

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA CON ESTIÉRCOL BOVINO EN LA
PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

ASTRID MARÍA BELÉN REICHERT DUARTE

Trabajo final de grado presentado a la Universidad Nacional de Asunción de la
Carrera Ingeniería Agronómica, como requisito para la obtención del título de
Ingeniera Agrónoma

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera Ing. Agronómica / Área de Suelos y Ordenamiento Territorial
San Lorenzo, Paraguay
2018

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA CON ESTIÉRCOL BOVINO EN LA
PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

ASTRID MARÍA BELÉN REICHERT DUARTE

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) CARLOS LEGUIZAMÓN ROJAS
Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. (M.Sc) ALBA LIZ GONZÁLEZ

Trabajo final de grado presentado a la Universidad Nacional de Asunción de la
Carrera Ingeniería Agronómica, como requisito para la obtención del título de
Ingeniera Agrónoma

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera Ing. Agronómica / Área de Suelos y Ordenamiento Territorial
San Lorenzo, Paraguay
2018

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

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA CON ESTIÉRCOL BOVINO EN LA
PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

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

Autor: Astrid María Belén Reichert Duarte

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

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (M.Sc) Alba Liz González

Miembros de la mesa examinadora

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

Prof. Ing. Agr. (M.Sc) Alba Liz González

Ing. Agr. Derlis Enciso Santacruz

San Lorenzo – Paraguay, 12 de diciembre de 2018

DEDICADO

A mis padres Osvaldo y Gladys

A mis abuelos Tomas y Tita

A mis hermanas

AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Virgen María por darme la vida y mantenerme con salud, guiar mis pasos y por permitirme terminar satisfactoriamente mi carrera universitaria.

A mis padres Osvaldo y Gladys, quienes me han otorgado todas las oportunidades, por su dedicación y trabajo para darme una formación académica, pero por sobre todo me han dado la confianza.

A mis abuelos y hermanas gracias por el acompañamiento incondicional y apoyo.

Al Prof. Ing. Agr (Dr.) Carlos Leguizamón Rojas por orientarme durante la ejecución de la tesis, por su paciencia y profesionalismo demostrado a lo largo de este trabajo.

A la Prof. Ing. Agr. (MSc.) Alba Liz González por su predisposición y ayuda para la realización de este trabajo.

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), por el financiamiento de la tesis dentro del marco del proyecto “Manejo Sostenible de la Fertilidad del Suelo para la Producción de Alimentos”

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

Al Sr. Pedro Sanabria y familia por facilitarme la infraestructura y terreno para la realización del experimento, por recibirme en su casa y buenos momentos pasados durante la ejecución del trabajo.

A mis compañeros de trabajo Alicia Rivas, Rene Carballo, el Ing. Agr. Marcos Sanabria, por su cooperación y ayuda en el periodo de ejecución del experimento.

A mis amigos y compañeros en especial a Manuel Fernández mi cuñado por toda la ayuda brindada y todas aquellas personas que de una u otra forma estuvieron apoyándome durante estos años de estudio.

FERTILIZACIÓN NITROGENADA CON ESTIÉRCOL BOVINO EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Autor: Astrid Reichert Duarte

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

Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. (M.Sc) Alba Liz González

RESUMEN

El maíz chipa (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* Sturtev.) en Paraguay es un cultivo tradicional de la agricultura familiar. El bajo rendimiento nacional de este rubro, puede ser en parte corregido, con aplicaciones adecuadas de enmiendas orgánicas y nitrógeno. El experimento se realizó en el Distrito de Caaguazú, con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de estiércol bovino y nitrógeno en el maíz chipa en siembra directa. Fue desarrollado en un diseño de bloques completamente al azar con disposición en parcelas divididas, donde el factor A que fue tres dosis de estiércol bovino (0, 7,5 y 15 t ha⁻¹) ocuparon las parcelas y el factor B que consistió en 5 dosis de N (0, 40, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹) ocuparon las sub parcelas. Se contó con 15 tratamientos y 4 repeticiones totalizando 60 unidades experimentales, cada unidad experimental tuvo una dimensión de 5 m de largo y 3 m de ancho (15 m²). Se determinó variables de crecimiento y rendimiento en el maíz, siendo los datos sometidos a análisis de varianza, comparación de medias y análisis de regresión. La aplicación de estiércol bovino incremento los parámetros analizados a excepción de la población de plantas, aumentaron, en 0,79 m de altura del maíz, en 0,55 cm el diámetro del tallo, en 5,34 cm la longitud de la mazorca, en 0,95 cm el diámetro de la mazorca, en 48,67 g el peso mil semillas, en 2.534 kg ha⁻¹ la masa seca aérea, en 3.102 kg ha⁻¹ el rendimiento en granos, cuando comparado los resultados de mayor dosis de estiércol y el testigo. La aplicación de N aumento únicamente las variables, altura de la planta, diámetro del tallo y materia seca aérea. No se observó interacción entre los factores estudiados. El uso de estiércol bovino genera efecto favorable en variables de crecimiento y rendimiento del maíz; el N no incrementó variables del rendimiento del maíz.

Palabras claves: Agricultura familiar, nitrógeno, abono orgánico

FERTILIZAÇÃO NITROGENADA COM MANEIRA BOVINA NA PRODUÇÃO DE MILHO

Autor: Astrid Reichert Duarte

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

Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. (M.Sc) Alba Liz González

RESUMO

El maíz chipa (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* Sturtev.) Em Paraguai é uma cultura tradicional da agricultura familiar. El bajo rendimiento nacional de rubro, pode ser em parte corregido, con aplicaciones adecuadas de enmiendas orgánicas y nitrógeno. El experimento se realiza no Distrito de Caaguazú, com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de estercol bovino e nitrogênio no milho chipa no semeadura direta. Foi desarrollado em um diseño de bloques completamente al azar com disposição em parcelas divididas, donde el factor A fue tres dosis de estiércol bovino (0, 7,5 y 15 t ha⁻¹) ocupar as parcelas e o factor B que consistió em 5 doses de N (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) nas sub parcelas. Se cont você tem 15 tratamientos e 4 repeticiones totalizando 60 unidades experimentais, cada unidade experimental tem uma dimensão de 5 m de largura e 3 m de ancho (15 m²). As variáveis determinantes de criação e de execução no processo, são as datas variáveis de uma análise de variância, de comparación de mediciones e de análise de regresión. A aplicação de estercol bovino incremento dos parâmetros analizados à exceção da população de plantas, aumentar, em 0,79 m de altura do milho, em 0,55 cm o diâmetro do tallo, em 5,34 cm de longura da mazorca, em 0,95 cm diâmetro da mazorca, em 48,67 g peso de mil semente, em 2.534 kg ha⁻¹ materia seca aérea, em 3.102 kg ha⁻¹ el rendimiento em granos, cuando los resultados los mayor dosis de estiércol e o testigo. A aplicação do N elevou o número de variáveis, altura da planta, diâmetro do material e matéria seca aérea. No se observó interacción entre os intereses estudiados. O uso de esterco bovino em condições favoráveis em variáveis de crescimento e rendimento do milho; el N não incrementou variáveis do rendimento do milho.

Palavras-chave: Agricultura familiar, nitrogênio, fertilizante orgânico

NITROGEN FERTILIZATION WITH BOVINE MANURE IN CORN PRODUCTION

Author: Astrid Reichert Duarte

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

Co- Advisor: Prof. Ing. Agr. (M.Sc) Alba Liz González

SUMMARY

Chipa maize (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* Sturtev.) In Paraguay is a traditional crop of family farming. The low national yield of this item can be partly corrected, with adequate applications of organic amendments and nitrogen. The experiment was conducted in the District of Caaguazú, with the objective of evaluating the effect of the application of bovine manure and nitrogen in chipa corn in direct seeding. It was developed in a completely random block design with arrangement in divided plots, where the factor A that was three doses of bovine manure (0, 7,5 and 15 t ha⁻¹) occupied the plots and the factor B consisted of 5 doses of N (0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹) occupied the subplots. There were 15 treatments and 4 repetitions totaling 60 experimental units, each experimental unit had a dimension of 5 m long and 3 m wide (15 m²). Growth and yield variables were determined in the corn, the data being subjected to analysis of variance, comparison of means and regression analysis. The application of bovine manure increased the analyzed parameters except for the population of plants, they increased, in 0,79 m of corn height, in 0,55 cm the diameter of the stem, in 5,34 cm the length of the ear, in 0,95 cm the diameter of the ear, in 48,67 g the weight thousand seeds, in 2.534 kg ha⁻¹ the aerial dry mass, in 3.102 kg ha⁻¹ the yield in grains, when compared the results of the highest dose of manure and the witness. The application of N only increased the variables, height of the plant, diameter of the stem and aerial dry matter. No interaction was observed between the factors studied. The use of bovine manure generates a favorable effect on corn growth and yield variables; N did not increase corn yield variables

Keywords: Family agriculture, nitrogen, organic fertilizer

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
RESUMO	vi
SUMMARY.....	vii
TABLA DE CONTENIDO	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE ANEXOS	xii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Maíz	3
2.2 Ciclo del nitrógeno en los sistemas agrarios.....	4
2.3 Fertilización nitrogenada	9
2.4 Uso de residuos orgánicos de la cría de animales.....	12
3 MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Localización y caracterización del área experimental	15
3.2 Diseño experimental y tratamientos	16
3.3 Implantación y manejo del experimento.....	17
3.4 Variables evaluadas.....	18
3.5 Análisis de datos	19
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1 Efectos de dosis de estiércol bovino y nitrógeno en parámetros de crecimiento del maíz.....	20

4.2	Efectos de dosis de estiércol bovino y nitrógeno en caracteres de rendimiento del maíz	23
4.3	Efectos de dosis de estiércol bovino y nitrógeno en la materia seca aérea, índice de cosecha y rendimiento en granos del maíz	25
5	CONCLUSIÓN.....	29
6	REFERENCIAS	30
7	ANEXOS	38

LISTA DE FIGURAS

1. Acumulación de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio en la parte aérea de pantas de maíz..... 11
2. Precipitación mensual durante el ciclo del experimento. Caaguazú, Paraguay 2017. *Datos proveídos por la Dirección de Meteorología e Hidrología, DMH/DINAC y procesados por la División de Meteorología de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNA..... 19
3. Altura del maíz con la aplicación de dosis nitrógeno. Caaguazú, 2016..... 26
4. Diámetro del tallo del maíz con la aplicación de dosis de nitrógeno. Caaguazú, 2016..... 27

LISTA DE TABLAS

1. pH, materia orgánica, fósforo disponible, calcio, magnesio y potasio intercambiables en función a la aplicación de dosis de estiércol bovino. Caaguazú, 2016. 15
2. Altura, diámetro del tallo y población de plantas del maíz, en función a la aplicación de dosis de estiércol bovino. Caaguazú, 2016. 20
3. Longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca y peso mil semillas del maíz en función a las dosis de N y estiércol bovino. Caaguazú, 2016. 23
4. Índice de cosecha, materia seca aérea y rendimiento en granos del maíz en función a las dosis de N y estiércol bovino. Caaguazú, 2016. 26

LISTA DE ANEXOS

A 1. Precipitaciones mensuales ocurridas durante el periodo del experimento en milímetros (mm) (septiembre del 2016 hasta febrero del 2016), medido con pluviómetro instalado en el área del experimento.....	39
A 2. Distribución de los bloques y tratamientos en el área experimental. Distrito Caaguazú.....	40
A 3. Tabla general de datos de las variables evaluadas en función a las de dosis de N y estiércol bovino. Caaguazú, 2016.	41
A 4. Análisis de varianza de la variable altura del maíz.....	44
A 5. Análisis de varianza diámetro del tallo del maíz.....	44
A 6. Análisis de varianza población de plantas.....	45
A 7. Análisis de varianza longitud de la mazorca.....	45
A 8. Análisis de varianza diámetro de la mazorca.....	46
A 9. Análisis de varianza peso mil granos del maíz.....	46
A 10. Análisis de varianza materia seca aérea.....	47
A 11. Análisis de varianza índice de cosecha.....	47
A 12. Análisis de varianza rendimiento en granos del maíz.....	48
A 13. Marcación y delimitación del área experimental.....	48
A 14. Control de malezas pre siembra.....	49
A 15. Siembra y aplicación de fertilizantes.....	50
A 16. Cuidados culturales del cultivo.....	50
A 17. Medición de la variable diámetro de la mazorca.....	51
A 18. Medición de la variable altura de la planta.....	52
A 19. Medición de la variable rendimiento.....	52

.

