

**USO DE CENIZA COMO CORRECTOR DE LAS PROPIEDADES  
QUÍMICAS DEL SUELO**

**CELESTE MARÍA JAZMÍN SAUCEDO VALVERDE**

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

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

**San Lorenzo, Paraguay  
2016**

**USO DE CENIZA COMO CORRECTOR DE LAS PROPIEDADES  
QUÍMICAS DEL SUELO**

**CELESTE MARÍA JAZMÍN SAUCEDO VALVERDE**

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

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

San Lorenzo, Paraguay

2016

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

**USO DE CENIZA COMO CORRECTOR DE LAS PROPIEDADES**  
**QUÍMICAS DEL SUELO**

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, de la Universidad Nacional de Asunción.

**Autora:** Celeste María Jazmín Saucedo Valverde .....

**Miembros del Comité Asesor**

**Orientador:** Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Leguizamón Rojas. ....

**Co-Orientadora:** Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) María del Pilar Galeano S .....  
S

**Co-Orientadora:** Q. A. (Mg) Doralicia Zacarías Servín .....

**Miembros de la mesa examinadora**

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

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

Q. A. (Mg) Doralicia Zacarías Servín .....

San Lorenzo, 27 de Octubre de 2016.

***DEDICADO***

A Dios y a mis padres

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios que me dió la fuerza y la fe para culminar esta carrera.

A mis padres Miguel y María, por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera, por creer en mi capacidad y hacer que este sueño se haga realidad.

A mis hermanos Luis, Army y Vidalia quienes con su aliento no me dejaban decaer para seguir adelante y cumplir con mis ideales. A mis sobrinos Rodney, Antony, Antonella y Carlos Fabricio por el cariño.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, por la oportunidad brindada para formarme como profesional.

A la CONACYT y la empresa CAIASA por apoyar la elaboración de está tesis.

A mi orientador Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Leguizamón Rojas, gracias por su paciencia, dedicación, motivación y criterios dados durante todo el trabajo, y por los consejos que me ha ofrecido como amigo y como profesor. A mis co-orientadores Prof. Ing. Agr. María del Pilar Galeano y Q.A. (Mg.) Doralicia Zacarías Servín por sus recomendaciones y consejos.

A la familia SUELOS por los conocimientos y cariño que me han brindado en especial al equipo de laboratorio.

A mis compañeros y amigos de la facultad, en especial a Satomi, Jorge, Karen, Romina y Nadia quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimientos, alegrías y tristezas. Y a Lucidío Ruiz Díaz por creer en mí, por su comprensión y cariño.

A mis amigos Elenisse Gonzales, Analia Ortiz, Hugo Godoy, Joel Gonzalez y Raúl Alvares a los que robe horas de compañía y me brindaron su apoyo incondicional durante la carrera.

# USO DE CENIZA COMO CORRECTOR DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Autor: Celeste María Jazmín Saucedo Valverde  
Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Leguizamón Rojas  
Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) María del Pilar Galeano S.  
Co-Orientadora: Q. A.(Mg) Doralicia Zacarías Servín

## RESUMEN

La explotación agraria continua lleva a la disminución de los nutrientes del suelo y a procesos de acidificación, resultando en la reducción del rendimiento de los cultivos. El trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la ceniza como mejoradora de las características químicas del suelo. La evaluación se determinó en un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 9x2 (9 dosis de ceniza y 2 tipos de suelo), totalizando 18 tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en dosis de ceniza: T1 0, T2 2,5; T3 5; T4 7,5; T5 10; T6 12,5; T7 15; T8 17,5; T9 20 t ha<sup>-1</sup> en suelos de textura areno franco y franco arcillo arenoso. El experimento fue conducido en macetas de polietileno con suelo previamente tamizado y homogeneizado en el área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA, San Lorenzo-Paraguay. Las variables evaluadas fueron pH a los 40 y 80 días después de la aplicación (ddap), calcio, magnesio, potasio, aluminio y sodio intercambiable, fósforo disponible. Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y al detectarse diferencia significativa las medias se compararon por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad del error y por análisis de regresión. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en todas las variables ( $p < 0,05$ ) excepto el sodio. La aplicación de ceniza neutralizó la acidez del suelo, disminuyó el aluminio intercambiable, y aumentó el pH en ambos suelos, además incrementó los niveles de calcio, magnesio y potasio intercambiables y fósforo disponible. Existió un efecto diferenciado entre los suelos en los resultados obtenidos en las variables de pH, calcio, magnesio, potasio, y fósforo. Las variables presentaron diferencias estadísticas siendo este condicionado por el poder tampón de cada suelo.

**Palabras clave:** Ceniza. Fertilidad del suelo, acidez, pH, Bases del suelo, Fósforo disponible.

# USO DE CORREÇÃO DAS CINZAS AS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO.

Autor: Celeste María Jazmín Saucedo Valverde  
Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Leguizamón Rojas  
Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) María del Pilar Galeano S.  
Co-Orientadora: Q. A. (Mg) Doralicia Zacarías Servín

## RESUMO

A fazenda continua leva à diminuição de nutrientes do solo e processos de acidificação, resultando na queda de rendimento das culturas. O trabalho foi feito com a finalidade de avaliar a cinzas como melhorador químico das características químicas do solo. A avaliação foi determinada num esquema fatorial 9x2 arranjo inteiramente casualizado (9 doses de cinzas e 2 tipos de solo), com 18 tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram de várias doses de cinzas: T1 0, T2 2,5; T3 5; T4 7,5; T5 10; T6 12,5; T7 15; T8 17,5; T9 20 t ha<sup>-1</sup> em solo de textura areno franca e franco arcillo arenosa. O experimento foi conduzido em vasos de polietileno solo previamente peneirado e homogeneizado na area de Solos e ordem territorial da Faculdade de Ciências Agrárias da UNA, San Lorenzo-Paraguai. As variáveis avaliadas foram pH a 40 e 80 dDAP, cálcio, magnésio, potássio, alumínio e sódio trocável, fósforo disponível. Os resultados foram submetidos à análise de variância Diferenças significativas entre os tratamentos foram encontrados em todas as variáveis pelo teste de Tukey a 5% de chance de análise de erro e de regressão. diferenças significativas entre os tratamentos em todas as variáveis (p <0,05) foram encontrados com exceção de sódio. Aplicando cinzas neutraliza a acidez do solo, as diminuições de alumínio permutáveis e aumenta o pH em ambos solos, também aumenta os níveis de nutrientes de cálcio, magnésio e potássio trocável, fósforo disponível. Existe efeito diferencial sobre os resultados obtidos em variáveis de pH, cálcio, magnésio, potássio e fósforo. ash aplicar não teve efeito sobre a variável de sódio trocável. A variável de alumínio mostrou diferenças estatísticas e esta condicionada pela propriedades químicas do solo.

**Palavras-chave:** Cinzas. A fertilidade do solo, acidez, pH, Bases de solo, fósforo diponible.

## USE OF CORRECTION OF ASH AS SOIL CHEMICAL PROPERTIES.

Autor: Celeste María Jazmín Saucedo Valverde  
Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Carlos Leguizamón Rojas  
Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) María del Pilar Galeano S.  
Co-Orientadora: Q. A. (Mg) Doralicia Zacarías Servín

### SUMMARY

The farm continues leads to decreased soil nutrients and acidification processes, resulting in the fall of crop yields. The work was done with the aim of assessing the ash as improver chemical soil characteristics. The evaluation was determined in a completely randomized design factorial arrangement 9x2 (9 doses of ash and 2 soil types) with 18 treatments and three repetitions. Treatments consisted of various doses of ash: T1 0, T2 2,5; T3 5; T4 7,5; T5 10; T6 12,5; T7 15; T8 17,5; T9 20 t ha<sup>-1</sup> in sandy loam soils sandy loam and clay. The experiment was conducted in pots polyethylene previously sieved soil and homogenized in the Department of Soil and Land Management, Faculty of Agricultural Sciences of the UNA, San Lorenzo-Paraguay. The variables evaluated were pH at 40 and 80 dDAP, calcium, magnesium, potassium, aluminum and exchangeable sodium, phosphorus available. Guests results were subjected to analysis of variance and detected significant difference means were compared by Tukey test at 5% chance of error and regression analysis. significant differences between treatments in all variables ( $p < 0.05$ ) were found except for sodium. Applying ash neutralizes the acidity of the soil, exchangeable aluminum decreases and increases the pH in both soils, also increases the nutrient levels of calcium, magnesium and exchangeable potassium, phosphorus disponible. Existe differential effect on the results obtained in variables pH, calcium, magnesium, potassium, and phosphorus. Applying ash had no effect on the exchangeable sodium variable. The aluminum variable showed statistical differences and this conditioned by the power buffer each suelo.

**Keywords:** Ash. Soil fertility, acidity, pH, soil Bases, Phosphorus diponible.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la Región Oriental.....	3
2.2 Corrección de la deficiencia de nutrientes y de la acidez del suelo...	5
2.3 Caracterización de la ceniza.....	6
2.3.3 La ceniza como corrector alternativo del suelo.....	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1 Localización, descripción y periodo experimental.....	10
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	11
3.3 Recursos materiales y equipos técnicos.....	12
3.4 Instalación y conducción del experimento.....	13
3.4.1 Preparación de los tratamientos.....	13
3.5 Variables de medición.....	15
3.5.1 Determinación de pH.....	15
3.5.2 Determinación de calcio, magnesio, potasio y sodio.....	16
3.5.3 Determinación de fósforo disponible.....	16
3.6 Control de calidad de datos.....	16
3.7 Análisis de datos.....	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1 pH del suelo.....	18
4.2 Aluminio intercambiable.....	20
4.3 Calcio intercambiable.....	21
4.4 Magnesio intercambiable.....	23
4.5 Potasio intercambiable.....	25
4.6 Sodio intercambiable.....	26
4.7 Fósforo disponible.....	27
5. CONCLUSIÓN.....	29
6. REFERENCIAS.....	30
ANEXOS.....	34

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
1. Análisis de los suelos utilizados en el experimento. Laboratorio de Suelos. FCA/UNA, 2016.....	10
2. Tratamientos, dosis y cantidad de ceniza utilizados en el suelo arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2016.....	11
3. Análisis químico de la ceniza empleada en el experimento.....	12
4. Aluminio intercambiable. ( $Al^{+3}$ ) obtenidos en suelo areno franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016.....	21
5. Potasio intercambiable ( $K^{+}$ ) obtenidos del suelo areno franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016.....	25

