

**FERTILIZACIÓN POTÁSICA, CON ENMIENDA ORGÁNICA E
INORGÁNICA EN MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)**

GUIDO RONALDO SAMUDIO CARDOZO

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de
Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera de Ingeniería Agronómica
Área de Suelos y Ordenamiento Territorial
San Lorenzo, Paraguay

2016

**FERTILIZACIÓN POTÁSICA, CON ENMIENDA ORGÁNICA E
INORGÁNICA EN MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)**

GUIDO RONALDO SAMUDIO CARDOZO

Orientadora: **Prof. Ing. Agr. (M. Sc) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.**

Co-Orientador: **Prof. Ing. Agr. CÉSAR A. CABALLERO MENDOZA**

Co-Orientador: **Prof. Dr. Ing. Agr. CARLOS A. LEGUIZAMÓN ROJAS**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias de la 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

201

ii

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

**FERTILIZACIÓN POTÁSICA, CON ENMIENDA ORGÁNICA E
INORGÁNICA EN MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)**

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/UNA.

Autor: **Guido Ronaldo Samudio Cardozo**

Orientadora: Prof. Ing. Agr. M. Sc. María del Pilar Galeano S

Miembros de la mesa examinadora de tesis:

Prof. Ing. Agr. M. Sc. María del Pilar Galeano S.

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

Prof. Ing. Agr. César A. Caballero Mendoza

San Lorenzo, 07 de diciembre de 2016

DEDICO

*A mis queridos padres Felipe y Marina,
por la confianza y por el incentivo a mis estudios*

AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre Todopoderoso por el don de la vida y a la Virgen de Caacupé por tantas bendiciones concedidas.

A mis padres Felipe Samudio y Marina Cardozo, agradecimientos especiales, por todo el cariño, incentivo, paciencia, confianza y por haberme apoyado incondicionalmente durante toda mi vida.

A mis hermanos Luis, Cristhian, Fernando y Juan por todo el apoyo brindado.

A la familia Sanabria por su apoyo, por brindarme un espacio en donde pude realizar mi experimento y por recibirme como un miembro más de la familia.

A la Residencia Universitaria, por acogerme durante todos estos años y a todos mis hermanos de la RUFGA, por el apoyo brindado y por ser como mi familia en este segundo hogar.

A la Prof. Ing. Agr. M. Sc. María del Pilar Galeano S., por orientarme en la ejecución de este trabajo de investigación, por la corrección de la parte escrita, por el auxilio, paciencia, enseñanza, y por todo el apoyo.

Al Prof. Dr. Ing. Agr. Carlos A. Leguizamón Rojas, por brindarme su tiempo y paciencia y por las orientaciones técnicas, por las enseñanzas brindadas, amistad y por todo el apoyo.

Al Prof. Ing. Agr. César A. Caballero Mendoza, por la predisposición, las sugerencias, los consejos y por su asesoramiento en el cultivo de la mandioca.

A los compañeros Victor Ramirez y Marcos Sanabria por su inestimable colaboración para la realización del trabajo de campo y por su amistad.

A mis compañeros y amigos Carlos Leiva, Marcelo Moran, Eugenio González, Samuel Salvador, Alder Duarte, Juan Setrini y César Gómez por brindarme su ayuda a lo largo del experimento.

Al CONACYT por financiar parte del trabajo dentro del marco del Proyecto denominado "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 el apoyo, mediante la utilización de infraestructura y equipos necesarios para el trabajo a campo y laboratorio.

A todos los compañeros, amigos, funcionarios y profesores de la Orientación Suelos por los favores, enseñanzas y por la amistad.

En definitiva a todas las personas que me han ayudado y animado para que este trabajo llegará a su fin.

FERTILIZACIÓN POTÁSICA, CON ENMIENDA ORGÁNICA E INORGÁNICA EN MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)

Autor: **GUIDO RONALDO SAMUDIO CARDOZO**

Orientador: **Ing. Agr. (M.Sc) MARÍA DEL PILAR GALEANO SAMANIEGO**

Co-Orientador: **Prof. Ing. Agr. CÉSAR A. CABALLERO MENDOZA**

Co-Orientador: **Prof. Ing. Agr. Dr. CARLOS A. LEGUIZAMÓN ROJAS**

RESUMEN

La disminución de la productividad de los cultivos está íntimamente ligada a la disminución de la fertilidad del suelo. Los fertilizantes químicos con las enmiendas podrían ser utilizados para mejorar las propiedades del suelo y aumentar el rendimiento. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización potásica y de enmiendas orgánicas e inorgánicas y las combinaciones de los mismos en el cultivo de mandioca. El experimento se realizó en una finca agrícola ubicada en el Distrito de Caaguazú, del Departamento de Caaguazú, entre los meses de agosto de 2015 y julio de 2016. Fue utilizado un diseño experimental en bloques completos al azar dispuestos en parcelas subdivididas, en el cual las parcelas principales fueron ocupadas por las enmiendas y las subparcelas por las dosis de potasio (K_2O). Las enmiendas evaluadas consistieron en el estiércol bovino (20 t ha^{-1}), ceniza (1 t ha^{-1}) y el testigo sin enmienda. Las dosis de potasio estudiadas fueron cinco (0, 40, 80, 120 y 160 kg ha^{-1}). A partir de la combinación de los factores estudiados se obtuvieron 15 tratamientos con cuatro repeticiones, realizando las evaluaciones en la parcela útil de cada unidad experimental. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y las medias comparadas por el test de Tukey al 5%. No se observó interacción entre las dosis de K_2O y las enmiendas en las variables estudiadas. Las dosis de K_2O presentaron una baja influencia en las variables estudiadas, afectando solamente el diámetro comercial y el número de raíces no comerciales. La aplicación de las enmiendas favoreció el incremento de la mayor parte de los componentes productivos, donde se destaca el mayor rendimiento con el estiércol bovino alcanzando $56,68\text{ t ha}^{-1}$, seguido del tratamiento con ceniza obteniéndose $48,73\text{ t ha}^{-1}$ y el tratamiento con menor rendimiento es el testigo sin enmiendas con una producción promedio de $42,29\text{ t ha}^{-1}$. Para la variable altura de plantas, se obtuvo el mayor valor con el estiércol bovino alcanzando 1,93 m de altura, seguido del tratamiento con ceniza y el tratamiento con menor crecimiento es el testigo sin enmiendas que arrojó una media de 1,54 m. El contenido de materia seca y almidón no fue afectado por los tratamientos. En cuanto a las propiedades químicas se observa un aumento significativo del pH, arrojando los valores de 5,73; 6,12 y 6,65 para el testigo, estiércol y la ceniza, correspondiendo el mayor valor a la ceniza y el menor valor al testigo.

PALABRAS CLAVE: Fertilización, potasio, enmiendas, mandioca.

ADUBAÇÃO POTÁSSICA, COM ENMENDAS ORGÂNICA E INORGÂNICA NA CULTURA DA MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)

Autor: **GUIDO RONALDO SAMUDIO CARDOZO**

Orientador: **Ing. Agr. (M.Sc) MARÍA DEL PILAR GALEANO SAMANIEGO**

Co-Orientador: **Prof. Ing. Agr. CÉSAR A. CABALLERO MENDOZA**

Co-Orientador: **Prof. Ing. Agr. Dr. CARLOS A. LEGUIZAMÓN ROJAS**

RESUMO

O declínio da produtividade das culturas está intimamente ligada à diminuição da fertilidade do solo. Os adubos químicos com as alterações poderiam ser utilizados para melhorar as propriedades do solo e aumentar. O objetivo foi avaliar o efeito da adubação do potássio e de enmendas orgânicas e inorgânicas e da combinação dos mesmos na cultura da mandioca. O experimento foi conduzido em uma fazenda localizada no distrito de Caaguazú, departamento de Caaguazú, entre os meses de Agosto de 2015 e Julho de 2016. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados dispostos em parcelas subdivididas, em que as parcelas principais foram ocupadas pelas enmendas e as subparcelas pela dose de potássio (K₂O). As enmendas avaliados consistiram em esterco de gado (20 t ha⁻¹), cinzas (1 t ha⁻¹) e a testemunha sem enmenda. A dose de potássio estudados foram cinco que são 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹. A partir da combinação dos fatores estudados foram obtidos 15 tratamentos com quatro repetições, realizando as avaliações nas parcelas uteis de cada unidade experimental. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Não houve interação entre a dose de K₂O e as alterações das variáveis estudadas. A dose de K₂O apresentou uma baixa influência nas variáveis estudadas, afetando apenas o diâmetro comercial e o número de raízes não comerciais. A aplicação das enmendas favoreceu o aumento da maior parte dos componentes produtivos, onde destaca-se o maior desempenho com o esterco de gado atingindo 56,68 t ha⁻¹, seguido do tratamento com cinzas com 48,73 t ha⁻¹ e o tratamento com o desempenho inferior é a testemunha sem alterações com uma produção média de 42,29 t ha⁻¹. Para a variável altura de plantas, o valor mais alto foi obtido com o esterco de gado atingindo 1,93 m de altura, seguido do tratamento com cinzas e o tratamento com menor crescimento é a testemunha sem enmendas que produziram uma média de 1,54 m. O teor de matéria seca e de amido não foi afetada pelos tratamentos. No que diz respeito à propriedades químicas é observado um aumento significativo do pH, sendo os valores de 5,73; 6,12 e 6,65 para a testemunha, esterco e cinzas, correspondendo o maior valor à cinza e o menor valor para a testemunha.

PALAVRAS CHAVE: Fertilização, potássio, enmiendas, mandioca.

POTASSIUM FERTILIZATION, WITH AMENDMENT ORGANIC AND INORGANIC IN CASSAVA CROP (*Manihot esculenta* Crantz)

Author: **GUIDO RONALDO SAMUDIO CARDOZO**

Advisor: **Ing. Agr. (M.Sc) MARÍA DEL PILAR GALEANO SAMANIEGO**

Co-Advisor: **Prof. Ing. Agr. CÉSAR A. CABALLERO MENDOZA**

Co-Advisor: **Prof. Ing. Agr. Dr. CARLOS A. LEGUIZAMÓN ROJAS**

SUMMARY

The decline in the productivity of the crops is intimately linked to the decrease in soil fertility. The chemical fertilizers with the amendments could be used to improve the properties of the soil and increase performance. The objective was to evaluate the effect of the fertilization potassium and organic and inorganic amendments and of the combination of the same in the cultivation of cassava. The experiment was conducted in a farm located in the district of Caaguazú, department of Caaguazú, between the months of August 2015 and July 2016. An experimental design was used in a complete randomized block design arranged in plots subdivided, in which the main plots were occupied by the amendments and the subplots by the dose of potassium (K₂O). The amendments evaluated consisted in the cattle dung (20 t ha⁻¹), ash (1 t ha⁻¹) and the witness without amendment. The dose of potassium studied were five which are 0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹. From the combination of the factors studied were obtained 15 treatments with four replications, carrying out evaluations on the plot tool from each experimental unit. Data were subjected to analysis of variance and the averages compared by the Tukey test at 5%. There was no interaction between the dose of K₂O and the amendments in the studied variables. The dose of K₂O presented a low influence in the studied variables, affecting only the commercial diameter and the number of non-commercial roots. The implementation of the amendments favored the increase of the greater part of the productive components, where highlights the greater performance with the cattle dung reaching 56,68 t ha⁻¹, followed by treatment with ash obtaining 48,73 t ha⁻¹ and the treatment with lower performance is the witness without amendments with an average production of 42.29 t ha⁻¹. For the variable height of plants, obtained the highest value with the cattle dung reaching 1.93 m of height, followed by treatment with ash and the treatment with lower growth is the witness without amendments that yielded an average of 1.54 m. The dry matter content and starch was not affected by the treatments. In regard to the chemical properties is observed a significant increase of pH, throwing the values of 5.73; 6.12 and 6.65 for the witness, manure and ash, corresponding the greater value to the ash and the lowest value to the witness.

