

FERTILIZACIÓN FOSFATADA Y ORGÁNICA EN EL MAÍZ CHIPA (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* Sturtev.). TERCER AÑO DE EVALUACIÓN

ARTURO ALEJANDRO GARCETE MARTÍNEZ

Trabajo final de grado presentado 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

2018

FERTILIZACIÓN FOSFATADA Y ORGÁNICA EN EL MAÍZ CHIPA (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* Sturtev.). TERCER AÑO DE EVALUACIÓN

ARTURO ALEJANDRO GARCETE MARTÍNEZ

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) CARLOS A. LEGUIZAMÓN ROJAS

Co-orientador: Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) CRISTIAN A. BRITOS BENÍTEZ

Trabajo final de grado presentado 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

2018

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

FERTILIZACIÓN FOSFATADA Y ORGÁNICA EN EL MAÍZ CHIPA (*Zea mays L. subsp. amylacea* Sturtev.). TERCER AÑO DE EVALUACIÓN

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: Arturo Alejandro Garcete Martínez

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

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) Cristian A. Britos

Miembros de la mesa examinadora

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

Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) Cristian Andrés Britos Benítez

Ing. Agr. Alder Delosantos Duarte Monzón

San Lorenzo, 14 de diciembre de 2018

DEDICATORIA

A mi señora madre Estela

A toda mi familia

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme siempre salud, guiarme y mantenerme con la fuerza suficiente para seguir el camino correcto hacia mis metas y sueños.

A mis padres Estela y Rolando, por el apoyo, la confianza, el cariño y la paciencia de siempre a lo largo de la carrera. En especial a mi señora madre quien siempre me enseñó que los sueños se cumplen con mucho esfuerzo y dedicación, pero por sobre todo con la fe siempre puesta en Dios.

A mis queridos hermanos Odalis y Ronaldo, por la ayuda, el apoyo y la paciencia a lo largo del ciclo universitario.

Al Prof. Ing. Agr. (Dr) Carlos Andrés Leguizamón Rojas por la orientación a lo largo de la ejecución del trabajo, por la buena predisposición, el profesionalismo y la ayuda recibida durante y después de la realización de los trabajos.

Al Prof. Ing. Agr. (MSc) Cristian Adres Britos Benítez, por la co-orientación, las sugerencias y la buena predisposición.

Al Ing. Agr. Marcos Sanabria por la ayuda y la buena predisposición durante los trabajos de campo y a su familia por recibirnos en su hogar y permitir la realización del experimento en su finca.

A todos los profesores de la orientación suelos y ordenamiento territorial por el apoyo, los conocimientos aportados y la buena predisposición de cada uno de ellos.

A mis compañeros de tesis Ariel Torres y José López por el trabajo y ayuda durante los trabajos de campo.

A mi amiga la Ing. Agr. Alicia González por la buena predisposición y la ayuda durante toda la carrera y la tesis.

A mis amigos Federico Carmona, Tobías Bordoli, Cristhian Cuevas, Ramón Torres y Fabio Vázquez por la buena predisposición y la ayuda brindada.

A mi amiga Débora Soto por la buena predisposición, el apoyo y por la ayuda brindada.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por la formación académica y profesional, por el apoyo durante la realización del trabajo de investigación.

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

FERTILIZACIÓN FOSFATADA Y ORGÁNICA EN EL MAÍZ CHIPA (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* Sturtev.). TERCER AÑO DE EVALUACIÓN

Autor: Arturo Alejandro Garcete Martínez

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

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

RESUMEN

La producción agrícola, principalmente, en la pequeña propiedad es afectada por la deficiencia de fósforo y de materia orgánica en los suelos de la región oriental del Paraguay. El objetivo de la investigación fue evaluar la producción del cultivo de maíz chipa con dosis de fertilización fosfatada y estiércol bovino. El experimento se realizó en el Distrito de Caaguazú, siendo utilizado un diseño de bloques completos al azar en parcelas subdivididas con 4 bloques y 15 tratamientos. Se aplicó dosis de estiércol bovino (0, 5, 10 t ha⁻¹) distribuidas en la parcela; y dosis de P₂O₅ (0, 35, 70, 105, 140 kg ha⁻¹) distribuidas en la subparcela. En todas las unidades experimentales fueron aplicadas dosis fijas de N y K₂O (80 y 80 kg ha⁻¹). El experimento corresponde al tercer año de evaluación de los mismos factores, siendo cultivado mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en el primer año y maíz chipa en el segundo año. Se constató efecto significativo por el factor estiércol bovino en las variables: cantidad de plantas con mazorcas, población de plantas, peso de mil semillas, rendimiento de granos, materia seca aérea e índice de cosecha, con promedios de 43.316; 53.472; 235 g; 3.688 kg ha⁻¹; 3.828 kg ha⁻¹; 46,8%, obtenidos con la dosis de 10 t ha⁻¹. La aplicación de fósforo incrementó las variables: cantidad de plantas con mazorcas; rendimiento; materia seca aérea e índice de cosecha. Se encontró interacción entre ambos factores en las variables: altura y diámetro del tallo; diámetro y longitud de las mazorcas. El maíz responde de forma favorable a la aplicación creciente de estiércol bovino y de fósforo. El efecto del fósforo fue significativo en algunas variables de crecimiento y rendimiento, en ausencia de aplicación de estiércol bovino.

Palabras-clave: enmienda orgánica, fósforo, estiércol, Caaguazú.

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E ORGÂNICA NO CHIP MILHO (*Zea mays* L.
subsp. *amylacea* Sturtev.). TERCEIRO ANO DE AVALIAÇÃO**

Autor: Arturo Alejandro Garcete Martínez
Orientador: Prof. Ing. Agr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Cristian Andrés Britos Benítez

RESUMO

A produção agrícola, principalmente, na pequena propriedade é afetada pela deficiência de fósforo e matéria orgânica nos solos da região leste do Paraguai. O objetivo da pesquisa foi avaliar a produção da cultura do milho chipa com doses de adubação fosfatada e esterco bovino. O experimento foi conduzido no Distrito de Caaguazú, utilizando delineamento de blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas com 4 blocos e 15 tratamentos. Dose de esterco bovino (0; 5; 10 t há⁻¹) distribuída na parcela foi aplicada; e dose de P₂O₅ (0, 35, 70, 105, 140 kg há⁻¹) distribuída na sub-parcela. Em todas as unidades experimentais, doses fixas de N e K₂O foram aplicadas (80 e 80 kg há⁻¹). O experimento corresponde ao terceiro ano de avaliação dos mesmos fatores, sendo cultivada mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no primeiro ano e milho chipa no segundo ano. Constatou-se efeito significativo para o fator de esterco bovino nas variáveis: número de plantas com espigas de milho, população de plantas, peso de mil sementes, rendimento de grãos, massa seca aérea e índice de colheita, com médias de 43.316; 53.472; 235 g; 3.688 kg há⁻¹; 3.828 kg há⁻¹; 46,8%, obtido com a dose de 10 t há⁻¹. A aplicação de fósforo aumentou as variáveis: número de plantas com espigas; performance matéria seca aérea e índice de colheita. A interação entre os dois fatores foi encontrada nas variáveis: altura e diâmetro do caule; diâmetro e comprimento das orelhas. O milho responde favoravelmente à crescente aplicação de esterco bovino e fósforo. O efeito do fósforo foi significativo em algumas variáveis de crescimento e produção, na ausência de aplicação de esterco bovino.

Palavras Chave: emenda orgânica, fósforo, estrume, Caaguazú.

PHOSPHATE FERTILIZATION AND ORGANIC IN CHIPA MAIZE (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* Sturtev.). THIRD YEAR OF EVALUATION

Author: Arturo Alejandro Garcete Martínez

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

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

SUMMARY

Agricultural production, mainly in the small property is affected by phosphorus and organic matter deficiency in the soils of the eastern region of Paraguay. The objective of this research was to evaluate the effect of phosphatized fertilization with organic compost in the cultivation of chipa maize. The experiment was done in the Caaguazu district, the design used was randomized complete blocks in subdivided parcels with 4 blocks and 15 treatments. Doses of bovine manure was applied (0, 5, 10 t ha⁻¹) distributed in the parcel; and doses of P₂O₅ (0, 35, 70, 105, 140 kg ha⁻¹) distributed in the subparcel. In all the experimental units fixed doses of N and K₂O (80 and 80 kg ha⁻¹) were applied. The experiment corresponds to a third year of evaluation of the same factors, being cultivated cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in the first year and chipa maize in the second year. Significant effect was found for bovine manure factor in the variables: number of plants with ears, population of plants, weight of a thousand seeds, grain yield, aerial dry matter and harvest index, with averages 43.316; 53.472; 235 g; 3.688 kg ha⁻¹; 3.828 kg ha⁻¹; 46,8%, obtained with the dose of 10 t ha⁻¹. The application of phosphorus increased the variables: number of plants with ears, grain yield, aerial dry matter and harvest index. Interaction was found between both factors in the variables: Height and diameter of the stem, diameter and length of the ears. Maize responds favorably to the increasing application of bovine manure and phosphorus. The effect of phosphorus was significant in some growth and yield variables, in the absence of application of bovine manure.

Key-words: organic compost, Phosphorus, manure, Caaguazú.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
RESUMO	vi
SUMMARY	vii
ÍNDICE	viii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades del cultivo del maíz.....	3
2.2 El cultivo de maíz en el Paraguay	4
2.3 Fósforo en el suelo y su ciclo en los sistemas agrarios.....	6
2.4 Fósforo en la planta.....	8
2.5 Fertilización fosfatada.....	9
2.6 Fertilización orgánica.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Localización y caracterización del área experimental	16
3.2 Diseño experimental y tratamientos	18
3.3 Implantación y manejo del experimento	20
3.4 Variables a evaluar	21
3.5 Métodos de control de calidad de los datos	23
3.6 Modelo de análisis e interpretación	24

	Página
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 Altura de la planta y diámetro del tallo del maíz.....	25
4.2 Cantidad de plantas con mazorca y población de plantas	27
4.3 Diámetro y longitud de mazorca	29
4.4 Peso de mil semillas y peso hectolítrico	32
4.5 Rendimiento del grano materia seca aérea e índice de cosecha	34
5. CONCLUSIÓN	38
6. REFERENCIAS	39
ANEXO.....	49

LISTA DE TABLAS

	Página
1. Análisis de suelo de la parcela experimental al inicio del experimento, muestras tomadas a una profundidad de 20 cm Caaguazú, 2015.....	17
2. Tratamientos del experimento resultantes de la combinación de fósforo (P ₂ O ₅) y dosis de estiércol bovino.....	18
3. Altura de la planta y diámetro del tallo de maíz en función de dosis de estiércol bovino y fertilización fosfatada. Caaguazú 2017/18.....	25
4. Cantidad de plantas con mazorca y población de plantas con la aplicación de estiércol bovino y fertilización fosfatada. Caaguazú 2017/2018.....	28
5. Diámetro y longitud de mazorcas en función de dosis de estiércol bovino y fertilización fosfatada. Caaguazú. 2017/18.....	30
6. Peso de mil semillas y peso hectolitrico con aplicación de dosis creciente de estiércol bovino y dosis de fertilización fosfatada. Caaguazú 2017/2018.....	32
7. Rendimiento del grano masa seca aérea e índice de cosecha del maíz con la aplicación de dosis de estiércol y fertilización fosfatada. Caaguazú 2017/2018.....	34

LISTA DE FIGURAS

Página

1. Localización del experimento en el Departamento de Caaguazú, Distrito del mismo nombre, Compañía 3° Línea Agua.....16
2. Datos de precipitación desde setiembre de 2017 a febrero de 2018 en relación a promedio histórico año 1987-2016.17
3. Disposición de las unidades experimentales en el campo.....19

LISTA DE ANEXOS

Página

1. Precipitación ocurrida durante el experimento y el ciclo del cultivo de maíz (setiembre 2017, marzo 2018).....	50
2. Variables evaluadas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estiércido bovino. Caaguazú 2017/2018.....	51
2. Variables evaluadas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estiércido bovino. Caaguazú 2017/2018 (Continuación).	52
3. Variables medidas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estiércido bovino. Caaguazú 2017/2018.....	52
3. Variables medidas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estiércido bovino. Caaguazú 2017/2018 (Continuación).	53
3. Variables medidas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estiércido bovino. Caaguazú 2017/2018 (Continuación).	54
4. Análisis de varianza altura total de la planta.	54
5. Análisis de varianza diámetro del tallo.	54
6. Análisis de varianza cantidad de plantas con mazorca.	55
7. Análisis de varianza población de plantas.....	55
8. Análisis de varianza diámetro de la mazorca.	55
9. Análisis de varianza longitud de la mazorca.	56
10. Análisis de varianza peso de mil semillas.	56
11. Análisis de varianza peso hectolitrico.....	56
12. Análisis de varianza rendimiento de granos.	57
13. Análisis de varianza materia seca aérea.	57
14. Análisis de varianza índice de cosecha.	57

1. INTRODUCCIÓN

El maíz en el Paraguay es cultivado tanto por las empresas mecanizadas como en la pequeña propiedad, siendo el rubro agrícola que ocupa el segundo lugar en superficie. El maíz es una de las principales materias primas para la elaboración de alimentos tradicionales de las familias paraguayas, además, es utilizado en la alimentación animal, de ahí proviene su importancia.

El maíz es un cultivo que requiere significativa cantidad de nutrientes, siendo la baja fertilidad del suelo, causa principal del bajo rendimiento del cultivo en la pequeña propiedad. En este sentido resaltan como problemáticas, la baja concentración de materia orgánica, del pH y del fósforo disponible en los suelos de la Región Oriental de nuestro país, principalmente, en áreas donde se distribuyen las pequeñas propiedades.