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1. Valores de pH del suelo a los 40 días (A) y 80 días (B) de la aplicación de dosis de cenizas, en suelos de textura areno franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016.....	18
2. Calcio intercambiable a los 80 días de la aplicación de dosis de ceniza , en suelo areno franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016.....	22
3. Magnesio intercambiable a los 80 días de la aplicación de dosis de ceniza, en suelos de textura areno franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016.....	24
4. Fósforo disponible (P) a los 80 días de la aplicación de dosis de ceniza, en suelos de textura areno franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016.....	27

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Página</b>
<b>A.</b> Resultados de ANAVA de todas las variables evaluadas.....	35
<b>A1</b> Análisis de Varianza para Calcio intercambiable. San Lorenzo, Central. Año 2016.....	35
<b>A2</b> Análisis de Varianza para Magnesio intercambiable. San Lorenzo, Central. Año 2016.....	35
<b>A3</b> Análisis de Varianza para Potasio intercambiable San Lorenzo, Central. Año 2016.....	35
<b>A4</b> Análisis de Varianza para Sodio intercambiable. San Lorenzo, Central. Año 2016.....	36
<b>A5</b> Análisis de Varianza para Fósforo disponible. San Lorenzo, Central. Año 2016.....	36
<b>A6</b> Análisis de Varianza para pH a los 40 días. San Lorenzo, Central. Año 2016.....	36
<b>A7</b> Análisis de Varianza para pH a los 80 días. San Lorenzo, Central. Año 2016.....	37
<b>A8</b> Análisis de Varianza para Aluminio intercambiable a los 80 días. San Lorenzo, Central. Año 2016.....	37
<b>A9</b> Análisis del experimento. Resultados. San Lorenzo, Central. Año 2016.....	38

## 1. INTRODUCCIÓN

La explotación agraria continua lleva a la disminución de los nutrientes del suelo y a procesos de acidificación, resultando en la reducción del rendimiento de los cultivos.

Las deficiencias nutricionales del suelo pueden ser corregidas o minimizadas con el uso de residuos de industrias y agroindustrias de explotaciones agrarias, que podrían tener concentraciones significativas de nutrientes, poder neutralizante de la acidez u otras características que pueden mitigar el proceso de degradación física, química y biológica del suelo. Cabe destacar, que de no aprovecharse estos residuos se irían acumulando constituyéndose en problemas para la empresa y el ambiente.

Entre los residuos se pueden citar la ceniza de biomasa. Estas contribuirían con aporte de nutrientes como P, K, Ca, Mg y como corrector de la acidez del suelo. Este residuo inclusive podría adquirir mayor preponderancia en la agricultura orgánica.

El experimento tuvo como objetivo general evaluar el efecto de la ceniza como mejoradora de las características químicas del suelo; y como objetivos específicos: determinar el efecto de la ceniza en la reducción de la acidez de un suelo; medir el efecto de la ceniza en los niveles de fósforo disponible; calcio, magnesio, potasio, sodio y aluminio intercambiables, comparar el efecto de la aplicación de ceniza en suelos de textura franco arcillo arenoso y arena franco.

Se plantea la hipótesis de que la aplicación de ceniza aumentará los niveles de calcio, magnesio y potasio intercambiables, así como, del fósforo disponible y el pH del suelo. Por otro lado, una misma dosis aplicada de ceniza, los niveles de pH y el P disponible alcanzados serán superiores en el suelo arenoso en relación al suelo arcilloso.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la Región Oriental**

Según el MAG-IICA (2003) los Departamentos cuyas tierras presentan menores limitaciones en cuanto a fertilidad son Alto Paraná e Itapúa, con valores de fertilidad medio a alto, presentando un mayor potencial. Le siguen Caaguazú, San Pedro, Concepción, Amambay y Canindeyú. Mientras que los suelos con mayores limitaciones para la explotación agrícola son Cordillera y Paraguarí, por estar excesivamente desgastados y poseer en consecuencia baja fertilidad. Los Departamentos de Guairá y Caazapá, son suelos regularmente aptos para el cultivo; y en los Departamentos de Misiones y Ñeembucú, predominan las tierras bajas y pantanosas, siendo apenas un 20% fracción cultivable.

Florentín et al. (2001) sostienen que las áreas agrícolas de la Región Oriental del Paraguay están localizadas sobre dos tipos de suelos: los arenosos derivados de areniscas y los arcillosos provenientes de basalto, que a pesar de tener una fertilidad muy superior a los arenosos, presentan las mismas tendencias de desgaste con el transcurrir de los años, cuando son manejados en sistema convencional.

Por otro lado, los mismos autores identifican los sistemas productivos en las pequeñas propiedades de la Región Oriental del Paraguay en tres zonas principales: los de suelos arenosos mediamente fértiles (7-10 años de uso), con un contenido de materia orgánica de 1,2% que se encuentran en los Departamentos de San Pedro, Caaguazú y Caazapá; suelos arenosos muy degradados (más de 15 años de uso) con menos de 1% de materia orgánica, generalmente compactados, localizados principalmente en los Departamentos de Paraguarí, Central, Cordillera, y Guairá; y en

suelos arcillosos con media a alta fertilidad, con materia orgánica de 2 a 3%, localizados en los Departamentos de Alto Paraná y Itapúa. Con estas consideraciones los autores indican un deterioro de la fertilidad del suelo con los años de uso en sistemas convencionales de producción en pequeñas propiedades. También se encuentran zonas de transición con características de suelos intermedios en los Departamentos de Misiones, Ñeembucú y Canindeyú.

En relación a la fertilidad en los suelos, en distritos de la Región Oriental del Paraguay se han encontrado 135 distritos con fertilidad de clase media, representando el 63%; 65 distritos con fertilidad de clase baja (30%); y 14 distritos con fertilidad de clase alta (7%). Esta clasificación lo obtuvo (Fatecha 2004) a partir de los análisis de suelos de 1982 al 2004 sobre las determinaciones de pH, materia orgánica, fósforo disponible, calcio, magnesio, potasio, sodio y acidez intercambiables.

A partir del análisis de pH de los suelos se han identificado en la Región Oriental, 91 distritos con reacción moderadamente ácida (pH 5,5 – 5,9), constituyendo el 43% del total; 90 distritos (42%) con reacción ácida (pH 5,0 – 4,5), 19 distritos (9%) con reacción ligeramente ácida (pH 6,0 – 6,4); 11 distritos (5%) con reacción fuertemente ácida (pH 4,5 – 5,9), y 3 distritos (1%) con reacción neutra (pH 6,5 – 7,5). Y en cuanto al contenido de aluminio intercambiable ( $Al^{+3}+H^{+}$ ) se encontraron 9 Departamentos con un nivel alto de  $Al^{+3}+H^{+}$ ; mientras que los otros 5 Departamentos poseían un nivel medio de  $Al^{+3}+H$  (Fatecha 2004).

En cuanto al contenido de Potasio de los 219 distritos en la Región Oriental del Paraguay, 31 distritos presentaron un nivel alto de potasio, representando el 14% del mismo; 121 distritos mostraron un nivel medio de potasio (55%); y 67 distritos un nivel bajo de potasio (31%) (Martínez 2011). Por su parte, Jorgge (2012) en relación al contenido de fósforo, encontró 168 distritos con nivel bajo de fósforo en el suelo (77%); 40 distritos con nivel medio (18%); y 11 distritos con un nivel alto (5%). El Departamento de Amambay presentó el menor nivel de fósforo con un promedio de  $3,71 \text{ mg kg}^{-1}$ . El Departamento Central fue el único que presentó nivel alto de fósforo con un promedio de  $41 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Estos resultados destacan las limitaciones de fertilidad de los suelos, detallando el pH, fósforo disponible, y potasio; donde más de la mitad presenta una fertilidad media. En relación a esto y a la necesidad de una concienciación para la recuperación de los suelos, implementando técnicas de corrección como, la rotación de cultivos, uso de abonos verdes, aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos.

## **2.2 Corrección de la deficiencia de nutrientes y de la acidez del suelo**

Los abonos verdes son una opción para iniciar el proceso de recuperación del suelo. Sin embargo en suelos muy degradados, se debe considerar la utilización de fertilizantes y cal agrícola para lograr un buen crecimiento de los mismos, y así producir suficiente biomasa (Florentín et al. 2001). También pueden utilizarse abonos orgánicos y/o inorgánicos para mejorar las condiciones del suelo. De acuerdo con Acosta (2000) las enmiendas utilizadas en el Paraguay son el estiércol vacuno, compost, la gallinaza, la harina de hueso, las cenizas, el aserrín, entre otros.

Ginés y Mariscal-Sancho (2002) mencionan que la mayor parte de los fertilizantes comerciales tienen una acción acidificante en el suelo; entre los cuales, se podrían mencionar Urea; Amoníaco anhidro; Nitrato Amónico; Sulfato amónico; Fosfato monoamónico y Fosfato diamónico; Cloruro potásico y sulfato potásico; Nitrosulfato Amónico. El efecto acidificante de los fertilizantes se verifica principalmente en suelos con bajo poder tampón (por ejemplo suelos arenosos y con muy bajo contenido en Ca). Los fertilizantes que no poseen efecto acidificante son: el Superfosfato triple; y el Nitrato Potásico. Los fertilizantes alcalinizantes, son: el fosfato natural y el nitrato de calcio. La cal agrícola no se considera un fertilizante, aunque actúe como tal en suelos carentes de Ca y sea considerado el principal enmendante de los suelos ácidos.

A partir de la aplicación de estos productos se pueden corregir la deficiencia de nutrientes del suelo y la acidez del suelo. Para aplicar se debe realizar un muestreo para el análisis de suelo, ver la cantidad requerida de nutrientes al suelo y aplicarlo según el requerimiento nutricional del cultivo que se desea implantar.

### 2.3 Caracterización de la ceniza

Las características físico-químicas de las cenizas pueden variar dependiendo de múltiples factores como el material de origen, la temperatura y las condiciones de combustión, la eficiencia en la separación de partículas, la aplicación de pre-tratamientos, el grado de exposición a la intemperie antes de su aplicación, entre otros (Omil 2007).

Las cenizas presentan contenidos diferentes de nutrientes como K, P, Mg y Ca; las cuales se encuentran en forma asimilable para las plantas. En general las cenizas presentan concentraciones bajas de materiales pesados, si bien las extraídas con electrofiltros pueden presentar concentraciones más elevadas de metales tóxicos. (Solla-Gullón et al. 2001). Según los mismos autores, las cenizas se emplean en suelos forestales de carácter ácido puesto que cantidades moderadas de estas cenizas devuelven al sistema buena parte de los nutrientes extraídos durante el aprovechamiento forestal. En algunos casos, esta práctica se ha empleado para aliviar las deficiencias de P, Ca y Mg que presentan frecuentemente las plantaciones forestales desarrolladas sobre suelos ácidos. En este sentido, diferentes trabajos han mostrado respuestas positivas sobre el crecimiento y el estado nutricional de los árboles, lo que se atribuye a aumentos en la disponibilidad de nutrientes limitantes en el suelo.