1 INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los tres cultivos principales para la alimentación humana y animal, es rico en energía y minerales. En las pequeñas propiedades es un rubro de gran importancia económica, pues forma parte de los rubros de autoconsumo y es una alternativa para la renta.

El maíz necesita para su desarrollo elementos minerales en determinadas cantidades. Entre los nutrientes que mayor demanda este cultivo se encuentra el nitrógeno. La cantidad de nitrógeno a aplicar depende entre otras razones, del potencial de rendimiento, del cultivo anterior y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

En el manejo del nitrógeno se debe tener especial cuidado ya que la deficiencia de nitrógeno provoca reducción severa en el crecimiento del cultivo, y su exceso puede causar perjuicios. Por otro lado, debido a su alta movilidad en el suelo puede ser perdido por lixiviación hacia aguas subterráneas, así como puede ser perdido en forma gaseosa, imposibilitando su aprovechamiento por las plantas

A parte de la fertilización mineral, la utilización de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo que puede influenciar positivamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo del suelo, así como, en el desarrollo de las plantas.

El objetivo general del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de estiércol bovino y nitrógeno en el maíz chipa bajo siembra directa. Los objetivos específicos fueron, determinar la altura y diámetro del tallo del maíz, la población de plantas, el diámetro y longitud de la mazorca, el peso mil granos del maíz, la materia seca aérea, el índice de cosecha y el rendimiento en granos del maíz.

Se plantea como hipótesis que la aplicación del nitrógeno y estiércol bovino mejorará la producción del maíz. Por otro lado que para alcanzar un mismo rendimiento, el requerimiento de la fertilización nitrogenada será inferior cuando es aplicado estiércol bovino.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Maíz

La producción del maíz depende del potencial genético de la planta, el clima y la disponibilidad de nutrientes. Es un rubro importante en la rotación o asociación cultivos, realiza grandes aportes de residuos orgánicos al suelo, contribuyendo al mantenimiento de su calidad (Pagani et al. 2008, Heep et al. 2014).

Ferreira (2014) menciona que en Paraguay el maíz constituye uno de los cultivos de subsistencia tradicional de los pequeños productores. Es un cereal cuyo grano aporta fuente de energía en la alimentación humana y animal, el mismo está constituido por almidón, azúcares, proteínas y genera ingresos económicos a través de la comercialización del grano (Rodríguez 2003).

Según el mismo autor menciona que, el problema del cultivo de maíz chipa es que cuenta con un bajo rendimiento, un ciclo reproductivo más largo que otras variedades, estrecha época de siembra, una mala sincronización entre la floración masculina y femenina, estos factores hacen que sea reemplazado por otras variedades de maíz.

El maíz chipa es mayormente cultivado por los pequeños productores con fincas de 2 hasta 18 ha aproximadamente, sembrando en asociación con abonos verdes u otros cultivos de autoconsumo como la mandioca o el poroto, también lo utilizan para la fabricación de harina de maíz para la elaboración de la sopa paraguaya,

el boribori, comidas típica del país, que requieren de su utilización (MAG 2007).

Según la misma fuente, el Paraguay cuenta con una superficie cultivada de 80.759 ha de maíz chipa con 134.835 fincas, con un rendimiento promedio de 1.062 kg ha⁻¹.

El maíz requiere de altas cantidades de N para la formación del grano debido a que con una insuficiencia determina una baja productividad (Álvarez et al. 2016) Embrapa (2006) menciona que, en lo que se refiere a la exportación de los nutrientes (70 a 77%) del N es translocado a los granos, esto implica que con la aplicación de los restos del cultivo de maíz devuelve gran parte al suelo los nutrientes extraídos.

Rodríguez y Rabery (2003) afirman que el rendimiento de granos de esta variedad no es influenciado por la época de siembra considerando, la primera época fue sembrada el 3 de agosto y la segunda el 4 de octubre, ni por el distanciamiento entre hileras (0,70; 0,80 y 0,90m). En dicho estudio se obtuvo un rendimiento promedio en la primera época de siembra de 1.084 kg ha⁻¹ y en la segunda época de siembra 1.101 kg ha⁻¹.

2.2 Ciclo del nitrógeno en los sistemas agrarios

El N se encuentra principalmente en la atmósfera, donde representa alrededor del 78% de su composición, en el suelo y en la biomasa. Este elemento sufre transformaciones desde la atmosfera, suelo y planta, siendo influenciada las pérdidas con las prácticas irracionales (Sifuentes et al. 2015).

2.2.1 Fijación biológica del nitrógeno

Para que el nitrógeno pueda ser asimilado por la planta este debe ser reducido; mediante la fijación biológica simbiótica o de microorganismos de vida libre, o a través de procesos no biológicos como las descargas eléctricas (Baca et al. 2000, García 2007).

Uno de los procesos de mayor importancia en la naturaleza es la fijación biológica del nitrógeno (FBN), siendo que el N puede ser utilizado directa o indirectamente por las plantas a través de su simbiosis con los microorganismos fijadores que constituyen el mecanismo de compensación de las pérdidas del nitrógeno de manera gaseosa por los procesos de desnitrificación y volatilización de amoníaco (Martin 2007).

La fijación biológica lleva a cabo una gran variedad de bacterias que contienen la nitrogenasa, enzima que rompe el triple enlace del nitrógeno molecular y produce amonio. Luego sigue la oxidación de nitrito a nitrato. El mismo autor menciona que la falta de macronutrientes limita la efectividad de la fijación biológica del nitrógeno; y por otro lado, la temperatura, el tamaño de partícula de los residuos, la agregación, el tipo de suelo, tienen también efectos sobre la dinámica del N (Cerón et al. 2012)

El N de la atmósfera también puede ser fijado por otros procesos naturales, como los que ocurren con la emisión de rayos, la combustión y las manifestaciones volcánicas. Esos procesos cuentan con pequeñas expresiones en relación al total que necesita regresar al suelo para mantener el equilibrio del N en el ecosistema (Yamada et al. 2007).

La disponibilidad de N en las etapas críticas del desarrollo de la planta determina el rendimiento del cultivo, es de suma importancia saber si la fijación simbiótica de N_2 , o por los medios ya señalados es capaz de cubrir las necesidades de la planta para alcanzar un rendimiento óptimo (Azcón y Talón 2013).

2.2.2 Nitrógeno en el sistema planta

El elemento más importante para la nutrición de las plantas es el N, no solo por su función dentro de ellas y la cantidad que demanda, sino por su costo económico (Trejo et al. 2013). El N es muy importante para la planta debido a que es un componente básico para todas las moléculas orgánicas que se encuentran

involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal. Además es un elemento indispensable para que las plantas puedan fijar carbono, para la acumulación de materia orgánica y obtener una producción de rendimientos económicamente atractivos (Rodríguez et al. 2015).

El nitrógeno es parte esencial de compuestos como los aminoácidos y por lo tanto de las proteínas, de los ácidos nucleicos, nucleótidos, de la clorofila y de otros compuestos como los alcaloides, este incrementa el tamaño de la célula, el área foliar y la actividad fotosintética. La falta de nitrógeno produce la reducción de proteína, lo cual conduce a la inhibición del crecimiento de la planta. La insuficiencia del N reduce el desarrollo vegetativo y acelera la fase de desarrollo productiva, disminuyendo el rendimiento (Arzola et al. 2013).

Below (2002) afirma que el N puede ser absorbido por la planta de dos formas como nitrato (NO_3^-) o como amonio (NH_4^+). Normalmente el nitrógeno mostrará su eficiencia poco después de la aplicación, la planta crecerá vigorosamente y presentará un color verde oscuro (FAO 2002).

2.2.3 Dinámica del N en el sistema suelo - planta

El N es uno de los elementos más dinámicos en el suelo y responde a los diferentes tipos de manejo (Acevedo et al. 2011). El nitrógeno adicionado al suelo en forma de fertilizante es absorbido por la planta sufre la acción de procesos microbiológicos (nitrificación, desnitrificación, inmovilización), químicos (intercambios, fijación, precipitación, hidrólisis) y físicos (lixiviación, volatilización y por escurrimiento) también puede perderse del sistema suelo-planta, ocasionando una contaminación ambiental (Zhang et al. 2015).

El amonio que es liberado puede ser utilizado por las plantas y; lo liberado en exceso es oxidado por el grupo de bacterias denominadas Nitrosomonas que lo convierten a nitrito, que posteriormente es oxidado a nitrato por bacterias del grupo Nitrobacter (proceso de nitrificación). El nitrato puede ser absorbido por las plantas

y, lo producido en exceso es llevado por el agua de percolación de los suelos (Pacheco et al. 2002, Navarro y Navarro 2003, Yamada et al. 2007).

Por otro lado, bajo condiciones anaeróbicas los nitritos y nitratos son reducidos por el proceso de desnitrificación, perdiéndose en forma gaseosa (Pacheco et al. 2002).

Las formas de N fácilmente disponible para los organismos y plantas representan una cantidad muy pequeña en relación al total presente en el suelo, el agua y en la atmosfera. El total de N ocluido en rocas primarias y sedimentarias es bastante elevado, pero no se encuentran disponibles para el uso agrícola (Yamada et al. 2007). Tampoco está disponible el N que se encuentra formando parte de estructuras orgánicas.

Cabe resaltar que los coloides del suelo pueden fijar ampliamente los iones amonio, mientras los nitratos conservan una completa movilidad. Como consecuencia se obtiene una mayor posibilidad de absorción del nitrógeno nítrico, salvo que ocurren pérdidas de nitratos por lixiviación. Los iones amonio añadidos se oxidan rápidamente a nitratos, por lo tanto esta será la forma presente en mayor proporción en la solución del suelo (Navarro y Navarro 2003).

2.2.4 Pérdida de N en el sistema agrario

El nitrógeno se pierde por un mal manejo sometido a los suelos y por la agresión que se realiza de sus reservas orgánicas. Lo que ocasiona que deba ser incorporado al suelo en grandes cantidades como fertilizantes nitrogenados o abono orgánico. Las plantas utilizan solo una parte del nitrógeno aplicado al suelo, el resto se pierde en los estratos profundos del suelo o en la atmosfera, ocasionando una contaminación en ambos casos (Vidal et al. 2002).

Un proceso importante de pérdida del nitrógeno es la desnitrificación, devuelve el nitrógeno fijado a la atmósfera mediante procesos de respiración

microbiana (Cerón et al. 2012).

Este es el proceso de reducción biológica del nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-), hasta la forma gaseosa de N_2 , pasando por otras formas gaseosas intermediarias de N, con destaque para el óxido nitroso (N_2O), cuya emisión para la atmosfera provoca un efecto invernadero cerca de 300 veces mayor que el CO_2 . El proceso de desnitrificación es perjudicial tanto desde el punto de vista agrícola, por la disminución de la disponibilidad de N mineral a los cultivos, como también desde el punto de vista de polución ambiental. En resultados de investigación se demuestra que ambientes deficientes en O_2 favorecen las pérdidas de N por desnitrificación (Yamada et al. 2007).

Yamada et al. (2007) menciona que, aparentemente el sistema de siembra directa proporciona condiciones más favorables a la ocurrencia del proceso de desnitrificación, se verifica, un aumento de la microporosidad, del contenido de agua, de la densidad del suelo y de acumulación de residuos culturales en la camada superficial.