Alternativas para paliar estas limitaciones del suelo podría ser la utilización de enmiendas orgánicas, la cual puede estar disponible en la propia finca complementado con los fertilizantes minerales, de menor acceso por los productores de la agricultura familiar.

La justificación de esta investigación apunta a encontrar mejoras a la producción de la agricultura familiar, buscando alternativas para incrementar la fertilidad del suelo con la combinación de insumos disponibles en la finca y la incorporación de fertilizantes.

El objetivo general fue evaluar la producción del cultivo del maíz chipa con dosis de fertilización fosfatada, estiércol bovino y la interacción de ambos factores.

Los objetivos específicos de la investigación fueron: evaluar las variables de crecimiento y rendimiento del maíz bajo dosis de estiércol bovino y fertilización fosfatada.

El trabajo plantea las siguientes hipótesis. El crecimiento y rendimiento del maíz responderá significativamente a la aplicación del estiércol bovino. Del mismo modo, el rendimiento y desarrollo del maíz responderá significativamente a la aplicación de dosis de fósforo, el cual, será requerido en menor dosis, cuando es aplicado con estiércol bovino.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del cultivo del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es el único cereal importante nativo del hemisferio occidental, es originario de México, se extendió al norte, hasta Canadá y al sur hasta Argentina. Se expandió rápidamente a Europa, África y Asia luego del descubrimiento de América (González 1995). Según FAO (2001) pertenece a la familia Poaceae o Gramíneas y es la única especie del género *Zea* que es cultivada.

El maíz es una de las plantas más domesticada y evolucionada del reino vegetal. El origen y la evolución del maíz es un misterio, sobre eso Asturias (2004), indica que fue porque ha llegado a nosotros altamente evolucionado, sin que se conozcan formas intermedias. Su origen según estudios es Mesoamérica (México, Guatemala), expertos en genética coinciden que deriva del teocintle (*Zea perennis*) por tener semejanza en las plantas (Acosta 2009). Ortas (2008), indica que es una planta cultivada desde la antigüedad, hace más de 7.000 años.

Esta especie del reino vegetal posee características que las diferencian de otros cultivos, es una planta anual de gran desarrollo vegetativo, que puede alcanzar hasta 5 metros de altura (lo normal es de 2 a 2,50 metros), posee sistema radicular adventicio, el tallo de la planta es leñoso y cilíndrico, con una cantidad de nudos que varía entre 8 y 25, sus hojas son alargadas y forman un cilindro o vaina alrededor del entrenudo (Lesur 2005, MAG 2008).

Otra característica de este cultivo es la existencia de flores masculinas y femeninas en una sola planta. Al respecto, INTA (2010) explica que es una planta monoica (produce flores masculinas y femeninas en distintos órganos de la planta), con flores femeninas en mazorcas laterales, flores masculinas que surgen de uno a dos días antes de la floración femenina. De polinización libre y cruzada, con gran producción de polen (25 a 30 mil granos por óvulos); granos en hileras incrustados en la tusa; mazorcas cubiertas por hojas; granos de tipo cariopsis (no tiene membrana); metabolismo fotosintético (radiación solar) tipo C4.

Esta especie se adapta a una amplia variedad de suelos donde puede producir buenas cosechas, si se emplean los cultivares adecuados y técnicas de cultivo apropiadas (IICA s.f.). Para INTA (2010), los suelos más apropiados para el maíz son los francos, con buen drenaje, pH de 6,5 y en zonas lluviosas los suelos franco arenosos por su alta capacidad de drenaje. En zonas de poca precipitación son preferible los suelos arcillosos por su alta capacidad de retener humedad.

El maíz tiene un requerimiento de agua de 500 a 800 mm bien distribuidos durante el ciclo del cultivo, lo cual permite un crecimiento vegetativo normal y no debe faltar agua durante la germinación y floración. Las temperaturas óptimas diurnas para la obtención de buenos rendimientos en maíz son entre 20 y 28° C, temperaturas inferiores a 13° C hacen que el maíz tenga un crecimiento muy limitado y mayores de 29° C, ocasionan marchitez por la dificultad para absorber agua, y disminuyen el periodo de llenado de granos y el rendimiento. La temperatura y la luminosidad influyen directamente sobre el periodo vegetativo (MAG 2008, INTA 2010, INTA s.f.).

2.2 El cultivo de maíz en el Paraguay

El maíz en nuestro país posee una destacada importancia social por su explotación mayoritaria en pequeñas propiedades con una superficie de siembra que

varía de media a una hectárea por fincas. IICA (2015) indica que existen unas 400 variedades en nuestro país, variedades como avati moroti (chipa), moroti pora (locro), destinadas al consumo dentro de la finca y karape pyta utilizada para la alimentación del corral y animales menores. Así también la producción mecanizada que son aquellos cultivos realizados por empresas privadas que siembran maíz zafriña, tipo karape pyta e híbridos de gran rendimiento, exclusivos para la elaboración de forrajes (MAG/DEAG 2010).

El maíz chipa (*Zea mays* L. var. amiláceo) es cultivado preferentemente en las pequeñas fincas (1 a 20 ha), la variedad representa el 88,4% de las fincas cultivadas con maíz (MAG 2009). Es costumbre su siembra asociado a otros cultivos como mandioca, poroto y zapallo (Angulo 2017). En el Departamento de Caaguazú en el año 2008 se registró la siembra de 15.033 ha distribuidas en 25.023 fincas, indicándose un rendimiento promedio de 1.067 kg ha⁻¹ (MAG 2009). Según MAG (2010), el rendimiento del maíz chipa es de 2.500 kg ha⁻¹ con una producción de 1.750.000 toneladas, Angulo (2017), menciona que el maíz chipa puede llegar a rendir hasta 3.500 kg ha⁻¹.

Los bajos rendimientos de los cultivos, entre ellos el maíz, en la pequeña propiedad son causados por el bajo nivel de algunos nutrientes, esto se debe a la característica de los suelos de la Región Oriental, principalmente el Departamento de Caaguazú cuyos suelos poseen un pH ligeramente ácido (Bataglia 2011), condición que no favorece la disponibilidad del fósforo para las plantas. Jorgge (2012) analizó 306 muestras de suelo del Departamento de Caaguazú, constatando que el 44 % de las muestras presentó un nivel bajo y el 48 % niveles medios de fósforo.

No solo las condiciones del suelo pueden condicionar la producción de un cultivo, sino también la época en la que se debe sembrar para obtener un buen rinde del grano. En este sentido MAG/DEAG (2010) indican que la época de siembra del maíz en Paraguay depende de la variedad; en el karape pyta es julio a octubre y zafriña;

en el Moroti pora (locro) es agosto a febrero; en el Avati moroti chipa es julio a setiembre; Avati pororó es agosto a febrero.

Rodríguez y Rabery (2003) mencionan que las épocas de siembra no influyen en el rendimiento del maíz chipa, ya que en un experimento obtuvieron un promedio de 1.084 kg ha⁻¹ en granos de maíz sembrado en agosto y 1.101 kg ha⁻¹ en granos sembrado en el mes de octubre, respectivamente.

2.3 Fósforo en el suelo y su ciclo en los sistemas agrarios

El fósforo proviene de las apatitas y depósitos de fosfato natural de donde es liberado a través de procesos de meteorización, lixiviación y erosión, así mismo es extraído de forma industrial como fertilizante. Así el fósforo liberado de la apatita lo absorben las plantas y la biomasa microbiana, luego se incorpora a la materia orgánica del suelo y sedimento, para volver a depositarse en forma de minerales poco solubles (Cerón y Aristizábal 2012). La pérdida del fósforo puede ocurrir por diversas causas, una de ellas es por la cosecha (Rojas 2013). Así también las pérdidas son ocasionadas por la erosión de suelo (Camas et al. 2012).

Según Barrios et al. (2010), el fósforo que se encuentra en el suelo es absorbido por las plantas, posteriormente por los animales herbívoros; el retorno al suelo ocurre en la senescencia de los vegetales, por las excreciones de los animales y la descomposición de la materia orgánica. Meurer (2000) sostiene que el fósforo se encuentra en el suelo en dos formas, el orgánico que se encuentra en los restos de los vegetales, en las excreciones de los animales y el fósforo microbiano; e inorgánico compuesto por el que está adherido a los coloides del suelo y a los oxi-hidroxidos de hierro y aluminio.

Este elemento se encuentra en el suelo en tres fracciones según Rheinheimer y Anghinoni (2001), en la solución del suelo, la cual está disponible para las plantas; la fracción lábil, la que representa la cantidad de fósforo que puede pasar a la solución del suelo en una temporada de cultivo; la no lábil que representa todos los compuestos fosfatados en el suelo que no salen a la solución del suelo durante la época de cultivo. CPHA (2009), indica que, el fósforo disponible en el suelo puede ser apenas 1% o menos de la cantidad total existente.

El fósforo es poco móvil en el suelo generalmente debido, a que la mayor parte está en forma insoluble o fijada al suelo, principalmente como minerales primarios fosfatados, humus, fosfatos insolubles de Ca, Fe y Al y fosfatos fijados por los óxidos y minerales silicatados (Picone y Zamuner 2002). Las plantas en su mayor parte lo absorben en forma mineral, en formas de iones ortofosfatos derivados del ácido fosfórico (H_3PO_4), H_2PO_4^- , y en menor proporción como HPO_4^{2-} . De hecho, la absorción del primero es diez veces más rápida que la del segundo, aunque hay que tener en cuenta que en ello influye notablemente el pH del suelo. Otras formas en las que el fósforo puede ser, posiblemente, absorbido por las plantas son $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ y PO_3^- , así como en forma de ciertos fosfatos orgánicos solubles (Navarro y Navarro 2003).

El fósforo orgánico al descomponerse de los diversos materiales se transforma en fósforo inorgánico, este fenómeno se denomina mineralización y queda en relación directa con el fósforo en solución. El fósforo orgánico presente en el suelo se encuentra en porcentajes proporcionales a la materia orgánica y varía dependiendo del manejo y tenor de la materia orgánica, pudiendo ser de 3 % a 85 % del fósforo total del suelo (Peroni 2005).

El pH del suelo influye en la disponibilidad de nutrientes que pueden ser aprovechados por las plantas, la disponibilidad del fósforo disminuye pronunciadamente por debajo de pH 5, por el aumento de la actividad de Al y Fe y la formación de compuestos insolubles con estos cationes. Para Álvarez et al. (2010), a valores de pH, de 7,2 aproximadamente la mitad del fósforo en solución se encuentra

como HPO_4^{2-} y la otra mitad como H_2PO_4^- , a valores mayores de pH, la primera es la forma predominante (HPO_4^{2-}), mientras que a valores menores de pH predomina la segunda (H_2PO_4^-).

En suelos donde son aplicados fertilizantes fosfatados en cantidades adecuadas para el desarrollo de las plantas, las formas orgánicas e inorgánicas son similares en sus capacidades, pero las formas orgánicas son las encargadas principales de proveer fósforo a las plantas, en suelos con poca o sin ninguna aplicación de fertilizante fosfatado (Gatiboni et al. 2007).

Afit et al. (2013) menciona que una opción para aumentar el fósforo en el suelo es utilizando el estiércol de animal. Esto es debido a que al aplicar materia orgánica incrementa tanto la actividad de la fosfatasa como el contenido de fósforo microbiano, que a su vez contribuye al incremento del fósforo disponible (Cerón y Aristizábal 2012).

2.4 Fósforo en la planta

El fósforo es absorbido por las plantas y se encuentra en todos los tejidos de las mismas en una concentración variable, según la parte del aparato vegetativo que se considere. Su valor medio, expresado en P_2O_5 , puede situarse entre 0,5 y 1% de materia seca (Navarro y Navarro 2003). Coelho (2006) indica que la planta de maíz extrae en el grano 9 kg ha^{-1} de fósforo en 3.600 kg ha^{-1} de rendimiento y en la materia seca del cultivo 15 kg ha^{-1} de fósforo en $11.600 \text{ kg ha}^{-1}$ de producción de materia seca.

Taiz et al. (2017), sostiene que los fosfatos son absorbidos de la solución del suelo rápidamente por las plantas mediante un transportador de H^+ y es incorporado a una diversidad de compuestos orgánicos, incluyendo azúcares fosfatados, fosfolípidos y nucleótidos y que el principal punto de entrada de fosfato ocurre durante la formación de ATP, que es la molécula de energía de las células.

El fósforo es componente básico de las nucleoproteínas, ácidos nucleicos, fosfolípidos y de todas las enzimas involucradas en el transporte de energía, es un elemento esencial para el proceso de fosforilación, fotosíntesis (no cíclica y cíclica) respiración, descomposición y síntesis de carbohidratos, síntesis de ATP, proteínas y grasas. A través de estos procesos, el fósforo afecta el crecimiento de las raíces (Loteró 1974, Fassbender 1967 citados por Burgos y Cenóz 2012, Malavolta 2004).

El fósforo es el segundo nutriente en importancia, ya que está presente en el núcleo celular, la fertilización con fósforo promueve la formación y el crecimiento temprano de la raíz y ayuda a la joven planta a desarrollar sus raíces, estimula la floración acelera la madurez y contribuye a la formación de la semilla, además ayuda a resistir bajas temperaturas y a usar el agua más eficientemente, mejorando el agua absorbida por las plantas. (Plaster 2000, Lesur 2005).

2.5 Fertilización fosfatada

El problema de la baja fertilidad y el aumento de la degradación de los suelos en la pequeña propiedad hace necesaria un adecuado programa de manejo de los suelos para el sistema productivo de la finca y para la producción de maíz chipa en particular. Para una correcta fertilización siempre es recomendable un análisis del suelo. MAG/GTZ (2008) mencionan que para fertilizar en suelos fértiles que producen más de 1.500 kg ha⁻¹ de granos de maíz chipá no se recomienda utilizar fertilización química.