De acuerdo con lo expuesto por Mellisari (2012), los elementos que forman las cenizas están presentes en la biomasa como sales unidas químicamente a la estructura del carbón (Ceniza inherente) o pueden venir con la biomasa como partículas minerales de la tierra donde han sido cultivadas y son introducidos durante la cosecha y transporte (Ceniza foránea). Los componentes de la ceniza inherente se encuentran distribuidos de manera homogénea en el combustible y son mucho más móviles que los compuestos en la ceniza atrapada, por tanto reaccionarán químicamente durante la combustión. Una fracción de los compuestos que forman estas cenizas son volatilizados y pasan a formar parte de la fase gaseosa. La cantidad que se volatiliza depende de las características del combustible, de la atmósfera alrededor de la partícula

y de la tecnología del quemador. Por ejemplo, una alta temperatura de combustión y una atmósfera reductora realzan la volatilización de elementos relevantes al medio ambiente como metales pesados (Zn, Pb, Cd).

### **2.3.3 La ceniza como corrector alternativo del suelo**

Según Omil (2007), la utilización de cenizas de la biomasa es una práctica común utilizada en la agricultura, en este sentido la forma más primitiva de la actividad agrícola conocida se basa en la deforestación progresiva de los montes mediante la quema de árboles y matorrales. Lo característico de esta práctica es el uso del fuego para roturar el bosque creando espacios de cultivos, al tiempo que se generan cenizas que fertilizan el suelo temporalmente.

El período de tiempo que las cenizas permanecen en la superficie del suelo variará según las precipitaciones, escorrentía y propiedades de las cenizas y presentarán diferentes características según la especie de planta quemada, cantidad de biomasa, contenido de humedad del combustible, picos de temperatura y tiempo de residencia. Los efectos de la ceniza en la escorrentía y erosión dependen en primer lugar, de sus propiedades físicas y mineralógicas (por ejemplo, tamaño de partículas, porosidad, contenido de carbonato de calcio, o repelencia al agua), las cuales varían con la temperatura, las condiciones de la combustión y las especies quemadas y en segundo lugar, dependen de los cambios físico-químicos en cenizas después de la interacción con la atmósfera, del agua, de la geología y tipo de suelo del terreno (Bento y Viera 2012).

El objetivo de la fertilización con cenizas es compensar el desequilibrio nutricional provocado por un aprovechamiento intensivo, moderando la acidez de los suelos e incrementando el crecimiento de los árboles, ya que las cenizas de biomasa contienen, con excepción del N, todos los demás elementos necesarios para el crecimiento de la vegetación (Omil 2007). Una alternativa para corregir la acidez y los deficientes niveles de nutrientes en los suelos y vegetación es la aplicación de cenizas de biomasa (Solla-Gullón et al. 2004).

La utilización de cenizas es una opción a la que se está prestando mucha atención especialmente en terrenos forestales, ya que en numerosos países debido a la ética medioambiental de manejo sostenible son incentivos para restituir los nutrientes extraídos durante la explotación agraria y forestal. Por sus características, las cenizas pueden corregir las deficiencias nutricionales de las plantaciones forestales y el desequilibrio debido a la extracción de biomasa y a la lixiviación (Omil 2007).

Entre los beneficios para los suelos, que pueden ser obtenidos con la aplicación de residuos de celulosa y cenizas de las calderas, se incluyen la elevación del pH, la reducción de los niveles de aluminio, aumento en el contenido de determinados nutrientes minerales, mejora de las propiedades físicas, aumento de la saturación de bases, aumento de la biomasa microbiana y de la actividad biológica en el proceso de reciclaje de los nutrientes minerales (Bellote et al. 1995).

Los hallazgos obtenidos por Solla-Gullón et al. (2001) indican que las cenizas de corteza arbórea disminuyen el grado de acidez y elevan el nivel de algunos nutrientes del suelo que son limitantes para la producción vegetal. Como consecuencia de este efecto, se mejora el nivel de nutrientes en el cultivo y se potencia considerablemente la producción.

Los mismos autores mencionan que en relación a los efectos en la vegetación, la producción de biomasa fue baja en los suelos que no recibieron ningún tratamiento, así como en los suelos en los que se adicionó  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . La producción aumentó considerablemente después del aporte de cenizas, especialmente cuando estuvo acompañado por la fertilización nitrogenada. Por otro lado, puede destacarse también la mayor acumulación de materia seca en las raíces de las plantas con respecto a la parte aérea.

Solla-Gullón et al. (2001) realizaron un experimento con cenizas para comprobar la respuesta del suelo y la vegetación. Durante 2 meses siguieron la evolución de la composición de los lixiviados resultantes; al final de este período se evaluaron las modificaciones en las propiedades de los suelos, producción y estado

nutricional del cultivo seleccionado (*Avena sativa*). El aporte de cenizas produjo un aumento del pH del suelo, lo que derivó en una disminución del Al en disolución. El incremento del pH producido por la ceniza sólo derivó en aumentos de la nitrificación cuando el suelo recibió  $\text{NH}_4$ . La fracción sólida del suelo también experimentó incrementos de las concentraciones de P, Ca y Mg en formas asimilables. El aporte de cenizas incrementó las concentraciones de Ca y Mg en la planta, lo que produjo aumentos proporcionales de la producción.

Por su parte, Neukirchinger (2000) afirma que la ceniza de madera y escoria de alto horno neutralizan la acidez intercambiable en relación al testigo, comprobando que la ceniza aumenta a niveles medio el contenido de calcio y magnesio, no así el potasio comparando con la escoria de alto horno. También que la ceniza de madera es más efectiva para corregir el pH en menos tiempo.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización, descripción y periodo experimental

El experimento se realizó en las instalaciones del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA), en la ciudad de San Lorenzo, Paraguay; durante los meses de Abril a Junio del 2016. En el trabajo se utilizaron suelos del Departamento de Canindeyú, Distrito Katuete (coordenadas Latitud 24°14'0.48"S y Longitud 54°49'2.93"O), y del Departamento Central, Distrito de Nueva Italia (coordenadas: Latitud 25°35'32.30"S y Longitud 57°27'39.25"O).

El suelo obtenido del Distrito de Nueva Italia pertenece al grupo Rhodic Paleudult con una textura arena franca, con un paisaje de lomadas, con material de origen del tipo arenisca, con un relieve de 3 – 8%, con un drenaje bueno y pedregosidad nula. El suelo de Katuete pertenece al sub grupo Rhodic Kandiodox con una textura franco arcillo arenoso, paisaje de lomadas, con material de origen basalto, con un relieve del 0 – 3%, con un drenaje bueno y pedregosidad nula (López et al. 1995). En la Tabla 1 se presentan los resultados de los análisis de los suelos utilizados en el trabajo.

**Tabla 1.** Análisis de los suelos de Katuete y Nueva Italia utilizados en el experimento. Laboratorio de Suelos. FCA/UNA, 2016.

Suelo	Prof. cm	pH	MO %	P mg kg <sup>-1</sup>	cmolc kg <sup>-1</sup>					Clase Textural	Color	
					Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> +H <sup>+</sup>		Munsell	Desc.
Katuete	0 – 10	4,8	3,39	1,49	4,52	1,84	0,74	0,09	0,94	Franco arcillo arenoso	2,5 YR 3/4	Marrón rojizo oscuro
Nueva Italia	0 -20	4,7	0,43	3,98	0,98	0,43	0,51	0,02	1,25	Areno Franco	4YR 4/4	Marrón rojizo opaco

(Continuación)

Nivel	MO %	P mg kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> +H <sup>+</sup>
Bajo	<1.2	<12	<2.51	<0.4	<0.12	<1.5	< 0.4
Medio	1.2- 2.8	12- 30	2.51 - 6.0	0.4 - 0.8	0.12 - 0.3	1.5- 3.0	0.4 - 0.9
Alto	> 2.8	> 30	> 6.0	> 0.8	> 0.3	> 3.0	> 0.9

Este trabajo de investigación se realizó en el marco del proyecto “Manejo sostenible de la fertilidad de suelos para la producción de alimentos” apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

### 3.2 Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial de 9x2, que corresponde a nueve dosis de ceniza, aplicados en dos suelos (franco arcillo arenoso y areno franco). La combinación de ambos factores totaliza 18 tratamientos, realizados con 3 repeticiones, definiéndose 54 unidades experimentales (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tratamiento, dosis y cantidad de ceniza utilizados en los suelos de textura areno franca y franco arcillo arenoso. San Lorenzo, 2016.

Tratamientos	Descripción	Dosis (t ha <sup>-1</sup> )	Cantidad ceniza (g)
T <sub>1</sub>	S1+C	0	0
T <sub>2</sub>	S1+C	2,5	1,36
T <sub>3</sub>	S1+C	5	2,73
T <sub>4</sub>	S1+C	7,5	4,09
T <sub>5</sub>	S1+C	10	5,45
T <sub>6</sub>	S1+C	12,5	6,81
T <sub>7</sub>	S1+C	15	8,18
T <sub>8</sub>	S1+C	17,5	9,54
T <sub>9</sub>	S1+C	20	10,90
T <sub>10</sub>	S2+C	0	0,00
T <sub>11</sub>	S2+C	2,5	1,00
T <sub>12</sub>	S2+C	5	2,00
T <sub>13</sub>	S2+C	7,5	3,00
T <sub>14</sub>	S2+C	10	4,00
T <sub>15</sub>	S2+C	12,5	5,00
T <sub>16</sub>	S2+C	15	6,00
T <sub>17</sub>	S2+C	17,5	7,00
T <sub>18</sub>	S2+C	20	8,00

**S1:** Suelo franco arcillo arenoso; **S2:** Suelo areno franco; **C:** Ceniza de Eucalipto y Ceniza de expeler de soja en proporción 1:1.

Por otro lado, la ceniza que se utilizó es producto de quema de la corteza de Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) y de expeler de soja (*Glycine max*) en una proporción 1:1 producida por la Empresa CAIASA - El Complejo Agroindustrial Angostura S.A. La empresa se sitúa en el predio del parque industrial de Villeta, en la localidad de Angostura, cuyas instalaciones cuentan con una terminal portuaria con dos muelles. Cuenta con silos para el almacenamiento de cereales y oleaginosas con capacidad de 250.000 toneladas, otro para harinas de 100.000 toneladas, y tanques para almacenar aceites de 25.000 toneladas.

La empresa también proveyó un análisis químico de los niveles de boro, cobre, hierro, potasio, magnesio, manganeso, molibdeno, fosforo, azufre, zinc y calcio. En la Tabla 3 se presenta el análisis químico de la ceniza.