KEY WORDS: Fertilization, potassium, amendments, cassava.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Características de la mandioca.....	3
2.1.1 Origen y taxonomía.....	3
2.1.2 Descripción morfológica de la planta.....	3
2.2 Requerimientos edafoclimáticos.....	4
2.3 Época de plantación.....	6
2.4 Fertilización en mandioca.....	6
2.5 Potasio.....	7
2.5.1 Potasio en el suelo.....	7
2.5.2 Potasio en la planta.....	8
2.5.3 Fertilización potásica.....	8
2.6 Enmiendas orgánicas e inorgánicas.....	9
2.6.1 Estiércol.....	10
2.6.2 Ceniza.....	11
2.8 Fertilización organomineral.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 Localización y caracterización del área experimental.....	13
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	14
3.3 Recursos materiales y equipos técnicos.....	16
3.3.1 Material experimental y materiales de campo.....	16
3.3.2 Materiales para determinar las parcelas y aplicar los productos.....	16
3.4 Implantación y manejo del experimento.....	17
3.4.1 Cuidados culturales.....	18
3.4.2 Cosecha.....	18
3.5 Variables evaluadas.....	19
3.6 Métodos de control de calidad de los datos.....	21

TABLA DE CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

	Página
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Altura de plantas	22
4.2 Diámetro de raíces comerciales y no comerciales	24
4.3 Longitud de raíces comerciales y no comerciales	25
4.4 Número de raíces comerciales, no comerciales y totales	27
4.5 Rendimiento de raíces comerciales, no comerciales y totales	29
4.6 Materia seca y almidón	32
4.7 Características químicas del suelo	33
5. CONCLUSIONES	35
4. REFERENCIAS	36
ANEXOS	43

LISTA DE TABLAS

	Página
1. Tratamientos del experimento.....	15
2. Componentes de la ceniza de Pellete de cascara de de soja	17
3. Altura de plantas en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, 2016.	22
4. Diámetro de raíces comerciales y no comerciales en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, 2016.....	24
5. Longitud de raíces comerciales y no comerciales en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, 2016.....	25
6. Número total de raíces en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, 2016.....	27
7. Número de raíces comerciales y no comerciales en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, 2016.....	28
8. Rendimiento total de raíces de mandioca en función a la aplicación dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, 2016.....	29
9. Rendimiento de raíces comerciales y no comerciales de mandioca en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, 2016.....	30
10. Contenido de materia seca y almidón en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, 2016.....	32
11. Características químicas del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.....	33

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Datos de precipitación (mm) desde agosto de 2015 a julio de 2016 en relación a un promedio histórico del año 2005-2014.....	14
2. Distribución de los tratamientos en el área experimental.....	16
3. Preparación del terreno con tracción animal.....	56
4. Vista de la parcela posterior a la preparación del terreno.....	56
5. Aplicación de tratamientos.....	57
6. Plantación de las ramas semillas.....	57
7. Planta de mandioca 30 días después de la plantación.....	58
8. Vista del cultivo.....	58
9. Cosecha manual de la mandioca.....	58

LISTA DE ANEXOS

	Página
A1. Resumen del análisis de varianza de la variable altura de plantas. Caaguazú, 2016.....	44
A2. Resumen del análisis de varianza de la variable diámetro comercial. Caaguazú, 2016.....	44
A3. Resumen del análisis de varianza de la variable diámetro no comercial de raíces. Caaguazú, 2016.....	44
A4. Resumen del análisis de varianza de la variable longitud de raíces comerciales. Caaguazú, 2016.....	45
A5. Resumen del análisis de varianza de la variable longitud de raíces no comerciales. Caaguazú, 2016.....	45
A6. Resumen del análisis de varianza de la variable número total de raíces. Caaguazú, 2016.....	45
A7. Resumen del análisis de varianza de la variable número de raíces comerciales. Caaguazú, 2016.....	46
A8. Resumen del análisis de varianza de la variable número de raíces no comerciales. Caaguazú, 2016.....	46
A9. Resumen del análisis de varianza de la variable rendimiento total de raíces. Caaguazú, 2016.....	46
A10. Resumen del análisis de varianza de la variable rendimiento de raíces comerciales. Caaguazú, 2016.....	47
A11. Resumen del análisis de varianza de la variable rendimiento de raíces no comerciales. Caaguazú, 2016.....	47
A12. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de materia seca. Caaguazú, 2016.....	47
A13. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de almidón. Caaguazú, 2016.....	48
A14. Resumen del análisis de varianza de la variable pH del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.....	48

LISTA DE ANEXOS (CONTINUACIÓN)

	Página
A15. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Materia orgánica del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.....	48
A16. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Fósforo del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.....	49
A17. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Ca del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.....	49
A18. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Mg del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.....	49
A19. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Mg del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.....	50
A20. Análisis de suelo antes de la instalación del experimento.....	51
A21. Resultado general de las variables estudiadas por tratamiento y repetición.....	52
A22. Análisis de suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas.....	54
A23. Tabla de conversión del porcentaje de materia seca y almidón de la mandioca.....	55
A24. Fotos del experimento.....	56

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de mandioca representa uno de los rubros de mayor consumo a nivel nacional. Constituye una alternativa de producción interesante para la diversificación de la agricultura familiar y para la economía del pequeño productor.

Según el MAG (2015), la producción nacional de la mandioca como rubro agrícola, es destinada principalmente al consumo interno, alcanzando hasta un 80% de la producción para su consumo dentro de la finca, un 15% para su comercialización y un 5% destinado para su procesamiento como almidón y como materia prima para la producción de biocombustible. En el 2008, la mandioca alcanzó una producción de 5.920.000 t, con un rendimiento promedio de 16.000 kg ha⁻¹, en una superficie de siembra de 370.000 ha a nivel nacional.

Una práctica de suma importancia en la agricultura es la fertilización en sus diferentes formas, la carencia de dicha práctica, provoca serios problemas en los suelos ya que los cultivos extraen bastante nutrientes que son necesarios para las plantas. La falta de nutrientes influye negativamente en el rendimiento de los cultivos, ya que afecta a procesos fisiológicos fundamentales como la reducción de la resistencia a enfermedades, sequías y heladas, también repercute de manera importante no solo en la cantidad sino en la calidad de las producciones obtenidas.

Como respuesta a lo mencionado, han surgido nuevas tendencias dentro de la producción agraria, como es la importancia del suelo ya que es considerado como un recurso no renovable y de gran valor para la producción de alimentos para la humanidad. Con una correcta fertilización se puede lograr mejorar la fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados, se puede producir más alimentos y cultivos

comerciales con mejor calidad, logrando así promover el bienestar de los agricultores.

Este trabajo tuvo como objetivo general, evaluar el efecto de la fertilización potásica y de enmiendas orgánicas e inorgánicas y de la combinación de los mismos en el cultivo de mandioca. Los objetivos específicos fueron determinar la altura de plantas, número de raíces comerciales, no comerciales y número total de raíces por planta, diámetro de raíces, longitud de raíces, rendimiento de raíces comerciales, no comerciales y rendimiento total de raíces, contenido de materia seca y almidón y las características químicas del suelo.

Se planteó la hipótesis de que la aplicación de dosis crecientes de potasio hasta una determinada dosis combinado con enmiendas orgánicas e inorgánicas propiciará la obtención de mayores rendimientos. Por otro lado, que el requerimiento de fertilización potásica disminuirá al estar asociado con la adición de estiércol bovino y ceniza.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características de la mandioca

2.1.1 Origen y taxonomía

La mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) es una planta monoica perteneciente a la clase *Dicotyledoneae*, familia *Euphorbiaceae*, y del género *Manihot*, es considerada planta de aprovechamiento integral ya que sus raíces y hojas son fuente de carbohidratos y proteínas (Cadavid 2008).

La familia *Euphorbiaceae* está constituida por unas 7.200 especies que se caracterizan por el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por células secretoras o galactocitos que producen una secreción lechosa (USAID 2010).

Su centro de origen genético se encuentra en la Cuenca Amazónica, Brasil (FAO 2013). Fue domesticada desde hace más de 5000 años, a partir del cual se cultiva extensivamente en zonas tropicales y subtropicales (Ceballos 2002). Se han descrito alrededor de 98 especies del género *Manihot*, de las cuales solo la especie *Manihot esculenta* Crantz tiene importancia económica (Enciso et al. 2014).

2.1.2 Descripción morfológica de la planta

La mandioca es un arbusto perenne, leñoso y de tamaño variable. Es monoica, de ramificación simpodial y con variaciones en altura de la planta que oscilan entre uno y cinco metros, aunque la altura máxima generalmente no excede los tres metros (Suárez y Mederos 2011).

Según la variedad, el tallo puede tener dos, tres o más ramificaciones primarias, siendo el de tres ramificaciones el más común en la mandioca. Además el tallo puede tener posición erecta, decumbente y acostada (USAID 2010).

Los tallos son el medio que se utiliza para la multiplicación vegetativa o asexual de la especie. Las porciones lignificadas del tallo, comúnmente llamadas estacas o cangres, sirven como material de plantación para la producción comercial del cultivo (Suárez y Mederos 2011).

La semilla es el medio de reproducción sexual de la planta. No es de gran importancia para la multiplicación y la reproducción, pero es considerado de gran importancia para el fitomejoramiento, ya que a través de la reproducción sexual se pueden producir nuevas variedades genéticamente superiores (Ceballos y Cruz 2002).

2.2 Requerimientos edafoclimáticos de la mandioca

La mandioca es un cultivo rústico que se adapta a diversas condiciones ambientales, crece y se reproduce bien en suelos muy pobres. Sin embargo, para obtener una producción comercial rentable es necesario que este cultivo sea implantado en suelos medianamente fértiles a fértiles (MAG/GTZ 2008).

Puede cultivarse en una gran variedad de suelos, incluyendo los suelos infértiles, en donde otros cultivos no prosperarían, logrando rendimientos significativos (Cadavid 2008). Sin embargo, el suelo ideal para el cultivo de la mandioca es aquel profundo, con textura entre franco arenosa y arcillo arenosa condiciones que propician el crecimiento de las raíces, la buena aireación y circulación de agua (CODIPSA 2010).

Obsubo y Lorenzi (2002), sostienen que los suelos muy arcillosos dificultan el desarrollo de las raíces ya que son muy compactos, presentan un mayor riesgo de

encharcamiento y por consiguiente, pudrición de las raíces, además de dificultar la cosecha.

La mandioca tolera bien los suelos ácidos, debido a que la planta soporta altos niveles de saturación de aluminio. El rango favorable de pH se encuentra entre 5,5 a 7, alcanzando máximos rendimientos con un pH de 6,5 (EMBRAPA 2013).

Es un cultivo que soporta altitudes que varían desde el nivel de mar hasta cerca de los 2.300 m sobre el nivel del mar, siendo más desfavorables las regiones con bajas altitudes de 600 a 800 m (EMBRAPA 2013), y se desarrolla a temperaturas comprendidas entre 20 y 30 °C (USAID 2010), sin embargo, los rendimientos máximos se obtienen a temperaturas comprendidas entre 24 y 26 °C, siempre que haya humedad suficiente en el periodo de crecimiento (Cadavid 2008).

Por otro lado Alcívar (2015), menciona que con temperaturas superiores a 30°C e inferiores a 10 °C se detiene el crecimiento y el desarrollo de la planta.

La precipitación adecuada para el cultivo de la mandioca se encuentra entre 1.000 a 1.500 mm año⁻¹ (USAID 2010), sin embargo, puede ser cultivada en regiones donde el régimen pluviométrico alcanza los 3.000 mm año⁻¹ y donde los suelos presentan un buen drenaje, así también en las regiones semiáridas con 500 a 700 mm año⁻¹ con suficiente humedad durante los primeros 5 meses del cultivo (EMBRAPA 2013).

El periodo de luz adecuado para la mandioca es de alrededor de las 12 horas día⁻¹. Los periodos de luz más prolongados favorecen el crecimiento de la parte aérea y reducen el desarrollo de las raíces. Los periodos de días cortos en cambio promueven el crecimiento de las raíces y reducen el desarrollo de la parte aérea (Otsubo y Lorenzi 2002).

2.3 Época de plantación

Según MAG/GTZ (2008), en Paraguay la plantación puede realizarse desde agosto hasta octubre. Sin embargo, la época más recomendada para la plantación de este cultivo en la región centro va desde mediados de agosto hasta la primera quincena de septiembre.

Requerimientos nutricionales

La mandioca extrae grandes cantidades de nutrientes especialmente nitrógeno, potasio y calcio. Si se considera toda la planta, por tonelada de raíces frescas cosechadas, la mandioca extrae de N 4,42; de P 0,67; de K 3,58; de Ca 1,36, de Mg 0,82 y 0,42 de S. (Cadavid 2008).

Según Otsubo y Lorenzi (2002), para una producción de 25 toneladas de raíces por hectárea además de la parte aérea, la mandioca extrae una media de 123 kg de N, 27 kg de K, 46 kg de Ca y 20 kg de Mg.

2.4 Fertilización en mandioca

Cadavid (2008), afirma que la fertilización es un mecanismo de manejo, que se realiza con el fin de recuperar, mantener y sostener la fertilidad de los suelos, aumentando la productividad y el rendimiento de los cultivos.

La fertilización en el cultivo de la mandioca ha sido objeto de varios estudios en distintas partes del mundo, en diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas, en la cual se encontraron resultados diversos y con mucha variabilidad, concluyendo que no existe una técnica exclusiva, sino más bien diferentes técnicas de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas y la región (Cenos et al. 2000).

La mandioca tiene la capacidad de crecer y producir razonablemente buenos rendimientos, aún en suelos degradados en donde otros cultivos no prosperarían, sin

embargo extrae considerables cantidades de nutrientes, especialmente potasio y nitrógeno, requiriendo altas tasas de fertilización para alcanzar rendimientos máximos (Howeler 2002).

En investigaciones realizadas sobre fertilización en mandioca en muchas áreas del mundo y en varias regiones de Colombia, se encontraron respuestas positivas y altamente significativas especialmente con fertilizantes fosforados y potásicos (Cadavid 2008).

Según MAG/GTZ (2008), suelos medianamente fértiles a fértiles, en general no necesitan ser fertilizados. Sin embargo, la fertilización se realiza para reponer los nutrientes extraídos por las cosechas, por lo cual se utiliza 100 a 150 kg ha⁻¹ de fertilizantes químicos con formulación completa (15-15-15; 12-12-17-2) aplicados en forma básica en el momento de la plantación.

2.5 Potasio

2.5.1 Potasio en el suelo

El potasio contenido en los suelos se origina en la desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos. Los minerales que se consideran generalmente como fuentes de potasio son los feldespatos potásicos, la moscovita y la biotita (Tsidale y Nelson 1970).

A pesar de que la mayoría de los suelos son ricos en potasio (K), solo una mínima parte (2%) de éste es disponible para la planta. Existen dos formas de K disponible, una es el K en la solución del suelo (en agua del suelo) y el K intercambiable retenido en las arcillas y la materia orgánica del suelo en forma coloidal. Los coloides del suelo tienen cargas negativas que atraen los cationes como el potasio (K⁺). El potasio es prácticamente inmóvil en el suelo, su movimiento hacia el sistema radical del cultivo es por difusión (a través de la película de agua que rodea las partículas del suelo). En suelos arenosos y orgánicos se puede lixiviar, los

suelos arenosos tiene baja capacidad de retención de cationes por lo que el K intercambiable es menor (Projar 2000).