Una de las principales causas de la baja eficiencia de fertilizantes amoniacales es la pérdida del N por volatilización (pérdida en forma de amoniaco). Dichas pérdida es ocasionada por numerosos procesos químicos, físicos y biológicos que es afectado por factores del ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura, calidad de residuos en la superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante (Ferraris et al. 2008).

Otras formas de pérdida de N, no gaseosa son la lixiviación, ocurrida con el agua de percolación en el perfil del suelo y por erosión, realizada por el escurrimiento superficial (Zhang et al. 2015).

2.3 Fertilización nitrogenada

Los fertilizantes químicos nitrogenados se sintetizan a partir del nitrógeno atmosférico. La utilización del nitrógeno en exceso o en insuficiencia causa efectos perjudiciales, por el cual el nitrógeno debe ser aplicado en cantidades adecuadas. Como principio deberá buscarse el máximo aprovechamiento del fertilizante nitrogenado por el cultivo y un mínimo de residuo en el suelo (IFA 2007).

El 70 a 90% de investigaciones realizadas en el Brasil en diferentes condiciones de suelo, clima y sistema de cultivo, muestran una respuesta favorable en el cultivo de maíz con la fertilización nitrogenada (Embrapa 2006).

Es importante que el N sea incorporado al suelo durante el ciclo vegetativo de la planta, para que no ocurra una reducción de N en el suelo, pudiendo comprometer el abastecimiento a las plantas y manutención del stock de la materia orgánica del suelo (Martin 2012). Por otro lado, la incorporación de fertilizantes nitrogenados en el suelo garantiza menores pérdidas gaseosas que la aplicación superficial (García 2007).

Para el cultivo de maíz el N presenta dos periodos de máxima absorción, durante las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo (Figura 1).

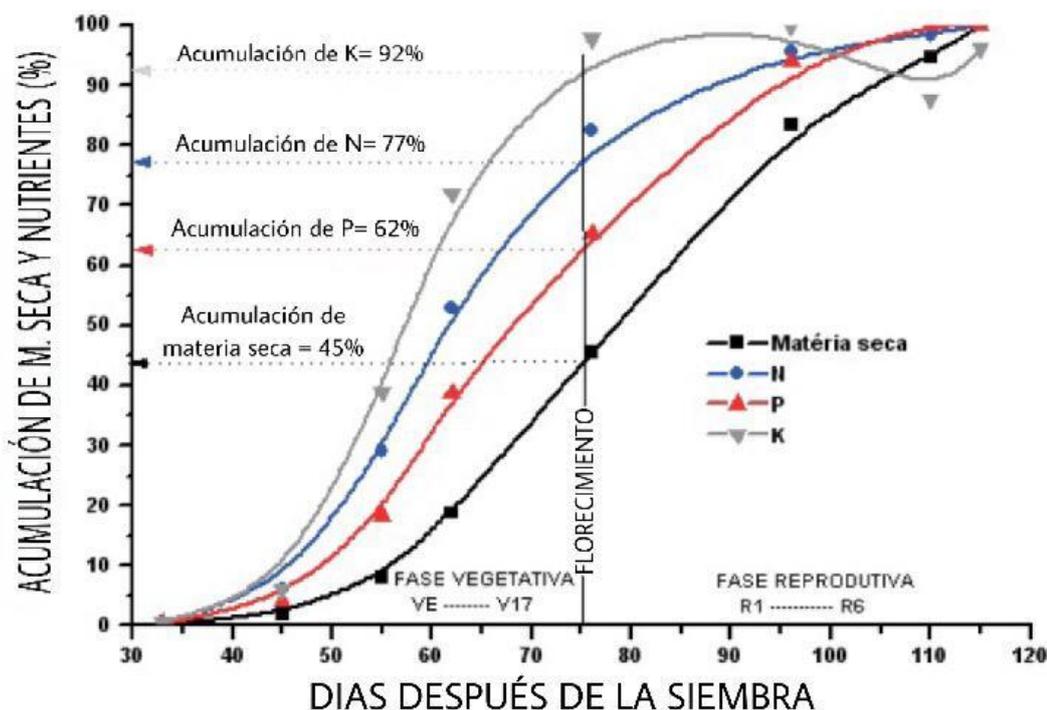


Figura 1. Acumulación de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio en la parte aérea de plantas de maíz. Fuente (Embrapa 2006).

Wong et al. (2006), en un experimento con maíz forrajero determinaron dosis de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de materia seca, concentración y extracción de N y eficiencia de uso de N, utilizando tres dosis (125, 250 y 375 kg ha⁻¹) obtuvieron mejores respuestas a la aplicación con 125 kg ha⁻¹ de N la variable eficiencia de uso del N, el cual fue eficiente para lograr una extracción de 139 a 201,8 kg N ha⁻¹ y permitir la obtención de un rendimiento similar al producido con 250 kg ha⁻¹ de N. En cuanto al rendimiento de materia seca la dosis de 375 kg ha⁻¹ incrementó entre 11,8 y 17,5 %, pero redujo la eficiencia de uso de N.

Cervantes y Covarrubias (2013) evaluaron la densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz, concluyen que el nitrógeno tiene efecto positivo en el rendimiento de grano, en el número de semilla por mazorca y en el peso de la semilla de maíz.

2.3.1 Fuentes nitrogenadas

Martínez y Valdez (2015) mencionan que entre las principales fuentes de N se encuentran, la urea, el nitrato de amonio y el sulfato de amonio.

La urea presenta un contenido del 46 % de nitrógeno. Su aplicación requiere de buenas prácticas agrícolas, para evitar, las pérdidas por volatilización de amoniaco en el aire (FAO 2002). Las condiciones deben ser adecuadas para su aplicación. Las principales características que deben ser observadas son: humedad en el suelo, baja velocidad de viento, temperaturas no elevadas (Martin 2012).

También puede ser aplicada la urea a la planta a través del follaje debido a su bajo contenido de fitotoxicidad, alta solubilidad y su no polaridad, lo cual esto da un óptimo manejo del nitrógeno, al disminuir las pérdidas del mismo en el ambiente. La urea que es aplicada en forma foliar es rápidamente absorbida por las células vegetales, la cual se hidroliza en el citosol para posteriormente transformarse en aminoácidos transportables que van desde las hojas a otras partes de la planta (Trejo et al. 2005).

La urea es el abono nitrogenado sólido con más facilidad en su fabricación, y es utilizado universalmente. Es un compuesto orgánico blanco, con un bajo peso específico, soluble en agua y en la mayoría de los casos es un abono granulado, soluble (Finck 2009).

2.3.2 Momento de aplicación del nitrógeno

La respuesta del cultivo a la aplicación de N depende de los factores edáficos, climáticos y el manejo (Quiroga et al. 2003). Según Rodríguez et al. (2015) la importancia del momento de aplicación y de las dosis de fertilizante, induce el mejoramiento en la eficiencia de absorción.

Debido a la compleja dinámica del N en el suelo y la baja eficiencia de

utilización del N (EUN) generalmente en el cultivo de maíz se sugiere aplicaciones de fertilizantes nitrogenados en cobertura para complementar lo suministrado por el suelo y la fertilización básica (en el momento de la siembra), de manera a aumentar la eficiencia del uso del N y reducir pérdidas por lixiviación (Martínez y Valdez 2015, González et al. 2015). La aplicación en cobertura normalmente se recomienda realizar cuando el maíz presente 4 a 6 hojas aproximadamente. Esta época es fundamental, ya que el maíz definirá su potencial productivo (CAPECO 2012).

2.4 Uso de residuos orgánicos de la cría de animales

Los abonos orgánicos provienen de residuos vegetales y estiércoles de animales que son incorporados al suelo con el fin de mejorar las características del mismo, crean condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos y aportan nutrientes esenciales para las plantas (Arquímedes 2013). Son sustancias que se aplican de forma directa o indirectamente a las plantas, para favorecer con el crecimiento de la planta, y mejorar su calidad (Finck 2009).

Para que el suelo sea capaz de capturar, almacenar y reciclar nutrientes, la presencia de materia orgánica es esencial ya que forma parte de un almacenamiento temporal de energía y nutrientes. Cuando dicha energía es utilizada por los microorganismos, los nutrientes liberados pueden ser utilizados por las plantas (Zagal et al. 2003).

2.4.1 Utilización de estiércol bovino

Existe un gran interés por el uso del estiércol bovino como fuente de materia orgánica, siendo una alternativa para reducir el uso de fertilizantes químicos y la contaminación de las aguas subterráneas por la lixiviación de nitratos (Salazar et al. 2010 y Figueroa et al. 2010).

La aplicación de abonos orgánicos radica de la disponibilidad del insumo por parte de los productores (Arrieche y Mora 2005). La descomposición de la materia

orgánica en el suelo consiste en un proceso de digestión enzimática por parte de los microorganismos y de esta MO se desprenden los nutrientes asimilables por las plantas (Trejo et al. 2013).

Para Julca-Otiniano et al. (2006) se distinguen dos fases durante la evolución de la M.O en el suelo: la humificación y la mineralización, la cual la primera es una fase muy rápida, donde los microorganismos del suelo actúan sobre la materia orgánica desde el momento en que se coloca. Mientras que el proceso de mineralización es lenta, y en ella el humus estable recibe la acción de otros microorganismos que se encargan de destruirlo, para a continuación liberar los minerales que serán absorbidos por las plantas.

La utilización de estiércol bovino, favorece a la obtención de una mejor producción y mayor ganancia a un menor costo, ayudando conjuntamente a un mejoramiento en el suelo (Fatecha 2014).

La utilización de estiércol bovino mantiene los niveles de fertilidad y productividad, conservan el N y el carbono en el sistema suelo-planta, tiene un efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, favorece la retención y penetración del agua, disminuye la erosión y favorece el intercambio gaseoso. También tiene efecto sobre las propiedades químicas del suelo, aumentando la reserva de nutrientes para los vegetales y la capacidad tampón del suelo, favorece la acción de los abonos minerales, facilitando la absorción a través de la membrana celular. En cuanto a las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, sirve como alimento para los microorganismos y estimula el crecimiento de la planta (Acevedo et al. 2011, Julca-Otiniano et al. 2006).

La adición de estiércol incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo, previene, controla e influye en la severidad de patógenos en el suelo. El aprovechamiento de estos residuos orgánicos, devuelve al suelo elementos extraídos durante el proceso productivo, reduce la utilización de agroquímicos (Fortis

2009).

La misma fuente nos menciona que la influencia de los abonos orgánicos, sobre la fertilización de los suelos, el aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo depende de su edad, manejo y humedad.

Figuroa et al. (2010) llevaron a cabo un experimento para determinar el efecto del estiércol bovino sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero, obteniendo como resultado que es posible sustituir parcial o totalmente el fertilizante químico por estiércol en el cultivo de maíz forrajero y obtener igual o mayor rendimiento.

López et al. (2015) condujeron un experimento con dosis crecientes de sulfato de amonio y estiércol como fuente de N en el cultivo de maíz forrajero con el fin de evaluar la respuesta agronómica del mismo. Agregaron de 0, 67, 100 y 133% de los requerimientos del N del cultivo (RNC), para la variable rendimiento de materia seca (MS) obtuvieron una respuesta estadísticamente similar entre los tratamientos, siendo diferentes al testigo. Para la extracción de N en la cosecha no encontraron diferencia estadística entre tratamientos (con fertilizante o estiércol), siendo todos diferentes al testigo sin N, los mismos autores no encontraron respuestas significativas en el rendimiento entre las fuentes de N, concluyen que es posible sustituir el fertilizante por estiércol a una dosis que se aproxime a al requerimiento de N del cultivo.