**Tabla 3.** Análisis químico de la ceniza empleada en el experimento.

Concentración de nutrientes en ceniza										
B	Fe	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Mn	P	S	Ca	Mo	Cu	Zn
-----%								----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
0,2	1,07	9,03	3,99	0,67	2	1,5	19,94	7,46	74,87	221,84

El experimento se realizó en macetas, cada una de ellas representando una unidad experimental.

### 3.3 Recursos materiales y equipos técnicos

Los materiales que se utilizaron para el muestreo de suelo fueron: pala, bolsas para el transporte de muestras, etiquetas, marcador indeleble. Para el experimento y determinación de variables se utilizaron: macetas de polietileno de 12x20, muestras de suelo, ceniza, probetas de 1000 ml, tijera, cinta adhesiva, tamiz, rodillo, pipetas, micropipetas, dispensadores, matraz, vasos de precipitado, tubos de ensayo, varillas de vidrio, piseta y reactivos.

En cuanto a los equipos técnicos se utilizaron: espectrofotómetro de absorción atómica (EAA), espectrofotómetro colorimétrico, centrifuga, agitador, balanza y potenciómetro.

### **3.4 Instalación y conducción del experimento**

#### **3.4.1 Preparación de los tratamientos**

En primer lugar se colectaron suelos de textura franco arcillo arenoso y areno franco que presentan deficiencias de nutrientes y acidez, en una cantidad aproximada de 80 kg.

El suelo colectado fue secado al aire, posteriormente se pasó por un tamiz de 4 mm. Las macetas de plástico utilizadas presentaron una dimensión de 12 cm por 20 cm de altura, y en ellas se colocó 1,2 kg de suelo, tanto del franco arcillo arenoso como del areno franco.

Para la determinación de la cantidad de ceniza aplicada en cada tratamiento fue asumido para el suelo franco arcillo arenoso una densidad de  $1.100 \text{ kg m}^{-3}$  y para el suelo areno franco una densidad de  $1.500 \text{ kg m}^{-3}$ . A partir de estas densidades y de una profundidad de 0,20 m se determinó la masa de suelo de 2.200.000 kg y 3.000.000 kg, respectivamente. Con estos datos se determinó la cantidad de ceniza a aplicar en cada tratamiento.

Con los datos recabados se determinó el volumen de suelo para obtener el valor de masa en una hectárea, con la siguiente Ecuación 1:

$$m = d \times V \quad (1)$$

Dónde:

m = masa de suelo en una hectárea.

d = densidad aparente de los suelos.

V = volumen de la masa de suelo en una hectárea.

La cantidad de ceniza aplicada en los diferentes tratamientos se realizó como se ve el siguiente cálculo (Ej.: suelo franco arcillo arenoso (2) y areno franco (3)):

$$\begin{array}{r}
 2.200.000 \text{ kg SA} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 2.500 \text{ kg C} \\
 1,2 \text{ kg} \quad \text{SA} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad x \hspace{10em} (2) \\
 x = 0,0013 \text{ kg} = 1,3 \text{ g} \frac{\text{ceniza}}{\text{maceta}}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 3.000.000 \text{ kg Sa} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 2.500 \text{ kg C} \\
 1,2 \text{ kg} \quad \text{Sa} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad x \hspace{10em} (3) \\
 x = 0,001 \text{ kg} = 1,0 \text{ g} \frac{\text{ceniza}}{\text{maceta}}
 \end{array}$$

Posterior a los cálculos realizados, se pesaron las dosis de ceniza que fueron mezcladas con suelo. Para este efecto, en una bolsa se colocó el suelo y la ceniza, correspondiente a cada tratamiento y se procedió a agitar para obtener una buena mezcla y se cargó a sus macetas correspondientes.

Las macetas fueron mantenidas a capacidad de campo constante, es decir, se regó cada vez que el suelo presentó seca la parte superior (aproximadamente cada 48 horas), procediendo de la siguiente manera para el cálculo de la lámina de riego a aplicar para cada suelo (S1 y S2):

- ✓ Primero, se calculó el volumen y la porosidad del suelo, una vez que se tuvo estos resultados, se asumió que, en efecto el 50% de la porosidad está constituido por agua.
- ✓ Para hallar el volumen se procedió a cargar el suelo en una probeta donde los resultados fueron de 1.300 ml para el suelo franco arcillo arenoso y 940 ml para el suelo areno franco.
- ✓ Para el cálculo de porosidad se utilizó la siguiente Ecuación 4, usando valores de referencia según la textura del suelo para los datos de densidad aparente y densidad real.

$$P = \left(1 - \frac{D_a}{D_R}\right) \times 100 \quad (4)$$

Dónde:

$D_a$  = Densidad aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )

$D_R$  = Densidad real ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )

$P$  = Porosidad (%)

✓ Teniendo como cálculos matemáticos finales los siguientes:

$$SA = \left(1 - \frac{1,1 \text{ g cm}^3}{2,65 \text{ g cm}^3}\right) \times 100 = 58\% \rightarrow \frac{58}{2} = 29 \text{ (Agua)} \quad (5)$$

$$SA = \left(1 - \frac{1,5 \text{ g cm}^3}{2,65 \text{ g cm}^3}\right) \times 100 = 43\% \rightarrow \frac{43}{2} = 21,5 \text{ (Agua)} \quad (6)$$

1.300 ml _____ 100%	940 ml _____ 100%
x ml _____ 29%	x ml _____ 21,5%

$x_{S1} = 377 \text{ ml agua franco arcilla arenosa}$   $x_{S2} = 202,1 \text{ ml agua arena franco}$

El volumen del suelo esta constituido en general por 50% de materiales sólidos (45% mineral y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso, el cual en condiciones de capacidad de campo se compone de 25% aire y 25% agua (FAO 2016).

### 3.5 Variables de medición

Las variables que se evaluaron fueron pH, fósforo disponible, calcio, magnesio, potasio, sodio y aluminio intercambiables. El pH se midió a los 40 y 80 días después de la aplicación de ceniza (ddap) y las demás determinaciones a los 80 (ddap). Para las determinaciones se procedió al muestreo de suelo en las fechas correspondientes.

#### 3.5.1 Determinación de pH

El pH se determinó por el método del potenciómetro, utilizando una relación suelo: agua 1:1 según la metodología recomendada por Tedesco et al. (1995).

### **3.5.2 Determinación de calcio, magnesio, potasio, aluminio y sodio intercambiables.**

La evaluación de estos cationes se realizó a los 80 días después de la implantación del experimento. Para  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Al}^{+++}$  se utilizó como solución extractora el KCl 1M. Para el  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  se utilizó como solución extractora Melich<sup>-1</sup>. Las determinaciones de bases del suelo se realizaron con espectrofotómetro de absorción atómica, y el aluminio intercambiable por titulación según la metodología presentada por Tedesco et al. (1995).

### **3.5.3 Determinación de fósforo disponible**

En la evaluación del fósforo disponible se utilizó como solución extractora Melich<sup>-1</sup> y se determinó con espectrofotómetro colorimétrico según la metodología presentada por Tedesco et al. (1995).

## **3.6. Control de calidad de datos**

Se confeccionaron planillas para la recolección de datos y se aseguró la aleatorización para evitar sesgar en la lectura de variables. Se tuvo en cuenta aspectos como evitar el uso de registro o documentaciones que se encuentren incompletas para la realización del trabajo o que presenten enmiendas de modo a asegurar la veracidad de los datos presentados, así también se verificó la calibración de la balanza y de los equipos utilizados.

## **3.7 Análisis de datos**

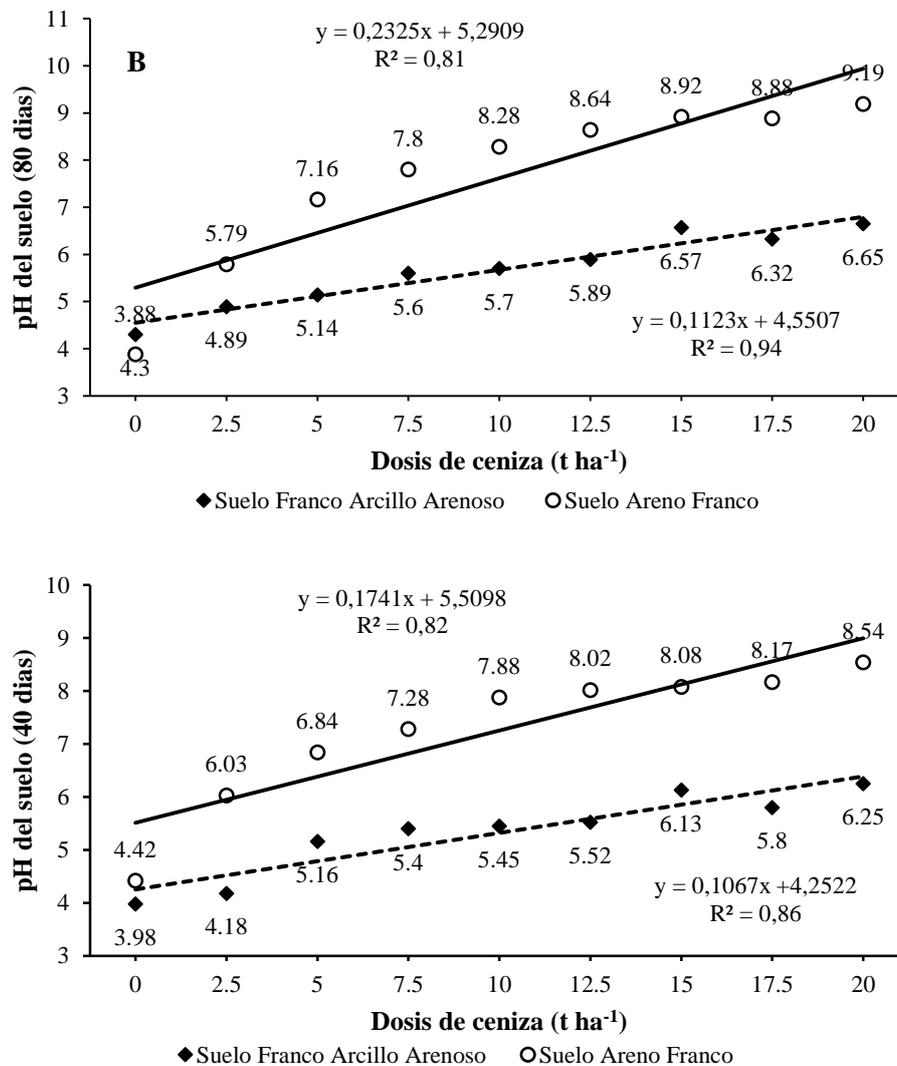
Las variables medidas fueron sometidas al análisis de varianza, según el modelo factorial. En aquellas variables en las que se encontraron diferencias estadísticas significativas; se efectuó comparación de medias por el test de Tukey al 5 % de probabilidad de error y análisis de regresión para determinar la función que

representa la respuesta de las diferentes variables evaluadas a la aplicación de ceniza.  
El procesamiento de los datos se realizó utilizando el programa estadístico InfoStat.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 pH del suelo

En la Figura A y B se presentan los valores de pH obtenidos a los 40 y 80 días de la aplicación de ceniza, respectivamente (Anexo 1A y 2A).