Para la fertilización de los suelos existe diferentes recomendaciones, Mallarino (2005) menciona que las indicaciones de métodos de aplicación de fertilizantes deben basarse en la investigación local. Las ventajas comparativas de distintos métodos de aplicación dependen del tipo de cultivo y suelo, de la fuente del nutriente, del nivel de nutriente del suelo, del clima (especialmente el régimen de lluvias), de los costos comparativos de aplicación y de los conceptos en los cuales se basa el manejo de la fertilización y la producción de cultivos entre otros factores.

Peroni y Rasche (2007), indican que la respuesta del suelo a la fertilización fosfatada varía de acuerdo al tipo de minerales que lo conforman y de la cantidad de arcilla presente en los mismos. Los valores por debajo del cual se espera exista respuesta a la aplicación de fósforo, por regla general son menores en suelos arcillosos (8 mg kg^{-1}) y mayores en suelos arenosos (27 mg kg^{-1}) para suelos de la Región Oriental; y $13,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para suelos arenosos de la Región Occidental. Britos et al. (2012), observaron que, dentro de una misma clase textural, la necesidad de P_2O_5 para elevar 1 mg kg^{-1} la concentración de fósforo aumenta en relación directa al contenido de arcilla, probablemente debido al efecto inmovilizador de la fracción arcilla en los suelos.

Aplicando dosis creciente de P_2O_5 durante más de cinco años Conte et al. (2003), observaron incrementos de 336 mg kg^{-1} de fósforo total en el suelo, con la dosis mayor (120 kg ha^{-1} de P_2O_5) en relación al testigo. Gonçalves y Meurer (2009) aplicando superfosfato triple en cuatro tipos de suelos observaron aumentos en los tenores fósforo moderadamente lábil (P inorgánico) y en menor proporción en la fracción fósforo lábil.

En maíz una adecuada fertilización con fósforo puede mejorar el rendimiento y desarrollo de las plantas. Coelho (2006), resalta que plantas de intenso desenvolvimiento y de ciclo corto como el maíz, necesitan mayor nivel de fósforo en solución y una reposición más rápida del fósforo que fue adsorbido, que las plantas que son de ciclo perennes.

Según IPTA (2015), la expectativa de rendimiento del maíz chipa está en torno a 5.200 kg ha^{-1} . Cubilla et al. (2012), recomiendan en maíz 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 en suelos con un tenor de arcilla de 410 a 600 g kg^{-1} y 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 si el suelo presenta tenores de arcilla de 210 a 400 g kg^{-1} . Fatecha (2001), para la fertilización con fósforo en maíz recomienda también 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 , si existe un nivel de fósforo en el suelo de 0 a 5 mg kg^{-1} de suelo, y 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 si hay nivel de fósforo en el suelo de 6 a 12 mg kg^{-1} de suelo.

Coelho (2006), indica que el momento para la aplicación de fósforo es en la siembra de maíz. Para realizar esta aplicación del fertilizante fosfatado en los suelos, existen algunas formas de realizarlo. En este sentido Cubilla et al. (2012), indican que cuando los tenores de fósforo en el suelo se encuentran de medios a elevados la fertilización al voleo demuestra eficiencias similares a la aplicación en línea del fertilizante.

Prado et al. (2001), observaron que al aplicar fertilizantes fosfatados en surcos simples el rendimiento de maíz aumentó de $0,45 \text{ t ha}^{-1}$ a $3,04 \text{ t ha}^{-1}$ y en surcos dobles de $0,21$ a $4,40 \text{ t ha}^{-1}$, en comparación a la aplicación al voleo ($0,13$ a $0,57 \text{ t ha}^{-1}$). Parra et al. (2011), realizaron aplicaciones de fósforo en masetas con cultivo de maíz, donde obtuvieron un mayor rendimiento en materia seca ($3,6 \text{ g maset}^{-1}$) al mezclar el fertilizante con el suelo en comparación a lo obtenido con la aplicación del fertilizante en bandas a 5 cm de la planta ($2,7 \text{ g maset}^{-1}$).

González y Ruiz Díaz (2004), verificaron que la fertilización fosfatada aumenta el rendimiento de maíz, al aplicar diferentes dosis de fósforo obtuvieron el mayor rendimiento de 5.955 kg ha^{-1} en granos con la mayor dosis de 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 en comparación al testigo (3.703 kg ha^{-1}). Al aplicar también diferentes dosis de fósforo en el cultivo de maíz, cultivar BR 5033, Castro et al. (2000), observaron que el rendimiento en granos aumentó hasta la dosis de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , donde el promedio fue de 2.250 kg ha^{-1} . El rendimiento fue disminuyendo con la mayor dosis de 240 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Por su parte Rivas (2018), observó efectos en el rendimiento del maíz chipa con la aplicación de diferentes dosis de P_2O_5 , siendo el mayor rendimiento de 3.029 kg ha^{-1} con una dosis de 140 kg ha^{-1} , a diferencias del testigo que fue de 2.761 kg ha^{-1} . Duarte (2016), verificó incrementos del rendimiento del maíz chipa al aplicar diferentes dosis de fósforo, donde el mayor promedio (4.754 kg ha^{-1}) lo obtuvo con una dosis de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , en comparación con el testigo que fue de 4.099 kg ha^{-1} .

Mientras que Salvador (2016), aplicando Súper fosfato simple obtuvo un rendimiento de 3.690 kg ha⁻¹ de maíz chipa con una dosis de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, y 3.870 kg ha⁻¹ de granos con la misma dosis de P₂O₅ (80 kg ha⁻¹) utilizando Súper fosfato triple, indicando que la fuente de fósforo también puede influir en el rendimiento del maíz.

Esta misma tendencia fue verificada por Romero (2017), al aplicar Súper fosfato simple obtuvo un promedio de 4.238 kg ha⁻¹ en granos de maíz chipa inferiores al promedio obtenido con Superfosfato triple, que fue de 4.876 kg ha⁻¹, para ello utilizó la dosis de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, en ambas fertilizaciones.

Colman y Ortiz (2014), por su parte mencionan que el fósforo favorece el desarrollo del tallo de las plantas de maíz. Valdez y Gray (2014), encontraron que la cantidad de espigas de maíz aumentaban influenciadas por las dosis crecientes de fósforo.

Duarte (2016), en la altura de la planta de maíz chipa al aplicar diferentes dosis de P₂O₅, constato el aumento al aplicar 80 kg ha⁻¹ que fue de 2,48 m disminuyendo luego conforme aumentaban las dosis de fósforo, atribuyendo estos resultados al nivel de fósforo que presentaba el suelo al iniciar el cultivo que fue de 9 mg kg⁻¹. En este sentido Peroni (2005), en experimentos en macetas afirma que la altura de la planta de maíz responde a la fertilización fosfatada dependiendo de la textura del suelo.

2.6 Fertilización orgánica

Labrador et al. (1993), mencionan que cuando hablamos de fertilización orgánica, nos estamos refiriendo a un conjunto de técnicas basadas en el aporte de productos orgánicos procedentes de la propia finca o del exterior, los cuales proveen

al suelo macro y micronutrientes, generan una reserva de humus, aportan sustancias fisiológicamente activas.

Trinidad y Velasco (2016), mencionan que el abono orgánico es un material de origen vegetal o animal de composición química variable, que en el proceso de mineralización aporta nutrientes para el desarrollo y rendimiento de los cultivos. La aplicación de los mismos tiene una potencialidad para aumentar el rendimiento de las cosechas mucho mayor que los fertilizantes químicos en cantidades equivalentes de nutrientes. Los abonos orgánicos constituyen una forma de reciclaje de nutrientes en el sistema agropecuario, estos incluyen todo material de origen orgánico utilizado para la fertilización de cultivos o como mejoradores de suelos (Soto 2003, citados por Jaramillo et al. 2016).

Algunas funciones del suelo se ven directamente afectadas por la actividad y la calidad de la materia orgánica que contiene. Por ello la materia orgánica es un constituyente y un indicador de la calidad del suelo (Gregorich y Carter 1997, Franzluebers 2002, Baldock y Nelson 2000 citados por Porta et al. 2003). Los mismos autores sostienen que la atención que ha merecido la materia orgánica, se debe a que influye en múltiples propiedades de los suelos, a pesar de que en la mayoría de ellos suponga una cantidad porcentualmente menor, dependiendo de la categoría del suelo de que se trate.

Una de las formas de aplicar materia orgánica al suelo es utilizando el estiércol, ya que este se encuentra al alcance del productor de la pequeña propiedad. Salazar et al. (2010), definen al estiércol como el producto que se obtiene de la fermentación anaeróbica sucedida en el intestino de los residuos alimentarios no utilizados por los rumiantes. Estos dependiendo de su procedencia poseen diversos nutrientes y por lo general tiene alto contenido de nitrógeno (Garro 2016).

Su composición no es homogénea y el efecto que producirán en el suelo y el aporte de nutrientes para los cultivos depende de la raza, edad, alimentación del ganado, de las condiciones del lugar y el manejo que se le da desde su recolección hasta su distribución en la parcela donde será sembrada los cultivos (Labrador et al. 1993, López et al. 2001).

El contenido de nutriente en el estiércol vacuno varía según su alimentación, el ganado vacuno de leche contiene 5, 2 y 4 kg t⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente, mientras que los de carne poseen 5,5, 4 y 5 kg t⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente (Plaster 2000). Por su parte Duarte (2016), realizó análisis químico del estiércol bovino de productores sosteniendo que posee 0,64, 0,31 y 0,6 % de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente.

Plaster (2000), menciona que el estiércol tiene un bajo contenido de fósforo pero que ayuda a evitar que sea fijado por el suelo volviéndolo más disponible para las plantas y posee efecto de larga duración resultando en rendimiento mejorado en más de un ciclo agrícola.

Las propiedades que se le han atribuido al estiércol, que han sido plenamente identificadas y comprobadas las cuales principalmente son según Nieto et al. (2016), el aporte de nutrientes al suelo y su liberación de manera gradual para ser aprovechados por las plantas, incluyendo el aporte de carbono orgánico para el uso de microfauna benéfica del suelo y formación de complejos orgánicos. Mejoran las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo, mejorando la estructura del suelo favoreciendo la retención de humedad, permeabilidad y porosidad del mismo, para un mejor desarrollo de la parte radical de las plantas. Por otro lado, eleva la capacidad del intercambio catiónico favoreciendo la permanencia de nutrientes en el suelo; favorece la reproducción y permanencia de microorganismos benéficos del suelo.

En el cultivo de maíz es utilizado el estiércol en especial por la agricultura familiar, no solo para aumentar el rendimiento sino para mejorar el suelo. Es importante mencionar que para la utilización de abono orgánico este debe estar bien descompuesto. En este sentido Sosa et al. (2013), recomiendan aplicar estiércol bovino en el cultivo de maíz 40 días antes de realizarse la siembra.

López et al. (2001), en un experimento obtuvieron $4,3 \text{ t ha}^{-1}$ en grano de maíz con una dosis de 30 t ha^{-1} de estiércol bovino superior al testigo ($3,5 \text{ t ha}^{-1}$). Por otra parte, Rivas (2018) alcanzó los 4.061 kg ha^{-1} en granos de maíz chipa con dosis de 15 t ha^{-1} de estiércol bovino, superando al testigo sin estiércol bovino (779 kg ha^{-1}). Sin embargo, González (2016), obtuvo 4.521 kg ha^{-1} en granos de maíz chipa con una dosis de 25 t ha^{-1} de estiércol bovino, superando al testigo que obtuvo promedios de 3.858 kg ha^{-1} de granos de maíz.

Para un mejor aprovechamiento del estiércol bovino sería factible mezclarlo con un abono inorgánico. De Luna et al. (2016) recomiendan el uso de abonos orgánicos combinados con inorgánicos, ya que incrementa notablemente el crecimiento y producción de las plantas de maíz. Los abonos orgánicos con un buen manejo agronómico muestran ser una alternativa sustentable y amigable con el medio ambiente.

Implementando el estiércol bovino Miranda y Iribas (2009), con una dosis de 40 t ha^{-1} obtuvo una mayor producción de materia seca en el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) $20,1 \text{ t ha}^{-1}$ de materia seca, en comparación al testigo ($15,44 \text{ t ha}^{-1}$), demostrando el efecto de la enmienda orgánica. Así también Paniagua y Servín (2017), aplicando una dosis de 40 t ha^{-1} de estiércol bovino obtuvo un promedio de $23,31 \text{ t ha}^{-1}$ en rendimiento de raíces en el cultivo de mandioca, promedio que superó al testigo (sin enmienda orgánica) que fue de $13,28 \text{ t ha}^{-1}$.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

El experimento se llevó a cabo en el predio del señor Pedro Sanabria, ubicado en la Compañía 3° Línea Agua Distrito de Caaguazú, Departamento del mismo nombre, distante 190 km al este de Asunción (Figura 1). La latitud del mismo es $25^{\circ} 23' 18'' S$ y la longitud $56^{\circ} 02' 36'' O$, altitud de 315 msnm.



Figura 1. Localización del experimento en el Departamento de Caaguazú, Distrito del mismo nombre, Compañía 3° Línea Agua.

El suelo predominante en el área es Rhodic Paleudult, de textura arenosa (López et al. 1995). En la tabla 2 se presenta el análisis químico del suelo del área de estudio al iniciar el primer año del proyecto (Sanabria 2016).