También una aplicación de altas dosis puede ocasionar bajos rendimientos y salinidad en el suelo. El estiércol tiene una baja concentración de nutrientes inorgánicos y la tasa de mineralización del N puede alcanzar hasta el 50% durante el año de aplicación (Salazar et al. 2010).

Por cada tonelada de estiércol que es aplicado, en promedio aumenta la conductividad eléctrica (CE) en $0,1108 \text{ dS m}^{-1}$, en la profundidad de 0 a 150 cm (Quiroga et al. 2011).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

El experimento fue instalado y ejecutado en el Distrito de Caaguazú, en la Compañía Tercera Línea Agua, situada a 190 km al este de la capital, (latitud 25° 23' 18" y longitud de 56° 02' 36"), a una altitud de 315 msnm.

El trabajo en las parcelas se inició en el mes de septiembre del 2016. En el área en que se estableció la parcela predomina el Rhodic Paleudult de textura arenosa (López et al. 1995). En la Tabla 1, se presenta el resultado de análisis de suelo realizado en la parcela experimental.

Tabla 1. pH, materia orgánica, fósforo disponible, calcio, magnesio y potasio intercambiables en función a la aplicación de dosis de estiércol bovino. Caaguazú, 2016.

Tratamientos	pH	Mat. Org. %	P mg kg ⁻¹	Ca ⁺²	Mg ⁺² cmol _c kg ⁻¹	K ⁺
Testigo	5,75	0,53	1,82	0,42	0,27	0,06
EB (15 t ha ⁻¹)	5,5	0,45	2,14	0,37	0,24	0,09
EB (30 t ha ⁻¹)	5,75	0,61	2,75	0,38	0,36	0,08

EB= estiércol bovino. Fuente (Ramírez 2016).

El clima en el distrito de Caaguazú es húmedo y mesotérmico, con 2.229 mm de precipitación media anual, 22,5°C de temperatura media anual, y con ocurrencia de heladas entre los meses de mayo a agosto (Aquino 2014). En la Figura 2 se observa el régimen de precipitación ocurrida en el Departamento de Caaguazú, durante el periodo de ejecución del experimento, donde se verifica que las mayores precipitaciones se registraron en los meses de agosto, diciembre y febrero con promedios 110 mm, 80 mm y 90 mm respectivamente y que las precipitaciones fueron inferiores a las medias históricas.

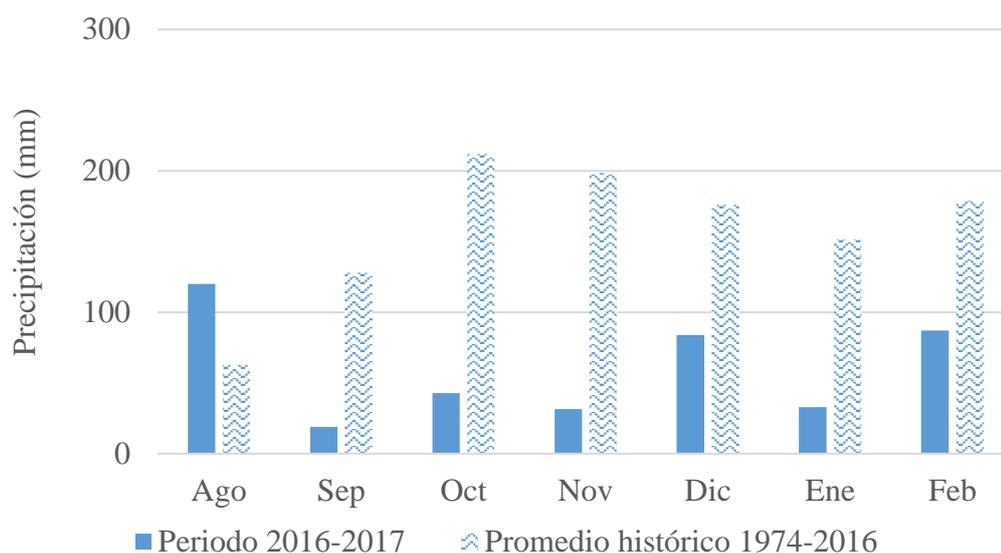


Figura 2. Precipitación mensual durante el ciclo del experimento y promedio histórico 1974-2016 en el distrito de Caaguazú, Paraguay 2017. *Datos proveídos por la Dirección de Meteorología e Hidrología, DMH/DINAC y procesados por la División de Meteorología de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNA.

3.2 Diseño experimental y tratamientos

El experimento contó con un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial en parcelas divididas; siendo estudiados (Factor A), dosis de estiércol bovino (0, 7,5 y 15 t ha⁻¹) aplicados al voleo y el (Factor B), dosis de nitrógeno (0, 40, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹ de N) aplicados en forma localizada en surcos paralelos a la línea de siembra. Las dosis de estiércol ocuparon las parcelas principales y las dosis de N las subparcelas.

El experimento contó con 15 tratamientos y cuatro repeticiones, totalizando 60 unidades experimentales. Cada unidad experimental tuvo una dimensión de un área de 15 m² (5 m x 3 m), siendo el total de área utilizada para el experimento de 900 m². Cada unidad experimental estuvo constituida por seis hileras de maíz distanciadas a 0,80 m cada una y a 0,25 m entre plantas, dejando dos plantas por hoyo (Anexo 2).

3.3 Implantación y manejo del experimento

Se realizó la delimitación y marcación de las parcelas experimentales con hilo de ferretería y estacas, luego se aplicó glifosato para el control de malezas. Una vez marcadas las parcelas, se hizo la incorporación del estiércol bovino al suelo en forma manual al voleo en cada parcela correspondiente.

Se utilizó semillas de maíz (*Zea mays* L. subsp. *amylacea* Sturtev.) GUARANI VS 254 que presenta un potencial de rendimiento de 5.200 kg ha⁻¹. La siembra del maíz se realizó el 17 de septiembre del 2016 en forma manual, utilizando la sembradora tipo matraca. El espaciamiento entre hileras fue de 0,80 m y 0,25 entre plantas dejando tres semillas por hoyo.

En cada unidad experimental se aplicó 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 50 kg ha⁻¹ de K₂O, siendo utilizadas como fuentes el súper fosfato triple (00-46-00) y el cloruro de potasio (00-00-60), en el momento de la siembra, en surcos paralelos a la hilera de siembra. En los tratamientos con N fue aplicado 40 kg ha⁻¹ de N, en la siembra de forma manual, lo restante se aplicó en cobertura, a los 18 días de la siembra, siendo utilizado como fuente urea (45-0-0).

El control de malezas se realizó a los un mes de la siembra, por medio de una carpida manual, con la ayuda de azadas y escardillos. Se procedió también al raleo cuando las plantas tuvieron aproximadamente cuatro hojas dejando dos plantas por hoyo. Se realizaron tres carpidas durante el ciclo del cultivo. También se aplicó para

el control de gusano cogollero (*Spodopterafrugiperda*) insecticidas (Lefenuron + Benzoato de Emamectina).

La cosecha fue realizada cuando los granos alcanzaron la madurez fisiológica, en forma manual. Primeramente se cosechó el área útil de cada unidad experimental compuesta por las cuatro hileras centrales y dejando 0,8 m en ambos extremos de las hileras, totalizando (4,48 m²), posteriormente el resto de la parcela.

3.4 Variables evaluadas

Las muestras para las diferentes determinaciones se tomaron del área útil.

Altura del maíz: Se evaluaron 10 plantas del área útil de cada unidad experimental. Se determinó la altura desde la base del suelo hasta el ápice de la flor masculina con la ayuda de una cinta métrica, expresando los resultados en m.

Diámetro del tallo del maíz: Se realizó simultáneamente con la medición de altura de la planta, midiendo en el segundo entrenudo con ayuda de un paquímetro. Los resultados se presentaron en cm.

Población de plantas: Se procedió al conteo de plantas antes de realizar la cosecha, en el área útil de cada unidad experimental, el resultado fue expresado en plantas por hectárea.

Longitud de la mazorca: Fueron seleccionadas 8 mazorcas al azar del área útil, midiendo desde la base del pedúnculo hasta su ápice con una cinta métrica. Los resultados se presentaron en cm.

Diámetro de la mazorca: Se tomaron las mismas mazorcas en las que se evaluó la longitud, realizándose la medición del diámetro en la parte central de cada una de ellas, con el uso de un paquímetro. Los resultados se presentaron en cm.

Peso de mil granos del maíz: Luego del desgrane de las mazorcas se tomó tres repeticiones de cien semillas provenientes de cada área útil por unidad experimental, se pesó, luego se determinó el promedio y se multiplicó por 10, obteniendo el resultado correspondiente en gramos.

Materia seca aérea: Para la determinación de esta variable primero se pesó a campo 10 plantas dentro del área útil de la mayor y menor dosis de N (160 y 0 kg ha⁻¹) respectivamente, con las tres dosis de estiércol bovino (0, 7,5 y 15 t ha⁻¹) utilizando un dinamómetro digital. Posteriormente las plantas se secaron a estufa 70°C durante 24 horas y se expresaron los resultados en kg ha⁻¹.

Rendimiento en granos del maíz: Después del desgrane del maíz obtenido del área útil de cada unidad experimental, realizado en forma manual y con la ayuda de una trilladora eléctrica, fueron pesados en una balanza digital con dos decimales de precisión. Estos resultados posteriormente fueron expresados en kg ha⁻¹, con 13% de humedad.

Índice de cosecha: Esta variable fue calculada en las subparcelas de mayor y menor dosis de N y en las tres dosis de estiércol, es decir se obtuvieron dos muestras por cada parcela de estiércol vacuno, realizando la división del peso del grano y la materia seca total.

3.5 Análisis de datos

Los resultados fueron evaluados por análisis de varianza según el modelo estadístico del experimento. En las variables que fueron detectadas diferencias significativas se realizó pruebas de comparación de medias por el Test de Tukey al 5% probabilidad de error utilizando el programa Infostat, también se realizó análisis de regresión.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efectos de dosis de estiércol bovino y nitrógeno en parámetros de crecimiento del maíz

La aplicación de estiércol bovino y nitrógeno produjeron incremento significativo en la altura del maíz (Anexo 4), en el diámetro del tallo (Anexo 5), no verificándose diferencias en la población de plantas (Anexo 6). En ninguna de las variables anteriormente mencionadas se detectó interacción entre dosis estiércol bovino (Factor A) y el N (Factor B) lo que nos indica que los factores actuaron de forma independiente.

En la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos de las variables altura del maíz, diámetro del tallo del maíz y población de plantas.

Tabla 2. Altura, diámetro del tallo y población de plantas del maíz, en función a la aplicación de dosis de estiércol bovino. Caaguazú, 2016.

Dosis de estiércol bovino (t ha ⁻¹)	Altura del maíz (m)	Diámetro del tallo del maíz (cm)	Población de plantas ha ⁻¹
0	1,41 c	1,50 b	70.424 ^{ns}
7,5	2,06 b	1,99 a	70.200
15	2,20 a	2,05 a	73.325
CV (%)	6,57	7,12	15,33

Medias con letras diferentes en las columnas son significativamente diferentes por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error; ns, medias sin diferencias significativas; CV, coeficiente de variación.

Como se observa en la Tabla 2 la dosis de 15 t ha^{-1} de estiércol bovino fue la que tuvo mejor respuesta, arrojando un promedio de 2,20 m de altura de la planta, superando en 0,79 m al promedio obtenido en el testigo. La aplicación de las dosis de estiércol ($7,5$ y 15 t ha^{-1}) no produjeron resultados estadísticamente diferentes en el diámetro del tallo, siendo si estos superiores al testigo.

Fortis et al. (2009) en un experimento utilizando abonos orgánicos en la producción de forraje de un híbrido de maíz amarillo, encontraron respuestas significativas para la variable altura de la planta, y verificaron que la aplicación de abonos orgánicos incrementó la presencia de nitratos en el suelo lo que permite no aplicar nitrógeno, al menos en la primera etapa del cultivo.