**Figura 1.** Valores de pH del suelo 40 días y 80 días después de la aplicación de dosis de ceniza.

La aplicación de ceniza aumentó significativamente el pH del suelo franco arcillo arenoso y el areno franco; y hubo interacción entre el factor suelo y el factor dosis. En el primer suelo el pH pasó de 4,8 a 6,25 con una dosis de 20 t ha<sup>-1</sup> de ceniza, y en el suelo areno franco de 4,7 a 8,54 con una dosis de 20 t ha<sup>-1</sup> de ceniza a los 40 días después de la aplicación (ddap). En la evaluación realizada a los 80 ddap el pH se aumentó aún ligeramente más, alcanzando en la mayor dosis un pH de 9,19 en el suelo areno franco y 6,65 en el suelo franco arcillo arenoso, respectivamente.

Resultados semejantes de neutralización de acidez del suelo por la aplicación de ceniza fueron encontrados por diferentes autores (Solla-Gullón et al. 2001, Bellote et al. 1995), Estigarribia (2015). Este aumento de pH según Rigau (1960) se debe a que el pH aumenta de manera proporcional a las cantidades añadidas de ceniza, este aumento de pH se puede atribuir especialmente a la liberación de carbonato de potasio por reacción del suelo con la ceniza. El Carbonato de potasio es más de la mitad de la parte soluble de las cenizas.

Costa y Oliveira (1998), mencionan que el rango ideal de pH para los cultivos agrícolas es de 5,5 a 6,5; los cuales fueron obtenidos con las dosis de 12,5 a 20 t ha<sup>-1</sup>. En el primer periodo de 40 ddap se llegó a un pH de 6,13 con la dosis de 15 t ha<sup>-1</sup> en el suelo franco arcillo arenoso y pH 6,03 en el suelo areno franco en la dosis de 2,5 t ha<sup>-1</sup>, para el segundo periodo de 80 ddap con las dosis de 12,5 t ha<sup>-1</sup> de ceniza se llegó a un pH de 5,52 en el suelo franco arcillo arenoso, con la dosis de 2,5 t ha<sup>-1</sup> se obtuvo un pH de 5,79 en el suelo areno franco. Se puede decir que con los tratamientos aplicados si se pudo llegar a un pH ideal.

En la Figura 1A se muestra la evolución del pH en función a las diferentes dosis de ceniza a los 40 días. El aumento en el pH se ajustó a una ecuación lineal en el S1 ( $y = 0,1067x + 4,2522$ ;  $R^2 = 0,8645$ ) indicando un aumento de 0,10 unidades de pH por cada t.ha<sup>-1</sup> de ceniza aplicado. En el S2 el aumento fue de 0,17 según la ecuación ( $y = 0,1741x + 5,5098$   $R^2 = 0,8207$ ). En ambos suelos se obtuvo un efecto diferenciado. En la Figura 1B se expresa la evolución del pH con la aplicación de los distintos tratamientos de ceniza a los 80 días. El S1 y El S2 presentaron el mismo

comportamiento lineal observado a los 40 días. El S1 tuvo un aumento de pH de 0,11 por cada tonelada de ceniza aplicada con una R<sup>2</sup> de 0,94 y el S2 aumento el pH en 0,23 por cada tonelada de ceniza, con un coeficiente de determinación de 0,81.

Neukirchinger (2000) en un experimento con ceniza de madera y escoria de alto horno, con dosis de 2, 4, 6 y 8 t ha<sup>-1</sup> destacó que la ceniza de madera es más efectiva para corregir el pH desde los 15 días, donde el punto mas alto llego a los 60 ddap. En contraste a lo expuesto por el autor citado anteriormente se pudo observar que el valor del pH aumenta significativamente, y que siguió aumentando a los 80 ddap hasta alcanzar un valor de 6,65 para el suelo franco arcillo arenoso y 9,19 para el suelo areno franco con la mayor dosis aplicada.

Según Julca et al. (2006) la materia orgánica en los suelos arcillosos aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo es favorecida. Por su parte Abreu Junior et al. (2000) menciona que debido a la mayor capacidad de intercambio catiónico (CEC) del suelo arcilloso, posee un mayor efecto amortiguador. El efecto de amortiguación es la capacidad que un suelo dado tiene para resistir el cambio en el pH, esto se puede atribuir a los resultados obtenidos en este experimento donde el efecto diferenciado se obtuvieron en el suelo areno franco y no en el suelo franco arcillo arenoso.

#### **4.2 Aluminio intercambiable**

En la Tabla 4 se presentan los valores de aluminio intercambiable obtenidos a los 80 días de aplicación de la ceniza, tanto en el suelo areno franco como en el franco arcillo arenoso. Hubo interaccion entre el factor suelo asi como el factor dosis de ceniza.

**Tabla 4.** Aluminio intercambiable. ( $Al^{+3}$ ) a los 80 días de la aplicación de ceniza en suelo areno franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016.

Dosis de ceniza (t ha <sup>-1</sup> )	Aluminio intercambiable (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
	Franco arcillosa arenosa		Promedio
0	1,67A	2,09A	1,88
2,5	0,00 B	1,25 B	0,63
5	0,00 B	0,63 C	0,32
7,5	0,00 B	0,00 D	0,00
10	0,00 B	0,00 D	0,00
12,5	0,00 B	0,00 D	0,00
15	0,00 B	0,00 D	0,00
17,5	0,00 B	0,00 D	0,00
20	0,00 B	0,00 D	0,00
<b>Promedio</b>	<b>0,39 A</b>	<b>0,23 B</b>	

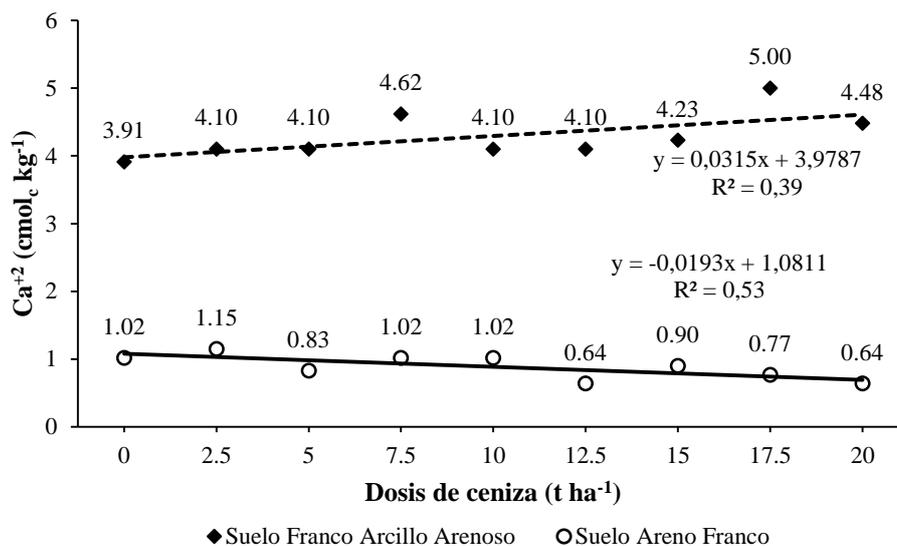
\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes por la prueba de Tukey al 5%.

En la Tabla 4 se puede observar que la aplicación de ceniza disminuyó el contenido de aluminio intercambiable. En la dosis de 2,5 t ha<sup>-1</sup> de ceniza para el suelo Franco arcillo arenoso se obtuvo la neutralización total del Aluminio 0,00 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup>, en tanto que para el suelo areno franco la neutralización total se presentó en la dosis de 5 t ha<sup>-1</sup> de ceniza.

Maeda y Bognola (2013), Pereira (2014), Silva et al (2016) en distintos experimentos realizados con ceniza obtuvieron efectos semejantes a este experimento donde se disminuyó el aluminio intercambiable del suelo.

### 4.3 Calcio intercambiable

En la Figura 2 se presentan los valores de calcio Ca<sup>+2</sup> obtenidos a los 80 días de la aplicación de ceniza donde existió diferencia significativa e interacción entre los factores. (Anexo A1)



**Figura 2.** Calcio intercambiable ( $\text{Ca}^{+2}$ ) a los 80 días de la aplicación de dosis de ceniza, en suelo arenoso franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016.

El aumento en el tenor de calcio se ajustó a una ecuación lineal en el suelo franco arcillo arenoso ( $y=0,0315x+3,9787R^2 = 0,3944$ ) indicando un aumento de 0,03 por cada  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de ceniza aplicada. En el suelo arenoso franco existió una disminución de 0,01 según la ecuación ( $y=-0,0193x+1,0811R^2 = 0,5363$ ). En ambos suelos se obtuvo un efecto diferenciado donde los valores obtenidos fueron de un nivel bajo a medio.

Resultados de incremento del nivel de Ca intercambiable con la adición de dosis creciente de ceniza fueron encontrados en otros trabajos como de Bellote et al. (1995), Solla-Gullón et al. (2001), Neukirchinger (2000), Esigarribia (2015).

Lo obtenido en esta investigación no concuerda con los trabajos citados, debido a que conformese aumentaban la dosis de ceniza en el suelo arenoso franco (S2) se registraba una disminución en el contenido de calcio, caso contrario en el suelo franco arcillo arenoso (S1).

Thompson y Troeh (2002) mencionan que la arcilla y la materia orgánica son importantes por su capacidad de almacenar agua y nutrientes. Las partículas más finas pueden además ayudar a unir entre sí otras mayores formando agregados. Los mismos autores también exponen que los suelos arenosos son generalmente muy permeables

al aire, al agua y las raíces, pero presentan dos importantes limitaciones: la primera es su bajo poder de retención de agua; la segunda su deficiente capacidad de almacenamiento de nutrientes al cual se puede atribuir por qué disminuyó el contenido de calcio en el suelo areno franco.

