

*Universidad Central "Marta Abreu"
de las Villas
Facultad de Ciencias Agropecuarias*



Trabajo de Diploma

Título: Aplicación de ceniza y otras prácticas
como alternativa a la utilización de agroquímicos
portadores de fósforo y potasio

Autor: Yoanis González Peralta

Tutor: Dr Onelio Fundora Herrera

Año 2008

*Universidad Central “Marta Abreu”
de las Villas
Facultad de Ciencias Agropecuarias*



Trabajo de Diploma

Título: Aplicación de ceniza y otras prácticas
como alternativa a la utilización de agroquímicos
portadores de fósforo y potasio

Autor: Yoanis Gonzalez

Tutor: Dr Onelio Fundora Herrera

Año 2008

Agradecimientos

A lo largo de la vida uno se traza metas que solo con la ayuda de las personas más allegadas puede vencerlas por ello agradezco:

Primeramente a mis padres y hermano por ser ellos el motor impulsor para llegar hasta donde he llegado, por brindarme su apoyo incondicional en los malos y buenos momentos.

A toda mi familia de forma general, recordando especialmente a Loreni

A la tutoría de un gran profesor y amigo. Onelio Fundora Herrera.

A mis amigos y compañeros que de una forma u otra han colaborado con mi formación: Liset, Duvier, Alexander, Magdiel, Jose Luis, Keiser, Yoandry, Eduardo, Halbet, Julio César, Yordany, Edel, Amed, Sergio, Arailia, Leidy, Leyanis.

A todos los que de una forma u otra me ayudaron a la terminación de de la tesis

A todo el personal técnico de la Facultad de ciencias Agropecuarias, ya que sin la colaboración de ellos no hubiese sido posible la realización de esta tesis: a los especialistas Carrazana, Cupull, Mollineda, Yazel y al MSc. Sosa. Igualmente mi agradecimiento al MSc.Iroel de la ETICA, así como al Dr. Luis Ruiz y al MSc: Jaime Simó del INIVIT.

A todos ellos: gracias

Pensamiento

***No hay en la tierra vida más honrada que la
que uno se abre con sus propios brazos.***

José Martí

Dedicatoria

*Dedico esta tesis especialmente a mis padres que
son lo mejor que me ha pasado en la vida.*

Resumen

En Cuba la ceniza, residuo de la agroindustria azucarera, es producido en enormes cantidades y representa un riesgo potencial como contaminante del medio ambiente. Esta ceniza puede ser usada como fertilizante aunque no hay muchos resultados acerca de su uso en los suelos menos fértiles, donde este residuo podría ser más útil. Se llevaron a cabo tres experimentos de campo en pequeñas parcelas distribuidas en bloques al azar con tres repeticiones en suelos Pardos Sialíticos Mullidos para investigar la efectividad de la ceniza sobre planta y suelo aplicada sola o combinada con otras medidas que pudieran favorecer la efectividad de este material residual. Para ello se utilizó el maíz como planta indicadora. Las áreas escogidas poseían suelos en los dos primeros experimentos muy erosionados e infértiles y en el tercero no erosionado y de fertilidad general buena. De las tres áreas solo el segundo experimento mostraba un contenido suficiente de fósforo. La ceniza se probó aplicada sola o con Micorriza o arropo, respectivamente, además de nitrógeno como abonado de fondo; además se usaron 2 testigos: una variante sólo con nitrógeno y otro NPK. El tercer experimento estudió la ceniza sola, la micorriza sola y ambas combinadas. La planta, muestreada semanalmente durante 5 semanas mostró que la ceniza aplicada sola fue el mejor tratamiento o al menos no superada en los suelos calcáreos con muy marcada influencia sobre los microorganismos benéficos del suelo. El influjo positivo sobre la planta se atribuyó a aumentar el fósforo u otros nutrimentos y a efectos sobre los microorganismos del suelo. La ceniza mostró un marcado efecto sobre el fósforo y potasio del suelo pero ninguno sobre la reacción del mismo. El tercer experimento en otras condiciones de suelo más fértiles, mostró una gran influencia de la micorriza mejorando el efecto de la ceniza, además de un positivo efecto de ella aplicada sola. La micorriza favoreció la población de *Azotobacter*, entre otros efectos benéficos. Por otra parte, el arropo no mostró efectos apreciables sobre la planta, excepto en estadios muy tempranos de la misma.