Sanabria (2016), con aplicaciones de 15 y 30 t ha^{-1} de estiércol bovino en las mismas características de suelo, también tuvo respuesta significativa en el cultivo de mandioca. Del mismo modo Rivas (2018), en experimento aplicando dosis de estiércol bovino en maíz chipa encontró diferencias significativas en el diámetro del tallo, en comparación al testigo. Aplicando 15 t ha^{-1} de estiércol bovino obtuvo un valor promedio de 2,18 cm en el diámetro de la planta, superior en 1,63 cm al testigo.

En la Figura 3 se presentan las medias de la altura del maíz obtenidas con la aplicación de dosis de nitrógeno. Además, se presenta la ecuación polinómica cuadrática y el coeficiente de regresión correspondiente. Cabe destacar que los resultados obtenidos con las dosis de 40 y 160 kg ha^{-1} de N, fueron iguales entre sí, pero diferentes al testigo.

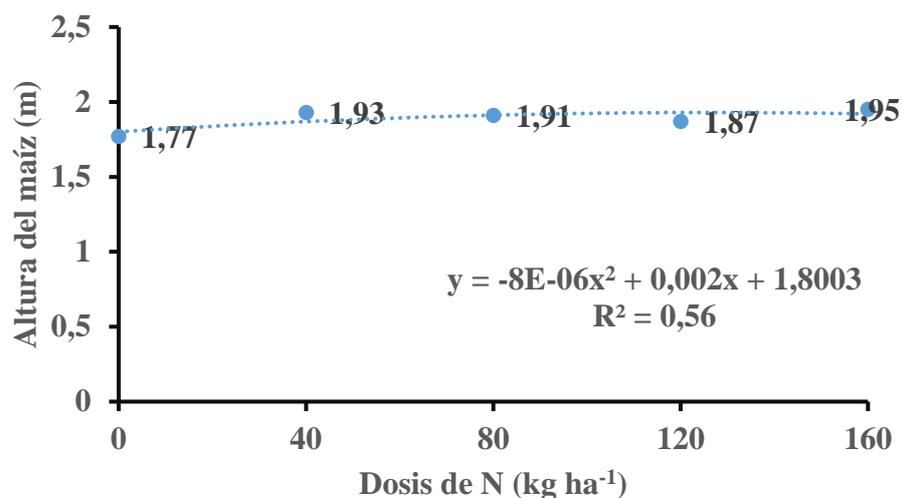


Figura 3. Altura del maíz con la aplicación de dosis nitrógeno. Caaguazú, 2016.

La media general obtenida entre las cuatro dosis de N fue de 1,88m. Sin embargo González (2016), estudiando la misma variable no encontró respuesta significativa en maíz chipa a la adición de N.

En la figura 4 se presentan las medias del diámetro del tallo del maíz obtenidos con la aplicación de dosis de nitrógeno. Además, se presenta la ecuación polinómica cuadrática y el coeficiente de regresión.

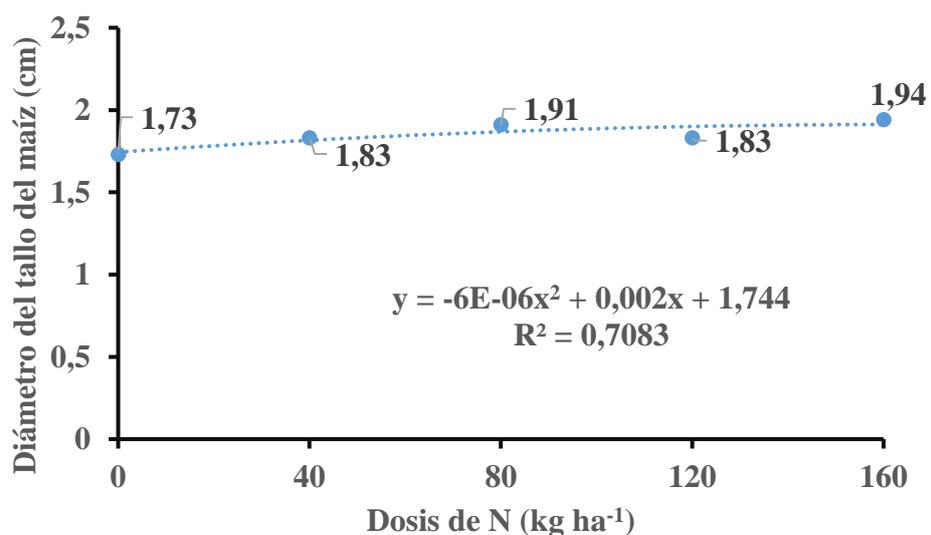


Figura 4. Diámetro del tallo del maíz con la aplicación de dosis nitrógeno. Caaguazú, 2016.

Con la aplicación de dosis de N, los valores del diámetro del tallo del maíz fueron superiores con la aplicación de 80 y 160 kg ha⁻¹ de N, siendo estos diferentes significativamente al testigo y. Por su parte, Melgarejo (2016), menciona que en un experimento realizado con diferentes niveles de N en el cultivo de maíz chipa, no detectó diferencia significativa en el diámetro del tallo del maíz, observándose un mayor diámetro (2,29 cm) con 160 kg ha⁻¹ de N. Rivas (2014), analizando distintas fuentes y dosis de N en el diámetro del tallo tampoco detectó efecto significativo de ambos factores.

4.2 Efectos de dosis de estiércol bovino y nitrógeno en caracteres de rendimiento del maíz

Los valores obtenidos de las variables: longitud de la mazorca (Anexo 7), diámetro de la mazorca (Anexo 8) y peso mil granos del maíz (Anexo 9), se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca y peso mil granos del maíz en función a las dosis de N y estiércol bovino. Caaguazú, 2016.

Factores	Longitud de la mazorca (cm)	Diámetro de la mazorca (cm)	Peso mil granos del maíz (g)
Dosis de estiércol bovino (t ha⁻¹)			
0	9,81 c	2,70 b	192,86 c
7,5	13,86 b	3,47 a	228,59 b
15	15,15 a	3,65 a	241,53 a
Dosis de N (kg ha⁻¹)			
0	12,28 ^{ns}	3,28 ^{ns}	217,08 ^{ns}
40	13,26	3,34	218,53
80	13,17	3,20	223,32
120	12,85	3,25	224,63
160	13,14	3,30	221,11
CV (%)	9,26	7,98	5,32

Medias con letras diferentes en las columnas son significativamente diferentes por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error; ns, medias sin diferencias significativas; CV, coeficiente de variación.

Se encontraron resultados significativamente diferentes por efecto de las dosis de estiércol bovino, en las variables longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca y peso mil granos del maíz. Por otro lado, no hubo significancia estadística en la aplicación de dosis de N en estas tres variables; tampoco se verificaron interacción entre los factores, lo que nos indica que los factores actuaron de forma independiente (Anexos 7, 8 y 9).

Se puede observar que con 15 t ha^{-1} de estiércol bovino presentó una media de longitud de la mazorca de 15,15 cm, obteniéndose un aumento del 54% en relación al testigo (0 t ha^{-1}) que presentó una media de 9,81 cm. El incremento en la longitud de la mazorca con las dosis crecientes del estiércol bovino se ajustó a una ecuación lineal ($y = 0,356x + 10,27$) con coeficiente de determinación ($R^2 = 0,92$), que indica un aumento de 0,35 cm por cada tonelada adicional de estiércol bovino. En el caso del diámetro de la mazorca, se ajustó a la ecuación ($y = 0,0633x + 2,7983$) con ($R^2 = 0,89$) indicando un crecimiento de 0,06 cm en el diámetro de la mazorca por cada tonelada adicional de aplicación de estiércol bovino.

Como es de esperar con el incremento de factores de rendimiento como lo son la longitud de la mazorca y el diámetro de la mazorca, el peso mil granos también aumentó significativamente con la adición de estiércol bovino, ajustándose a la ecuación ($y = 3,2447x + 196,66$) con ($R^2 = 0,93$), que implica una elevación en el peso mil granos de 3,25 g por cada tonelada adicional de aplicación de estiércol bovino.

González (2016) también observó efectos significativos con el uso de estiércol bovino en el aumento de la longitud de la mazorca utilizando 25 t ha^{-1} , alcanzando un promedio de 17,1 cm en comparación al testigo 16,0 cm por otro lado, Duarte (2016), constató diferencia significativa en el diámetro de la mazorca del maíz y peso mil granos del maíz utilizando 30 t ha^{-1} , obteniéndose medias generales de 3,7 cm y 223 g respectivamente.

En el experimento realizado por Ramírez (2012), no se obtuvieron diferencias

estadísticas significativas entre sus tratamientos, pero se pudo observar tendencia de mejores resultados en cuanto al peso de los granos de maíz con tratamientos en las que se utilizaron combinaciones de estiércol bovino y fertilizantes químicos.

Con relación a la aplicación de dosis de nitrógeno, no se detectaron significancias estadísticas entre los tratamientos del factor N para las variables longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca y peso mil granos del maíz alcanzando promedios de 12,94 cm; 3,27 cm y 220,09 g respectivamente.

Del Puerto (2011), en un experimento con la aplicación de dosis de urea en maíz de la variedad KarapePytã, observó un crecimiento constante en la longitud de la mazorca, hasta la utilización de dosis de urea de 200 kg ha⁻¹ que presentó el mayor valor, siendo las dosis utilizadas (100, 150, 200 y 250 kg ha⁻¹) respectivamente.

Cano (2015), realizó una fertilización nitrogenada en cobertura en el maíz, pudo observar respuestas significativas entre las dosis de N y fuentes de N, para las variables diámetro de la mazorca y peso mil granos del maíz cuyo valor promedio fue de 18,9 mm y 348,2 g respectivamente.

Los coeficientes de variación expresados en porcentaje de las variables mostradas en la Tabla 3, indican la confiabilidad de los datos obtenidos en el experimento. Hay que destacar que durante el presente experimento, las precipitaciones en los meses de llenado de grano fueron bajos, lo cual, pudo determinar la falta de respuesta a la fertilización nitrogenada.

4.3 Efectos de dosis de estiércol bovino y nitrógeno en la materia seca aérea, índice de cosecha y rendimiento en granos del maíz

En la Tabla 4 se presentan las medias de materia seca aérea (Anexo 10), índice de cosecha (Anexo 11) y rendimiento en granos del maíz (Anexo 12), obtenidas con la aplicación de dosis de estiércol bovino y nitrógeno.

Tabla 4. Índice de cosecha, materia seca aérea y rendimiento en granos del maíz en función a las dosis de N y estiércol bovino. Caaguazú, 2016.

Factores	Materia seca aérea (kg ha⁻¹)	Índice de cosecha (%)	Rendimiento en granos del maíz (kg ha⁻¹)
Dosis de estiércol bovino (t ha⁻¹)			
0	1.914 b	22,57 b	510 b
7,5	4.397 a	44,72 a	2.899 a
15	4.448 a	45,95 a	3.612 a
Dosis de N (kg ha⁻¹)			
0	2.822 b	38,16 ^{ns}	2.229 ^{ns}
40	-	-	2.285
80	-	-	1.981
120	-	-	2.194
160	4.350 a	37,34	3.013
CV (%)	36,09	29,82	42,05

Medias con letras diferentes en las columnas son significativamente diferentes por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error; ns, medias sin diferencias significativas; CV, coeficiente de variación.

En las variables mencionadas anteriormente se encontraron diferencias significativas a nivel estadístico por efecto de las dosis de estiércol bovino. La aplicación de dosis de N demuestra que existió una respuesta significativa en la variable materia seca aérea (Anexo 10), por lo contrario para los parámetros índice de cosecha (Anexo 11) y rendimiento en granos del maíz (Anexo 12) no hubo respuesta significativa. Tampoco se observó interacción entre los factores estudiados, lo que nos indica que actuaron de forma independiente.