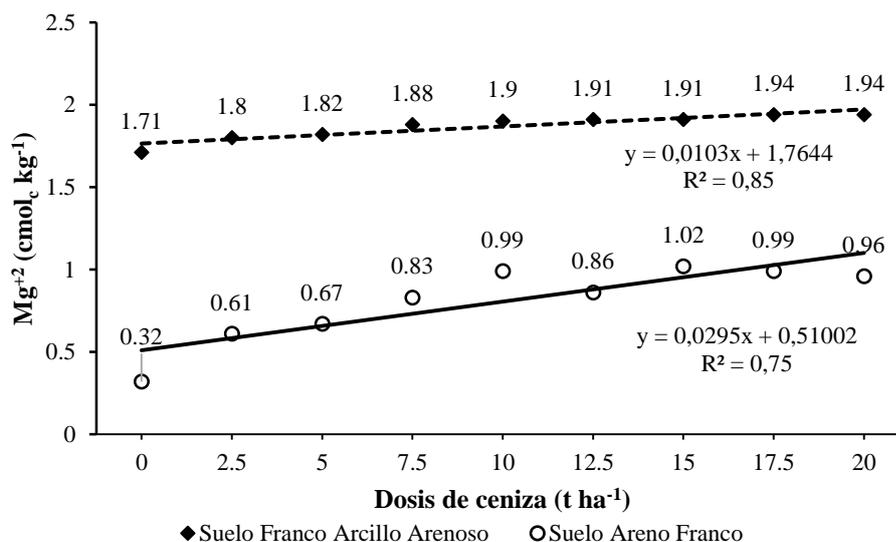
En cambio Pereira (2014) aplicando ceniza de bagazo de caña de azúcar no encontró incremento significativo en los tenores de  $\text{Ca}^{++}$  ni en el de  $\text{Mg}^{++}$ , el autor atribuyó al escaso contenido de dichos elementos en las cenizas aplicadas. Dicha afirmación concuerda con los resultados obtenidos en este experimento.

Yamane y Volante citado por Pereira (2014) mencionan que generalmente las cenizas están compuestas de (  $\text{K}_2\text{O} > \text{CaO} > \text{MgO}$  ) y el exceso de K es capaz de desplazar al Ca y Mg del complejo coloidal e interferir con los valores, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este experimento, ya que la ceniza poseía un alto contenido de potasio.

Thompson citado por Vargas (2011), informó de que hay una tendencia en el porcentaje de disminución de calcio gradualmente con la erosión y la lixiviación de los procesos en los que las reservas de calcio son generalmente más bajas en suelos ácidos. Este caso no se puede deber a lixiviación por el volumen de agua que se adicionó y además las macetas no fueron perforadas por lo cual no tuvieron salidas de agua del sistema.

#### **4.4 Magnesio intercambiable**

En la Figura 3 se presentan los valores de magnesio intercambiable ( $\text{Mg}^{+2}$ ) obtenidos a los 80 días de la aplicación de ceniza, habiendo efecto significativo tanto en el suelo areno franco como en el suelo franco arcillo arenoso. (Anexo A2)



**Figura 3.** Magnesio intercambiable ( $Mg^{+2}$ ) a los 80 días de la aplicación de dosis de ceniza, en suelo areno franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016.

En la Figura 3 se muestra la evolución del magnesio en función a las diferentes dosis de ceniza a los 80 días (ddap). El aumento en el tenor de magnesio se ajustó a una ecuación lineal en el S1 ( $y=0,0103x+1,7644$   $R^2 = 0,85$ ) indicando un aumento de 0,01 por cada  $t \cdot ha^{-1}$  de ceniza aplicada. En el S2 existió un aumento de 0,02 según la ecuación ( $y=0,0295x+0,5102$   $R^2 = 0,75$ ). En ambos suelos se obtuvo un efecto diferenciado donde los valores obtenidos fueron de bajo a alto.

En la Figura 3 se puede observar que la aplicación de ceniza presentó un leve aumento de magnesio en el suelo areno franco, siendo la dosis de  $15 t ha^{-1}$  la que generó mejor resultado con  $1,02 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ; mientras que en el suelo franco arcillo arenoso se obtuvieron valores de magnesio no muy variados en promedio con un valor de  $1,89 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .

La adición de ceniza aumentó la concentración de Magnesio intercambiable en el suelo, según lo obtenido en distintos experimentos (Solla-Gullón et al. (2001), Bellote et al. (1995), Neukirchinger (2000) y Gartzia et al. (2013)). La misma tendencia obtuvo Estigarribia (2015) el cual evaluó el efecto de la aplicación de ceniza como correctora de la acidez y fertilizante del suelo en poroto.

El leve aumento que se obtuvo en este trabajo puede deberse a lo expresado anteriormente Pereira (2014) en donde menciona que el contenido de estos nutrientes en la ceniza utilizada es baja.

#### 4.5 Potasio intercambiable

En la Tabla 5 se presentan los valores de potasio obtenidos a los 80 días de la aplicación de ceniza, habiendo efecto diferenciado, tanto en el suelo areno franco como en el suelo franco arcillo arenoso. No hubo interacción entre el factor suelo, así como tampoco en el factor dosis de ceniza (Anexo A3).

**Tabla 5.** Potasio intercambiable ( $K^+$ ) a los 80 días de la aplicación de ceniza en suelo areno franco y del franco arcillo arenoso. ASOT, 2016

Dosis de ceniza (t ha <sup>-1</sup> )	Potasio intercambiable (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			
	Franco arcillo arenoso	Areno franco	Promedio	
0	0,35	0,09	0,22	C
2,5	0,39	0,12	0,26	C
5	0,42	0,25	0,33	B C
7,5	0,51	0,49	0,50	A B
10	0,58	0,58	0,54	A
12,5	0,66	0,53	0,59	A
15	0,69	0,49	0,59	A
17,5	0,53	0,67	0,60	A
20	0,70	0,57	0,63	A
<b>Promedio</b>	<b>0,54 A</b>	<b>0,41 B</b>		

\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes por la prueba de Tukey al 5%.

En la Tabla 5 se puede observar que la aplicación de ceniza aumentó el contenido de potasio en una dosis de 7,5 t ha<sup>-1</sup> siendo el valor de 0,51 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para suelo areno franco y de 0,49 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para el franco arcillo arenoso, respectivamente. Se muestra la evolución del potasio en función a las diferentes dosis de ceniza a los 80 días. El aumento en el tenor de potasio se ajustó a una ecuación lineal en el S1 ( $y = 0,3289x + 0,3243$   $R^2 = 0,8324$ ) indicando un aumento de 0,32 por cada t.ha<sup>-1</sup> de ceniza aplicada. En el S2 existió un aumento de 0,08 según la ecuación ( $y = 0,0864x + 0,9689$   $R^2 = 0,9066$ ). En ambos suelos se obtuvo un efecto diferenciado donde los valores obtenidos fueron de bajo a alto.

Solla-Gullón et al. (2001), Bellote et al. (1995), Neukirchinger (2000), Estigarribia (2015) en distintos experimentos, evaluaron el contenido de Potasio intercambiable, aplicando distintas dosis de cenizas al suelo, encontraron que la adición de ceniza aumentó la concentración de potasio en el suelo. Las investigaciones coinciden con los resultados expuestos en este experimento, que con el aumento de la dosis de ceniza en ambos suelos, incremento el contenido de potasio. Hernandez et al (2010) menciona que el incremento del nivel de potasio en el suelo puede ser atribuido al aumento de las posiciones de intercambio en el suelo y una mejor competencia con el calcio que con el aluminio.

Malavolta citado por Vargas (2011) afirma que hay una disminución en el contenido de nutrientes relacionada con el aumento de pH. Según él, a un pH cercano a 5,4 el potasio es más disponible en el suelo, sin embargo sufre una ligera disminución a medida que aumenta el pH. Por lo tanto, el fenómeno observado en los resultados podría sugerir que las cenizas utilizadas presentan un alto contenido de K. Resultados parecidos fueron encontrados en el experimento, ya que se utilizó una ceniza con una concentración de 9,03%.

#### **4.6 Sodio intercambiable**

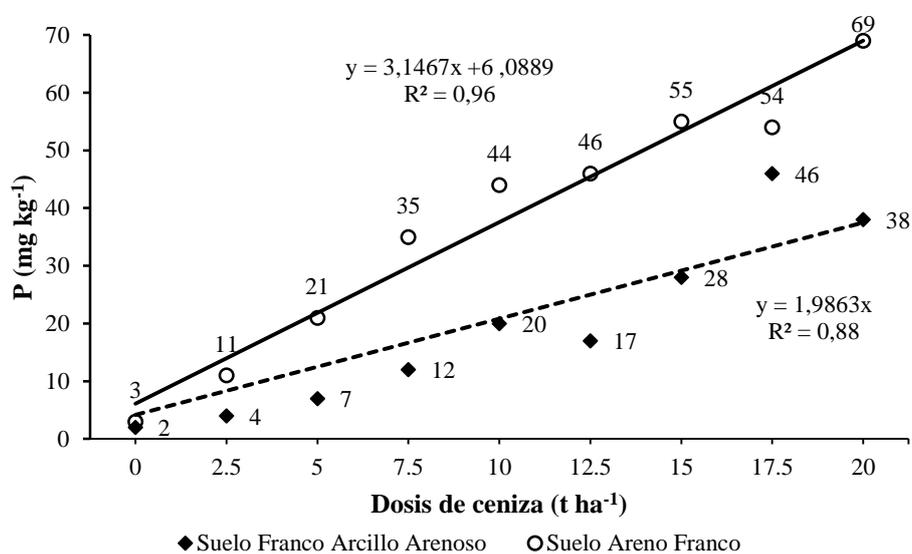
En cuanto a los valores de Sodio intercambiable ( $\text{Na}^+$ ) obtenidos a los 80 días de la aplicación de diferentes dosis de ceniza, se destaca que no hubo efecto entre los tratamientos, tanto en el suelo arenoso franco y en el suelo franco arcillo arenoso; con un promedio de  $0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  en el suelo arenoso franco y  $0,001 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  en el suelo franco arcillo arenoso (Anexo A4).

No obstante hay que hacer una evaluación de cada tipo de ceniza porque Bellote et al. (1995) en un experimento con aplicación de ceniza de caldera y residuos de celulosa, observaron que la aplicación generó un aumento en el contenido de sodio intercambiable en el suelo, en cambio Silveira T. (2010) no observó diferencias en los niveles de sodio en un experimento donde evaluó la ceniza de caldera de industrias de

concentrado de frutas cítricas sobre las propiedades de suelos degradados y suelos cultivados con caña de azúcar.

#### 4.7 Fósforo disponible

En la Figura 4 se presentan los valores de fósforo obtenidos a los 80 días de la aplicación de ceniza, habiendo efecto diferenciado de la aplicación de ceniza, tanto en el suelo arenoso como en el suelo arcilloso, habiendo interacción de los factores (Anexo A5).