2.5.2 Potasio en la planta

El potasio (K) es asimilado por las plantas en forma iónica K^+ (Moreno 2007), cumple funciones esenciales en las plantas tales como activar reacciones enzimáticas, sintetizar proteínas, formar sacarosa y otros azúcares, y regular el flujo de agua en las células y hojas (IPNI 2013). Estimula el crecimiento de la raíz, favorece la formación de vasos xilemáticos, mejora el tamaño y la calidad de los frutos y aumenta la resistencia de las plantas a enfermedades (CPHA 2012).

Los síntomas de deficiencia de potasio son el crecimiento reducido de la planta, presencia de entrenudos y peciolos cortos, hojas pequeñas y en condiciones severas amarillamiento o necrosis de los ápices y bordes de las hojas inferiores, las cuales envejecen prematuramente y luego caen (Otsubo y Lorenzi 2002).

2.5.3 Fertilización potásica

Según Cadavid (2008), los suelos sembrados con mandioca pierden sus reservas de potasio fácilmente, resultando en deficiencias y por ende, disminución del rendimiento y baja calidad de las raíces tuberosas.

Otsubo y Lorenzi (2002), recomiendan la dosis de 40, 60 y 80 $kg\ ha^{-1}$ de potasio en suelos con disponibilidad media, baja y muy baja de Potasio. Por otro lado CODIPSA (2010), recomienda la aplicación de niveles intermedios en forma de cloruro o sulfato de potasio (60 a 120 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O).

En una investigación llevada a cabo en Colombia sobre la respuesta de la mandioca a la aplicación de potasio, se observó una respuesta altamente significativa a la aplicación de 50 a 100 $kg\ ha^{-1}$ de potasio (Cadavid 2008). Por otro lado Cenoz et al. (2000), en un experimento realizado en Corrientes-Argentina, sobre el efecto de los macro nutrientes en el desarrollo y rendimiento de mandioca, mencionan que no

se produjo incrementos significativos en el rendimiento con la dosis probada de 120 kg ha⁻¹ de K₂O en comparación al testigo.

Burgos y Cenóz (2012), en una investigación llevada a cabo en el noroeste de la Provincia de Corrientes-Argentina, en un suelo clasificado como Entisol, no encontraron respuestas significativas a la aplicación de K porque este se encontraba dentro del nivel crítico del suelo.

2.6 Enmiendas orgánicas e inorgánicas

Las enmiendas son cualquier producto mineral u orgánico capaz de modificar y mejorar las propiedades y las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Tejada 2013).

Las enmiendas orgánicas son todos aquellos materiales de origen orgánico (animal o vegetal) utilizados para la fertilización de cultivos o como mejoradores de suelos (Pérez et al. 2008).

El uso continuo de fertilizantes químicos con la poca utilización de abonos orgánicos propicia el agotamiento acelerado de la materia orgánica del suelo y un desbalance nutricional, lo cual al transcurrir del tiempo hace que el suelo pierda su fertilidad y su capacidad productiva (Salazar et al. 2002).

Matheus et al. (2007), constataron que en las últimas décadas se ha retomado la importancia en el uso de las fuentes orgánicas debido al incremento de los costos de los fertilizantes químicos y al desequilibrio ambiental que estos ocasionan en los suelos.

La capacidad de las enmiendas orgánicas para proveer nutrientes a los cultivos depende principalmente del grado de mineralización de los materiales, sus propiedades, el proceso de fabricación y las condiciones imperantes en el campo para su posterior descomposición (Castro et al. 2009).

Artavia et al. (2010), mencionan que los abonos orgánicos aplicados al suelo tienen la capacidad de promover el control biológico de enfermedades de plantas.

De acuerdo con Salazar et al. (2002), el abono orgánico tiene la capacidad de mejorar las propiedades del suelo tales como su reacción (pH), cargas variables, capacidad de intercambio catiónico, además influye positivamente en las propiedades físicas del suelo mejorando la estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención de agua, infiltración y estabilidad de agregados.

2.6.1 Estiércol

El estiércol está constituido por excrementos sólidos y líquidos de los animales, es rico en nutrientes y materia orgánica. La cantidad de nutrientes presentes en el estiércol depende de la edad, la alimentación, la clase de animales y el método de almacenamiento, ya que el estiércol almacenado bajo techo o pila en forma de cuenca colectada pierde su valor. (Sánchez 2008).

Salazar et al. (2002), mencionan que la diferencia importante existente entre el estiércol y el fertilizante químico es que el estiércol puede tener un efecto benéfico en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La cantidad de potasio y fósforo presente en el estiércol son asimilados eficazmente por las plantas, mientras que el nitrógeno no se incorpora efectivamente, puesto que solo una fracción es soluble (Sánchez 2008).

Sin embargo Salazar et al. (2002), afirman que el estiércol tiene baja concentración de nutrientes inorgánicos y la tasa de mineralización del N puede alcanzar hasta 50% durante el año de aplicación.

El contenido medio de los principales nutrientes del estiércol vacuno medido en kg por cada tonelada de estiércol son los siguientes; Nitrógeno: 3,4; Fósforo: 1,3; Potasio: 3,5 (Sánchez 2008).

Pérez et al. (2008), analizando los diferentes residuos orgánicos encontraron que los residuos animales tenían mayores contenidos de MO, N, P, K, Ca y Mg en relación a los residuos vegetales, por lo que recomienda la utilización de materiales de origen animal al momento de elaborar enmiendas orgánicas.

Codipsa (2010), obtuvo buenos resultados con el uso de estiércol bovino, con una dosis de 20 t ha⁻¹, distribuidos en incorporados con buena antelación a la siembra.

2.6.2 Ceniza

Enmiendas inorgánicas como cenizas de materiales vegetales presentan contenidos importantes de diferentes nutrientes como K, P, Mg y Ca, los cuales se encuentran en forma relativamente soluble en el suelo. Algunos de estos elementos se encuentran como óxidos, hidróxidos y carbonatos, por lo que la ceniza presenta un carácter alcalino, además presenta una concentración muy baja de metales pesados. Todas estas características hacen que la mayor parte de las cenizas se pueda aplicar a suelos agrícolas o forestales para mejorar sus propiedades (USC 2001, Solla et al. 2001).

La ceniza reduce las concentraciones de Al y Mn en la solución del suelo y sus consiguientes efectos fitotóxicos en suelos ácidos (Pendias y Pendias 2000). Además promueve la elevación del pH, aumenta el contenido de determinados nutrientes minerales, aumento de la saturación de bases y mejora las propiedades físicas del suelo (Bellote et al. 1995).

Cuando se utiliza ceniza para una fertilización se debe aplicar mayores cantidades de cenizas con respecto a una fertilización convencional (relación de 1:3). Sin embargo las cenizas presentan la ventaja de que su efecto fertilizante es más duradero que el de los fertilizantes comerciales con la misma concentración de P y K (Omil 2005).

Las características fisicoquímicas de la ceniza varían dependiendo de muchos factores como, material de origen, temperatura, y condiciones de combustión, así como también del grado de exposición del material a la intemperie antes de su utilización (Navarro et al. 2011).

2.8 Fertilización organomineral

La adición de materia orgánica humificada al fertilizante mineral proporciona ventajas en la mezcla como: disminuir la fijación de fósforo por la fracción coloidal del suelo; retener cationes principalmente el potasio; proveer los macro y micronutrientes contenidos en la materia orgánica y disminuir pérdidas de nitrógeno por lixiviación por presentar una solubilidad más lenta (CQFS 2004, Raij et al. 1996).

Los fertilizantes organominerales se basan en el principio de que la descomposición de la masa vegetal infestada de micro y meso organismos permite la formación de humus y la liberación de sales minerales que contienen los principales nutrientes para las plantas; el humus que se produce se combina con las sales minerales, lo que genera una asociación que se denomina fertilizante orgánico-mineral, que se puede formar naturalmente en el suelo (Burbano 2001).

Los compuestos de residuos orgánicos promueven el incremento en el pH y mantienen tenores adecuados de P y K en el suelo, su aplicación asociada a la fertilización química con P y K incrementa el tenor de estos en el suelo (Ruppenthal y Conte 2005).

El potasio al ser mezclado con los fertilizantes orgánicos para la obtención de los fertilizantes órgano minerales, mejora el balanceamiento del producto; siendo un catión, por tanto con carga positiva (K^+), el potasio puede ser ligado electrostáticamente con las cargas negativas de la materia orgánica, de esta forma se encuentra disponible en las raíces (Kiehl 1985).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

El experimento se ejecutó en una finca agrícola ubicada en el Distrito de Caaguazú, Compañía Tercera Línea Agua, situada en el Departamento de Caaguazú a 190 km de Asunción, localizada en 25°23'18" latitud sur y 56°02'36" longitud oeste, con una altitud de 315 msnm. El experimento se llevó a cabo entre los meses de agosto de 2015 y junio de 2016.

El suelo predominante en el área es *Rhodic Paleudult* (Ultisol), de textura arenosa (López et al. 1995). El análisis químico del suelo de la camada superficial 0-0,20 m realizado antes de la instalación del experimento presentó los siguientes resultados: pH=5,5; Materia Orgánica= 0,69%; P= 2,76 mg kg⁻¹; Ca⁺²=0,80 cmol_c kg⁻¹; Mg⁺²=0,28 cmol_c kg⁻¹; K⁺=0,07 cmol_c kg⁻¹; Na⁺= 0,02; Al⁺= 0 cmol_c kg⁻¹.

Las condiciones de clima de Caaguazú presentan temperatura media de 22,5 °C y una precipitación media anual de 1.450 mm (DGEEC 2015). En el periodo del experimento se caracterizó por un exceso y concentración de lluvias a finales del año 2015 y comienzos del año 2016. Se registró una precipitación total de 1.800 mm durante el ciclo del cultivo y los picos más elevados se observaron en los meses de noviembre, diciembre y enero. Los datos de precipitación del ciclo del cultivo en comparación con un promedio histórico del año 2005-2014 se puede observar en la Figura 1.

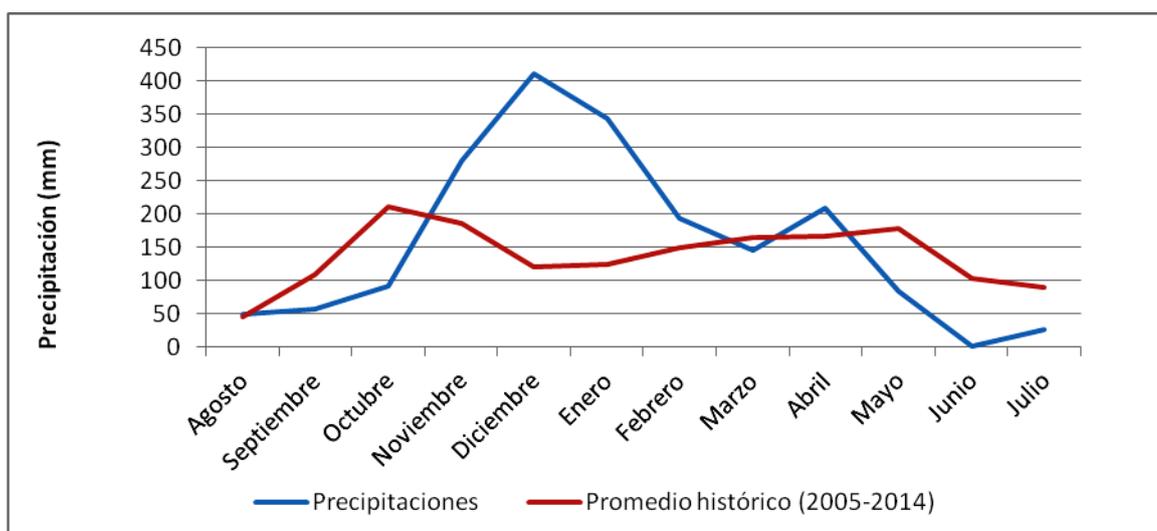


Figura 1. Datos de precipitación (mm) desde agosto de 2015 a julio de 2016 en relación a un promedio histórico del año 2005-2014

Fuente: Estación meteorológica convencional de la ciudad de Coronel Oviedo, período 2005 a 2014. Perteneciente a la Red de Estaciones Meteorológicas de la Dirección de Meteorología e Hidrología del Paraguay (DMH – DINAC 2015).

El presente trabajo de investigación se realizó en el marco del proyecto denominado “Manejo de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos” apoyado por el consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

3.2 Diseño experimental y tratamientos

El experimento se realizó según un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas divididas (figura 2), en el cual las parcelas principales fueron ocupadas por las enmiendas y las subparcelas por las dosis de potasio (K_2O). Las enmiendas evaluadas fueron estiércol vacuno ($20 t ha^{-1}$), ceniza ($1 t ha^{-1}$) y el testigo. Las dosis de potasio estudiadas fueron cinco (Tabla 1). A partir de la combinación de los factores estudiados se obtuvieron 15 tratamientos, las cuales fueron evaluadas en cuatro repeticiones, totalizando 60 unidades experimentales.

El experimento consistió en aplicar dosis variables de potasio sobre la enmienda orgánica (Estiércol bovino) e inorgánica (Ceniza), utilizando una dosis

única de estiércol bovino y ceniza para cada tratamiento. Los tratamientos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos del experimento.