Tabla 1. Análisis de suelo de la parcela experimental al inicio del experimento, muestras tomadas a una profundidad de 20 cm Caaguazú, 2015

pH	Mat.Org %	P mg kg ⁻¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³
			----- cmol _c kg ⁻¹ -----				
5,5	0,69	2,76	0,8	0,28	0,07	0,02	0,0

El clima se caracteriza por ser húmedo y meso térmico, 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).

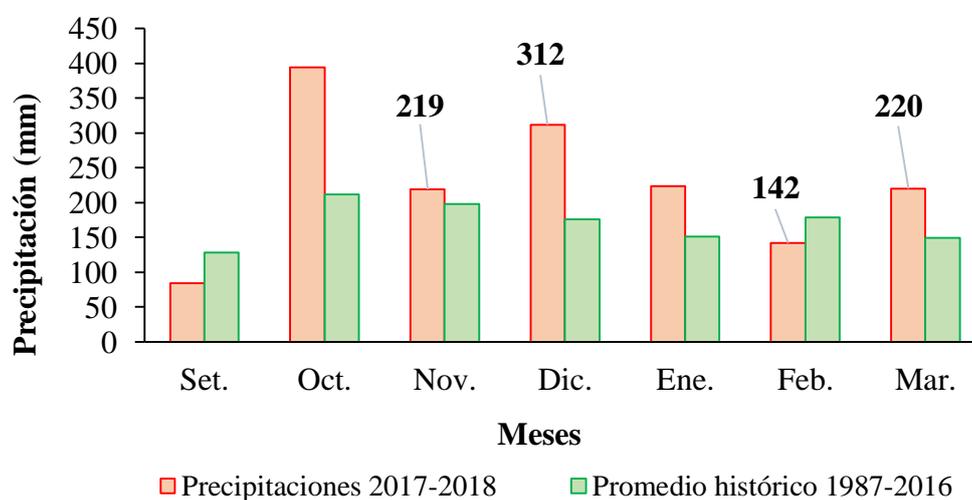


Figura 2. Datos de precipitación desde setiembre de 2017 a febrero de 2018 en relación a promedio histórico año 1987-2016.

Fuente: Dirección de Meteorología e Hidrología, DMH/DINAC y procesados por la División de Meteorología de la Facultad de Ciencias Agrarias

El trabajo de investigación se realizó en el marco del proyecto “Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos” apoyado por el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT). Corresponde al tercer año de experimento en que se evalúa los factores dosis de estiércol y dosis de fósforo, con el mismo diseño experimental y la misma distribución a campo de los tratamientos. El primer año se trabajó con mandioca y el segundo año también fue con maíz chipa.

3.2 Diseño experimental y tratamientos

Para el estudio se utilizó un diseño de bloques completo al azar en parcelas subdivididas, y se evaluaron dos factores. Un factor fue dosis de estiércol bovino (Factor A) que fue distribuido en las parcelas, y el otro factor dosis de fósforo (Factor B), se distribuyó en las subparcelas. Las dosis de estiércol bovino utilizado fueron de 5.000 kg ha⁻¹ y 10.000 kg ha⁻¹ además de un testigo (sin aplicación). 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 fósforo (P₂O₅) y dosis de estiércol bovino.

Tratamientos	Dosis P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Dosis estiércol bovino (t ha ⁻¹)
T1	0	0
T2	35	0
T3	70	0
T4	105	0
T5	140	0
T6	0	5
T7	35	5
T8	70	5
T9	105	5
T10	140	5
T11	0	10
T12	35	10
T13	70	10
T14	105	10
T15	140	10

Las parcelas y subparcelas fueron divididas a campo según un diseño de bloques completos al azar con 15 tratamientos y 4 repeticiones, totalizando así 60 unidades experimentales (Figura 3). Cada unidad experimental tuvo un área de 15 m² (5 m x 3 m). El total del área utilizada por el experimento fue de 900 m².

Cada unidad experimental fue constituida por seis hileras de maíz con 62.500 plantas ha⁻¹, de las cuales se recolectaron como muestra las plantas ubicadas en el área útil (5,76 m²), dentro de la parte central de las unidades experimentales, evitando el efecto borde.

B-I		B-II		B-II		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	5	70	5	140	10	105
	0		140		105		140
	70		105		0		0
	35		0		35		70
	105		35		70		35
5	35	10	0	0	105	0	140
	105		105		0		105
	0		140		35		0
	70		35		140		35
	140		70		70		70
10	140	0	70	10	140	5	0
	35		0		105		105
	0		105		35		140
	105		35		0		35
	70		140		70		70

20 m

Camino de la finca

45 m
Camino

Figura 3. Disposición de las unidades experimentales en el campo.

El estiércol bovino que fue utilizado provino de la finca en donde se llevó a cabo el experimento y el fósforo aplicado en los diferentes tratamientos se obtuvo a partir del superfosfato simple (00-21-00). También en cada unidad experimental se

aplicaron dosis fijas de N y K₂O (80 y 80 kg ha⁻¹), siendo utilizadas como fuente la urea (45-00-00) y el cloruro de potasio (00-00-60), respectivamente.

3.3 Implantación y manejo del experimento

En primer lugar, se realizó la delimitación del terreno y luego se hizo el encuadre, marcando los bloques para los respectivos tratamientos. Después se delimitó las parcelas y en el momento de realizar la fertilización química se marcaron las subparcelas.

La siembra del maíz fue realizada también de manera manual, en el sistema de siembra directa sobre restos del cultivo anterior que fue maíz con la utilización de una sembradora tipo matraca. El distanciamiento utilizado fue de 0,80 m entre hileras y 0,20 m entre plantas, y se dejó tres semillas por hoyo, procediéndose al raleo a los 22 días de la siembra. La semilla del maíz utilizada fue de la variedad amiláceo GUARANI VS 254, la cual fue tratada con insecticida antes de la siembra.

La aplicación del estiércol bovino se realizó al voleo bien distribuida en toda la parcela según los tratamientos, aproximadamente a 60 días antes de la siembra.

La fertilización mineral se realizó 15 días después de la siembra, la dosis fija de nitrógeno que se utilizó fue de 80 kg ha⁻¹, aplicado el 40% de la dosis fija de nitrógeno junto con la dosis fija de potasio (80 kg ha⁻¹ de K₂O) y las dosis de fósforo (0; 35; 70; 105; 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅). La aplicación de los fertilizantes se realizó en surcos paralelos a las hileras de maíz. La fertilización de cobertura de N (48 kg ha⁻¹ de N) se realizó 45 días después de la primera aplicación, también en surcos.

El control de malezas fue realizado de forma química con la aplicación de glifosato antes de realizarse la siembra. Se utilizó herbicida selectivo para las malezas

resistentes al glifosato (Galat) y 2,4D, también se realizó el control de malezas de forma manual con azada a los 10 días después de la siembra. Se totalizaron tres carpidas durante el ciclo del cultivo. También durante el experimento se realizó dos aplicaciones de insecticida, Afit más piretroide, por la incidencia de insectos.

La cosecha del cultivo se realizó de forma manual, una vez que los granos alcanzaron la madurez fisiológica. La superficie cosechada fue de 5,76 m², correspondiente al área útil de cada unidad experimental.

3.4 Variables a evaluar

Altura total de la planta: se seleccionó y midió ocho plantas del área útil de cada unidad experimental con una cinta métrica, desde el cuello de la planta hasta el ápice de la flor masculina. Los resultados fueron expresados en metros.

Diámetro del tallo: en las mismas ocho plantas que se midió la altura, con la utilización de un paquímetro, se midió el diámetro del tallo, en un punto en el primer nudo. La unidad de medida utilizada fue centímetros.

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

Población de plantas por hectárea: al momento de la cosecha se procedió al conteo de las plantas en el área útil de las unidades experimentales, el resultado fue expresado por hectáreas.

Longitud de la mazorca de maíz: se seleccionó al azar seis espigas pertenecientes a las plantas ubicadas en el área útil, se realizó la medición con una cinta métrica, previa remoción de la chala. Los resultados fueron expresados en centímetros.

Diámetro de la mazorca de maíz: de las mismas mazorcas seleccionadas para la variable anterior, se midió el diámetro con la ayuda del paquímetro y los resultados fueron expresados en centímetros.

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

Peso hectolitro: en una probeta de 1 litro fueron colocadas las semillas hasta completar el volumen correspondiente, posteriormente fue obtenido el peso en kg, el peso obtenido se multiplica por 100, luego los resultados fueron expresados en kg hl⁻¹.

Rendimiento: se determinó una vez desgranadas todas las mazorcas del área útil. Posteriormente se determinó el contenido de humedad de los granos para ajustar el rendimiento al 13 % de humedad del grano. Para obtener rendimiento al 13 % de humedad, se pesó cuatro muestras de granos que fueron llevados a estufa a 60° C por 48 h. Posteriormente se realizaron los cálculos según la fórmula abajo presentada, siendo los resultados presentados en kg ha⁻¹.

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

Masa seca aérea del maíz: se seleccionaron las plantas de las dos hileras centrales del área útil y fueron pesadas. De estas plantas fue obtenida una submuestra para su colocación en estufa a 60°C por 48 h de manera a obtener la humedad y corregir el peso de la materia seca aérea según la fórmula expresada abajo, siendo los resultados expresados en kg ha⁻¹.

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

Índice de cosecha: se obtuvo dividiendo el peso del grano ajustado a 13 % de humedad y la materia seca total (incluyendo peso de granos).

La siguiente formula fue el parámetro de la medición

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

3.5 Métodos de control de calidad de los datos

Cada actividad fue realizada de manera minuciosa, al igual que la manipulación de los datos. El trabajo tanto de campo como de gabinete fueron supervisados por el orientador y coorientador, quienes brindaron sus conocimientos para elaborar el trabajo de manera eficiente.

Los datos fueron controlados conjuntamente mediante los programas informáticos Infostat® y Microsoft Excel® en sus versiones 2018 y 2016, respectivamente.

3.6 Modelo de análisis e interpretación

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza. En los tratamientos en donde hubo diferencias significativas por efecto de tratamientos, se realizó prueba de comparación de medias con el test de Scott Knott al 5% de probabilidad de error o análisis de regresión.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de la planta y diámetro del tallo del maíz

En la Tabla 4 se presenta los valores obtenidos de las variables altura de la planta y diámetro del tallo de la planta de maíz. En las dos variables se pudo observar efectos significativos del factor estiércol bovino, de las dosis de P_2O_5 , así como, interacción del efecto de ambos factores (Anexo 4 y 5).

Tabla 3. Altura de la planta y diámetro del tallo de maíz en función de dosis de estiércol bovino y fertilización fosfatada. Caaguazú 2017/18.

Dosis de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Altura total de planta (m)			Promedio
	Dosis de estiércol bovino (t ha ⁻¹)			
	0	5	10	
0	1,22 c ²	2,01 b ²	2,11 ns ¹	1,78
35	1,71 b	2,11 a	2,16	1,99
70	1,77 b	2,14 a	2,15	2,02
105	1,87 a	2,16 a	2,27	2,1
140	1,90 a	2,24 a	2,21	2,12
Promedio	1,69 C ³	2,13 B	2,18 A	2,00
Diámetro del tallo (cm)				
0	1,49 b ²	1,91 ns ¹	1,86 ns ¹	1,75
35	1,83 a	1,84	1,9	1,85
70	1,78 a	1,89	1,92	1,86
105	1,81 a	2,02	1,94	1,92
140	1,89 a	1,99	1,96	1,94
Promedio	1,76 B ³	1,93 A	1,91 A	1,86

¹no significativo; ²medias seguidas por diferentes letras minúsculas en la columna y ³letras mayúsculas en la línea, difieren entre sí por la prueba de Scott Knott al 5% de probabilidad de error.

El estiércol bovino incrementó la altura de la planta y el diámetro de tallo del maíz. La altura aumentó de forma lineal según la ecuación $y = 0,049x + 1,755$; $R^2 = 0,82$, verificándose un incremento de 0,049 m por cada tonelada adicional de estiércol. El diámetro del tallo aumentó con la aplicación de estiércol bovino, no se verificó efecto significativo por la dosis de 5 t ha⁻¹ y la dosis de 10 t ha⁻¹ de estiércol bovino.

Aplicando dosis crecientes de estiércol bovino Rivas (2018) encontró efecto significativo en la altura de la planta del maíz chipa, con dosis de 7,5 y 15 t ha⁻¹ obteniendo promedios de 2,06 y 2,26 m respectivamente, similar a los obtenidos en este trabajo con las dosis de 5 y 10 t ha⁻¹ de estiércol bovino. Longoria (2000) no encontró efecto significativo para la altura de la planta del maíz por efecto de adición de estiércol bovino obteniendo un promedio de 2 m de altura de la planta.

Longoria (2000) no encontró efecto significativo aplicando dosis de 5 t ha⁻¹ de estiércol bovino para el diámetro del tallo del maíz, obteniendo promedio de 1,93 cm similares a los de esta investigación. Sin embargo, Rivas (2018) constató diferencias significativas en el diámetro del tallo del maíz obteniendo promedios de 2,07 y 2,18 cm con dosis de 7,5 y 15 t ha⁻¹ de estiércol bovino respectivamente.

Por otro lado, la dosis creciente de fósforo elevó la altura de maíz en los tratamientos sin estiércol bovino de forma lineal según la ecuación ($y = 0,0043x + 1,39$); $R^2 = 0,78$, por cada kg de P₂O₅ la altura aumentó 0,0043 m. En la menor dosis de estiércol bovino (5 t ha⁻¹), se ajustó a la ecuación lineal ($y = 0,0015x + 2,03$); $R^2 = 0,93$, donde por cada kg de P₂O₅ aumentó la altura 0,0015 m. A partir de estos resultados se verifica que cuando se aplica estiércol bovino se requiere menos dosis de fertilizante fosfatado para el incremento de la altura del maíz chipa. Cuando se aplicó la mayor dosis de estiércol bovino (10 t ha⁻¹) con las dosis crecientes de fertilización fosfatada, ya no se constató efecto estadístico significativo en la altura de la planta de maíz chipa.