**Figura 4.** Fósforo disponible (P) a los 80 días de la aplicación de dosis de ceniza del suelo areno franco y franco arcillo arenoso. ASOT, 2016

En la Figura 4 se puede observar que la aplicación de ceniza aumentó el contenido de fósforo, siendo la dosis de 20 t ha<sup>-1</sup> la que generó mejor resultado con 69 mg kg<sup>-1</sup> para el suelo areno franco; mientras que en el suelo franco arcillo arenoso se obtuvo un valor de 46 mg kg<sup>-1</sup> a una dosis de 17,5 t ha<sup>-1</sup>. El aumento en el fósforo disponible se ajustó a una ecuación lineal en el S1 ( $y=3,1467x+6,09629$   $R^2 = 0,96$ ). En el S2 el aumento fue de 1,98 según la ecuación ( $y=1,9863x$   $R^2 = 0,88$ ). En ambos suelos se observa un efecto diferenciado en los valores, se logró pasar de un contenido bajo de fósforo a un contenido alto.

En relación al contenido de fósforo disponible, Solla-Gullón et al. (2001), Bellote et al. (1995), Gartzia et al. (2013), Silveira T. (2010) en distintos experimentos con aplicación de dosis de cenizas observaron que, el aporte de cenizas aumentó considerablemente los niveles disponibles de fósforo, con la dosis de cenizas más elevada. Comparando con los resultados del trabajo se evidencia que la aplicación de ceniza también generó un aumento en el índice de fósforo disponible en ambos suelos.

Pereira (2014) menciona que el aumento de fósforo ha sido mayor en suelos con contenido de arcilla inferior, esto puede estar relacionado con el aumento del pH y la actividad microbiana que pudo haber favorecido la mayor disponibilidad de fosforo.

## 5. CONCLUSIONES

La aplicación de ceniza neutraliza la acidez, aumenta el pH del suelo y disminuye el aluminio intercambiable, y tanto en el suelo areno franco y el suelo franco arcillo arenoso.

La aplicación de ceniza incrementa los niveles de nutrientes de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^{+}$ , así como, P disponible en los suelos franco arcillo arenoso.

La aplicación de ceniza incrementa los niveles de nutrientes de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^{+}$ , así como, P disponible para el suelo areno franco.

La aplicación de ceniza no tuvo efecto sobre la variable sodio intercambiable.

Los niveles de pH y P disponible fueron superiores a misma dosis en el suelo arenoso en relación al suelo arcilloso.

La ceniza es una enmienda con potencial para neutralizar la acidez del suelo y aumenta los niveles de nutrientes.

Se recomienda:

Continuar evaluando el comportamiento de la ceniza en diferentes tipos de suelos utilizando realizando evaluaciones con plantas como indicadores.

## 6. REFERENCIAS

Abreu, J; Muraoka, T; Lavorante, A; Alvarez, F. 2000. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto lúxico (en línea). Revista Brasileira de Ciência do Solo. 24-3: 645-657 p. Consultado 15 Agosto 2016. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218342016>

Acosta, C. 2000. Un paso adelante. La Nación. Campo. Asunción, PY; jun 21:8.

Bento, A; Vieira, A. 2012. Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. Universidad de Sevilla. Consultado en línea 21 nov 2015. Disponible en [http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/livros/viiegfa/Artigo\\_12\\_Reyes\\_de\\_Celis.pdf](http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/livros/viiegfa/Artigo_12_Reyes_de_Celis.pdf)

Benton. 2003. Alternativa de fertilización del doble cultivo trigo/soja. Efectos sobre la productividad y algunas propiedades del suelo (en línea). Consultado 11 julio 2014. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/5BCD98E5B9CBF59285257A800051F237/\\$FILE/11.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/5BCD98E5B9CBF59285257A800051F237/$FILE/11.pdf)

Bellote, A; Ferreira, C; Da 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). Bosque 16(1) 95-100. Br. Consultado 2 agosto 2016. Disponible en: <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art11.pdf>

Costa, J; Oliveira, E. 1998. Fertilidade do solo e nutrição de plantas. Campo Mourão: COAMO/CODETEC, 89p. Consultado 3 agosto 2016. Disponible en: <http://www.pucrs.br/edipucrs/erematsul/poster/brunagabriela.pdf>

Estigarribia, J. 2015. Efecto de la aplicación de ceniza como correctora de la acidez y fertilizante del suelo en poroto (*Phaseolus vulgaris*). Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. FCA-UNA. San Lorenzo, PY. 91p.

Fatecha, D. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay- Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. FCA-UNA. San Lorenzo, PY. 82p.

Florentín, M; Peñalva, M; Calegari, A; Derpsch, R. 2001. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa: pequeñas propiedades. Proyecto de conservación de suelos. GTZ-MAG/DEAG. San Lorenzo, PY, 84p.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016. Propiedades físicas del suelo (en línea). Consultado 22 septiembre. Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Ginés, I; Mariscal-Sancho, I. 2002. Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo (en línea). Consultado 25 Febrero 2016. Disponible en [http://oa.upm.es/3176/2/MARISCAL\\_MONO\\_2002\\_01.pdf](http://oa.upm.es/3176/2/MARISCAL_MONO_2002_01.pdf)

Hernandez, J; Monica, B; Perdomo, C. 2010. Potasio (en línea). Consultado 19 agosto 2016. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/curso/docs/Potasio.pdf>

Jorgge, M. 2012. Clasificación del nivel de fósforo disponible del suelo de la Región oriental del Paraguay. Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. FCA-UNA. San Lorenzo, PY. 45 p.

Julca, A; Meneses, L; Sevillano, R; Bello, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura (en línea). *Idesia*. 24(1): 49-61 p. Consultado 12 agosto 2016. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292006000100009&script=sci\\_arttext&tlng=e](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292006000100009&script=sci_arttext&tlng=e)

López, O; De Llamas, P; González, E.; 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 en la Región Oriental del Paraguay BIRF, DOA, SSERNMA, MAG. Asunción, PY. 246 p.

MAG/IICA(Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura, PY). 2003. Paraguay: en el mapa competitivo del mundo “Koaikatuta”. Informe final. Agendas subsectoriales y por áreas temáticas. (Disco compacto). Asunción, PY.

Matus, F; Maire, C. 2000. Relacion entre materia organica del suelo, textura del suelo, y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno (en línea). *Agricultura Tecnica*. 60(2): 112-126 p. Consultado 12 agosto 2016. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072000000200003](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000200003)

Martínez, R. 2011. Clasificación de niveles de potasio de los suelos de la Región oriental del Paraguay. Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. FCA-UNA. San Lorenzo, PY. 61 p.

Maeda S., Bognola I. 2013. Propiedades químicas del suelo tratado con residuos de la industria de celulosa y papel. Pesquisa florestal brasileira. Consultado en línea 1 de oct 2016. Disponible en <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art11.pdf>

Mellisari, B. 2012. Comportamiento de Cenizas y su Impacto en Sistemas de Combustión de Biomasa. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica. 10 (1):68-82. Consultado en línea 21 nov 2015. Disponible en [http://www.um.edu.uy/docs/6\\_comportamiento\\_de\\_cenizas\\_y\\_su\\_impacto\\_en\\_sistemas\\_de\\_%20combustion\\_de\\_biomasa.pdf](http://www.um.edu.uy/docs/6_comportamiento_de_cenizas_y_su_impacto_en_sistemas_de_%20combustion_de_biomasa.pdf)

Neukirchinger, EG. 2000. Corrección de la acidez del suelo mediante la utilización de escoria de alto horno de ACEPAR y ceniza de madera. Trabajo presentado a la Carrera de Ingeniería Agronómica, Orientación de Producción Agrícola, para la Aprobación de la Cátedra de Estudio de Casos. FCA/UNA. San Lorenzo, PY. 58 p.

Omil, B. 2007. Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones jóvenes de *Pinus radiata*. Universidad de Santiago de Compostela. Consultado en línea 21 nov 2015. Disponible en <https://books.google.com.py/books?id=xr2joCgr6dEC&pg=PA17&lpg=PA17&dq=Vance+cenizas&source=bl&ots=6FvXDelGbK&>

Pereira, L. 2014. Aplicación de ceniza de bagazo de caña de azúcar en las propiedades químicas y biológicas del suelo (en línea). Tesis presentada en la facultad de ciencias agrarias y veterinarias. Br. 109 p. Consultado 21 agosto 2016. Disponible en: <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/123757/000829221.pdf?sequence=1>

Rigau, A. 1960. Los Abonos, su preparación y empleo. 2. ed., Barcelona, Sites. 115p.

Silva, F; Albuquerque, J; Gatiboni, L; Marangoni, J. 2016. Ceniza de biomasa forestal. Alteraciones en las propiedades de los suelos ácidos del Planalto Catarinense y en plantas de eucalytus (en línea). Consultado 1 oct 2016. Disponible en: <http://revistas.ufpr.br/agraria/article/viewFile/15530/10479>

Silveira, T. 2010. Evaluación de la ceniza de calderas industriales de concentrado de cítricos y su efecto en propiedades de suelo degradado y suelocultivado con azúcar de caña (en línea). Faculdade de ciencias agrárias e veterinárias campus de jaboticabal. Sao Paulo. Br. 45 p. Consultado 22 agosto 2016. Disponible en: <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/96909>

Solla-Gullón, F; Rodríguez-Soalleiro, R; Merino, A. 2001. Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 16 (3): 378-393. Consultado en línea 21 nov 2015. Disponible en [http://www.inia.es/gcontrec/pub/solla\\_1161156613093.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/solla_1161156613093.pdf)

Solla-Gullón, F; Taboada, M; Rodríguez-Soalleiro, R; Merino, A. 2004. Respuesta inicial del aporte de cenizas de biomasa arbórea en el estado nutricional de una plantación joven de *Pinus radiata* D. Don. InvestAgrar: SistRecur For. 13 (2):281-293.

Consultado en línea 21 nov 2015. Disponible en [http://www.inia.es/gcontrec/pub/281-293-%284303%29-Respuesta\\_1161944106578.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/281-293-%284303%29-Respuesta_1161944106578.pdf)

Tedesco, MJ; Gianello, C; Rissani, CA; Bohnen, H; Volkweiss, SJ. 1995. Análises de solo, plantas e outros materiais. Boletim Técnico, 2 eds. FCA/UFRGS. Porto Alegre, BR. 170 p.