Tipos y dosis de enmiendas	Dosis de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Tratamientos
Sin enmienda	0	1
	40	2
	80	3
	120	4
	160	5
Ceniza 1 t ha ⁻¹	0	6
	40	7
	80	8
	120	9
	160	10
Estiércol vacuno 20 t ha ⁻¹	0	11
	40	12
	80	13
	120	14
	160	15

Se dispuso de un área de 900 m², que fue dividido en cuatro bloques que corresponden a las repeticiones. Cada unidad experimental contó con una superficie de 15 m² (5 m de largo y 3 m de ancho), constituida por cinco hileras y seis plantas a una distancia de 1 m entre hileras x 0,5 entre plantas, totalizando una densidad de 20.000 plantas ha⁻¹. La parcela útil contó con una superficie de 6 m² que abarcó las 4 hileras centrales. Fueron descartados los bordes y extremos de las hileras para evitar el efecto borde. La forma en que fueron distribuidos los tratamientos en el campo se observa en la Figura 2.

En todos los tratamientos se aplicaron 60 kg ha⁻¹ de N y 50 kg ha⁻¹ P₂O₅. Como fuente de N se utilizó urea (45-00-00) y como fuente de fósforo se utilizó superfosfato triple (00- 46- 00), las cuales fueron aplicados 30 días después de la plantación. El P se aplicó en base, mientras que el N se hizo en forma fraccionada 50% en base y 50% en cobertura.

	B I	B II	B III	B IV	
45 m	T8	T10	T12	T3	Parcela 75 m ² (15x3)
	T6	T8	T15	T2	
	T7	T7	T11	T1	
	T10	T9	T13	T4	
	T9	T6	T14	T5	
	T14	T1	T7	T13	Subparcela 15 m ² (3 x 5)
	T15	T5	T8	T11	
	T12	T3	T9	T15	
	T11	T4	T10	T14	
	T13	T2	T6	T12	
	T2	T11	T5	T7	
	T3	T15	T2	T9	
	T5	T12	T1	T6	
	T4	T14	T3	T8	
	T1	T13	T4	T10	
	20 m				

Figura 2. Distribución de los tratamientos en el área experimental.

3.3 Recursos materiales y equipos técnicos

3.3.1 Material experimental y materiales de campo

Como material genético se utilizó ramas semillas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) de la variedad Tacuara Pytã, que presenta hojas de 7 a 9 lóbulos, nervaduras y pecíolos amarillo rojizos, de 1,20 a 2,00 m de altura, tallo con ramificaciones, raíz larga y gruesa, de color marrón, rico en almidón y de elevada productividad.

3.3.2 Materiales para determinar las parcelas y aplicar los productos

Se utilizó para la delimitación de las parcelas; estacas, navaja, machetes, cintas, tijera, marcadores, hilos, cintas métricas. Para la aplicación de los productos se utilizó carreta con tracción animal, palas, azadas, romana, balanza electrónica.

Los fertilizantes químicos que fueron utilizados son los siguientes: Urea y Superfosfato triple en dosis única, y Cloruro de potasio con dosis variables. Se utilizó como enmienda orgánica el estiércol bovino 20 t ha⁻¹ y como enmienda inorgánica la ceniza de pellet de cascara de soja 1 t ha⁻¹.

3.4 Implantación y manejo del experimento

La totalidad de la ceniza requerida para los diferentes tratamientos fue obtenida del Complejo Agroindustrial Angostura S.A (CAIASA), ubicado en el predio del parque industrial de Villeta, en la localidad de Angostura, Departamento Central-Paraguay. La ceniza fue sometida a un análisis químico, en donde presentó los siguientes componentes.

Tabla 2. Componentes de la ceniza de Pellete de cascara de de soja

P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
2	10,11	15,47	6,28	2

Fuente: Análisis químico del Laboratorio Greenlanb. Metodología analítica: Ref. AOAC.

En cuanto al estiércol bovino, fue obtenido de la finca en cual se realizó el experimento. La cual se encontraba en pleno estado de descomposición y almacenado bajo techo.

Las ramas semillas fueron obtenidas de la finca donde se realizó el experimento, se utilizó la variedad Tacuara Pytã, seleccionadas del cultivo anterior y que fueron cortadas y almacenadas hasta la plantación.

La preparación del terreno fue realizada con una arada a tracción animal, 20 días antes de la plantación; posteriormente se aplicó estiércol en sus respectivos tratamientos en forma manual y al voleo cubriendo toda el área y la ceniza se aplicó en bandas superficiales a una distancia de 20 cm aprox. de las hileras incorporando levemente al suelo con azada.

La plantación se realizó a finales de agosto, para lo cual se cortaron estacas de 10 a 12 cm, con 5 a 6 yemas y se plantaron a una profundidad de 5 cm aproximadamente. Previa plantación se tuvo en cuenta la desinfección de las ramas semillas con oxiclورو de cobre. La distancia de plantación fue de 1 m entre hileras y 0,50 m entre plantas.

Posterior a la plantación, unos 30 días después, se aplicaron los fertilizantes químicos en los respectivos tratamientos, teniendo en cuenta el fraccionamiento de N aplicando la otra fracción 60 días después de la primera aplicación. Se realizaron surcos en forma manual a 15 cm aprox. de cada hilera, en las cuales se distribuyeron los fertilizantes y se cubrieron posteriormente con azada en forma manual.

3.4.1 Cuidados culturales

Para el control de las malezas se realizó la primera carpida a los 30 días después de la plantación, la segunda 70 días después de la plantación, la tercera 120 días después y una cuarta carpida después de 160 días aproximadamente, totalizando cuatro carpidas.

El control fitosanitario no fue realizado debido a la poca incidencia de plagas y enfermedades.

3.4.2 Cosecha

La cosecha se realizó en forma manual a los 10 meses después de la plantación. Para las evaluaciones fueron consideradas las plantas de las hileras centrales, siendo eliminadas las hileras laterales y las plantas de los extremos.

3.5 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: altura de plantas, número de raíces comerciales, no comerciales y número total de raíces por planta, diámetro de raíces,

longitud de raíces, rendimiento de raíces comerciales, no comerciales y rendimiento total de raíces, contenido de materia seca y almidón y las características químicas del suelo.

Para las evaluaciones se tomaron 12 plantas ubicadas en el centro de las parcelas, que corresponden al área útil del experimento.

Altura de las plantas: fueron medidas las plantas de las hileras centrales con una cinta métrica desde el nivel de suelo hasta el ápice de la planta. Los resultados fueron expresados en centímetros.

Número de raíces comerciales y no comerciales: se clasificaron las raíces de acuerdo al tamaño, las raíces comerciales son aquellas de mayor tamaño (mayor a 20 cm de longitud y mayor a 4 cm de diámetro) y no comerciales los de menor tamaño (menor a 20 cm de longitud y menor a 4 cm de diámetro); luego se procedió al conteo de las raíces clasificadas y el resultado se expreso en unidades por planta.

Número total de raíces: es la suma total de las raíces comerciales y no comerciales de cada unidad experimental, dividido por el número de plantas cosechadas.

Diámetro de las raíces: se efectuó mediante la selección al azar de 10 raíces comerciales y no comerciales de cada unidad experimental y la medición se realizó en la parte media de la raíz con la ayuda de un paquímetro, y los resultados se expresaron en centímetros.

Longitud de las raíces: se determinó mediante la selección al azar de 10 raíces comerciales y no comerciales de cada unidad experimental, la medición se efectuó desde el ápice hasta la base (cuello) de la raíz, con la ayuda de una regla y los resultados fueron expresados en centímetros.

Rendimiento de las raíces comerciales y no comerciales: luego de la cosecha y clasificación se realizó el pesaje de las raíces de ambas categorías por separadas (comerciales y no comerciales). Esto se hizo mediante el uso de una balanza, su unidad de medición fue en kg y se expresó en $t\ ha^{-1}$.

Rendimiento total de las raíces: es la suma del rendimiento de las raíces comerciales y las no comerciales, el resultado es expresado en $t\ ha^{-1}$.

Contenido de materia seca total y almidón: se determinó por el método de gravedad específica, para lo cual se seleccionaron al azar 10 raíces comerciales y no comerciales de diferentes tamaños, evaluadas a través del peso fresco de raíces en el aire (PFRAI) y el peso fresco de raíces en el agua (PFRAG), donde se utilizó la fórmula de Gravedad Específica= $\frac{PFRAI}{PFRAI - PFRAG}$. Los resultados fueron comparados con una tabla de conversión de valores para determinar el porcentaje de materia seca y almidón.

Características químicas del suelo: posterior a la cosecha se procedió al muestreo de suelos para evaluar el efecto de las enmiendas. Las determinaciones realizadas fueron pH, materia orgánica, fósforo disponible, calcio, magnesio, potasio y acidez intercambiables. El muestreo de suelo se realizó a la profundidad de 0-15 cm, obteniéndose una muestra compuesta a partir de cinco submuestras y llevadas al laboratorio. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias, Sede San Lorenzo.

3.6 Métodos de control de calidad de los datos

Posterior al levantamiento de datos, se verificó la consistencia y la calidad de los datos, mediante programas y sistemas computacionales especializados para la detección de cualquier desviación de los datos de los valores previsibles y lógicos.

3.7 Análisis de datos

Las medias de las variables evaluadas en el experimento fueron sometidas al análisis de varianza ANAVA, si cumplen con los supuestos para su validez y si hubiere significancia, los datos se sometieron a prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de probabilidad de error experimental.

Para el análisis de varianza se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT versión estudiantil.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de plantas

En la Tabla 4 se observan los datos promedios de la altura de plantas, tomadas en el momento de la cosecha. Se verifica que no hubo interacción entre las dosis de K_2O y las enmiendas. El resumen del análisis estadístico se puede apreciar en el Anexo A1.

Tabla 4. Altura de plantas en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, Paraguay 2016.

Dosis de K_2O (kg ha-1)	Altura de plantas (m)			Promedio
	Tipos de enmiendas			
	Sin enmienda	Ceniza (1 t ha-1)	Estiércol (20 t ha-1)	
0	1,44	1,77	1,9	1,70 ns*
40	1,6	1,71	2,01	1,77
80	1,63	1,73	1,81	1,72
120	1,44	1,8	1,92	1,72
160	1,6	1,73	2,02	1,78
Promedio	1,54 c**	1,75 b	1,93 a	1,73
CV (%)				7,16

*ns= no significativo al 5% de probabilidad de error por el test de Tukey.

**Letras diferentes en filas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En la Tabla 4, se puede verificar que las dosis de K_2O no afectaron significativamente la altura de la mandioca, logrando un promedio de 1,73 m. Por otro lado las enmiendas produjeron un aumento significativo en la altura de plantas, obteniéndose una mayor altura con el estiércol bovino (1,93 m), seguido del

tratamiento con ceniza (1,75) y el tratamiento con menor crecimiento en altura es el testigo sin enmienda, alcanzando 1,54 m de altura promedio.

El bajo tenor de K no fue restrictivo al crecimiento de la planta en altura, corroborando con los relatos de la literatura sobre la tolerancia de la planta a bajos niveles de fertilidad (El-Sharkawy 2012).

Estos resultados son similares a los observados por Bonfim-Silva et al. (2011) quienes en su investigación sobre la respuesta de la *Crotalaria Juncea* sometida a diferentes dosis de ceniza vegetal, mencionan que las concentraciones de ceniza influenciaron significativamente en el crecimiento de plantas, siendo el testigo el de menor altura.

Freire et al. (2015), mencionan que hubo efectos significativos en las dosis de estiércol para la variable altura en el cultivo de mandioca, evidenciando que las dosis crecientes de estiércol contribuyen para el desarrollo del cultivo.

4.2 Diámetro de raíces comerciales y no comerciales

En la Tabla 5, se observan los valores medios del diámetro de raíces comerciales y no comerciales, en donde se puede apreciar que existen diferencias significativas en el Diámetro comercial en función a la aplicación de las dosis de K_2O y las enmiendas, en cuando al Diámetro no comercial no se observa diferencias significativas. Se constata que no hubo interacción entre las dosis de K_2O y las enmiendas. El resumen del análisis de varianza se puede observar en el Anexo A2 y A3.

Tabla 5. Diámetro de raíces comerciales y no comerciales en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, Paraguay 2016.

Factores	Diámetro comercial (cm)	Diámetro no comercial (cm)
Enmiendas		
Sin enmienda	4,90 b**	3,23 ^{ns*}
Ceniza (1 t ha ⁻¹)	5,38 a	3,34
Estiércol bovino (20 t ha ⁻¹)	5,34 a	3,35
Dosis K_2O		
0	5,06 b	3,37 ^{ns}
40	5,26 ab	3,20
80	5,13 ab	3,19
120	5,25 ab	3,43
160	5,33 a	3,33
CV (%)	4,17	9,30

*ns= Diferencias no significativas al 5% de probabilidad de error por el test de Tukey.

**Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Con respecto al diámetro comercial, se puede apreciar que las dosis de K_2O presentaron influencia significativa, obteniéndose un mayor diámetro con la dosis de 160 kg ha⁻¹ K_2O , alcanzando un diámetro promedio de 5,33 cm, la cual fue estadísticamente superior al testigo y no difirió de los tratamientos con 40, 80 y 120 kg ha⁻¹ de K_2O .

En cuanto a las enmiendas se puede verificar que produjeron un aumento significativo en el diámetro de raíces comerciales en relación al testigo con la aplicación de estiércol bovino y la ceniza, donde se obtuvieron promedios de 5,34 cm y 5,38 cm respectivamente, no diferenciándose entre sí.

En lo que respecta el diámetro no comercial, se puede observar que las dosis de K_2O y las enmiendas no produjeron diferencias significativas en esta variable.