En un trabajo realizado con maíz (P2069) híbrido, De Luna et al (2016) encontraron efectos significativos con la aplicación de estiércol bovino y fertilización inorgánica para la variable de altura de la planta, obteniendo un promedio de 2,62 m con dosis de 10 t ha⁻¹ de estiércol bovino y con dosis de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

En el diámetro del tallo de la planta de maíz se encontró efecto positivo con la aplicación de fósforo sin estiércol bovino, ajustándose a una ecuación cuadrática ($y = -3E-05x^2 + 0,0058 + 1,5411$); $R^2 = 0,77$, mientras que no hubo efecto estadístico significativo al aplicar las dosis de 5 y 10 t ha⁻¹ de estiércol bovino.

Aplicando diferentes dosis de P₂O₅ en el cultivo de maíz Valdez y Gray (2014), no encontraron efecto significativo en la altura de la planta de maíz.

Colman y Ortiz (2014), mencionan que el fósforo favorece el desarrollo del tallo de las plantas. Los valores de altura de la planta del maíz obtenidos están en el rango de altura del maíz mencionado por el MAG (2008), de 2 a 2,50 m, los valores más elevados obtenidos fueron de 2,27 y 2,18 m conseguidos con la interacción y con la dosis de estiércol bovino.

El coeficiente de variación de estas dos variables, altura de la planta 6,13 % y diámetro del tallo 5,91 % indican la confiabilidad de los resultados obtenidos en el trabajo de investigación.

4.2 Cantidad de plantas con mazorca y población de plantas

En la tabla 5 se presenta cantidad de plantas con mazorca y población de plantas del experimento conducido con maíz. En la variable cantidad de plantas con mazorca se observó efecto significativo por la aplicación de estiércol y fertilización fosfatada. En la variable de población de plantas solamente hubo efecto significativo

de la dosis de estiércol bovino. En ambas variables no se verificó interacción entre los factores. El análisis de varianza de estas dos variables se presenta en los Anexos 6 y 7 respectivamente.

Tabla 4. Cantidad de plantas con mazorca y población de plantas con la aplicación de estiércol bovino y fertilización fosfatada. Caaguazú 2017/2018.

Factores	Cantidad de plantas con mazorcas ha⁻¹	Población plantas ha⁻¹
Dosis estiércol bovino (t ha⁻¹)		
0	33.160 b	48.437 b
5	40.538 a	51.215 a
10	43.316 a	53.472 a
Dosis P₂O₅ (kg ha⁻¹)		
0	35.301 b	49.334 ns
35	35.590 b	52.806
70	41.811 a	53.819
105	39.496 a	50.636
140	42.824 a	48.611
CV (%)	16,96	10,23

CV: Coeficiente de variación; ns: no significativo; medias seguidas por diferentes letras en la columna, difieren entre sí por la prueba de Scott Knott al 5% de probabilidad de error.

El estiércol bovino incrementó el número de plantas con mazorcas ajustándose a una ecuación lineal ($y = 1015,6x + 33.927$; $R^2 = 0,94$), donde por cada tonelada de la enmienda orgánica aumentó 1.016 plantas con mazorca ha⁻¹.

Por otro lado, las mayores dosis de fósforo (70 a 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅) también presentaron la mayor cantidad de plantas con mazorca ajustándose a una ecuación cuadrática, ($y = -0,1433x^2 + 74,214x + 34.863$; $R^2 = 0,76$). Se verifica que ambos factores (estiércol bovino y fósforo) afectaron esta variable y estos resultados deben condicionar el rendimiento de granos de maíz.

Rivas (2018) encontró efecto significativo en la variable cantidad de plantas con mazorca en el cultivo de maíz chipa con dosis de estiércol bovino de 7,5 y 15 t ha⁻¹

¹, consiguiendo promedios de 53.683 y 58.929 respectivamente, valores superiores a los de esta investigación, podemos decir que a mayor dosis de estiércol bovino mayor cantidad de plantas con mazorcas habrá, en los rangos de aplicación estudiados.

Con aplicaciones crecientes de fertilización fosfatada Valdez y Gray (2014) encontraron que la cantidad de plantas con mazorcas aumentó por efecto del fósforo en el cultivo de maíz, encontrando un incremento de 3.320 de espigas por hectárea cuando se aplicó fósforo, sosteniendo que mayor cantidad de plantas con espigas causa el incremento del rendimiento del maíz.

En la variable población de planta solo se constató efecto significativo por la aplicación de estiércol bovino, donde el testigo (sin aplicación de estiércol bovino) presentó el menor valor (Tabla 5). Por otro lado, no se constató diferencias en la población de plantas entre los tratamientos con dosis de fósforo, obteniéndose un promedio de 51.042 plantas ha⁻¹. MAG (2008), recomienda para el maíz de 50.000 a 55.000 plantas por hectárea.

La población de plantas es otra variable que define el rendimiento a ser obtenido en los trabajos con maíz, atendiendo que, si falta una planta, el maíz no consigue compensar esta disminución. Esto es afirmado por Vallone et al. (2010), quienes indican que el maíz es un clásico ejemplo de cultivo donde el rendimiento en granos es maximizado a un nivel de población definido.

4.3 Diámetro y longitud de mazorca

En la Tabla 6 se presenta los valores obtenidos de las variables diámetro de la mazorca y longitud de la mazorca de maíz. En las dos variables se pudo observar efectos significativos del factor estiércol bovino y de dosis de P₂O₅, así como, interacción en el efecto de ambos factores (Anexo 8 y 9).

Tabla 5. Diámetro y longitud de mazorcas en función de dosis de estiércol bovino y fertilización fosfatada. Caaguazú. 2017/18.

Dosis P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Diámetro de mazorca (cm)			Promedio
	Dosis estiércol bovino (t ha ⁻¹)			
	0	5	10	
0	3,24 b ²	4,03 ns ¹	4,10 ns ¹	3,79
35	3,91 a	4,07	4,17	4,05
70	3,90 a	4,07	4,14	4,03
105	4,06 a	4,13	4,09	4,09
140	4,01 a	4,06	4,01	4,02
Promedio	3,82 B ³	4,07 A	4,10 A	3,99
Longitud de mazorca (cm)				
0	13,59 c ²	18,16 b ²	19,06 ns ¹	16,93
35	16,74 b	18,31 b	20,09	18,38
70	19,2 a	18,88 b	20,37	19,48
105	18 a	19,95 a	19,95	19,3
140	18,59 a	19,84 a	20,26	19,56
Promedio	17,22 C ³	19,02 B	19,94 A	18,73

¹no significativo; ²medias seguidas por diferentes letras minúsculas en la columna y ³letras mayúsculas en la línea, difieren entre sí por la prueba de Scott Knott al 5% de probabilidad de error.

La aplicación creciente de estiércol bovino incrementó el diámetro y longitud de las mazorcas de maíz. El diámetro de la mazorca aumentó de forma lineal ajustándose a la siguiente ecuación $y = 0,028x + 3,86$; $R^2 = 0,93$, siendo incrementado 0,028 cm con cada tonelada adicional de estiércol bovino. La longitud de mazorca también aumentó de forma lineal ($y = 0,27x + 17,37$; $R^2 = 0,97$) con dosis de estiércol bovino, tuvo un incremento de 0,27 cm con cada tonelada adicional de estiércol bovino. Estas variables están relacionadas con el rendimiento en granos de maíz, lo que indican que la aplicación de estiércol bovino tendrá efecto significativo en el rendimiento de granos de maíz.

Resultados similares a los de este trabajo obtuvo Rivas (2018), quien constató respuesta significativa a las dosis crecientes de estiércol bovino en el cultivo de maíz chipa para las variables de diámetro y longitud de la mazorca, siendo los promedios más altos de 3,59 cm y 15,27 cm, obtenidos con dosis de 15 t ha⁻¹.

Por otro lado, el diámetro de mazorca de maíz varió con las dosis de fósforo en los tratamientos sin estiércol bovino, donde se obtuvo efecto significativo entre las dosis, los resultados se ajustaron a una ecuación cuadrática $y = -7E-05x^2 + 0,0152x + 3,3046$; $R^2 = 0,90$. El diámetro de la mazorca no tuvo efecto significativo por las dosis de fósforo cuando aplicado la enmienda orgánica. Se puede decir que se requiere menos dosis de fósforo cuando se aplica estiércol bovino para aumentar el diámetro de las mazorcas de maíz.

En la longitud de la mazorca de maíz se encontró incrementos con el aumento de las dosis de P_2O_5 solamente en los tratamientos sin estiércol bovino y con 5 t ha^{-1} de estiércol bovino. Los promedios de longitud de mazorcas obtenidos con los tratamientos con dosis de fósforo sin estiércol bovino se ajustan a una ecuación cuadrática $y = -0,0005x^2 + 0,1038x + 13,718$; $R^2 = 0,92$.

Los resultados obtenidos en este trabajo difieren con los obtenidos por Rivas (2018), quien en el mismo local no encontró efecto significativo en las variables de diámetro y longitud de la mazorca del maíz chipa, así como, con el de Duarte (2016), en trabajo realizado en el Departamento de Canindeyú con la misma variedad de maíz.

Duarte (2016), obtuvo promedios en el diámetro y longitud de la mazorca del maíz chipa de 37,61 mm y 17,04 cm respectivamente. Romero (2017), determino promedios de 38,3 mm y 19,01 cm de diámetro y longitud de la mazorca del maíz chipa, respectivamente, realizando fertilización fosfatada utilizando diferentes fuentes de fósforo.

El bajo valor del coeficiente de variación obtenido (3,57 y 5,24%) para el diámetro y longitud de la mazorca del maíz indica la confiabilidad de los resultados obtenidos para las variables evaluadas con la aplicación de estiércol bovino y dosis de fertilización fosfatada.

4.4 Peso de mil semillas y peso hectolítrico

En la tabla 7 se presentan resultados del peso de mil semillas (PMS) y peso hectolítrico (PH) del grano de maíz con la aplicación de dosis creciente de estiércol bovino y fertilización fosfatada. Se constató efecto significativo de la dosis de estiércol en el PMS, no así en la variable PH. Las dosis de P_2O_5 no tuvieron efecto significativo en estas variables evaluadas y no se constató interacción entre los factores evaluados en el PMS y PH. Los análisis de varianza de las dos variables se presentan en los Anexos 10 y 11 respectivamente.

Tabla 6. Peso de mil semillas y peso hectolitrico con aplicación de dosis creciente de estiércol bovino y dosis de fertilización fosfatada. Caaguazú 2017/2018.

Factores	Peso de mil semillas (g)	Peso hectolitrico (kg hl ⁻¹)
Dosis estiércol bovino (t ha⁻¹)		
0	214 b	67,16 ns
5	229 a	68,20
10	235 a	68,07
Dosis P₂O₅ (kg ha⁻¹)		
0	217 ns	67,18 ns
35	229	68,35
70	228	67,89
105	229	68,84
140	226	66,78
CV (%)	8,07	2,7

CV: Coeficiente de variación; ns: no significativo; medias seguidas por diferentes letras en la columna, difieren entre sí por la prueba de Scott Knott al 5% de probabilidad de error.

Para la variable de peso de mil semillas se observa en la tabla 7 el efecto significativo por la aplicación de estiércol bovino, el mayor promedio se obtuvo con la dosis de 10 t ha⁻¹. El estiércol bovino aumentó de forma lineal esta variable según la ecuación $y = 2,1x + 215,5$; $R^2 = 0,94$. Esto nos indica que, por cada tonelada de estiércol el PMS aumenta 2,1 g en el rango estudiado.

Rivas (2018), al igual que en este trabajo constató efecto significativo de la aplicación de estiércol bovino en el peso de mil semillas, utilizando dosis de 15 y 7,5 t ha⁻¹, respectivamente, obtuvo promedios de 241,26 g y 227,27 g en maíz chipa. Por su parte Reichert et al. (2017), también observaron la misma tendencia, aplicando estiércol bovino con los mismos tratamientos, obteniendo similar promedio en esta variable en el mismo cultivo.

Duarte (2016), encontró un promedio de 230 g en peso de mil semillas del cultivo de maíz chipa, con una aplicación de 30 t ha⁻¹ de estiércol bovino. Por su parte Sosa et al. (2013), obtuvieron con una dosis de 13 t ha⁻¹ de estiércol bovino 297 g en el peso de mil semillas de maíz, pero utilizaron el híbrido LT622MG. Estos autores recomiendan aplicar el estiércol bovino 40 días antes de la siembra en el cultivo del maíz.

Los valores promedios de peso de mil semillas obtenidos en esta investigación están por debajo del promedio de la variedad de maíz chipa utilizada en este trabajo de investigación que es de 250 y 255 g según el IPTA (2015).

Por otro lado, en el peso hectolítrico no se verificó efecto estadístico significativo por los factores estiércol bovino y fertilización fosfatada en este trabajo de investigación conducido con maíz chipa.

Las variables peso de mil semillas y peso hectolítrico pueden influenciar en el rendimiento del maíz chipa, a mayor peso de granos mayor será el rendimiento, estas dos variables son importantes para granos de producción harineras, ya que mientras mayores son los granos, mayor es la proporción del endospermo, obteniendo así mayor cantidad de harina de maíz para la comercialización (Jimenez et al. 2012).