Thompson, L; Troeh, F. 2002. Los suelos y su fertilidade (en línea). 4 Ed. Editorial REBERTE. Barcelona, MX. 639 p. Consultado 10 agosto 2016. Disponible en: <https://books.google.com.py/books?hl=es&lr=&id=AegjDhEIVAQC&oi=fnd&pg=PR9&dq=caracteristicas+de+los+suelos+franco+arenosos&ots=QJfJKGok3J&sig=ZYVGFpGUNIHiUiRFJ4a0j9F66ws#v=onepage&q&f=false>

Vargas, F. 2011. Uso de cenizas de leña de la industria cerâmica como acondicionado del suelo (en línea). Trabajo Final de la facultad Falls. PR, Foz de Iguazu. 66 p. Consultado 21 agosto 2016. Disponible en: <http://www.udc.edu.br/monografia/monoamb168.pdf>

## **ANEXOS**

**Anexo A.** Resultados de ANAVA de todas las variables evaluadas.**A1.** Análisis de Varianza para Calcio intercambiable. San Lorenzo, Central. Año 2016

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Calcio	54	0,99	0,98	9,51

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	160,47	19	8,45	139,07	<0,0001
Dosis	1,32	8	0,17	2,72	0,0196
Suelos	156,40	1	156,40	2575,34	<0,0001
Dosis*Suelos	2,28	8	0,28	4,68	0,0006
Error	2,06	34	0,06		
Total	162,53	53			

**A2.** Análisis de Varianza para Magnesio intercambiable. San Lorenzo, Central. Año 2016

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Magnesio	54	0,99	0,99	4,25

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16,70	19	0,88	272,03	<0,0001
Dosis	1,14	8	0,14	44,11	<0,0001
Suelos	15,23	1	15,23	4714,50	<0,0001
Dosis*Suelos	0,30	8	0,04	11,73	<0,0001
Error	0,11	34	3,2E-03		
Total	16,81	53			

**A3.** Análisis de Varianza para Potasio intercambiable. San Lorenzo, Central. Año 2016

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Potasio	54	0,80	0,69	23,13

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,64	19	0,09	7,18	<0,0001
Dosis	1,23	8	0,15	12,77	<0,0001
Suelos	0,21	1	0,21	17,45	0,0002
Dosis*Suelos	0,20	8	0,02	2,04	0,0715
Error	0,41	34	0,01		
Total	2,05	53			

**A4.** Análisis de Varianza para Sodio intercambiable a los 80 días. San Lorenzo, Central. Año 2016

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Potasio	54	0,46	0,15	302,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,3E-03	19	2,3E-04	1,50	0,1489
Dosis	1,6E-03	8	2,0E-04	1,34	0,2558
Suelos	4,7E-04	1	4,7E-04	3,12	0,0865
Dosis*Suelos	2,1E-03	8	2,6E-04	1,69	0,1364
Error	0,01	34	1,5E-04		
Total	0,01	53			

**A5.** Análisis de Varianza para Fósforo disponible a los 80 días. San Lorenzo, Central. Año 2016.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Fosforo	54	0,96	0,94	18,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	21876,40	19	1151,39	44,02	<0,0001
Dosis	15843,44	8	1980,43	75,71	<0,0001
Suelos	4504,56	1	4504,56	172,21	<0,0001
Dosis*Suelos	1370,64	8	171,33	6,55	<0,0001
Error	889,33	34	26,16		
Total	22765,72	53			

**A6.** Análisis de Varianza para pH a los 40 días. San Lorenzo, Central. Año 2016.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH a los 40 días	54	0,97	0,96	4,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	106,84	19	5,62	61,99	<0,0001
Suelos	50,40	1	50,40	555,64	<0,0001
Dosis	51,51	8	6,44	70,99	<0,0001
Repeticion	0,11	2	0,06	0,63	0,5393
Suelos*Dosis	4,81	8	0,60	6,63	<0,0001
Error	3,08	34	0,09		
Total	109,92	53			

**A7.** Análisis de Varianza para pH a los 80 días. San Lorenzo, Central. Año 2016.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH a los 80 días	54	0,99	0,99	2,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	140,45	19	7,39	203,75	<0,0001
Suelos	50,96	1	50,96	1404,74	<0,0001
Dosis	76,33	8	9,54	262,99	<0,0001
Suelos*Dosis	13,10	8	1,64	45,12	<0,0001
Error	1,23	34	0,04		
Total	141,68	53			

**A8.** Análisis de Varianza para Aluminio intercambiable a los 80 días. San Lorenzo, Central. Año 2016.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Aluminio	54	0,98	0,97	38,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	21,98	17	1,29	89,03	<0,0001
Suelos	0,36	1	0,36	24,46	<0,0001
Dosis	18,78	8	2,35	161,62	<0,0001
Suelos*Dosis	2,85	8	0,36	24,51	<0,0001
Error	0,52	36	0,01		
Total	22,51	53			

**A9. Análisis del experimento. Resultados. San Lorenzo, Central. Año 2016.**

Descripción	Dosis Ceniza (t ha <sup>-1</sup> )	Repetición	pH		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> +H <sup>+</sup>	P
			40 días	80 días						
					cmolc/Kg				ppm	
S1+C	0	1	3,14	3,77	4,04	1,72	0,41	0,03	2,19	2,67
S1+C	0	2	3,86	4,72	3,84	1,72	0,36	0,00	1,25	1,34
S1+C	0	3	4,95	4,42	3,84	1,68	0,28	0,00	1,56	2,57
S1+C	2,5	1	3,98	4,88	4,23	1,82	0,41	0,00	1,25	4,63
S1+C	2,5	2	4,24	4,89	4,04	1,77	0,41	0,00	1,25	3,19
S1+C	2,5	3	4,33	4,89	4,04	1,82	0,36	0,00	1,25	3,29
S1+C	5	1	5,15	5,16	4,42	1,87	0,41	0,00	0,63	5,96
S1+C	5	2	5,21	5,12	3,65	1,72	0,41	0,00	0,63	5,96
S1+C	5	3	5,13	5,15	4,23	1,87	0,43	0,00	0,63	7,61
S1+C	7,5	1	5,33	5,59	4,81	1,87	0,53	0,00	0,00	13,26
S1+C	7,5	2	5,45	5,69	4,23	1,87	0,60	0,00	0,00	12,55
S1+C	7,5	3	5,41	5,53	4,81	1,91	0,41	0,00	0,00	11,31
S1+C	10	1	5,60	5,94	4,42	1,91	0,47	0,00	0,00	20,36
S1+C	10	2	5,42	5,55	3,46	1,87	0,66	0,00	0,00	16,56
S1+C	10	3	5,34	5,62	4,42	1,91	0,62	0,00	0,00	22,31
S1+C	12,5	1	5,92	6,18	4,23	1,91	0,66	0,00	0,00	16,86
S1+C	12,5	2	5,01	5,83	4,04	1,91	0,56	0,00	0,00	13,06
S1+C	12,5	3	5,62	5,65	4,04	1,91	0,75	0,00	0,00	20,77
S1+C	15	1	6,34	6,62	4,04	1,91	0,71	0,00	0,00	31,47
S1+C	15	2	6,19	6,64	4,61	1,91	0,71	0,00	0,00	32,29
S1+C	15	3	5,86	6,44	4,04	1,91	0,66	0,00	0,00	19,85
S1+C	17,5	1	6,03	6,02	5,57	1,96	0,49	0,00	0,00	49,87
S1+C	17,5	2	5,46	6,33	5,00	1,96	0,36	0,00	0,00	43,5
S1+C	17,5	3	5,90	6,60	4,42	1,91	0,73	0,00	0,00	43,5
S1+C	20	1	6,40	6,64	4,61	1,96	0,58	0,00	0,00	32,8
S1+C	20	2	6,27	6,60	4,42	1,96	0,75	0,00	0,00	38,87
S1+C	20	3	6,08	6,71	4,42	1,91	0,77	0,00	0,00	43,5
S2+C	0	1	4,36	3,92	1,15	0,34	0,08	0,00	2,19	4,94
S2+C	0	2	4,42	4,00	0,96	0,34	0,11	0,00	1,88	1,65
S2+C	0	3	4,48	3,71	0,96	0,29	0,08	0,00	2,19	3,19
S2+C	2,5	1	6,17	5,72	1,15	0,67	0,15	0,00	0,00	12,34
S2+C	2,5	2	5,88	5,83	1,35	0,62	0,11	0,00	0,00	10,8
S2+C	2,5	3	6,04	5,83	0,96	0,53	0,11	0,00	0,00	10,39
S2+C	5	1	6,76	7,14	0,96	0,77	0,26	0,00	0,00	14,4
S2+C	5	2	6,87	7,11	0,96	0,72	0,21	0,00	0,00	23,65
S2+C	5	3	6,89	7,24	0,58	0,53	0,28	0,00	0,00	23,86
S2+C	7,5	1	7,23	7,65	0,96	0,77	0,39	0,00	0,00	34,24
S2+C	7,5	2	7,36	7,93	0,96	0,81	0,56	0,00	0,00	33,11
S2+C	7,5	3	7,26	7,83	1,15	0,91	0,51	0,00	0,00	37,53
S2+C	10	1	7,72	8,35	1,15	1,01	0,53	0,00	0,00	42,37
S2+C	10	2	7,70	8,28	0,96	1,01	0,53	0,00	0,00	44,63
S2+C	10	3	8,21	8,20	0,96	0,96	0,45	0,00	0,00	44,53
S2+C	12,5	1	8,01	8,39	0,77	0,96	0,45	0,00	0,00	41,54
S2+C	12,5	2	8,12	8,79	0,58	0,81	0,41	0,00	0,00	40,31
S2+C	12,5	3	7,93	8,75	0,58	0,81	0,73	0,03	0,00	54,81
S2+C	15	1	8,03	8,91	0,96	1,01	0,71	0,03	0,00	54,4
S2+C	15	2	8,08	8,92	0,96	1,05	0,23	0,00	0,00	50,28
S2+C	15	3	8,12	8,93	0,77	1,01	0,53	0,00	0,00	58,72
S2+C	17,5	1	8,04	9,08	0,77	1,05	0,73	0,03	0,00	40,31
S2+C	17,5	2	8,48	8,95	0,77	0,96	0,64	0,08	0,00	50,8
S2+C	17,5	3	8,00	8,60	0,77	0,96	0,64	0,00	0,00	71,98
S2+C	20	1	8,14	9,04	0,77	1,05	0,54	0,00	0,00	68,38
S2+C	20	2	8,76	9,22	0,77	1,01	0,73	0,02	0,00	65,19
S2+C	20	3	8,73	9,32	0,38	0,81	0,43	0,00	0,00	74,76

**S1:** Suelo franco arcillo arenoso; **S2:** Suelo areno franco; **C:** Ceniza de Eucalipto y Ceniza de expeler de soja en proporción 1:1.