En investigaciones realizadas en Brasil, Andrade (2014), pudo constatar diferencia significativa en el diámetro de la raíz de la mandioca con la aplicación de diferentes dosis de K, siendo las mayores dosis las que produjeron las mayores medias.

De acuerdo con Freire et al. (2015), quienes utilizaron las dosis de 0, 6, 12 y 18 t ha⁻¹ de estiércol caprino, determinaron efectos significativos en el cultivo de mandioca, para la variable diámetro de la raíz, obteniendo resultados similares a este experimento.

Por su parte Ojeniyi et al. (2009), en un experimento realizado en Nigeria sobre fertilización en mandioca, constataron diferencias significativas utilizando diferentes dosis de ceniza vegetal para la variable diámetro de la raíz, siendo la dosis 2,5 t ha⁻¹ la que promovió mayores medias.

4.3 Longitud de raíces comerciales y no comerciales

Los valores medios de la longitud de raíces comerciales y no comerciales se presentan en la Tabla 6. No se observa interacción entre las dosis de K₂O y las enmiendas. El resumen del análisis estadístico de dichas variables se puede apreciar en el Anexo A4 y A5.

Tabla 6. Longitud de raíces comerciales y no comerciales en función a la aplicación de dosis de K₂O y las enmiendas. Caaguazú, Paraguay 2016.

Factores	Longitud de raíces comerciales (cm)	Longitud de raíces no comerciales (cm)
Enmiendas		
Sin enmienda	39,61 b**	21,37 ^{ns*}
Ceniza (1 t ha ⁻¹)	43,20 a	21,56
Estiércol bovino (20 t ha ⁻¹)	43,30 a	21,83
Dosis K₂O		
0	40,31 ns	21,63 ^{ns}
40	42,04	22,18
80	41,54	21,28
120	42,28	21,34
160	44,02	21,51
CV (%)	10,64	12,44

*ns= Diferencias no significativas al 5% de probabilidad de error por el test de Tukey.

**Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Para la variable longitud de raíces comerciales se puede apreciar que las dosis de K₂O no presentaron diferencias significativas. Por otro lado, las enmiendas

produjeron aumentos significativos para dicha variable. La mayor longitud se obtuvo con el estiércol bovino, alcanzando una media de 43,30 cm, siendo estadísticamente similar a la ceniza que alcanzó una media de 43,20 cm. Ambas enmiendas fueron estadísticamente superiores al testigo que arrojó una media de 39,61 cm.

En la longitud de raíces no comerciales no se observó diferencia significativa a la aplicación de los tratamientos. Sin embargo los valores numéricamente más elevados en longitud, se dieron con el tratamiento donde se aplicó 160 kg ha⁻¹ de K₂O y con la aplicación de enmienda orgánica (estiércol bovino), arrojando valores de 21,51 cm y 21,83 cm respectivamente para dichos tratamientos.

Pacheco et al. (2013), en un experimento realizado en Brasil sobre el efecto de la fertilización potásica en el cultivo de mandioca no encontraron incrementos significativos en la longitud de raíces con medias que oscilan entre 26 cm y 31 cm, con las dosis de 0, 30, 60 y 90 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente.

Dantas et al. (2013), trabajando con fertilización orgánica con las dosis 0, 6, 12, 18, 20 y 30 t ha⁻¹ de estiércol caprino y bovino en inhame (*Dioscorea cayennensis*). Constataron efecto significativo en la longitud de tubérculos con la dosis de 20 t ha⁻¹ de ambos tipos de estiércol, las cuales arrojaron las mayores medias para dicha variable, coincidiendo así con este experimento.

Osundare (2014) en un estudio realizado en Nigeria, verificó efectos significativos para la variable longitud de la raíz de mandioca, utilizando ceniza vegetal como fertilizante, obtenido resultados similares a los de esta investigación.

4.4 Número de raíces comerciales, no comerciales y totales

Los valores medios del número total de raíces se presentan en la Tabla 7, y los valores medios del número de raíces comerciales y no comerciales se presentan en la Tabla 8. Se constata que no hubo interacción entre las dosis de K₂O y las enmiendas.

El resumen del análisis estadístico para ambas categorías se puede apreciar en el Anexo A6, A7 y A8.

Tabla 7. Número total de raíces en función a la aplicación de dosis de K₂O y las enmiendas. Caaguazú, Paraguay 2016.

Dosis de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Número total de raíces por planta			Promedio
	Tipos de enmiendas			
	Sin enmienda	Ceniza (1 t ha ⁻¹)	Estiércol (20 t ha ⁻¹)	
0	5,92	6,08	6,46	6,15 ns
40	5,92	5,92	7,02	6,28
80	5,54	6,25	6,79	6,19
120	4,98	5,81	6,81	5,87
160	6,06	6	6,71	6,26
Promedio	5,68 b**	6,01 b	6,76 a	6,15
CV (%)				8,3

*ns= Diferencias no significativas al 5% de probabilidad de error por el test de Tukey.

**Letras diferentes en filas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Respecto al número total de raíces (Tabla 8), se verifica que las dosis de K₂O no presentaron diferencias significativas. El promedio de número de raíces en función a las dosis de K₂O es 6,15 unidades por planta.

Las enmiendas tuvieron influencia significativa para este parámetro. El mayor número de raíces se obtuvo con el estiércol bovino, alcanzando un promedio de 6,76 raíces por planta, siendo superior y estadísticamente diferente a la ceniza y al testigo sin enmienda. Por otra parte la ceniza no influyó significativamente sobre el número de raíces, la cual fue estadísticamente similar al testigo.

Andrade (2014), reportó que no hubo diferencia significativa para la variable número de raíces de mandioca con la fertilización potásica, coincidiendo así con este experimento.

De acuerdo a Beraldo et al. (2013), la adición de estiércol de gallina hasta la dosis de 18 t ha⁻¹ promueve el incremento de número de raíces en el cultivo de la mandioca

Ojeniyi et al. (2013) reportaron que hubo diferencia significativa para la variable número de raíces de mandioca, utilizando diferentes dosis de ceniza vegetal, obteniéndose las mayores medias con la dosis 2,5 t ha⁻¹.

Tabla 8. Número de raíces comerciales y no comerciales en función a la aplicación de dosis de K₂O y las enmiendas. Caaguazú, Paraguay 2016.

Factores	N° de raíces comerciales por planta	N° de raíces no comerciales por planta
Enmiendas		
Sin enmienda	3,17 b**	2,51 b
Ceniza (1 t ha ⁻¹)	3,48 a	2,54 b
Estiércol bovino (20 t ha ⁻¹)	3,93 a	2,83 a
Dosis K₂O		
0	3,44 ^{ns}	2,71 ab
40	3,49	2,80 a
80	3,60	2,59 ab
120	3,51	2,35 b
160	3,57	2,69 ab
CV (%)	13,21	12,35

*ns= Diferencias no significativas al 5% de probabilidad de error por el test de Tukey.

**Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En el número de raíces comerciales, no se observa diferencias significativas respecto a las dosis de K₂O. Sin embargo el estiércol propició el mayor número de raíces sin diferir estadísticamente de la ceniza, en donde ambas enmiendas fueron superiores al testigo.

Con respecto al número de raíces no comerciales se observaron diferencias significativas en función a las dosis de K₂O, en donde la dosis de 40 kg ha⁻¹ propició un mayor número de raíces no comerciales y la dosis de 120 kg ha⁻¹ arrojó el menor número de raíces.

Por otro lado con la aplicación de enmiendas se determinó que el estiércol bovino propició el mayor número de raíces no comerciales, siendo estadísticamente superior a la ceniza y al testigo sin enmienda. La aplicación de ceniza no afectó significativamente el número de raíces no comerciales, siendo estadísticamente igual al testigo sin enmienda.

En una investigación con dosis de K en mandioca Cenoz et al. (2000), obtuvieron resultados similares a este trabajo, en la cual no tuvieron diferencia significativa con la fertilización con diferentes dosis de potasio para la variable número de raíces comerciales.

4.5 Rendimiento de raíces comerciales, no comerciales y totales

Los valores medios del rendimiento total de raíces se presentan en la Tabla 9, y los valores medios del rendimiento de raíces comerciales y no comerciales se presentan en la Tabla 10. Se constata que no hubo interacción entre las dosis de K_2O y las enmiendas. El resumen del análisis estadístico para dichas variables se puede apreciar en el Anexo A9, A10 y A11.

Tabla 9. Rendimiento total de raíces de mandioca en función a la aplicación dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, Paraguay 2016.

Dosis de K_2O (kg ha ⁻¹)	Rendimiento total de raíces (t ha ⁻¹)			Promedio
	Tipos de enmiendas			
	Sin enmienda	Ceniza (1 t ha ⁻¹)	Estiércol (20 t ha ⁻¹)	
0	40,61	47,55	56,15	48,10 ns*
40	40,85	49,19	56,4	48,81
80	43,37	46,48	55	48,29
120	42,16	50,22	57,29	49,89
160	44,44	50,22	58,53	51,07
Promedio	42,29 c**	48,73 b	56,68 a	49,23
CV (%)				11,65

*ns= no significativo al 5% de probabilidad de error por el test de Tukey.

**Letras diferentes en filas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error

Respecto al rendimiento total (Tabla 9), se verificó que las dosis de K_2O no presentaron diferencias significativas, sin embargo se observó un mayor rendimiento con el tratamiento donde se aplicó 160 kg ha⁻¹ de K_2O y un menor rendimiento con el testigo. El promedio de rendimiento obtenido fue de 49,23 t ha⁻¹.

Por otro lado las enmiendas tuvieron influencia significativa para este parámetro y fueron estadísticamente diferentes entre sí. El mayor rendimiento de raíces se obtuvo con el estiércol bovino alcanzando un rendimiento de 56,68 t ha⁻¹ y con un aumento del 34% en comparación al testigo, seguido de la ceniza con una

producción de 48,73 t ha⁻¹ y un aumento del 15,2% en comparación al testigo y el testigo sin enmienda que arrojó el menor rendimiento con una producción de 42,29 t ha⁻¹.

Tabla 10. Rendimiento de raíces comerciales y no comerciales de mandioca en función a la aplicación de dosis de K₂O y las enmiendas. Caaguazú, Paraguay 2016.

Factores	Rendimiento comercial (t ha⁻¹)	Rendimiento no comercial (t ha⁻¹)
Enmiendas		
Sin enmienda	34,28 c**	8,01 b
Ceniza (1 t ha ⁻¹)	40,18 b	8,55 ab
Estiércol bovino (20 t ha ⁻¹)	47,12 a	9,56 a
Dosis K₂O		
0	39,20 ^{ns*}	8,90 ^{ns}
40	39,78	9,03
80	40,00	8,29
120	41,42	8,47
160	42,23	8,84
CV (%)	14,75	17,62

*ns= Diferencias no significativas al 5% de probabilidad de error por el test de Tukey.

**Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Para la variable rendimiento de raíces comerciales y no comerciales (Tabla 10) se observa un comportamiento similar al rendimiento total, se verifica que las dosis de K₂O no presentaron diferencias estadísticas para dichas variables. Sin embargo las enmiendas tuvieron influencia significativa para estas variables.

Con respecto al rendimiento de raíces comerciales se puede observar que el mayor rendimiento se obtuvo con la aplicación de estiércol bovino alcanzando un rendimiento de 47,12 t ha⁻¹, seguido del tratamiento donde se aplicó ceniza con una producción de 40,18 t ha⁻¹ y el testigo sin enmiendas, que arrojó el menor rendimiento con una producción de 34,28 t ha⁻¹.

En cuanto al rendimiento de raíces no comerciales se pudo observar que la aplicación del estiércol bovino presentó un mayor rendimiento con una producción de 9,56 t ha⁻¹, que estadísticamente es diferente al testigo sin enmienda en donde se

obtuvo el menor rendimiento con $8,01 \text{ t ha}^{-1}$, el cual es estadísticamente igual al tratamiento donde se aplicó ceniza con un rendimiento de $48,73 \text{ t ha}^{-1}$.

Los resultados obtenidos respecto a las variables mencionadas son similares con los resultados obtenidos por Pacheco et al. (2013), quienes reportan que el manejo nutricional con fertilización potásica en el cultivo de mandioca no afectó el rendimiento de las raíces, con las dosis de 0, 30, 60 y 90 kg ha^{-1} de K_2O respectivamente.

Cenoz et al. (2000), en un experimento realizado en Corrientes-Argentina, sobre el efecto de los macro nutrientes en el desarrollo y rendimiento de mandioca, mencionan que no se produjo incrementos significativos en el rendimiento con la dosis probada de 120 kg ha^{-1} de K_2O en comparación al testigo.

Por otro lado (Silva 2012), en investigaciones realizadas en Brasil sobre uso eficiente de estiércol bovino en cultivo de mandioca, concluyó que la productividad de las raíces fue superior en relación al tratamiento que se mantuvo sin enmiendas durante todo el ciclo, coincidiendo así con esta investigación.

Este trabajo concuerda con lo reportado por de Darol y Osaki (1989), quienes verificaron que la ceniza vegetal proporcionó un aumento del rendimiento sobre la producción de avena negra (*Avena strigosa*), siendo superior en comparación al testigo.

La aplicación de K_2O pudo no haber presentado incrementos significativos en el rendimiento de raíces debido a distintos factores como el exceso y la concentración de lluvias posterior a la aplicación de los fertilizantes, lo cual pudo haber ocasionado pérdidas del nutriente por lixiviación. Según Dias et al. (1997) el K es fácilmente lixiviado en suelos arenosos en comparación a suelos con mayores tenores de arcilla, lo cual coincide con este experimento, ya que el suelo en donde se llevó a cabo el experimento presenta una clase textural arenosa según el análisis de suelos.