Abstract

In Cuba ash, residue of the cane sugar industry is produced in huge amounts and represents a potential risk of environmental pollution. This ash could be used as fertilizer but there are not many results about its use in the less fertile soils, where this residue could be more useful. Three field trials in small plots were carried out as blocks at random with 3 repetitions in Pardo Sialitico Mullido soils to test ash effect on plant and soil applied alone and combined with other measures that could improve the effect of that residual material. With this aim maize was used as indicator plant.

The chosen areas for the two first trials corresponded to very eroded and unfertile soils and in the third trial the soil was not eroded and the fertility was in general good. Of the three areas only the second one showed an enough content of soil phosphorus. Ash was tested alone other with Mycorrhiza and mulch respectively, always with N fertilizer. Two controls were used: a treatment only with N, and another one with NPK. In the third trial the following treatments were tested: ash alone, Mycorrhiza alone and ash plus Mycorrhiza, with a control without any application. The plant tested during 5 weeks showed that ash applied alone was the best treatment other at least was not surpassed, with a remarkable influence on benefic soil micro organisms. The positive influence on the plant was attributed to increase phosphorus or other soil nutrients and to effects upon soil micro organisms. In effect, ash had a strong effect on phosphorus and potassium soil but any upon the soil reaction. In the third trial in more fertile soil conditions, Mycorrhiza showed a great influence on the plant, improving the ash effect, in addition to a remarkable effect by itself. Otherwise, mulch did not showed noticeable effects on the plant, excepting on its very early stages.

ÍNDICE

Contenidos	Pág.
1 Introducción.....	1
2 Revisión bibliográfica.....	4
2.1. Uso de ceniza en la agricultura.....	4
2.2. Uso de micorrizas en la agricultura.....	7
2.3. Uso del arropo en la agricultura.....	10
3 Materiales y métodos.....	12
3.1. Experimentos realizados.....	12
3.2. Evaluaciones a la planta indicadora.....	13
3.3. Evaluaciones en el experimento 3.....	13
3.4. Análisis del suelo.....	14
3.5. Análisis estadístico.....	14
4 Resultados y discusión.....	15
4.1. Primer Experimento.....	15
4.1.1. Influencia de los diferentes tratamientos sobre la planta indicadora....	15
4.2. Segundo Experimento.....	25
4.2.1. Influencia de los diferentes tratamientos sobre la planta indicadora....	25
4.3. Tercer experimento.....	35
4.3.1. Influencia de los diferentes tratamientos sobre la planta indicadora....	35
4.4. Influencia de los tratamientos sobre características químicas del suelo en ambos experimentos.....	38
4.4.1. Influencia sobre la reacción del suelo.....	38
4.4.2. Influencia sobre el fósforo del suelo.....	39
4.4.3. Influencia sobre el potasio del suelo.....	40
4.4.4. Influencia sobre los microorganismos del suelo.....	40
5 Conclusiones.....	43
6 Recomendaciones.....	44

Introducción

En Cuba el 50% aproximadamente de las áreas agrícolas correspondientes a MINAGRI y MINAZ presentan insuficiencia de fósforo, y de ellas sólo una fracción recibe abonado, ya que los agroquímicos son en su mayor parte importados y no existen recursos suficientes para ello. Por otra parte, hay residuos contaminantes del medioambiente como la ceniza que, solos o conjuntamente con otras medidas, pudieran servir de portadores de fósforo, potasio y otros nutrimentos una vez conocidos y cuantificados sus efectos sobre suelo y planta.

En nuestro país se produce como residuo de la industria azucarera una enorme cantidad de ceniza (alrededor de 300 000 t) que pudiera beneficiar una gran extensión de áreas agrícolas) (Cuéllar y col., 2002 y 2003).

A esta ceniza se le da un uso muy limitado, a pesar de ser portadora de varios nutrimentos como fósforo, potasio, calcio y magnesio; se hacen pilas, arrastradas por el agua de lluvia y el viento (Chávez, 2007), llegando a formar parte de la escorrentía que alcanza los canales de desagüe artificiales y naturales, que van a dar a las presas, y otros depósitos de agua superficiales, contaminándolas.

Es conocido que el fósforo es el principal factor limitante para la eutrofización del medio, que se manifiesta sobre todo con la proliferación de plantas indeseables en presas, lagunas, etc. (Finck, 1982; HELCOM, 1997; Schultz, 1999; Anónimo, 2001; Kremser y Schung, 2001). La ceniza contribuiría a esa eutrofización.

Como portadores de fósforo en Cuba se utilizan fertilizantes químicos hasta donde alcanzan los recursos económicos, quedando extensas áreas sin abonado fosfórico, es decir, la limitación actual en el uso de este abonado es principalmente de origen económico y no medioambiental.