4.5 Rendimiento del grano materia seca aérea e índice de cosecha

En la tabla 8 se verifica efecto significativo de la adición de estiércol bovino y dosis de fósforo en el rendimiento de granos, masa seca aérea e índice de cosecha del cultivo de maíz chipa. Por otro lado, no se verifica interacción entre los dos factores en las tres variables evaluadas. (Anexo 12, 13 y 14 respectivamente).

Tabla 7. Rendimiento del grano masa seca aérea e índice de cosecha del maíz con la aplicación de dosis de estiércol y fertilización fosfatada. Caaguazú 2017/2018.

Dosis P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de granos (kg ha ⁻¹)			Promedio
	Dosis estiércol bovino (t ha ⁻¹)			
	0	5	10	
0	715 ns ¹	2.486 ns ¹	3.187 ns ¹	2.129 b ²
35	1.927	3.229	3.712	2.956 a
70	2.728	3.277	4.162	3.389 a
105	2.604	3.878	3.684	3.389 a
140	2.533	3.561	3.694	3.263 a
Promedio	2.101 C ³	3.286 B	3.688 A	3.025
	Materia seca aérea (kg ha ⁻¹)			
0	1.738 ns ¹	3.182 ns ¹	3.243 ns ¹	2.721 b ²
35	2.943	3.597	4.068	3.536 a
70	3.315	3.068	3.897	3.427 a
105	3.026	3.395	3.696	3.372 a
140	3.179	4.114	4.236	3.843 a
Promedio	2.840 B ³	3.471 A	3.828 A	3.380
	Índice de cosecha (%)			
0	27,7 ns ¹	41,1 ns ¹	46,9 ns ¹	38,5 b ²
35	37,7	45,6	46	43,1 a
70	42,8	50	49,4	47,4 a
105	44,7	51,9	47,8	47,8 a
140	42,9	44,8	44,5	44 a
Promedio	39,1 B ³	46,5 A	46,8 A	44,2

¹no significativo; ²medias seguidas por diferentes letras minúsculas en la columna y ³letras mayúsculas en la línea, difieren entre sí por la prueba de Scott Knott al 5% de probabilidad de error.

El rendimiento en granos de maíz chipa tuvo un incremento lineal por la aplicación de estiércol bovino, ajustándose a la ecuación $y = 158,7x + 2.231,5$; $R^2 = 0,92$, indicando un incremento de 159 kg por tonelada adicional de estiércol bovino. El maíz chipa variedad GUARANÍ V 254, según el IPTA (2015), tiene un potencial de rendimiento en granos de 5.200 kg ha^{-1} .

Estos resultados indican la importancia de la reutilización de los residuos orgánicos generados en la propia finca, con esta actividad se evita o disminuye la inversión en fertilizantes químicos, situación de sumo interés, teniendo en cuenta la limitada disponibilidad de recursos con que cuenta el productor de la pequeña propiedad.

Los resultados coinciden con los obtenidos por Reichert et al. (2017), quienes constataron efecto significativo con la aplicación creciente de estiércol bovino (15 y $7,5 \text{ t ha}^{-1}$), obteniendo promedios de 3.613 y 2.899 kg ha^{-1} de granos de maíz chipa, respectivamente. González (2016), con una dosis de 25 t ha^{-1} de estiércol bovino obtuvo un promedio de 4.521 kg ha^{-1} en granos de maíz chipa, esto indica que a mayor tonelada de estiércol bovino se puede conseguir mayor rendimiento en el maíz chipa, en los rangos de aplicación mencionados.

Las dosis de fósforo incrementaron el rendimiento con relación al testigo, el mayor promedio del rendimiento fue de 3.389 kg ha^{-1} con las dosis de 70 y 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 , disminuyendo con la dosis de 140 kg ha^{-1} . El efecto del fósforo en el rendimiento se ajusta a una ecuación cuadrática $y = -0,1364x^2 + 26,811x + 2.150,9$; $R^2 = 0,99$.

Castro et al. (2000), aplicando diferentes dosis de fósforo en maíz también obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento de granos, donde el rendimiento disminuyó con las mayores dosis (180 y 240 kg ha^{-1} de P_2O_5), como en este trabajo. Rivas et al. (2017), también encontraron diferencias significativas en el

rendimiento del maíz chipa por la aplicación de diferentes dosis de fertilización fosfatada obteniendo el mayor rendimiento (3.029 kg ha^{-1}) con la dosis de 140 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

La materia seca aérea de los cultivos representa el excedente que quedara en el campo y funcionara como cobertura del suelo para la protección del mismo y el reciclado de nutrientes. En el experimento esta variable fue influenciada significativamente por la aplicación de dosis creciente de estiércol bovino, incrementando 631 kg ha^{-1} con 5 t ha^{-1} y en 988 kg ha^{-1} con las 10 t ha^{-1} en relación al testigo, posibilitando un mayor aporte de residuos de cultivo, que ayudan en el aumento de la materia orgánica del suelo.

En un experimento aplicando dosis de estiércol bovino Rivas (2018), en el mismo local del presente experimento, constató diferencias significativas en la materia seca del maíz chipa respectivamente con dosis de 15 y $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ alcanzando promedios de 4.811 y 3.720 kg ha^{-1} , respectivamente.

La materia seca también se incrementó por la fertilización fosfatada, no se verificó diferencias significativas entre las dosis 35 y 140 kg ha^{-1} , pero si entre estos tratamientos y el testigo. Estos resultados indican que el fósforo también contribuyó a incrementar la producción de residuos del maíz.

Salvador (2016), encontró diferencias estadísticas en la materia seca del maíz por la aplicación de diferentes fuentes de fósforo, obtuvo un promedio de $11.453 \text{ kg ha}^{-1}$ con la incorporación de superfosfato simple, superiores a los promedios obtenidos en este trabajo. Por otro lado. Romero (2017), observó respuesta estadística a diferentes fuentes de fósforo en la materia seca del maíz.

El índice de cosecha también aumento significativamente con la aplicación estiércol bovino. El mayor índice de cosecha se obtuvo con la dosis de 10 t ha⁻¹ (46,8%), esta variable fue influenciada por la materia seca aérea y por el rendimiento de granos de maíz. Se generó un efecto a la producción total obtenida (grano y materia seca). En este estudio se constató diferencias en la variable entre las dos dosis de estiércol bovino aplicado 5 t y 10 t ha⁻¹.

En el índice de cosecha también se verificó un incremento por la aplicación de fósforo en relación al testigo, pero, así como en la variable rendimiento de grano y materia seca aérea, no se encontró diferencias significativas en esta variable entre las dosis de fósforo aplicada (35 a 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Con las dosis de fertilización fosfatada tampoco se pudo alcanzar la expectativa de producción del maíz, esto puede deberse a factores del suelo, ya que no se realizó aplicación de cal agrícola en las parcelas y el fósforo necesario para el maíz podría no estar suficientemente en la solución del suelo, podría ser que con una mayor dosis aumente el rendimiento. Con respecto a esto Coelho (2006), indica que el maíz al ser de ciclo corto necesita de mayores cantidades de fósforo en solución del suelo durante el ciclo de cultivo.

Otros factores que pudieron haber condicionado el rendimiento fue la incidencia de malezas en la parcela, la presencia de plagas y los factores climáticos durante el ciclo del cultivo, como la precipitación. En el mes de febrero, se registró baja precipitación (Figura 1) donde los granos estaban en pleno proceso de desarrollo, en este ciclo es donde el maíz requiere de buena cantidad de agua. Cabe mencionar también que la siembra se realizó en forma tardía (noviembre), según el MAG (2008), la época ideal para la siembra del maíz chipa es de julio a setiembre.

5. CONCLUSIÓN

En las condiciones en el que se realizó esta experimentación podemos concluir lo siguiente:

La aplicación de estiércol bovino incrementa la altura de la planta, el diámetro del tallo, diámetro y longitud de la mazorca, cantidad de plantas con mazorcas, población de plantas, peso de mil semillas el rendimiento en granos, la materia seca aérea y el índice de cosecha del cultivo de maíz chipa.

La fertilización fosfatada incrementa la cantidad de plantas con mazorcas, el rendimiento, la masa seca aérea y el índice de cosecha del cultivo de maíz chipa.

Las variables altura de la planta, diámetro del tallo, diámetro y longitud de la mazorca de maíz chipa incrementan significativamente por la fertilización fosfatada sin la aplicación de estiércol bovino. Con la incorporación de 10 t ha^{-1} de estiércol bovino estas variables no responden significativamente a las dosis de fósforo.

La aplicación de estiércol bovino produjo incremento en las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz chipa, reduciendo el requerimiento de la fertilización fosfatada.

6. REFERENCIAS

- Afit, E; Palencia, P; Oliveira, A. 2013. Aplicación de fuentes de fósforo al suelo en diferentes cortes de césped cultivado (en línea) España. Consultado 11 nov. 2018. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n6/v47n6a3.pdf>.
- Acosta, R. 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. Cultivos Tropicales (en línea) Consultado 16 jul 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215047017>.
- Álvarez, R; Rubio, G; Álvarez, C; Lavado, R. 2010. Fertilidad de suelos: caracterización y manejo en la región pampeña. 1 ed. Buenos Aires, Argentina Editorial Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 349 p.
- Angulo, P. 2017. El maíz en Paraguay. Basesis. 4p. (Seria Técnica). Informe técnico n.º 12.
- Asturias, M. 2004. Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre. (en línea). Quito, Ec. Consultado 31 ene. 2018. Disponible en http://www.rallt.org/PUBLICACIONES/maiz_alimento%20sagrado.pdf.
- Aquino, M. 2014. Unidad de estudio agroeconómico: serie histórica por departamento y por rubros agrícolas y pecuarios (en línea) Asunción, Py. Consultado 24 mar. 2018. Disponible en <http://www.mag.gov.py/dgp/ZONIFICACION%20AGROECOLOGICA%20ZAFRA%202012%202013.pdf>.

- 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>.
- 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, Paraguay. FCA, Universidad Nacional de Asunción. 60p.
- 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): 87-92.
- Camas, R; Turrent, A; Cortes, J; Livera, M; Gonzalez, A. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México (en línea) Chiapas, Mx. Consultado 15 ene. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n2/v3n2a2.pdf>.
- Cerón, L; Aristizábal, F. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos (en línea) Consultado 15 ene. 2019. Disponible en <file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-DinamicaDelCicloDelNitrogenoYFosforoEnSuelos-4194085.pdf>.
- Castro, L; Assis, F; de França, I; Pereira, A. 2000. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicado ao solo (en línea) Campinas. Consultado 23 nov. 2018. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v4n3/v4n3a05.pdf>.
- Coelho, AM. 2006. Circular técnica 78 Embrapa, Nutrição e Adubação do Milho (en línea) Sete lagoas, Br. Consultado 2 mar. 2018. Disponible en <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.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.
- Colman, P; Ortiz, O. 2014. Inoculación con *Pseudomonas fluorescens* y aplicación de diferentes dosis de fertilizante fosfatado en maíz (*Zea mays*) (en línea) Valparaíso, CH. Consultado 24 set. 2018. Disponible en: http://ns2.une.edu.py:7004/repositorio/bitstream/handle/123456789/286/7_colman_patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- CPHA (California Plant Health Association). 2009. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. México. Limusa. 380 p.
- 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. 2018. Disponible en: http://capeco.org.py/wpcontent/uploads/2015/06/libro-final_recomendaciones-de-fertilizacionparaguay_2012.pdf.
- De Luna, A; García, ML; Rodríguez, E; Pimienta, E. 2016. Evaluación de composta, vermicomposta y excreta de bovino en la producción de maíz (*Zea mays* L.) (en línea) Guadalajara, Mx. Consultado 25 feb. 2018. Disponible en http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol3num8/Revista_Ciencias_Naturales_V3_N8_7.pdf.
- Duarte Monzón, AD. Fertilización fosfatada con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipá (*Zea mays* var. amiláceo L.). Tesis de grado. San Lorenzo, Paraguay. FCA, Universidad Nacional de Asunción. 78p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001 El maíz en los trópicos, Mejoramiento y producción. Roma. 376 p.
- Garro, J. 2016. El suelo y los abonos orgánicos (en línea) San José, CR. Consultado 1 set. 2018. Disponible en: http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/04/El_Suelo_y_los_Abonos_Organicos-min.pdf.

- 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 (en línea) Santa Catarina. Br. Consultado 20 jul. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n4/a10v31n4.pdf>.
- González, J; Ruiz Díaz, R. 2004. Producción de maíz (*Zea moflz L.*) en función a la fertilización fosfatada, complementado con fertilizante follar. Investigación Agraria. 6(1): 31-34.
- González Cáceres, E. 2016. Dosis de nitrógeno con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipa (*Zea mays* var. amiláceo L.). Tesis de grado. San Lorenzo, Paraguay. FCA, Universidad Nacional de Asunción. 74 p.
- González, U. 1995. El maíz y su conservación. México. Editorial Trillas. 399 p.
- 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.
- IICA (Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura). s.f. Guía técnica. El cultivo de maíz (en línea) Consultado 24 feb. 2018. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>.
- IICA (Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura). 2015. Maíz (en línea) Consultado 25 feb. 2018. Disponible en <http://www.iica.org.py/observatorio/maiz.htm>.
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2010. Guía tecnológica. Cultivo del maíz (*Zea mays L.*) (en línea) Managua, Nic. Consultado 24 feb. 2018. Disponible en <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20MAIZ%202010%20DA%20EDICION.pdf>.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). s.f. Bases para el manejo del cultivo de Maíz (en línea) Consultado 24 feb. 2018. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_bases_para_el_manejo_de_maiz_reglon_100-2_2.pdf.