4.6 Materia seca y almidón

En la Tabla 11 se observan los valores medios del contenido (%) de materia seca y almidón. El resumen del análisis estadístico se puede apreciar en el Anexo A12 y A13.

Tabla 11. Contenido de materia seca y almidón en función a la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas. Caaguazú, Paraguay 2016.

Factores	Materia seca (%)	Almidón (%)
Enmiendas		
Sin enmienda	34,39 ^{ns*}	32,24 ^{ns}
Ceniza (1 t ha ⁻¹)	34,39	32,25
Estiércol (20 t ha ⁻¹)	34,39	32,25
Dosis K_2O		
0	34,38 ^{ns}	32,24 ^{ns}
40	34,40	32,26
80	34,39	32,25
120	34,38	32,24
160	34,39	32,25
CV (%)	0,11	0,10

*ns= Diferencias no significativas al 5% de probabilidad de error por el test de Tukey.

Se determinó que la aplicación de dosis de K_2O y las enmiendas no afectaron a ninguna de las variables mencionadas. La materia seca y contenido de almidón presentaron un valor muy escaso de variación, no sobrepasando el 1 % observados en la Tabla 11.

Estos resultados coinciden con lo mencionado por Gómez y Carvalho (1986), quienes reportan que el porcentaje de almidón no presenta efecto significativo a la aplicación de fertilizantes, debido a que el porcentaje de materia seca y almidón para una misma variedad prácticamente no se altera.

Burgos y Cenóz (2012), en un experimento sobre efectos de fósforo y potasio en la producción y calidad de raíces de mandioca, no encontraron respuestas a la aplicación de K porque se encontraba dentro del nivel crítico en el suelo, lo cual coincide con este experimento.

Según Montaldo (1985), el contenido de materia seca total para la raíz varía entre 30,7 a 40,1 % a los diez meses de plantación. Estos resultados son similares a los obtenidos en este trabajo, debido a que se obtuvo un contenido de materia seca que varía entre 34,38 a 34,40.

4.7 Características químicas del suelo

En la Tabla 12 se observan los datos promedios correspondientes al pH, contenido de materia orgánica, P disponible, K, Ca y Mg. El resumen del análisis estadístico se observa en el Anexo A14, A15, A16, A17, A18 y A19.

Tabla 12. Características químicas del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, Paraguay 2016.

Enmiendas	pH	M.O	P	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
		%	mg/kg	cmol _c /kg		
Sien enmienda	5,72 b*	0,66 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Ceniza	6,65 a	0,85	7,55	0,61	0,40	0,13
Estiércol bovino	6,12 b	0,61	2,65	0,61	0,35	0,13
CV.:	3,62	32,55	85,49	52,43	50,13	33,88

*ns= Diferencias no significativas al 5% de probabilidad de error por el test de Tukey.

**Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Respecto a las características químicas del suelo, se puede observar que el contenido de materia orgánica, P, Ca, Mg y K no fueron afectados por las enmiendas, siendo estadísticamente similares entre sí. Sin embargo el pH fue incrementado significativamente con la aplicación de la ceniza alcanzando un valor de 6,65 siendo superior y estadísticamente diferente al tratamiento con estiércol bovino y el testigo sin enmienda que arrojaron valores de 6,12 y 5,72 respectivamente.

Scherer et al (2007), utilizando estiércol bovino verificaron que no hubo efectos significativos sobre las propiedades químicas del suelo para los valores de pH, M.O y los tenores de Ca, Mg y K.

La adición de estiércol generalmente no modifica el pH del suelo, pero cuando existe una aplicación continua del fertilizante orgánico puede ocurrir aumento significativo del pH (Mitchell & Tu, 2006).

De acuerdo a Campanharo et al. (2007), la adición de ceniza vegetal como fertilizante promueve el incremento del valor del pH del suelo, coincidiendo así con este experimento.

El aumento de pH puede ser atribuido a la liberación de carbonato de calcio, magnesio y potasio por la reacción de la ceniza en el suelo y por presentar en su composición química nutrientes y bases capaces de neutralizar la acidez del suelo (Prado et al. 2002, Gonçalves e Moro 1995)

En un experimento realizado en Brasil, Moacyr y Neto (1993) investigando los efectos de la ceniza vegetal como correctivo del suelo, relataron que los tenores de calcio, magnesio y potasio no fueron influenciados significativamente por la adición de la ceniza.

5. CONCLUSIONES

En las condiciones en que se realizó el experimento se concluye que:

Las dosis de K_2O presentaron una baja influencia en las variables estudiadas, afectando solamente el diámetro comercial y el número de raíces no comerciales.

Las diferentes dosis de K_2O no favorecieron en el incremento del rendimiento de raíces, altura de plantas, longitud de raíces y número de raíces.

El estiércol bovino, promueve el incremento de la altura de plantas, número de raíces, rendimiento total, longitud y diámetro comercial de raíces en la mandioca.

La adición de ceniza por su parte promueve el incremento de la altura de plantas, diámetro y longitud de raíces comerciales, número de raíces comerciales, rendimiento total de raíces y rendimiento comercial en la mandioca.

La aplicación de las enmiendas aumentó el pH, obteniendo el mayor valor con la ceniza. El contenido de P, K, Ca y Mg no fue afectado por las enmiendas

6. REFERENCIAS

- Alcívar, M. 2015. Efecto de dos sistemas de labranza mínima y fertilización en el crecimiento, estado sanitario y rendimiento de tres variedades de yuca “(*Manihot esculenta Crantz*)” en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Tesis Ing. Agr. Santo Domingo, EC, Depto. Ciencias de la Vida y la Agricultura. CIA. ESPE. 61 p.
- Andrade, A. 2014. Productividade e qualidade de raízes de mandioca, cv. Aciolina, sob diferentes doses de potássio e épocas de avaliação na Savana de Roraima (en línea). Consultado 25 oct. 2016. Disponible en http://www.bdtd.ufr.br/tde_arquivos/2/TDE20140909T095450Z174/Publico/AtaizadAndradeSousa.pdf. Boa Vista, BR. 76 p.
- Bellote, A; Ferreira, C; Silva, H; Andrade, G. 1995. Efecto de la aplicación de Ceniza de Caldera y Residuo de Celulosa en el suelo y en el Crecimiento de *Eucalyptus grandis* (en línea). Consultado 5 dic. 2015. Disponible en <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art11.pdf>. Brasil, BR.
- Beraldo, A; Silva, A; Narita, N. 2013. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha (en línea). Consultado 25 oct. 2016. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/pat/v43n3/a01.pdf>. Brasil, BR. 8 p.
- Bonfin-Silva, E; Silva, T; Guimarães, S; Polizel, A. 2011. Desenvolvimento e produção de Crotalaria Juncea adubada com cinza vegetal (en línea). Consultado 3 oct. 2016. Disponible en <http://www.conhecer.org.br/nciclop/2011b/ciencias%20agrarias/desenvolvimende%20e%20producao.pdf>. 9 p.
- Burgos, Á; Cenóz, P. 2012. Efectos de la aplicación de fósforo y potasio en la producción y calidad de raíces de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) en un suelo arenoso y clima subtropical (en línea). Consultado 8 nov. 2015. Disponible en <http://www.bioline.org.br/pdf?cg12017>. Corrientes, AR. 10 p.
- Burbano, O. 2001. Lo biorgánico en el manejo productivo del suelo. En: Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento. Palmira, CO. 15 p.
- Cadavid, L. 2008. Fertilización del Cultivo de la Yuca (*Manihot esculenta Crantz*) (en línea). Consultado 2 dic. 2015. Disponible en <http://ciat->

- library.ciat.cgiar.org:8080/jspui/bitstream/123456789/1334/1/capitulo05.pdf. Colombia, CO. 55 p.
- Campaharo, M; Monnerat, P; Ribeiro, G; Pinho, L. 2007. Utilização de cinza de madeira como corretivo de solo (en línea). Consultado 7 nov. 2016. Disponible en http://www.diadecampo.com.br/arquivos/materias/%7B0111F796-D227-4C3C-B984-9746DC3135C7%7D_61_1.pdf. Brasil, BR. 4 p.
- Castro, A; Henríquez, C. Bertsch. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos (en línea). Consultado 2 dic. 2015. Disponible en <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/viewFile/6733/6421>. San José, CR.
- Ceballos, H; Cruz, G. 2002. La yuca en el tercer milenio: taxonomía y morfología de la yuca (en línea). Consultado 2 dic. 2015. Disponible en <https://www.google.com.py/Fciatlibrary.ciat.cgiar.org.La/Yuca/en/el/Tercer/Milenio>. Colombia, CO. 587 p.
- Ceballos, H. 2002. La yuca en el tercer milenio: nuevas perspectivas para un cultivo milenario (en línea). Consultado 4 dic. 2015. Disponible en <https://www.google.com.py/Fciatlibrary.ciat.cgiar.org.La/Yuca/en/el/Tercer/Milenio>. Colombia, CO. 587 p.
- Cenoz, P; López, A; Burgos, A. 2000. Efecto de los macronutrientes en el desarrollo y rendimiento de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) (en línea). Consultado 3 nov. 2015. Disponible en http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/5_agrarias/a_pdf/a_061.pdf. Corrientes, AR.
- CODIPSA (Compañía de Desarrollo y de Industrialización de Productos Primarios S.A.). 2010. Producción de Mandioca para Uso Industrial (en línea). Consultado 3 nov. 2015. Disponible en <http://www.codipsa.com.py/docs/PRODUCCION-MANDIOCA-FINAL.pdf>. Paraguay, PY. 130 p.
- CPHA (California Plant Health Association). 2012. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. Limusa, MEX. 366 p.
- CQFS (Comissao de Químico e Fertilidade de Solo). 2004. Manual de adubacao e de calagem. 10 ed. Porto Alegre, BR. 400 p.
- Dantas, T; Oliveira, A; Cavalcante, L; Dantas, D; Bandeira, N; Dantas, S. 2013. Produção do inhame em solo adubado com fontes e doses de matéria orgánica (en línea). Consultado 4 nov. 2016. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n10/06.pdf>. Brasil, BR. 5 p.
- Darol, M; Osaki, F. 1989. Efeito da cinza de caieira de cal sobre a produção da aveia preta e no comportamento de alguns nutrientes (en línea). Consultado 3 oct. 2016. Disponible en

http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/darolt_cinzacaieira.pdf. Brasil, BR. 33 p.

DGEEC (Dirección General de Estadística, Encuesta y Censos). 2015. Atlas Censal del Paraguay (en línea). Consultado 3 nov. 2015. Disponible en <http://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/Atlas%20Censal%20del%20Paraguay/8%20Atlas%20Caaguazu%20censo.pdf>. Asunción, PY. 88 p.

Días, C. 1997. Manual técnico das culturas: tomo I cereais, fibrosas, leguminosas, oleaginosas, raízes e tuberculos, plantas tropicais, sacarinas (en línea). Consultado 1 nov. 2016. Disponible en www.bdpa.cnptia.embrapa.br. Brasil, BR.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria). 2013. Cultivo da Mandioca para a Região dos Tabuleiros Costeiros (en línea). Consultado 15 ago. 2015. Disponible en https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_tabcosteiros/clima.htm. Brasil, BR.

Enciso, M; Vera, C; Villalba, M; Vega, G; Silveira, G. 2014. Rentabilidad Económica de la producción de Mandioca en la Colonia Santa Clara, Distrito de Pedro Juan Caballero-PY (en línea): Consultado 15 ago. 2015. Disponible en <http://periodicos.uems.br/novo/index.php/ecaeco/article/viewFile/4390/1891>.

El-Sharkawy. M. 2012. Stress-tolerant cassava: the role of integrative Ecophysiology-Breeding Reseach in Crop Improvement (en línea). Consultado 25 oct. 2016. Disponible en http://orgprints.org/26047/1/Silva_Comportamento%20de%20variedades%20de%20mandioca%20suvmetidas%20a%20fertiliza%C3%A7%C3%A3o.pdf. Londres, Uk. 186 p.

Freire, R; Barbosa, J; Florentino, A; Pereira, A; Coelho, L. 2015. Influência de doses de esterco de caprino no desenvolvimento de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz) em barragem subterrânea (en línea). Consultado 30 oct. 2016. Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135227/1/Roseli-2015.pdf>. Brasil, BR. 5 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2013. La yuca. guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (en línea). Consultado 5 oct. 2015. Disponible en http://www.fao.org/3/a_a1028s.pdf.

