817,30	245,27
T11R4	2,28	2,21	14,33	3,46	55.803	3628,25	242,15
T12R1	2,28	2,26	14,28	3,66	46.875	3452,62	240,67
T12R2	2,36	2,14	15,62	3,73	44.642	3822,92	260,97
T12R3	2,27	2,14	13,38	3,46	58.035	1936,86	242,35
T12R4	2,26	2,17	14,48	3,46	60.267	3708,07	238,62
T13R1	2,25	2,20	16,01	3,42	55.803	3578,72	241,15
T13R2	2,37	2,18	16,11	3,61	49.107	3872,59	251,30
T13R3	2,25	2,05	14,16	3,52	69.196	2451,64	228,68
T13R4	2,27	2,17	15,08	3,47	64.732	3797,21	235,57
T14R1	2,14	2,08	16,45	3,66	58.035	3973,60	234,78
T14R2	2,23	1,81	15	3,7	51.339	2959,61	248,73
T14R3	2,25	2,34	15,57	3,55	66.964	4846,45	245,17
T14R4	2,20	2,16	12,32	3,47	60.267	5406,54	247,77
T15R1	2,34	2,16	16,85	3,87	51.339	4107,03	249,6
T15R2	2,33	2,25	15,31	3,55	69.196	5606,18	244,10
T15R3	2,15	2,02	14,77	3,61	73.660	4321,58	223,16
T15R4	2,27	2,16	15,75	3,57	62.500	4916,58	251,89

Anexo 11. Tabla general de datos de las variables masa seca aérea e índice de cosecha evaluadas con aplicación de dosis de P₂O₅. Caaguazú, 2017.

Tram. y Rep.	Masa Seca Aérea (kg ha⁻¹)	Índice de cosecha (%)
T1R1	1401,5	20,8
T1R2	1179,8	47,8
T1R3	1647,7	40
T1R4	1628	26,8
T5R1	2042,2	17
T5R2	3308,7	40,7
T5R3	2341,9	25
T5R4	1879,8	16,7
T6R1	4437,3	47,7
T6R2	3455	46,6
T6R3	4253,7	36,8
T6R4	2776,7	51,8
T10R1	2994	54,9
T10R2	2532,2	55,7
T10R3	4707,1	42,4
T10R4	4605,9	41,5
T11R1	5747,4	38,9
T11R2	4394,5	49,8
T11R3	5410,8	51,8
T11R4	2895,2	55,6
T15R1	4913,6	45,5
T15R2	5364,7	51,1
T15R3	4955,4	4,6
T15R4	4803,4	50,6

Anexo 12. Preparación del terreno.



Anexo 13. Tratamiento de semillas previa a la siembra.



Anexo 14. Distribución del factor enmienda



Anexo 15. Distribución del factor fosforo.



Anexo 16. Efecto del factor enmienda en la longitud de la mazorca.