Las dosis de estiércol bovino arrojaron resultados estadísticamente iguales entre sí y superiores al testigo para las variables materia seca aérea, índice de cosecha y rendimiento en granos del maíz. En estas variables mencionadas, los promedios entre las dosis de estiércol aplicadas fueron de 4.422 kg ha⁻¹, 45,33% y 3.255 kg ha⁻¹, respectivamente, superiores al testigo, donde se obtuvieron promedios de 1.914 kg ha⁻¹, 22,57% y 510 kg ha⁻¹, respectivamente.

Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Flores et al. (2012) quienes en un experimento de producción de forraje de alfalfa en respuesta a la

aplicación de fertilizante orgánico (28 t ha⁻¹ de estiércol bovino) donde la producción de promedio anual de materia seca fue significativamente diferente ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos, testigo $19,9 \pm 0,090$ t ha⁻¹. La producción promedio de forraje fue mayor ($P \leq 0,05$) en las parcelas con fertilizante orgánico, demostrando una eficiencia del 37 % en la utilización del mismo.

Sánchez (2010), menciona que con la incorporación de estiércol bovino al suelo, incrementa significativamente el rendimiento del maíz.

Brizuela (2010), encontró interacción en su experimento analizando estiércol bovino y fertilizante mineral (10-30-10) en el cultivo de maíz híbrido BR 106.

Con relación a la evaluación de aplicación de nitrógeno; Mendoza (2010), evaluando dosis y momento de aplicación de N en maíz zafriña, constató que hubo diferencia significativa para el factor dosis, obteniendo promedios de 3.890; 4.366; 4.478 y 4.836 kg ha⁻¹ con las dosis (0, 50, 100 y 150 kg ha⁻¹ de N) respectivamente.

Mendoza et al. (2006) evaluaron el efecto de la densidad de población y de la fertilización nitrogenada sobre la acumulación de materia seca en el cultivo de maíz, donde la mayor producción de materia seca se obtuvo con 100 kg ha⁻¹ de N encontrando efecto significativo del mismo. Del mismo modo Cueto et al. (2006), nos mencionan que con la aplicación de 375 kg ha de N en su experimento, incrementó el rendimiento de materia seca entre 11,8 y 17,5 % en el cultivo de maíz forrajero.

Aguilar et al. (2016), quienes en un estudio de eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función de nitrógeno con la utilización de 0, 80 y 160 kg ha⁻¹ de N, registraron una respuesta favorable en la variable índice de cosecha con el uso de 80 kg ha⁻¹.

Torres (2013), encontró que al aumentar las dosis de N, el índice de cosecha se reducía, los mayores valores se observaron con las dosis 0 y 60 kg ha⁻¹ de N, los

cuales tuvieron diferencia significativa con las dosis de 120 y 150 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Barraco y Díaz (2005), utilizando maíz encontraron diferencias entre las dosis aplicadas de N (0; 37,5; 75; 150 kg ha⁻¹) con una producción de granos que varió de 5.023 a 14.757 kg ha⁻¹. Por su parte Aguirre y Alegre (2015), obtuvieron incremento en el rendimiento de grano de maíz con un rango de 6.798 kg ha⁻¹ a 10.271 kg ha⁻¹ respondiendo significativamente a la aplicación de NPK (nitrógeno + fosforo + potasio).

Por el contrario en un experimento realizado por Cervantes et al. (2013) no encontraron respuesta significativa en el rendimiento de granos de maíz híbrido evaluando la densidad de población y fertilización nitrogenada.

Según el análisis de suelo realizado anteriormente el porcentaje de materia orgánica de la parcela es de 0,53 % un nivel bajo, esto hace que en los tratamientos donde no se aplicó estiércol bovino tengan una menor producción que los tratamientos donde fue aplicado el estiércol bovino.

La no diferencia significativa por la aplicación de dosis de nitrógeno pudo deberse al alto porcentaje del coeficiente de variación (29,82 y 42,05%) para las variables índice de cosecha y rendimiento en granos del maíz, en el experimento.

El rendimiento de granos de maíz fue bajo en relación al potencial de rendimiento de la variedad según el IPTA que es de 5.200 kg ha⁻¹. Tampoco fue afectado por la población de plantas, atendiendo que no hubo diferencia significativa de esta variable por ninguno de los dos factores, y si fue afectado por peso mil granos, diámetro y longitud de la mazorca así como por un mayor crecimiento de altura y diámetro de la planta del maíz.

5 CONCLUSIÓN

La aplicación de estiércol bovino aumenta las variables de crecimiento y rendimiento del maíz, siendo una alternativa para el aumento en la producción del maíz chipa.

La aplicación de dosis de nitrógeno tiene efecto significativo en las variables altura del maíz, diámetro del tallo del maíz y materia seca aérea. Las variables población de plantas, longitud y diámetro de la mazorca, peso mil semillas del maíz, índice de cosecha y rendimiento en granos del maíz se comportan indiferentes ante la aplicación de dosis de N.

No se detecta interacción entre los factores estiércol bovino y dosis de nitrógeno.

Los resultados obtenidos pueden estar afectados por limitación en las precipitaciones en el ciclo del cultivo, se recomienda realizar más investigaciones sobre los métodos adecuados para el manejo del nitrógeno.

6 REFERENCIAS

- Acevedo, D.; Álvarez, M.; Hernández, E.; Amendola, R. 2011. Concentración de nitrógeno en el suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Chapingo*, ME. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300325 Consultado 03 de junio del 2018.
- Aguilar, C.; Salvador, J.; Aguilar, I.; Mejía, J.; Conde, V.; Trinidad, A. 2016. Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno (en línea). Consultado el 07 oct 2018. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00419.pdf>
- Aguirre, G.; Alegre, J. 2015. Uso de fuentes no convencionales de nitrógeno en la fertilización del maíz (*Zea mays* L.), en Cañete (Perú). I: Rendimiento de extracción de N, P Y K (en línea). Consultado 03 oct 2018. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/341/34143179008.pdf>
- Álvarez, J.; Muñoz, R.; Huerta, E.; Toral, J. 2016. Balance parcial de nitrógeno en el sistema de cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con cobertura de leguminosas en Chipas, México. *Chipas*, ME. *Agronomía Costarricense* 40(1): 29-39. Consultado 03 jun. 2018. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/25322/25570>
- Arriache, I.; Mora, O. 2005. Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo de maíz en suelos degradados del Estado Yaracuy, Venezuela. *Bioagro*, v17, n3. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S131633612005000300005&script=sci_arttext Consultado el 03 de junio del 2018.
- Arquímedes, G. 2013. Fertilización en el cultivo de maíz blanco amiláceo (en línea). Consultado el 12 may. 2018. Disponible en <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/022-g-mab.pdf>

- Arzola, C.; Mello, P.; Fundora, O. 2013. Manejo de suelo para una agricultura sostenible. Jaboticabal: 509p.
- Azcón, J; Talón, M. 2013. Fundamentos de la fisiología vegetal. Madrid, ES. McGRAW-HILL. 647p. Consultado el 23 de abril del 2018. Disponible en: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Baca, B.; Soto, L.; Pardo, P. 2000. Fijación biológica del nitrógeno. Puebla, México, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 43-39p.
- Barraco, M.; Díaz, M. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivo de maíz hapludoles típicos (en línea). Consultado 03 oct 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672005000200010
- Below, F. 2002. Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz (en línea). Informaciones agronómicas N° 54: 3-9. Consultado el 2 de julio del 2017. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/EED445602FD388C005256F34006A2495/\\$file/Fisiologia,+nutrici%C3%B3n+y+fertilizaci%C3%B3n+nitrogenada+del+ma%C3%ADz.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/EED445602FD388C005256F34006A2495/$file/Fisiologia,+nutrici%C3%B3n+y+fertilizaci%C3%B3n+nitrogenada+del+ma%C3%ADz.pdf)
- Brizuela, F. 2010. Efecto de diferentes dosis de estiércol vacuno y fertilizante mineral (10.30.10) en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) híbrido BR 106. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 23p.
- Cano, N. 2015. Fertilización nitrogenada en cobertura en el maíz. Tesis, Ing. Agr. Nathalia Cano Quintero, PY, Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, FCA, UNA. 69p.
- Cerón Rincón, LE.; Aristazabal, FA. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. IBUM, 14(1).
- Cervantes, F.; Covarrubia, J.; Rangel, JA.; Terrón, AD.; Mendoza, M.; Preciado, RE. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 24(1):101-110. Consultado 23 oct. 2018. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n01_101.pdf
- DINAC (Dirección Nacional de Aeronáutica Civil, PY). 2013. Dirección de Meteorología e hidrología. (En línea). Asunción, PY. Consultado 22 sep 2017. Disponible en: <http://www.meteorologiagov.py/serviciopublico.php>
- Duarte, A. 2016. Fertilización fosfatada con enmiendas orgánicas e inorgánicas en maíz chipa (*Zea mays* var. amiláceo L.). Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias

Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 78p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria). 2002. Milho. Recomendacoes técnicas para o Mato Grosso do Sul. Dourados, MS. (BR). 179p.

FAO. 2002. Los fertilizantes y sus usos. 4ed. Roma. 87p.

Fatecha, D. 2014. Efecto de estiércol vacuno, gallinaza y fosfato natural en el rendimiento e índice de intensidad de daño de la *Diatreasaccharalis*, en el cultivo de caña de azúcar. III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, PY. FCA-UNA. 259-260.

Ferreira, E.; González, D.; Ayala, M.; Ayala, L.; Oviedo, R. 2014. Desarrollo vegetativo de variedades e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en el ciclo otoño – invierno. III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, PY. FCA-UNA. 114-116.

Ferraris, G.; Couretot, L.; Toribio, M. 2008. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz en Pergamino (BsAs). Efecto de fuente, dosis y uso de inhibidores (en línea). Consultado el 08 nov 2018. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/Perdidas-Nitrogeno-por-Volatilizacion.asp>

Figueroa, U; Wong, JA; Delgado, JA; Núñez, G; Reta, DG; Quiroga, HM; Faz, R; Márquez, JL. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. Terra Latinoam, v28, n, 4. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400008 Consultado el 28 de abril del 2018.

Finck, A. 2009. Fertilizante y fertilización: fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Barcelona (ES). Editorial Reverte S.A.

Flores, J.; Vázquez, R.; Solano, J.; Aguirre, V.; Flores, F.; Bahena, M.; Guadarrama, R.; Granjeno, A.; Orihuela, A. 2012. Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo (en línea). Consultado el 09 oct 2018. Disponible: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57325509006.pdf>

Fortis, M.; Leos, J.; Preciado, P.; Orona, I.; García, J.; García, L.; Orozco, J. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo (en línea). Consultado 09 oct 2018. Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792009000400007

- García, F. 2007. El cultivo de zanahoria. Montevideo, UY 43p. Consultado el 23 de abril 2018. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~horticultura/curso%20horticultura/zanahoria/zanapre5public.pdf>.
- González, H.; Zacarías, C.; Días da Silva, E.; Batagello, H.; Ocheuze, P. 2015. Nitrógeno de liberación controlada en la fertilización del cultivo de maíz. I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo. San Lorenzo, PY. FCA-UNA. 110-114p.
- González, E. 2016. Dosis de nitrógeno con enmiendas orgánicas e inorgánicas en maíz chipa (*Zea mays* var. amiláceo. L). Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 61p.
- Heep, F.; Emategui, V. 2014. Rendimiento y aporte de materia seca de híbridos maíz en monocultivo y consorciado con *Brachiaria ruziziensis*. III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, PY. FCA-UNA. 169- 171.
- IFA (Asociación Internacional de la Industria de los fertilizantes). 2007. Los fertilizantes y su uso (en línea). Consultado 17 de oct 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- Julca, A.; Meneses, L.; Sevillano, R.; Amez, S.; 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. Chile. 49-69 p.
- López Gorostiaga, O; González Erico, A; A de Llamas G, P; Molinas M, AS; Franco S, ES; Garcia S, S; Ríos A, EO. 1995. Estudio de Reconocimiento de Suelos, Capacidad de Uso de la tierra y Propuesta de Ordenamiento Territorial preliminar para la Región Oriental del Paraguay. Proyecto de Racionalización de uso de la Tierra. Asunción, Paraguay. SSERNMA/Banco Mundial. 246 p.
- López, J.; Avalos, A.; Martínez, E.; Celis, R.; Valdéz, R.; Salazar, E. 2006. Características físicas del suelo y rendimiento de maíz forrajero evaluado con labranza y fertilización orgánica-inorgánica (en línea). Consultado 03 oct 2018. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311103014.pdf>
- López Calderón, MJ; Figueroa Viramontes, U; Fortis Hernández, M; Núñez Hernández, G; Ochoa Martínez, E; Sánchez Duarte, JI. 2015. Evaluación de dosis equivalentes de fertilizante y estiércol en la producción de maíz forrajero (*Zea mays*). Revista Internacional de Botánica Experimental. 84:8-13.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY) 2010. Análisis del comportamiento de rubros agrícolas: Censo Agropecuario 2008. Consultado 09 de marzo del 2018. Disponible en: www.mag.gov.py/dgp/Analisis%20comportamiento%20de%20Rubros%20Ag

ricolas.pdf.

- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY). 2007. Datos Preliminares del Programa Nacional del Maíz. 108p
- Martínez, D.; Valdez, A. 2015. Fuente y dosis de nitrógeno aplicados en cobertura en el cultivo de maíz. I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo. San Lorenzo, PY. FCA-UNA. 91-94p.
- Martin, M; Cubilla, A; Wendling, F; Amado, T; Mielniczuk, J. 2012. Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay (en línea). Consultado 23 sep 2017. Disponible en: http://capeco.org.py/wp-content/uploads/2015/06/libro-final_recomendaciones-de-fertilizacion-paraguay_2012.pdf
- Martin, MG; Rivera, RA; Mujica, Y. 2007. Estimación de la fijación biológica del nitrógeno de la *Canavaliaensiformis* por el método de la diferencia de N total. Cultivos Tropicales. 28 (4): 75.78
- Melgarejo, J. 2018. Combinaciones de abono orgánico e inorgánico con diferentes dosis de nitrógeno en Maíz chipa, departamento de Canindeyú (Año II). Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 67p.
- Mendoza, M.; Mosqueda, C.; Rangel, J.; López, A.; Rodríguez, S.; Latournerie, L.; Moreno, E. 2006. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM (en línea). Consultado 07 oct 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000100009
- Mendoza, E. 2010. Producción de maíz zafriña (*Zea mays* L.) en función a dosis y momentos de aplicación de nitrógeno. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 58p.
- Navarro, S.; Navarro, G. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2º ed. Madrid, ES, Mundi-Prensa. 487p.
- Pacheco, J.; Pat, R.; Cabrera, A. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. (en línea). Consultado 18 mayo. 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/467/46760308.pdf>
- Pagani, A.; Echeverría, H.; Sainz H.; Barbieri, P. 2008. Dosis optima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del suelo, v26, Buenos Aires. Disponible: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850206720080

00200009 Consultado el 03 de julio del 2018.

- Quiroga, A; D Funaro; O Ormeño; A Bono & C Scianca. 2011. Manejo del agua para los cultivos de girasol y maíz en suelos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. Cultivos de Cosecha Gruesa. Actualización 2003. Boletín de Divulgación Técnica N° 77. EEA INTA Anguil. 264 pp.
- Ramírez, V. 2016. Fertilización nitrogenada, orgánica y órgano mineral en mandioca (*ManihotsculentaCrantz*). Tesis, Ing. Agr. Víctor A. Ramírez, PY, Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, FCA, UNA. 69h.
- Ramírez, I. 2012. Evaluación del efecto de la fertilización química, orgánica y organomineral en el rendimiento del maíz, en el distrito de Itacurubi de la Cordillera. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 35p.
- Rivas, A. 2018. Fertilización fosfatada con estiércol bovino en maíz chipá (*Zea mays* var. amiláceo L.) en el distrito de Caaguazú. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 43p.
- Rivas, R. 2014. Efectos de fuentes y dosis de fertilizante nitrogenado sobre las características agronómicas del maíz (*Zea mays*) en el suelo Paleudult. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 45p.
- Rodríguez, E.; Morales, E.; Franco, O.; Santoyo, E.; Estrada, G.; Gutiérrez, F. 2015. Manejo de fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento de triticale (en línea). Consultado el 24 oct 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000400005
- Rodríguez, J.; Rabery, S. 2003. Rendimiento del maíz amiláceo variedad avatimorofí sembrado en dos épocas y tres distancias entre hileras. Investigación agraria Vol 5 (2). 36p.
- Salazar, E.; Trejo, H.; López, J.; Vázquez, C.; Santos, J.; Orona, I.; Flores, J. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maní forrajero y propiedades del suelo, (en línea) consultado el 9 de abril 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400010
- Salazar, E.; Trejo, H.; Vázquez, C.; López, D. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino (en línea). Consultado 11 nov 2018. Disponible: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572007000100015

- Sanabria, M. 2016. Fertilización fosfatada con enmienda orgánica en el cultivo de mandioca (*Manihotesculenta*Crantz). Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 54p.
- Sánchez, A. 2010. Efecto de combinación de sistemas de siembra y fertilización orgánica en maíz (*Zea mays*), variedad NutriGuarani V-1 en el distrito de Caazapá. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 31p.
- Sifuentes, E.; Macías, J.; Ruelas, J.; Ojeda, W.; Inzunza, M.; Samaniego, J. 2015. Mejoramiento del grado de uso del nitrógeno en maíz mediante técnicas parcelarias de riego por superficie (en línea). Consultado 23 oct 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801903
- Torres, C. 2013. Dosis y época de fertilización nitrogenada en el maíz. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, San Lorenzo – PY. 48p.
- Trejo, L; Gómez, F; Rodríguez, M; Alcantar, G. 2005. Fertilización foliar con urea en la partición de nitrógeno en espinaca. Revista Terra Latinoamericana, v 23, n 4, 495-503p. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311146008.pdf> Acceso: 28/04/2018.
- Trejo, H; Salazar, E; Dimas, J; Vázquez, C. 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz (en línea). Consultado el 8 de abr. 2018. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000500006
- Vidal, I.; Etchevers, J.; Fischer, A. 2002. Dinámica del nitrógeno bajo diferentes rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos en el cultivo de trigo, (en línea) consultado el 10 de abril 2018. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072002000100012
- Wong, J.; Reta, G.; Barrientos, J.; González, G.; Salazar, E. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población (en línea). Consultado el 30 oct 2018. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/610/61009817/>
- Yamada, T.; Stripp, S.; Godofredo, A.; Vitti, C. 2007. Nitrogenio e exofre na agricultura brasileira. Piracicaba (SP). Editorial IPNI (International plantnutritoninstitute).

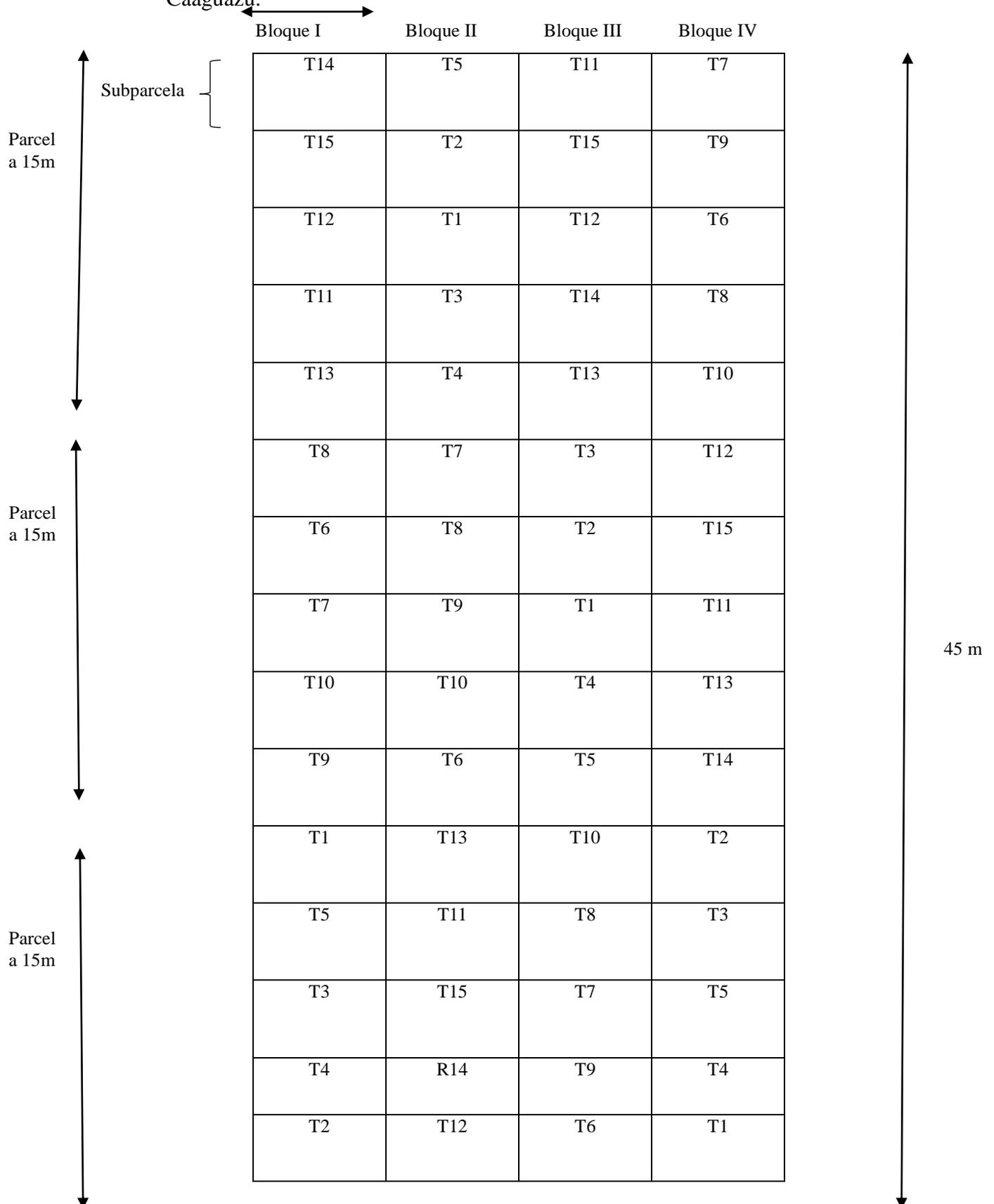
- Zagal, E.; Rodríguez, N.; Vidal, I.; Hofmann, G. 2003. Eficiencia de uso y dinámica del nitrógeno en una rotación con y sin uso de residuos. *Agritec*, v63, n3. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072003000300009 Consultado el 03 de junio del 2018.
- Zhang, X.; Davidson, E.A.; Mauzerall, D.L.; Searchinger, T.D.; Dumas, P.; Shen, Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development *Nature* 528, 51-59.

7 ANEXOS

A 1. Precipitaciones mensuales ocurridas durante el periodo del experimento en milímetros (mm) (septiembre del 2016 hasta febrero del 2016), medido con pluviómetro instalado en el área del experimento.

DIAS	PERIODO 2016 - 2017						
	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
1							
2							116
3			32		62		
4							
5		29					115
6							
7							
8							
9				9			
10							
11							
12			40				
13			44	54			
14			84				
15			97				
16							
17							
18							
19							
20			12				
21							
22							
23							
24							
25							
26			43				
27			39				
28							30
29			37				
30	120	9				33	
31							
Total	120	38	428	63	62	33	261
Media Histórica	63	128	211,9	198,9	176	151,3	178,8

A 2. Distribución de los bloques y tratamientos en el área experimental. Distrito Caaguazú.