Gómez, J; Carvalho, P. 1986. Adubação con macro e micronutrientes na Cultura de Mandioca en Inhambupe-ba (en línea). Consultado 5 nov. 2016. Disponible en http://www.cpao.embrapa.br/11cbm/_html/trabalhos/arquivoPDF/pasta79.PDF. Revista Brasileira de Mandioca (1): 13

Gonçalves, J; Moro, L. 1995. Uso da "cinza" de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* (en línea). Consultado 7

- nov. 2016. Disponible en <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr48-49/cap04.pdf>. Brasil, BR. 13 p.
- Howeler, R. 2002. Cassava Mineral Nutrition and Fertilization. Cali, Co. 352 p.
- IPNI (International Plant Nutrition Institute). 2013. 4R de la nutrición de plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. Norcross, USA. 67 p.
- Kiehl, E. J. 1985. Fertilizantes orgánicos. Sao Paulo. Ceres. 492 p.
- López, O; González, E; Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Ríos, E. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay. Consultado 20 ago. 2015 (en línea). Disponible en <http://www.geologíadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY); GTZ (Cooperación Técnica Alemana). 2008. Sistemas sostenibles de producción: para los principales cultivos agrícolas, hortícolas, forestales y agroforestales de la región del Paraguay. Asunción, PY. 352 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Py). 2015. Cultivo de la mandioca (en línea). Consultad 3 nov. 2015. Disponible en <https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/Cultivo+de+Mandioca.pdf>. Asunción, PY. 120 p.
- Matheus, L; Graterol, B; Simancas, G; Fernández, O. 2007. Efecto de diferentes abonos orgánicos y su correlación con bioensayos para estimar nutrientes disponibles (en línea). Consultado 30 oct. 2015. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/27872/1/articulo2.pdf>. Trujillo, VE. 8 p.
- Mengel, K; Kirky, E. 2000. Principios de Nutrición Vegetal (en línea). Consultado 10 feb. 2016. Disponible en <http://www.ipipotash.org/udocs/64-principios-de-nutricion-vegetal.pdf>. Mulhouse, FR. 692 p.
- Mitchell, C; Tu, S. 2006. Nutrient accumulation and movement from poultry litter (en línea). Consultado 4 nov. 2016. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X2008000100013. Alabama, EE.UU. 85 p.
- Moacyr, R; Neto, F. 1993. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alfase (en línea). Consultado 7 nov. 2016. Disponible en http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/darolt_cinzavegetal.pdf.

- Montaldo, A. 1985. La yuca o mandioca: cultivo, industrialización, aspectos económicos, empleo en la alimentación animal, mejoramiento. San José, CR. IICA. 386 p.
- Moreno, A. 2007. Elementos nutritivos: asimilación, funciones, toxicidad e indisponibilidad en los suelos (en línea). Consultado 28 ago. 2015. Disponible en <http://books.google.com.py/books?id=KAqX9kMkCyEC&printsec=frontcover&dd=funcion+del+potasio+en+los+cultivos&hl=es&sa=X&ei=Jk0jUoPQDofpigLP5IC4AQ&ved=0CFYQ6AEwCA#v=onepage&q=funcion%20del%20potasio%20e%20los%20cultivos&f=false>.
- Ojeniyi, S; Ezekiel, P; Asawalam, D; Awo, A; Odedina, S; Odedina, J. 2009. Root growth and NPK status of cassava as influenced by oil palm bunch ash (en línea). Consultado 29 oct. 2016. Disponible en www.ajol.info/index.php/ajb/article/viewFile/62392/50363-PB.pdf. Nigeria, NG. 6 p.
- Omil, B. 2005. Gestión de cenizas como fertilizantes y enmendate de plantaciones jóvenes de *Pinus radiata*. Santiago de Compostela, ES. 310 p.
- Osundare, B. 2014. Appraising efficacy of different sources of plant nutrients in improving soil fertility and root yield performance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) (en línea). Consultado 5 nov. 2016. Disponible en: <http://www.ijirr.com/sites/default/files/issues-files/0113.pdf>. Nigeria, NG. 5 p.
- Otsubo, A; Lorenzi, J. 2002. Sistemas de Produção: Cultivo da mandioca na Região Centro-Sul do Brasil (en línea). Consultado 1 feb. 2016. Disponible en <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/249613/1/SP20023.pdf> Brasil. BR. 115 p.
- Pacheco, T; Emerin, J; Bitencourt, J; Modolon, A; Modolon, V; Poletto, N. 2013. Efeito da adubação potássica nas variáveis de planta da cultura da mandioca cultivada no extremo Sul Catarinense (en línea). Consultado 20 oct. 2016. Disponible en <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/1220/709>. Santa Catarina, BR. 3 p.
- Pendias, A; Pendias, H. 2000. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. Boca Raton. EEUU, CRC Press. 331 p.
- Raij, B. 1996. Boletín técnico 100: Recomendaciones de adubacao e calagen para o Estado de Sao Paulo. 2da. Ed. Sao Paulo, BR. 218 p.
- Ruppenthal, V; Conte, M. 2005. Efeito do composto de lixo urbano na nutrição e produção de gladiólo. Revista Brasileira Ciencia do Solo (Bra). 29(1).
- Pérez, A; Céspedes, C; Nuñez, P. 2008. Caracterización Física-Química y Biológica de Enmiendas Orgánicas Aplicada en la Producción de Cultivos en la Consultado

- 1 nov. 2015. Disponible en <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n3/art02.pdf>. República Dominicana. RD.
- Prado, R; Medeiros, M; Natale, W. 2002. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira (en línea). Consultado 7 nov. 2016. Disponible en <http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2412/1810>. Sao Paulo, BR. 8 p.
- Projar. 2000. Abono mineral 15-15-15 (en línea). Consultado 28 ago. 2013. Disponible en http://www.projar.es/productos/producto_detalle/464/98/abono-mineral-15-15-15#descripcion
- Salazar, E; López, J; Zúñiga, R; Vázquez, C; Fórtiz, M; Vital, J. 2002. Uso y aprovechamiento del estiércol como alternativa nutricional en invernadero (en línea). Consultado 4 nov. 2015. Disponible en http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio5/02-uso_estiercol.pdf. Durango, MX.
- Sánchez, A. 2008. Elaboración, caracterización, y comparación de abonos orgánicos a base de equinaza y bovinaza (en línea). Consultado el 2 nov. 2015. Disponible en <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/317/2/125443.pdf>. Bucaramanga, CO.
- Scherer, E; Baldissera, I; Nunes, C. 2007. Propriedades químicas de um Latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos (en línea). Consultado 5 nov. 2016. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n1/13.pdf>. Santa Catarina, BR. 9 p.
- Silva, M. 2012. Uso eficiente de esterco bovino na cultura da mandioca em Planossolo Háplico (en línea). Consultado 3 oct. 2016. Disponible en <http://rei.biblioteca.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/586/1/MSA11072014.pdf>. Brasil, BR. 41 p.
- Solla, F; Rodríguez, R; Merino, A. 2001. Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio (en línea). Consultado 3 dic. 2015. Disponible en http://www.inia.es/GCONTREC/PUB/solla_1161156613093.pdf. Santiago de Compostela. ES.
- Suárez, G; Mederos, V. 2011. Apuntes sobre el cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz): tendencias actuales. (en línea). Consultado 15 ago. 2015. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S025859362011000300004&script=sci_arttext. Cuba, CU. 10 p
- Tejada, T. 2013. Rendimiento y calidad: uso de enmiendas orgánicas (en línea). Consultado 28 oct 2016. Disponible en

http://www.expocafeperu.com/archivos2013/conferencias/05_PRESENTACION%20CPISAC%20JOSE%20ANTONIO%20TEJADA.pdf. Perú, PE. 39 p.

Tsidale, S; Nelson, W. 1970. Fertilidad de suelos y fertilizantes. 2 ed. México. MX, Limusa. 760 p.

USAID. (Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional). 2010. Mandioca una Opción Industrial (en línea): Consultado 15 ago. 2015. Disponible en:
<http://www.mag.gov.py/usaid/mandioca%202010.pdf>. Paraguay, PY. 51 p.

USC (Universidad Santiago de Compostela, Es). EPS (Escuela Politécnica Superior). Departamento de Producción Vegetal. 2001. Evaluación del aporte de ceniza de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio, periodo 2001. Santiago de Compostela, España. 15 p.

Anexo

A1. Resumen del análisis de varianza de la variable altura de plantas. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	1,5	0,75	48,31	<0,0001
Dosis K ₂ O	4	0,06	0,02	0,99	0,4211
Interacción	8	0,21	0,03	1,72	0,1212
Bloque	3	0,95	0,32	20,35	<0,0001
Error	42	0,65	0,02		
Total	59	3,38			

C.V.: 7,16

A2. Resumen del análisis de varianza de la variable diámetro comercial. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	2,87	1,43	30,35	<0,0001
Dosis K ₂ O	4	0,55	0,14	2,92	0,0323
Interacción	8	0,13	0,02	0,33	0,9478
Bloque	3	0,18	0,06	1,24	0,3084
Error	42	1,98	0,05		
Total	59	5,7			

C.V.: 4,17

A3. Resumen del análisis de varianza de la variable diámetro no comercial de raíces. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	0,18	0,09	0,94	0,3985
Dosis K ₂ O	4	0,54	0,13	1,43	0,2418
Interacción	8	0,34	0,04	0,45	0,8865
Bloque	3	0,62	0,21	2,18	0,1041
Error	42	3,97	0,09		
Total	59	5,64			

C.V.: 9,30

A.4. Resumen del análisis de varianza de la variable longitud de raíces comerciales. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	176,76	88,38	4,42	0,0181
Dosis K ₂ O	4	86,51	21,63	1,08	0,3779
Interacción	8	79,65	9,96	0,5	0,8508
Bloque	3	301,27	100,42	5,02	0,0046
Error	42	840,01	20		
Total	59				

C.V.: 10,64

A.5 Resumen del análisis de varianza de la variable longitud de raíces no comerciales. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	2,14	1,07	0,15	0,8623
Dosis K ₂ O	4	6,13	1,53	0,21	0,9299
Interacción	8	31,31	3,91	0,54	0,8172
Bloque	3	74,1	24,7	3,43	0,0255
Error	42	302,65	7,21		
Total	59	416,34			

C.V.: 12,44

A.6 Resumen del análisis de varianza de la variable número total de raíces. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	12,12	6,06	23,26	<0,0001
Dosis K ₂ O	4	1,33	0,33	1,28	0,2931
Interacción	8	2,86	0,36	1,37	0,2362
Bloque	3	5,32	1,77	6,81	0,0008
Error	42	10,94	0,26		
Total	59	32,58			

C.V.: 8,30

A7. Resumen del análisis de varianza de la variable número de raíces comerciales.
Caaguazú, 2016

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	5,77	2,89	13,32	<0,0001
Dosis K ₂ O	4	0,2	0,05	0,23	0,9223
Interacción	8	1,97	0,25	1,14	0,3591
Bloque	3	4,77	1,59	7,34	0,0005
Error	42	9,1	0,22		
Total	59	21,81			

C.V.:
13,21%

A8. Resumen del análisis de varianza de la variable número de raíces no comerciales.
Caaguazú, 2016

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	1,28	0,64	6,09	0,0048
Dosis K ₂ O	4	1,39	0,35	3,3	0,0195
Interacción	8	1,62	0,2	1,92	0,0819
Bloque	3	0,38	0,13	1,2	0,3233
Error	42	4,42	0,11		
Total	59	9,08			

C.V.: 12,35

A9. Resumen del análisis de varianza de la variable rendimiento total de raíces.
Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	2078,78	1039,39	31,6	<0,0001
Dosis K ₂ O	4	73,61	18,4	0,56	0,6933
Interacción	8	41,47	5,18	0,16	0,9952
Bloque	3	365,13	121,71	3,7	0,0189
Error	42	1381,46	32,89		
Total	59	3940,45			

C.V.: 11,65

A10. Resumen del análisis de varianza de la variable rendimiento de raíces comerciales. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	1651,39	825,7	23,1	<0,0001
Dosis K ₂ O	4	75,34	18,84	0,53	0,7164
Interacción	8	59,89	7,49	0,21	0,9875
Bloque	3	445,11	148,37	4,15	0,0115
Error	42	1500,99	35,74		
Total	59	3732,72			

C.V.: 14,75

A11. Resumen del análisis de varianza de la variable rendimiento de raíces no comerciales. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	24,82	12,41	5,27	0,0091
Dosis K ₂ O	4	4,75	1,19	0,5	0,7327
Interacción	8	37,05	4,63	1,97	0,0746
Bloque	3	6,56	2,19	0,93	0,4348
Error	42	98,82	2,35		
Total	59	172			

C.V.: 17,62

A12. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de materia seca. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	0,00021	0,00011	0,08	0,9237
Dosis K ₂ O	4	0,0047	0,0002	0,88	0,487
Interacción	8	0,01	0,00077	0,58	0,791
Bloque	3	0,0013	0,00043	0,32	0,8121
Error	42	0,06	0,0013		
Total	59	0,07			

A13. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de almidón. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	0,00016	0,000082	0,08	0,9237
Dosis K ₂ O	4	0,0036	0,0009	0,88	0,487
Interacción	8	0,0047	0,00059	0,58	0,791
Bloque	3	0,00098	0,00033	0,32	0,8121
Error	42	0,04	0,001		
Total	59	0,05			

C.V.: 0,10%

A14. Resumen del análisis de varianza de la variable pH del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	1,72	0,86	17,31	0,0032
Bloque	3	0,09	0,03	0,58	0,6488
Error	6	0,3	0,05		
Total	11	2,11			

C.V.: 3,62

A15. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Materia orgánica del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	0,13	0,07	1,24	0,353
Bloque	3	0,07	0,02	0,44	0,7313
Error	6	0,32	0,05		
Total	11	0,52			

C.V.: 32,55

A16. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Fósforo del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	97,61	48,81	4,99	0,053
Bloque	3	20,16	6,72	0,69	0,5923
Error	6	58,71	9,79		
Total	11	176,48			

C.V.: 85,49

A17. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Ca del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	0,21	0,11	1,43	0,3100
Bloque	3	0,13	0,04	0,57	0,6541
Error	6	0,44	0,07		
Total	11	0,78			

C.V.: 52,43

A18. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Mg del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	0,16	0,08	3,86	0,0836
Bloque	3	0,08	0,03	1,30	0,358
Error	6	0,13	0,02		
Total	11	0,37			

C.V.: 50,13

A19. Resumen del análisis de varianza de la variable contenido de Mg del suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a la aplicación de enmiendas. Caaguazú, 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Prob.
Tipos de enmiendas	2	0,000017	0,0000083	0,0045	0,9955
Bloque	3	0,01	0,0019	1,05	0,4366
Error	6	0,01	0,0018		
Total	11	0,02			

C.V.: 33,88

A20. Análisis de suelo antes de la instalación del experimento.