- IPTA (Instituto Paraguayo de Tecnología Agrícola, PY). 2015. Programa de investigación de maíz, sorgo y girasol. Capitán Miranda, PY, IPTA-IMBIO. 2 p.
- Jaramillo, C; Escobar, N; Romero, NJ. 2016. Efecto de abonos orgánicos en la productividad de alimentos base de agricultura familiar: maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (en línea) Consultado 25 feb. 2018. Disponible en <http://iicta.bogota.unal.edu.co/wp-content/uploads/2017/02/770D024.pdf>.
- Jorge Prieto, MV. 2012. Clasificación del nivel de fosforo disponible del suelo de la Región Oriental del Paraguay. Tesis de Grado. San Lorenzo, Paraguay. FCA – Universidad Nacional de Asunción. 68p.
- Jiménez, JA; Arambula, G; De la Cruz, E; Aparicio, MA. 2012. Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano (en línea) Consultado 24 oct. 2018. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v28n2/v28n2a4.pdf>.
- Labrador, J; Guiberteau, A; López, L; Reyes, J. 1993. La materia orgánica en los sistemas agrícolas: Manejo y utilización (en línea) Madrid, Es. Consultado 24 set. 2017. Disponible en http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_03.pdf.
- Lesur, L. 2005. Manual del cultivo de maíz, Una guía paso a paso, México. Editorial Trillar. 80 p.
- Longoria Garza, CS. 2000. Fertilización orgánica con estiércol bovino en diferentes fechas y dosis de aplicación en maíz blanco hualahuisés. Tesis de maestría. Nuevo León. México. Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. 90p.
- López, J; Díaz, A; Martínez, E; Valdez, R. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz (en línea) Durango, Mx. Consultado 25 mar. 2018. Disponible en <https://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art293-299.pdf>.

- López, O; González, E; De Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Ríos, E. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos y de capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar para la región oriental del Paraguay. Asunción, Paraguay. SSERNMA/Banco Mundial. 246 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2009. Censo agropecuario nacional 2008 volumen iv (en línea) Consultado 20 jul. 2018. Disponible en <http://www.mag.gov.py/Censo/Book%20Vol4.pdf>.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2008. Cultivo de maíz (en línea) Consultado 17 feb. 2018. Disponible en <https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/Cultivo+de+Ma%C3%A4Dz.pdf>.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería); GTZ (Cooperación técnica alemana). 2008. Sistemas sostenibles de producción: para los principales cultivos agrícolas, hortícolas, forestales y agroforestales de la Región Centro del Paraguay (en línea) Asunción, Py. Consultado 25 feb. 2018. Disponible en <http://www.stp.gov.py/cooperacion/giz/wp-content/uploads/2015/05/SIST-SOSTENIBLES-PRODUCCION.pdf>.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2010. Diagnóstico de rubros agrícolas (en línea) Consultado 24 feb. 2018. Disponible en <http://www.mag.gov.py/dgp/DIAGNOSTICO%20DE%20RUBROS%20AGRICOLAS%201991%202008.pdf>.
- MAG/DEAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería); (Dirección de Extensión Agraria). 2010. Guía técnica de rubros agropecuarios, Campaña agrícola 2009 – 2010 (en línea) San Lorenzo, Py. Consultado 18 feb. 2018. Disponible en <https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/guia+tecnica.pdf>.
- Mallarino, A. 2005. Criterios de fertilización fosfatada en sistemas de agricultura continua con Maíz y Soja en el cinturón del Maíz (en línea) Iowa, EEUU. Consultado 25 feb. 2018. Disponible en [http://projects.ppi-far.org/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/C11DB63F02582394032570D2005444E1/\\$file/Mallarino-P+en+Ma%C3%ADzSoja+en+EEUU.pdf](http://projects.ppi-far.org/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/C11DB63F02582394032570D2005444E1/$file/Mallarino-P+en+Ma%C3%ADzSoja+en+EEUU.pdf).

- 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
- Meurer, E 2000. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre, BR: Génesis. 174p.
- Miranda, DG; Iribas, A. 2009. Efecto de la enmienda orgánica en la producción y calidad forrajera del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) en el departamento de Paraguarí. Investigación Agraria. 11(1): 23-28.
- Navarro, S; Navarro, G. 2003. Química Agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2 ed. España. Ediciones Mundi-Prensa. 479 p.
- Nieto, A; Murillo, B; Troyo, E; Beltrán, A; Ruíz, F; García, J. 2016. Aprovechamiento de residuos orgánicos de origen animal, vegetal y doméstico para la elaboración y uso de composta en la agricultura orgánica. (Facultad de Ciencias Agrarias y Zootecnia, Universidad Juárez del estado de Durango). Agricultura orgánica, Tercera parte. (en línea). Durango, Mx. Consultado 24 set. 2017. Disponible en http://faz.ujed.mx/Posgrado/maos/AUTOEVALUACION/CATEGORIAS/3-PERSONAL_ACADEMICO/9.1-LIBROS/9.1.2-LINEA%20MANEJO%20SUST.%20AGUA-SUELO/Libro%20de%20agricultura%20organica%20TERCERA%20PARTE%202010.pdf.
- Ortas, L. 2008. El cultivo del maíz, fisiología y aspectos generales (en línea) Ar. Consultado 31 ene. 2018. Disponible en <https://rdu-demo.unc.edu.ar/bitstream/handle/123456789/703/Agrigan%20bolet%C3%ADn%207.pdf?sequence=1>.
- Paniagua, J; Servín, A. 2017. Efecto de la adición de calcáreo y materia orgánica en el rendimiento de las raíces de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). II Congreso paraguayo de ciencia del suelo V Simposio paraguayo de manejo y conservación de suelos. 57 – 60.
- Parra JC; Ramirez R; Lobo D; Subero N; Sequera O. 2011. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) en la etapa temprana a las formas de aplicación de fósforo (en línea)

- Yaracuy Vz. Consultado 16 mar. 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259622715_Respuesta_del_maiz_Zea_mays_Len_la_etapa_temprana_a_las_formas_de_aplicacion_de_fosforo.
- Peroni Mayans, RS. 2005. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el tenor de fosforo de cinco suelos del Paraguay y el crecimiento del maíz -*Zea mays* L. Tesis de grado. San Lorenzo. Paraguay. FCA – Universidad Nacional de Asunción. 55 p.
- Peroni, RS; Rasche, J. 2007. Efectos de la fertilización fosfatada sobre el tenor de fosforo de cinco suelos del Paraguay y el crecimiento de maíz (*Zea mays* L). *Investigación Agraria*. 9(2): 46-50.
- Picone, L; Zamuner, E. 2002. Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica (en línea) Consultado 11 feb. 2018. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/E8E2F139150F1B6D8525799C0058C6C3/\\$FILE/nota3.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/E8E2F139150F1B6D8525799C0058C6C3/$FILE/nota3.pdf).
- Plaster, EJ. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. México. Editorial Paraninfo. 419 p.
- Porta, J; López-Acevedo, M; Roquero, C. 2003. Edafología para la agricultura y el mundo. 3 ed. Barcelona. Mundi Prensa. 960 p.
- Prado, RM; Fernández, FM; Roque, CG. 2001. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção (en línea) Sao Paulo, Br. Consultado 16 mar. 2019. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n1/09.pdf>.
- Reichert, A; Rivas, A; Carballo, R; Sanabria, M; González, A; Leguizamón, C. 2017. Evaluación de dosis de nitrógeno y enmienda orgánica en el cultivo de maíz chipa (*Zea mays var. amilaceo* L.). II Congreso paraguayo de ciencia del suelo V Simposio paraguayo de manejo y conservación de suelos. 177 – 179.
- Rheinheimer, D; Anghinoni I. 2001. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 36(1):151-160.
- Rivas, AM; Reichert, AB; Sanabria, MF; Carballo, RW; Britos, CA; Leguizamón, CA. 2017. Fertilización fosfatada y adición de estiércol bovino en maíz

chipa (*Zea mays* L. var. amiláceo), en el distrito de Caaguazú. II Congreso paraguayo de ciencia del suelo V Simposio paraguayo de manejo y conservación de suelos. 183 – 185.

- Rivas Mendieta, AM. 2018. Fertilización fosfatada con estiércol bovino en la producción de maíz chipa. Tesis de grado. San Lorenzo. Paraguay. FCA – Universidad Nacional de Asunción. 53 p.
- Romero Riveros, VD. 2017. Fuentes de fósforo y promotores de crecimiento (pgpr) en maíz chipá (*zea mays* l. var. amilácea sturtev.) (año II). Tesis de grado. San Lorenzo. Paraguay. FCA – Universidad Nacional de Asunción. 72 p.
- Rodríguez; JL; Rabery, SH. 2003. Rendimiento del maíz amiláceo variedad avati moroti sembrado en dos épocas y tres distancias entre hileras. Investigación Agraria. 5(2): 30-36.
- Salazar, E; Idilio, H; Vázquez, C; López, J; Chavarria, A. 2010. Producción orgánica de maíz. (220-240). (Facultad de Ciencias Agrarias y Zootecnia, Universidad Juárez del estado de Durango). Agricultura orgánica, Tercera parte. (en línea). Durango, Mx. Consultado 24 set. 2017. Disponible en http://faz.ujed.mx/Posgrado/maos/AUTOEVALUACION/CATEGORIAS/3-PERSONAL_ACADEMICO/9.1-LIBROS/9.1.2-LINEA%20MANEJO%20SUST.%20AGUA-SUELO/Libro%20de%20agricultura%20organica%20TERCERA%20PARTE%202010.pdf.
- Salvador Muller, LS. 2016. Fuentes de fósforo con promotores de crecimiento (pgpr) en cultivo de maíz chipa (*Zea mays* L. var. amylycea Sturtev.). Tesis de grado. San Lorenzo. Paraguay. FCA – Universidad Nacional de Asunción. 70 p.
- Sanabria Franco, MF. 2016. Fertilización fosfatada con enmienda orgánica en el cultivo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis de grado. San Lorenzo. Paraguay. FCA – Universidad Nacional de Asunción. 54 p.
- Sosa, N; Gambaudo, S; Fontanetto, H; Keller, O. 2013. Aplicación de enmienda orgánica en un cultivo de maíz. INTA Rafaela (en línea) Consultado 7 nov. 2018. Disponible en:

http://rafaela.inta.gov.ar/publicaciones/documentos/miscelaneas/118/misc118_p125.pdf.

Taiz, L; Zeiger, E; Moller, I; Murphy, A. 2017. Fisiología e desenvolvimiento vegetal. 6ª Ed. Porto alegre. Brasil. Artmen. 888 p.

Trinidad, A; Velasco, J. 2016. Importancia de materia orgánica en el suelo (en línea) Consultado 29 abr. 2018. Disponible en http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2016/AGROPRODUCTIVIDAD_VIII_2016.pdf.

Valdez, A; Gray, M. 2014. Fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en maíz. III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, PY. Pág.: 295 - 297 (en líneas). Consultado 26 jul. 2018. Disponible en: <http://www.agr.una.py/descargas/tapas/IICNCA2014.pdf>.

Vallone, P; Gudelj, V; Galarza, C; Masiero, B; Ferreira, L; Canale, A. 2010. Ensayo de densidad y distancia de siembra de maíz. INTA (en línea) Consultado 28 nov. 2018. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-10_1.pdf.

ANEXO

Anexo 1. Precipitación ocurrida durante el experimento y el ciclo del cultivo de maíz (setiembre 2017, marzo 2018).

Días	2017				2018		
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1					17,6		57,4
2			17,8				
3			50	10,4			60,6
4			10,8				26,3
5							
6		32,2		6,5	31,8		
7		2,6					
8		4,6					
9		39,8					
10	7,7				14,2	45,4	5
11					1,2	2,3	
12					42,7		3,7
13		0,5					
14	32,5	1			18		
15	36,9						12,5
16			11,8			5,8	1,1
17			28,8				
18		0,2				40,4	
19		1		116,8		17,3	
20		1		15,4	3,6		
21		35,6		0,5	20,2		
22				93,9			
23				4,2			35,8
24		31,2	0,8		2,2		1,2
25		134,8	89,6				15,4
26		36,8		51,2	0,5		1,4
27		28,8		6,2		29,3	
28	6,8			4	71,6	1,3	
29		44,4	9,4	2,6			
30							
31							
Total	83,9	394,5	219	311,7	223,6	141,8	220,4
Media histórica	127,9	211,9	198,4	176	151,3	178,8	149,3

Fuente: Dirección de Meteorología e Hidrología, DMH/DINAC y procesados por la División de Meteorología de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNA.

Anexo 2. Variables evaluadas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estierco bovino. Caaguazú 2017/2018.