A 3.Tabla general de datos de las variables evaluadas en función a las de dosis de N y estiércol bovino. Caaguazú, 2016.

Enmienda	Bloque	N	Altura del maíz (m)	Diámetro del tallo del maíz (cm)	Longitud de la mazorca (cm)	Diámetro de la mazorca (cm)
0	1	0	1,3	1,3	8,4	2,1
0	2	0	1,6	1,6	10,6	3,2
0	3	0	1,3	1,3	8,2	3
0	4	0	1	1,3	7,9	3
0	1	40	1,5	1,5	12,2	3
0	2	40	1,6	1,5	9,4	2,8
0	3	40	1,5	1,5	8,4	2,4
0	4	40	1,4	1,3	12,1	3
0	1	80	1,3	1,5	9,6	2
0	2	80	1,3	1,4	8,2	2,2
0	3	80	1,4	1,5	10,3	2,7
0	4	80	1,3	1,4	11,1	2,9
0	1	120	1,3	1,4	10,1	2,6
0	2	120	1,4	1,5	9,3	2,5
0	3	120	1,3	1,6	6,9	2,2
0	4	120	1,2	1,4	9,7	2,7
0	1	160	1	1,3	8,6	1,7
0	2	160	1,7	1,8	11,6	2,9
0	3	160	1,4	1,4	11,3	3,1
0	4	160	1,4	1,6	11,4	3
7,5	1	0	1,6	1,4	11,6	3
7,5	2	0	2	2	13,2	3,2
7,5	3	0	1,7	1,6	12,4	3,4
7,5	4	0	2,3	2,2	14,7	3,8
7,5	1	40	1,9	1,9	12,8	3,3
7,5	2	40	2,1	2	13,9	3,3
7,5	3	40	1,9	1,6	13,1	3,4
7,5	4	40	2,1	2,1	16	3,8
7,5	1	80	2,1	1,9	13,2	3,2
7,5	2	80	2,2	2,3	13,6	3,5
7,5	3	80	2	2	15,5	3,6
7,5	4	80	2,3	2,3	15,7	3,6
7,5	1	120	1,8	1,8	14	3,4
7,5	2	120	2	2	12,8	3,4
7,5	3	120	1,8	1,7	12,9	3,3
7,5	4	120	2,1	2	14,7	3,4
7,5	1	160	2	1,9	13,9	3,3
7,5	2	160	2,3	2,1	11,6	3,4
7,5	3	160	2	2	15,4	3,52
7,5	4	160	2,3	2,3	15,5	3,5
15	1	0	2	1,9	16	3,5
15	2	0	1,9	1,9	12,1	3,1
15	3	0	2	1,7	16,6	3,9
15	4	0	2,1	2	15,2	3,6
15	1	40	2	1,9	15,5	3,6
15	2	40	2,3	2,1	16,1	3,8
15	3	40	2	1,8	13,9	3,5
15	4	40	2,4	2,3	15,1	3,5
15	1	80	2,1	2,1	17,1	3,6
15	2	80	2	1,9	13,2	3,3
15	3	80	2,1	2,0	14,6	3,5
15	4	80	2,3	2,1	15,5	3,8
15	1	120	2,4	2,1	17,1	3,8
15	2	120	2,4	2,1	14	3,7
15	3	120	2,1	1,9	15,7	3,6
15	4	120	2,3	2,1	16,5	3,8
15	1	160	2,3	2	15	3,4
15	2	160	2,3	2,4	12,7	3,8
15	3	160	2	2	15,4	3,5
15	4	160	2,3	2	14,7	3,8

A 3. Tabla general de datos de las variables evaluadas en función a las dosis de N y estiércol bovino. Caaguazú, 2016.
(Continuación).

Enmienda	Bloque	N	Rendimiento en granos del maíz (kg ha ⁻¹)	Peso mil granos del maíz (13%)	Población de plantas
0	1	0	177	156	60268
0	2	0	782	202	73660
0	3	0	312	216	84821
0	4	0	527	193	71428
0	1	40	969	189	73660
0	2	40	361	210	69196
0	3	40	329	174	95982
0	4	40	746	210	66964
0	1	80	207	161	69196
0	2	80	239	191	78125
0	3	80	522	203	66964
0	4	80	759	208	46875
0	1	120	428	169	64732
0	2	120	257	188	87053
0	3	120	159	202	66964
0	4	120	527	206	75892
0	1	160	129	142	66964
0	2	160	1010	217	66964
0	3	160	914	203	62500
0	4	160	844	211	60268
7,5	1	0	1125	186	58036
7,5	2	0	2311	243	69196
7,5	3	0	1583	213	73660
7,5	4	0	6440	242	49107
7,5	1	40	2911	200	78125
7,5	2	40	1974	213	91518
7,5	3	40	2031	239	64732
7,5	4	40	3379	246	62500
7,5	1	80	1818	204	69196
7,5	2	80	2724	240	93750
7,5	3	80	3589	249	64732
7,5	4	80	2099	255	49107
7,5	1	120	1476	204	71428
7,5	2	120	2090	235	60268
7,5	3	120	2697	232	73660
7,5	4	120	2759	243	75893
7,5	1	160	3105	202	58036
7,5	2	160	4037	240	84821
7,5	3	160	5172	234	82589
7,5	4	160	4659	248	73660
15	1	0	3449	214	62500
15	2	0	2169	234	93750
15	3	0	4977	251	58035
15	4	0	2899	252	69196
15	1	40	3398	209	80357
15	2	40	5018	242	71428
15	3	40	2528	244	84821
15	4	40	3775	243	80357
15	1	80	3641	224	62500
15	2	80	2253	230	82589
15	3	80	2751	251	64732
15	4	80	3168	262	62500
15	1	120	4340	223	69196
15	2	120	5941	263	84821
15	3	120	2569	259	73660
15	4	120	3087	269	53571
15	1	160	4479	209	73660
15	2	160	3948	255	84821
15	3	160	4549	243	80357
15	4	160	3307	246	73660

A 3. Tabla general de datos de las variables evaluadas en función a las dosis de N y estiércol bovino. Caaguazú, 2016. (Continuación).

Enmienda	Bloque	N	M.S seca aérea (kg ha ⁻¹)	Índice de cosecha (%)
0	1	0	1467	9,6
0	1	160	1989	6,6
0	2	0	2443	7,6
0	2	160	3054	6,6
0	3	0	1425	13,1
0	3	160	2112	8,7
0	4	0	976	16,5
0	4	160	1851	10,2
7,5	1	0	2449	7
7,5	1	160	1477	12
7,5	2	0	2996	7,5
7,5	2	160	7482	3,1
7,5	3	0	2539	7,7
7,5	3	160	5393	4,1
7,5	4	0	5629	4,1
7,5	4	160	7208	3,3
15	1	0	3578	5,6
15	1	160	3654	5,4
15	2	0	2670	8
15	2	160	7061	3,4
15	3	0	3723	6,3
15	3	160	5042	4,6
15	4	0	3973	5,9
15	4	160	5884	4

A 4. Análisis de varianza de la variable altura del maíz.

Variable	N ²	R ²	R ² Aj	CV
Altura del maíz (m)	60	0,56	0,90	6,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,12	17	0,48	20,76	0,0001
Enmienda	7,16	2	3,58	155,68	0,0001
Bloque	0,39	3	0,13	5,65	0,0024
N	0,25	4	0,06	2,73	0,0415
Enmienda*N	0,31	8	0,04	1,70	0,1263
Error	0,97	42	0,02		
Total	9,08	59			

A 5. Análisis de varianza diámetro del tallo del maíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro del tallo del maíz (cm)	60	0,92	0,81	7,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,05	35	0,14	8,34	0,0001
Enmienda	3,58	2	1,79	103,39	0,0001
Bloque	0,49	3	0,16	9,48	0,0003
N	0,30	4	0,08	4,37	0,0085
Enmienda*N	0,13	8	0,02	0,94	0,5063
Error	0,42	24	0,02		
Total	5,47	59			

A 6. Análisis de varianza población de plantas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Población de plantas	60	0,61	0,04	15,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4468188848,43	35	127662538,53	1,07	0,4408
Enmienda	121572005,10	2	60786002,55	0,51	0,6079
Bloque	1879633989,16	3	626544663,05	5,24	0,0063
N	611680195,47	4	152920048,87	1,28	0,3060
Enmienda*N	647387650,51	8	80923456,31	0,68	0,7072
Error	2870230251,0	24	119592927,15		
Total	7338419100,13	59			

A 7. Análisis de varianza longitud de la mazorca.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud de la mazorca (cm)	60	0,92	0,80	9,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	392,24	35	11,21	7,81	0,0001
Enmienda	311,16	2	155,58	108,44	0,0001
Bloque	19,49	3	6,50	4,53	0,0118
N	7,61	4	1,90	1,33	0,2891
Enmienda*N	13,71	8	1,71	1,19	0,3430
Error	34,43	24	1,43		
Total	426,67	59			

A 8. Análisis de varianza diámetro de la mazorca.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de la mazorca (cm)	60	0,89	0,73	7,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	13,28	35	0,38	5,57	0,0001
Enmienda	10,11	2	5,06	74,27	0,0001
Bloque	1,04	3	0,35	5,07	0,0073
N	0,13	4	0,03	0,46	0,7614
Enmienda*N	0,50	8	0,06	0,92	0,5209
Error	1,63	24	0,07		
Total	14,91	59			

A 9. Análisis de varianza peso mil granos del maíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso mil granos del maíz (13%)	60	0,93	0,83	5,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	44820,18	35	1280,58	9,27	0,0001
Enmienda	25276,59	2	12638,30	91,50	0,0001
Bloque	16299,71	3	5433,24	39,34	0,0001
N	480,23	4	120,06	0,87	0,4967
Enmienda*N	1066,05	8	133,26	0,96	0,4855
Error	3314,93	24	138,12		
Total	48135,11	59			

A 10. Análisis de varianza materia seca aérea.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.S aérea (kg ha ⁻¹)	24	0,72	0,57	36,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	63584763,87	8	7948095,48	4,74	0,0047
Enmienda	33563606,15	2	16781803,07	10,01	0,0017
Bloque	13811702,73	3	4603900,91	2,75	0,0795
N	14015397,44	1	14015397,44	8,36	0,0112
Enmienda*N	2194057,55	2	1097028,78	0,65	0,5339
Error	25136460,72	15	1675764,05		
Total	88721224,59	23			

A 11. Análisis de varianza índice de cosecha.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Índice de cosecha	de 24	0,61	0,41	29,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3002,70	8	375,34	2,96	0,0334
Enmienda	2770,30	2	1385,15	10,93	0,0012
Bloque	111,46	3	37,15	0,29	0,8297
N	3,95	1	3,95	0,03	0,8622
Enmienda*N	116,98	2	58,49	0,46	0,6390
Error	1901,07	15	126,74		
Total	4903,77	23			

A 12. Análisis de varianza rendimiento en granos del maíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento en granos del maíz (kg ha ⁻¹)	60	0,86	0,65	42,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	137908694,09	35	3940248,40	4,07	0,0003
Enmienda	105616384,19	2	52808192,10	54,52	0,0001
Bloque	1804932,83	3	601644,28	0,62	0,6082
N	7420601,28	4	1855150,32	1,92	0,1405
Enmienda*N	6106594,32	8	763324,29	0,79	0,6179
Error	23248385,62	24	968682,73		
Total	161157079,71	59			

A 13. Marcación y delimitación del área experimental



A 14. Control de malezas pre siembra



A 15. Siembra y aplicación de fertilizantes



A 16. Cuidados culturales del cultivo



A 17. Medición de la variable diámetro de la mazorca



A 18. Medición de la variable altura de la planta



A 19. Medición de la variable rendimiento