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Área de Suelos y Ordenamiento Territorial

Laboratorio de Servicio al Público

Planilla de resultados de análisis de suelos

Propietario: Pedro Sanabria
Departamento: Caaguazú
Distrito: Caaguazú
Fecha: 21/08/15

Nº	Lab.	Código	Prof. cm.	pH	Mat.Org. %	P mg/kg	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	Clase Textural	Color	
													Munsell	Descripción
15	236i	M1	0-20	5,50	0,69	2,76	0,80	0,28	0,07	0,02	0,00	Arenosa	5 YR 4/6	Marrón Rojizo

Recorte rectangular

La siguiente tabla le ayudará a interpretar los resultados

Nivel	Mat. Org.	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al+H ⁺	pH
Bajo	< 1,2	< 12	< 2.51	< 0.4	< 0.12	< 1.5	< 0.4	< 5.6 Acido
Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2.51 - 6.0	0.4 - 0.8	0,13 - 0,17	1.5 - 3.0	0.4 - 0.9	5.6 - 6.4 Lig. Acido
Alto	> 2,8	> 30	> 6.0	> 0.8	> 0,17	> 3.0	> 0.9	6.5 - 7.4 Neutro > 7.4 Alcalino

Q.A. DORALICIA ZACARIAS SERVIN

Responsable de los análisis

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

A21. Resultado general de las variables estudiadas por tratamiento y repetición. Caaguazú, 2016.

Bloques	Trat.	A. P (m)	Nº de raíces por planta			Rendimiento de raíces (kg)			Diámetro de raíces (cm)		Longitud de raíces (cm)		Contenido (%)	
			Comercial	No Comercial	Total	Comercial	No Comercial	Total	Comercial	No comercial	Comercial	No comercial	MS	AI
BI	T1	1,16	3,00	2,75	5,75	23,62	7,87	31,48	4,48	3,23	40,2	24,5	34,37	32,23
	T2	1,61	3,50	3,00	6,50	37,58	7,10	44,68	4,84	2,65	35,0	25,5	34,37	32,23
	T3	1,64	3,00	2,17	5,17	37,87	7,13	45,00	4,92	3,29	43,1	24,9	34,37	32,23
	T4	1,31	2,25	2,00	4,25	31,02	6,23	37,25	4,94	3,69	43,6	24,4	34,37	32,23
	T5	1,63	3,33	2,67	6,00	33,17	10,17	43,33	4,90	2,95	42,2	24,6	34,37	32,23
	T6	1,80	3,83	2,33	6,17	47,72	7,50	55,22	5,33	3,41	49,2	23,1	34,45	32,30
	T7	1,83	4,25	1,50	5,75	47,47	7,47	54,93	5,49	3,53	38,4	23,1	34,45	32,30
	T8	1,78	4,58	2,00	6,58	53,50	6,58	60,08	5,13	3,44	44,8	19,2	34,37	32,23
	T9	2,04	4,33	2,92	7,25	50,00	9,65	59,65	5,48	3,60	47,3	22,8	34,37	32,23
	T10	2,02	3,08	2,83	5,92	44,88	9,25	54,13	5,54	3,67	48,7	22,9	34,37	32,23
	T11	2,10	4,33	2,42	6,75	53,12	7,47	60,58	5,33	4,15	39,5	20,7	34,37	32,23
	T12	2,09	3,75	3,08	6,83	46,17	9,67	55,83	5,51	3,61	42,5	21,3	34,45	32,30
	T13	1,95	4,08	2,83	6,92	40,90	8,62	49,52	5,32	3,77	45,8	26,8	34,37	32,23
	T14	2,02	3,75	2,17	5,92	45,60	8,17	53,77	5,28	3,63	45,8	21,7	34,37	32,23
	T15	2,15	3,92	2,83	6,75	44,53	10,18	54,72	5,45	3,34	44,9	25,4	34,45	32,30
BII	T1	1,75	3,50	3,00	6,50	35,00	9,90	44,90	4,85	3,33	40,70	19,10	34,37	32,23
	T2	1,78	3,92	2,75	6,67	31,50	5,58	37,08	4,83	3,62	47,80	22,70	34,45	32,30
	T3	1,79	3,17	2,08	5,25	35,02	7,53	42,55	5,00	3,11	41,00	17,40	34,37	32,23
	T4	1,78	3,50	2,33	5,83	39,65	8,60	48,25	5,12	3,67	45,80	19,30	34,45	32,30
	T5	1,83	3,50	2,92	6,42	36,67	9,07	45,73	5,02	3,42	34,70	20,20	34,45	32,30
	T6	1,84	3,33	2,67	6,00	39,18	7,13	46,32	5,34	2,94	41,30	23,80	34,37	32,23
	T7	1,92	4,33	2,58	6,92	47,17	7,92	55,08	5,42	3,02	44,00	20,90	34,37	32,23
	T8	2,00	4,67	2,75	7,42	38,33	7,05	45,38	5,56	2,94	51,20	23,80	34,37	32,23
	T9	1,84	4,17	1,92	6,08	46,67	7,02	53,68	5,72	3,68	49,20	22,40	34,37	32,23
	T10	1,86	3,83	2,58	6,42	52,03	8,40	60,43	5,87	3,18	55,80	24,00	34,37	32,23
	T11	1,96	3,58	3,00	6,58	48,20	9,77	57,97	4,86	3,29	42,70	20,30	34,37	32,23
	T12	2,13	3,42	3,67	7,08	39,93	13,57	53,50	4,91	2,96	39,80	24,70	34,45	32,30
	T13	1,81	4,08	3,08	7,17	45,47	11,68	57,15	5,14	2,67	46,00	21,90	34,37	32,23
	T14	1,89	5,17	2,75	7,92	55,95	7,70	63,65	5,41	2,79	43,70	20,40	34,37	32,23
	T15	2,16	4,42	2,58	7,00	59,35	8,67	68,02	5,34	3,22	46,20	19,60	34,37	32,23

A21. Resultado general de las variables estudiadas por tratamiento y repetición. Caaguazú, 2016 (Continuación).

Bloques	Trat.	A. P (m)	Nº de raíces por planta			Rendimiento de raíces (kg)			Diámetro de raíces (cm)		Longitud de raíces (cm)		Contenido (%)	
			Comercial	No Comercial	Total	Comercial	No Comercial	Total	Comercial	No comercial	Comercial	No comercial	MS	AI
BIII	T1	1,60	3,33	2,58	5,92	36,92	7,75	44,67	4,65	3,63	34,00	21,40	34,37	32,23
	T2	1,67	2,83	2,25	5,08	33,17	5,97	39,13	5,43	3,02	45,90	20,50	34,37	32,23
	T3	1,55	3,33	2,50	5,83	36,18	6,47	42,65	4,55	2,86	36,30	19,20	34,37	32,23
	T4	1,42	2,75	2,33	5,08	30,33	9,07	39,40	4,72	3,11	37,00	24,00	34,37	32,23
	T5	1,66	3,75	2,42	6,17	37,17	6,68	43,85	5,19	3,28	37,50	20,00	34,37	32,23
	T6	1,72	3,08	3,08	6,17	33,70	10,37	44,07	5,47	3,35	35,40	20,70	34,37	32,23
	T7	1,66	2,92	2,50	5,42	38,33	9,10	47,43	5,38	3,09	47,00	21,80	34,45	32,30
	T8	1,59	2,58	2,92	5,50	30,13	9,07	39,20	5,11	3,70	31,10	16,80	34,45	32,30
	T9	1,72	2,67	2,33	5,00	35,00	9,82	44,82	5,44	3,30	45,40	20,30	34,45	32,30
	T10	1,62	2,92	2,58	5,50	33,33	10,72	44,05	5,61	3,54	46,20	21,30	34,37	32,23
	T11	1,80	3,75	2,67	6,42	46,48	8,48	54,97	5,41	3,12	41,50	22,50	34,37	32,23
	T12	2,01	4,17	3,42	7,58	54,62	11,83	66,45	5,70	3,00	46,10	25,40	34,37	32,23
	T13	1,89	4,25	2,67	6,92	55,53	8,17	63,70	5,44	2,91	43,40	20,50	34,45	32,30
	T14	1,90	4,08	2,83	6,92	49,98	11,83	61,82	5,57	3,86	44,40	20,60	34,37	32,23
	T15	1,89	3,75	3,00	6,75	48,47	8,07	56,53	5,48	3,04	49,00	23,20	34,37	32,23
BIV	T1	1,26	3,17	2,33	5,50	33,50	7,90	41,40	4,78	3,13	37,70	18,40	34,37	32,23
	T2	1,35	2,83	2,58	5,42	33,67	8,82	42,48	4,95	2,96	35,50	15,40	34,37	32,23
	T3	1,54	2,92	3,00	5,92	32,52	10,77	43,28	4,73	2,95	38,30	27,00	34,45	32,30
	T4	1,26	2,75	2,00	4,75	35,90	7,83	43,73	4,82	3,21	32,10	17,70	34,37	32,23
	T5	1,28	3,08	2,58	5,67	35,17	9,68	44,85	5,24	3,42	43,80	21,20	34,37	32,23
	T6	1,71	3,17	2,83	6,00	34,00	10,60	44,60	5,04	3,27	37,10	20,80	34,37	32,23
	T7	1,45	2,75	2,83	5,58	30,07	9,23	39,30	5,16	3,36	39,60	26,40	34,37	32,23
	T8	1,55	2,83	2,67	5,50	32,83	8,43	41,27	5,39	3,15	36,90	17,90	34,37	32,23
	T9	1,59	2,83	2,08	4,92	35,63	7,08	42,72	5,10	3,19	36,80	20,30	34,37	32,23
	T10	1,41	3,33	2,83	6,17	33,58	8,68	42,27	4,98	3,40	38,60	18,80	34,37	32,23
	T11	1,72	3,25	2,83	6,08	39,02	12,07	51,08	5,17	3,57	44,40	24,20	34,37	32,23
	T12	1,79	3,17	3,42	6,58	37,67	12,17	49,83	5,48	3,57	42,90	18,40	34,37	32,23
	T13	1,59	3,75	2,42	6,17	41,67	7,98	49,65	5,34	3,50	40,60	19,90	34,37	32,23
	T14	1,88	3,92	2,58	6,50	41,33	8,58	49,92	5,43	3,46	36,20	22,20	34,37	32,23
	T15	1,89	3,92	2,42	6,33	48,37	6,50	54,87	5,30	3,45	40,60	16,90	34,45	32,30

A 22. Resultado de análisis de suelo posterior a la cosecha de mandioca, en función a las enmiendas, en la camada de 0-20 cm.

Tratamientos	pH	Mat. Org. %	P mg/Kg	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	Clase Textural	Color	
										Munsell	Descripción
Sin enmienda R1	5,8	0,48	1,27	0,38	0,14	0,13	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Sin enmienda R2	5,9	0,77	0,19	0,56	0,14	0,17	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Sin enmienda R3	5,7	0,83	0,78	0,19	0,09	0,17	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Sin enmienda R4	5,5	0,55	0,88	0,19	0,14	0,04	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Ceniza R1	6,4	1,09	4,28	0,56	0,41	0,09	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Ceniza R2	6,8	0,83	4,77	0,38	0,45	0,18	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Ceniza R3	6,5	0,74	6,13	0,75	0,27	0,11	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Ceniza R4	6,9	0,74	15,00	0,75	0,45	0,13	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Estiércol R1	6,4	0,22	3,8	1,13	0,72	0,15	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Estiércol R2	6,1	0,64	2,82	0,38	0,18	0,11	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Estiércol R3	5,9	0,83	2,24	0,56	0,23	0,13	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco
Estiércol R4	6,1	0,74	1,75	0,38	0,27	0,11	0,01	0	Areno Franco	5 YR 5/4	Marrón Rojizo Opaco

A23. Tabla de conversión del porcentaje de materia seca y almidón de la mandioca.

Densidad	%MS	%AL	Densidad	%MS	%AL
1.1080	33.28	31.16	1.1300	36.71	34.52
85	33.36	31.24	05	36.79	34.59
90	33.44	31.31	10	36.87	34.67
95	33.51	31.39	15	36.95	34.75
1.1100	33.59	31.46	20	37.02	34.82
05	33.67	31.54	25	37.10	34.90
10	33.75	31.62	30	37.18	34.97
15	33.83	31.69	35	37.26	35.05
20	33.90	31.77	40	37.34	35.13
25	33.98	31.85	45	37.41	35.20
30	34.06	31.92	50	37.49	35.28
35	34.14	32.00	55	37.57	35.36
40	34.22	32.07	60	37.65	35.43
45	34.29	32.15	65	37.73	35.51
50	34.37	32.23	70	37.80	35.59
55	34.45	32.30	75	37.88	35.66
60	34.53	32.38	80	37.96	35.74
65	34.61	32.46	85	38.04	35.81
70	34.69	32.53	90	38.12	35.89
75	34.76	32.61	95	38.19	35.97
80	34.84	32.69	1.1400	38.27	36.04

A24. Fotos del experimento



Figura 3. Preparación del terreno con arado a tracción animal.



Figura 4. Vista general de la parcela posterior a la preparación del terreno.



Figura 5. Aplicación de tratamientos



Figura 6. Plantación de las ramas semillas.



. **Figura 7.** Planta de mandioca 30 días después de la plantación



Figura 8. Vista del cultivo.



Figura 9. Cosecha manual de la mandioca.