Trat y rep	Altura total de planta (m)	Diámetro del tallo (cm)	Cantidad de plantas con mazorca (ha)	Población de plantas (ha)	Diámetro de mazorcas (cm)	Longitud de mazorcas (cm)
T1R1	1,3	1,5	20.833	41.666,6	3,5	13,4
T1R2	1,3	1,4	22-569	31.250	3,1	14,7
T1R3	1,1	1,3	27.778	53.819,4	3,1	13
T1R4	1,2	1,5	27.778	46.875	3,2	13,2
T2R1	1,8	1,8	26.042	52.083,3	4,2	17,3
T2R2	1,9	1,7	32.986	46.875	3,7	18,4
T2R3	1,5	1,6	29.514	50.347,2	3,7	16,7
T2R4	1,4	2	31.250	50.347,2	3,9	14,4
T3R1	1,9	1,8	38.194	43.402,7	3,7	19,7
T3R2	1,7	1,5	41.667	60.763,8	3,9	19,7
T3R3	1,6	1,6	29.512	52.083,3	4,1	18,7
T3R4	1,7	2,1	38.194	57.291,6	3,8	18,5
T4R1	1,9	1,7	32.986	45.138,8	4,2	16,8
T4R2	1,9	1,7	41.667	52.083,3	3,9	17,7
T4R3	1,8	1,8	34.722	46.875	4,2	19,3
T4R4	1,7	2	34.722	53.819,4	3,9	18,1
T5R1	1,9	2	34.722	41.666,6	4,4	18
T5R2	2,1	1,9	43.403	41.666,6	4,1	20
T5R3	1,8	1,8	34.722	55.555,5	3,8	17,3
T5R4	1,7	1,8	39.931	45.138,8	3,7	19
T6R1	2,2	2,1	29.514	43.402,7	4,3	17,8
T6R2	1,8	1,8	26.042	46.875	3,9	18,9
T6R3	2,1	1,7	41.667	59.027,7	4	17,4
T6R4	1,8	1,9	48.611	57.291,6	3,8	18,4
T7R1	2,2	1,8	31.250	48.611,1	4,3	17,1
T7R2	2,1	1,7	39.931	46.875	3,8	18,7
T7R3	2,1	1,8	34.722	55.555,5	3,9	19,2
T7R4	1,8	1,9	46.875	59.027,7	4,1	18,1
T8R1	2,5	2,1	34.722	46.875	4,2	18,8
T8R2	2,1	1,8	38.194	52.083,3	3,9	19,5
T8R3	2,1	1,7	50.347	52.083,3	4,1	18,8
T8R4	1,9	1,8	53.819	55.555,5	4,1	18,3
T9R1	2,2	2,1	38.194	46.875	4,2	19,5
T9R2	2,2	2	45.139	48.611,1	3,9	20,6
T9R3	2,	1,9	34.722	43.402,7	4,1	19,9
T9R4	2,1	2	45.139	59.027,7	4,1	19,5
T10R1	2,4	2,1	34.722	46.875	4,4	19,8

Anexo 3. Variables evaluadas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estierco bovino. Caaguazú 2017/2018 (Continuación).

Trat y rep	Altura total de planta (m)	Diámetro del tallo (cm)	Cantidad de plantas con mazorca (ha)	Población de plantas (ha)	Diámetro de mazorcas (cm)	Longitud de mazorcas (cm)
T10R2	2,1	1,9	32.986	46.875	3,9	19,1
T10R3	2,3	1,9	52.083	50.347	4,1	19,9
T10R4	2	2	52.083	59.027	3,8	20,3
T11R1	2,3	2,1	41.667	55.555	4,4	19,6
T11R2	2,1	1,7	62.500	53.819	4,1	18,4
T11R3	2,1	1,8	32.986	46.875	4	17,3
T11R4	2	1,7	41.667	55.555	3,9	20,8
T12R1	2,4	2,1	41.667	55.555	4,2	20,1
T12R2	2,3	1,9	39.931	62.500	4,2	22,4
T12R3	2	1,7	36.458	52.083	3,9	18
T12R4	1,8	1,7	36.458	53.819	4,1	19,8
T13R1	2,3	1,9	45.139	57.291	4,2	19,8
T13R2	1,9	1,8	39.931	46.875	4,2	20,7
T13R3	2,2	2	41.667	60.763	4,1	19,3
T13R4	2,1	1,8	50.347	60.763	4	21,5
T14R1	2,5	2,1	29.512	46.875	4,1	20,8
T14R2	2,2	1,8	46.875	55.555	4,2	20,3
T14R3	2,1	1,9	34.722	53.819	4,1	18,7
T14R4	2,2	1,9	55.556	55.555	3,9	19,9
T15R1	2,3	2	46.875	46.875	4	19,7
T15R2	2,3	1,9	52.083	48.611	4,1	20,1
T15R3	2,1	2,1	38.194	43.402	3,9	19,5
T15R4	2,1	1,7	52.083	57.291	4	21,6

Anexo 4. Variables medidas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estierco bovino. Caaguazú 2017/2018.

Trat y rep	Peso de mil semillas (g)	Peso hectolitrico (kg hl ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Materia seca aérea (kg ha ⁻¹)	Índice de cosecha (%)
T1R1	206,6	64,5	739	1.658	29
T1R2	186,6	66,2	701	2.068	24
T1R3	190	65,1	701	1.840	26
T1R4	236,6	65	720	1.384	32
T2R1	233,3	68,3	2.102	2.844	40
T2R2	216,6	67,6	2.330	3.483	38
T2R3	220	67,3	1.686	2.190	41
T2R4	226,6	68	1.591	3.255	31
T3R1	233,3	69,4	3.068	3.407	45

Anexo 5. Variables medidas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estierco bovino. Caaguazú 2017/2018 (Continuación).

Trat y rep	Peso de mil semillas (g)	Peso hectolitrico (kg hl⁻¹)	Rendimiento (kg ha⁻¹)	Materia seca aérea (kg ha⁻¹)	Índice de cosecha (%)
T3R2	220	69,1	2.993	3.179	46
T3R3	206,6	67,4	2.084	2.966	39
T3R4	186,6	65	2.765	3.711	41
T4R1	223,3	75	2.424	2.555	47
T4R2	200	67,1	2.784	4.334	37
T4R3	233,3	68,6	2.898	2.859	48
T4R4	216,6	66,1	2.311	2.357	47
T5R1	216,6	65,5	2.860	2.646	50
T5R2	236,6	66,3	2.576	4.137	36
T5R3	196,6	69,6	2.065	3.604	34
T5R4	196,6	62	2.633	2.327	51
T6R1	253,3	69,6	2.557	3.331	41
T6R2	200	66,1	1.515	2.722	34
T6R3	196,6	70,8	2.803	3.163	45
T6R4	216,6	67,4	3.068	3.513	44
T7R1	230	66,3	3.239	3.118	49
T7R2	206,6	68,6	3.201	2.692	52
T7R3	210	68,1	2.765	4.000	39
T7R4	243,3	70,4	3.712	4.578	43
T8R1	283,3	70,2	3.409	3.437	48
T8R2	210	66,9	2.576	2.220	52
T8R3	206,6	68,6	3.618	2.874	55
T8R4	220	66,3	3.504	3.741	46
T9R1	236,6	69,6	3.675	3.452	49
T9R2	226,6	68,8	4.338	3.300	55
T9R3	266,6	71,8	3.788	3.483	50
T9R4	256,6	68,2	3.712	3.346	50
T10R1	263,3	67,6	3.296	5.232	37
T10R2	206,6	64,3	2.898	2.616	50
T10R3	203,3	66,3	4.262	4.289	48
T10R4	246,6	68	3.788	4.319	45
T11R1	240	68,4	4.281	4.045	49
T11R2	206,6	68,3	3.409	3.011	51
T11R3	243,3	69,9	2.178	2.905	41
T11R4	230	64,8	2.879	3.011	47
T12R1	263,3	71,2	4.508	4.760	46
T12R2	240	68,4	3.997	5.201	41
T12R3	203,3	69,6	3.315	2.737	53
T12R4	260	66,4	3.031	3.574	44
T13R1	250	66,5	4.527	3.787	52

Anexo 6. Variables medidas en función a las dosis de fertilización fosfatada y estierco bovino. Caaguazú 2017/2018 (Continuación).

Trat y rep	Peso de mil semillas (g)	Peso hectolitrico (kg hl ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Materia seca aérea (kg ha ⁻¹)	Índice de cosecha (%)
T13R2	236,6	69,1	3.883	3.452	51
T13R3	246,6	71	3.580	4.061	45
T13R4	240	65,2	4.659	4.289	50
T14R1	253,3	67,6	3.334	4.380	41
T14R2	233,3	69,2	4.773	3.209	58
T14R3	193,3	68,5	3.125	3.391	46
T14R4	213,3	65,6	3.504	3.802	46
T15R1	246,6	69,1	3.883	5.110	41
T15R2	233,3	67,7	4.546	2.935	59
T15R3	236,6	68,1	2.424	3.680	38
T15R4	233,3	66,8	3.921	5.216	41

Anexo 7. Análisis de varianza altura total de la planta.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Altura de planta (m)	60	0,89	0,84	6,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	50841,21	17	2990,66	19,87	<0,0001
Bloque	8113,43	3	2704,48	17,97	<0,0001
Factor A	28784,72	2	14392,36	95,62	<0,0001
Factor B	8734,05	4	2183,51	14,51	<0,0001
Factor A*Factor B	5209	8	651,12	4,33	0,0007
Error	6322	42	150,52		
Total	57163,21	59			

Anexo 8. Análisis de varianza diámetro del tallo.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Diámetro del tallo (cm)	60	0,69	0,56	5,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,12	17	0,07	5,39	<0,0001
Bloque	0,25	3	0,08	6,88	0,0007
Factor A	0,36	2	0,18	14,57	<0,0001
Factor B	0,27	4	0,07	5,52	0,0012
Factor A*Factor B	0,24	8	0,03	2,47	0,0274
Error	0,51	42	0,01		
Total	1,63	59			

Anexo 9. Análisis de varianza cantidad de plantas con mazorca.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Cantidad de plantas c/ mazorca (ha ⁻¹)	60	0,59	0,42	16,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2606776710	17	153339806,4	3,5	0,0005
Bloque	647826154,8	3	215942051,6	4,93	0,005
Factor A	1102048088	2	551024043,8	12,59	0,0001
Factor B	576995261,5	4	144248815,4	3,29	0,0195
Factor A*Factor B	279907205,7	8	34988400,71	0,8	0,6066 ^{ns}
Error	1838790908	42	43780735,91		
Total	4445567618	59			

Anexo 10. Análisis de varianza población de plantas.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Población de plantas (ha)	60	0,49	0,28	10,23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1091499486	17	64205852,1	2,35	0,0124
Bloque	439252186,3	3	146417395,4	5,37	0,0032
Factor A	254388503,2	2	127194251,6	4,66	0,0149
Factor B	237811053,1	4	59452763,28	2,18	0,0879 ^{ns}
Factor A*Factor B	160047743,1	8	20005967,89	0,73	0,6617 ^{ns}
Error	1146154836	42	27289400,85		
Total	2237654321	59			

Anexo 11. Análisis de varianza diámetro de la mazorca.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Diámetro de espiga (cm)	60	0,8	0,72	3,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,44	17	0,2	9,91	<0,0001
Bloque	0,66	3	0,22	10,84	<0,0001
Factor A	0,91	2	0,46	22,29	<0,0001
Factor B	0,68	4	0,17	8,36	<0,0001
Factor A*Factor B	1,18	8	0,15	7,23	<0,0001
Error	0,86	42	0,02		
Total	4,3	59			

Anexo 12. Análisis de varianza longitud de la mazorca.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Longitud de espiga (cm)	60	0,82	0,74	5,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	180,28	17	10,6	11,02	<0,0001
Bloque	9,05	3	3,02	3,13	0,0354
Factor A	76,89	2	38,44	39,94	<0,0001
Factor B	58,85	4	14,71	15,28	<0,0001
Factor A*Factor B	35,49	8	4,44	4,61	0,0004
Error	40,42	42	0,96		
Total	220,7	59			

Anexo 13. Análisis de varianza peso de mil semillas.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Peso de mil semillas (g)	60	0,52	0,32	8,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15090,9	17	887,7	2,66	0,005
Bloque	6394,29	3	2131,43	6,39	0,0011
Factor A	4686	2	2343	7,03	0,0023
Factor B	1275,46	4	318,86	0,96	0,4413 ^{ns}
Factor A*Factor B	2735,15	8	341,89	1,03	0,4323 ^{ns}
Error	14001,08	42	333,36		
Total	29091,98	59			

Anexo 14. Análisis de varianza peso hectolitrico.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Peso hectolitrico (kg hl ⁻¹)	60	0,48	0,27	2,7

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	131,74	17	7,75	2,31	0,0141
Bloque	54,2	3	18,07	5,38	0,0032
Factor A	12,9	2	6,45	1,92	0,1593 ^{ns}
Factor B	34,04	4	8,51	2,53	0,0542 ^{ns}
Factor A*Factor B	30,6	8	3,82	1,14	0,3583 ^{ns}
Error	141,06	42	3,36		
Total	272,8	59			

Anexo 15. Análisis de varianza rendimiento de granos.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	60	0,79	0,7	17,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	46166027,96	17	2715648,7	9,25	0,0001
Bloque	1636630,06	3	545543,35	1,86	0,1514
Factor A	27208359,47	2	13604179,73	46,34	<0,0001
Factor B	13539104,56	4	3384776,14	11,53	<0,0001
Factor A*Factor B	3781933,88	8	472741,74	1,61	0,151 ^{ns}
Error	12330551,38	42	293584,56		
Total	58496579,34	59			

Anexo 16. Análisis de varianza materia seca aérea.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Materia seca aérea (kg ha ⁻¹)	60	0,52	0,32	21,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	23086088,38	17	1358005,2	2,66	0,0051
Bloque	1598622,49	3	532874,16	1,04	0,3835
Factor A	10008318,6	2	5004159,3	9,79	0,0003
Factor B	8098323,48	4	2024580,87	3,96	0,0081
Factor A*Factor B	3380823,81	8	422602,98	0,83	0,5836 ^{ns}
Error	21459353,51	42	510936,99		
Total	44545441,89	59			

Anexo 17. Análisis de varianza índice de cosecha.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Índice de cosecha (%)	60	0,58	0,42	12,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1892,34	17	111,31	3,47	0,0005
Bloque	48,3	3	16,1	0,5	0,6827
Factor A	758,88	2	379,44	11,84	<0,0001
Factor B	676,37	4	169,09	5,28	0,0016
Factor A*Factor B	408,79	8	51,1	1,59	0,1556 ^{ns}
Error	1346,07	42	32,05		
Total	3238,41	59			