En Cuba las reservas de roca fosfórica son muy limitadas, por lo que ésta es importada para la fabricación de fertilizantes químicos o se adquieren en el exterior estos mismos fertilizantes ya fabricados.

En Cuba existen muy pocos resultados de investigaciones sobre la aplicación y efecto de la ceniza como portadora de nutrimentos. De las que existen, muy

pocas han estudiado su aplicación respecto a otros factores: pH, actividad microbiana, materia orgánica del suelo, etc. (Arzola y col., 1998; Cairo, 2008).

Tampoco se ha estudiado su efecto combinado con otras medidas como son aplicación de micorriza, arripe, compost, etc. que pudieran favorecer la asimilabilidad del fósforo contenido en la ceniza.

Los suelos Pardos Sialíticos se encuentran por su relieve muy erosionados con frecuencia y muchas de esas áreas, por esta misma causa son fuertemente calcáreas, con el correspondiente elevado pH que puede alcanzar valores más allá de 8,0 (Fundora y col., 1980). Los procesos erosivos dan como resultado suelos muy poco fértiles en todos los sentidos, incluyendo el contenido de nutrimentos. Por un lado, podría pensarse en la ceniza con el objetivo de suplir fósforo, potasio, magnesio, entre otros nutrimentos pero, por otro, su carácter calcáreo y elevado pH hacen dudar de si la aplicación de tal material sería eficaz bajo tales condiciones. Al parecer, en Cuba no existen investigaciones que avalen cualquier decisión al respecto, aunque a nivel internacional existen algunos pocos resultados que parecen indicar que la medida podría ser efectiva (Eichler-Loeberman, 2008).

Debe añadirse que a nivel mundial las reservas de fosfatos naturales son limitadas, por lo que internacionalmente existe un marcado interés en el estudio de fuentes alternativas para la fertilización fosfórica (Eichler-Loeberman, 2004). En cuanto a potasio las perspectivas no son tan desalentadoras si se considera el cloruro de potasio, pero esta fuente no es aceptada por muchas firmas que adquieren productos orgánicos como ocurre con el azúcar orgánica de la Empresa Azucarera Carlos Baliño, permitiéndosele aplicar sulfato de potasio, pero este abono es deficitario en el mercado mundial y muy costoso. Extensas áreas en esa empresa son insuficientes en fósforo y potasio, por lo que una opción a considerar sería la aplicación de ceniza, para lo cual apenas hay experiencias.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto este trabajo parte de la siguiente hipótesis:

La ceniza puede constituir un sustituto de agroquímicos importados dañinos al medio ambiente, cuyo uso debe de mejorar acompañada de otras prácticas

agrícolas; por otra parte, su utilización limitaría el papel que ella tiene como contaminante ambiental.

Objetivos

- **Objetivo general**

- Sustituir agroquímicos importados, costosos y dañinos al medio ambiente, por la aplicación de residuos y otras medidas que contribuyan a la sostenibilidad de la agricultura.

- **Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la ceniza sobre la planta comparado con agroquímicos.
- Evaluar el efecto que la aplicación de ceniza puede tener sobre el contenido de fósforo y potasio, además de su influencia sobre otras características del suelo, como el pH y población microbiana.
- Determinar el efecto conjunto de la ceniza y de otros productos y medidas que contribuyan a mejorar sus efectos, especialmente el aprovechamiento del fósforo del suelo por las plantas en el marco de una agricultura sostenible

2.1 Uso de ceniza en la agricultura

La ceniza disponible para la agricultura proviene de los hornos del ingenio donde se obtiene de la combustión del bagazo y paja de la caña utilizados como combustible, o de la paja de los centros de acopio y estaciones de limpieza. Durante la combustión del bagazo y de la paja de la caña, se pierde el C y N, con lo cual desaparece el carácter orgánico de estos materiales así como los efectos favorables que se asocian a esa característica (Arzola y col., 1998). Según Cuéllar (2003) una zafra de 40 millones de toneladas produce alrededor de 300 mil t de ceniza con las que se puede fertilizar 40 mil ha (30 t/ha, 4 años de efecto residual con un ahorro de 1,6 a 2,0 millones de USD (40 a 50 USD/ha).

El principal componente de la ceniza es el óxido de silicio, seguido en proporción comparativamente pequeña por compuestos de potasio, fósforo, aluminio, hierro, calcio, magnesio y microelementos como el hierro (Cuéllar, 2002). García (1987) al caracterizar la ceniza de 90 centros de beneficio de caña, de la provincia de Camagüey, encontró un promedio en base seca de 0.41 % de P_2O_5 y 1.46 % de K_2O . Realmente su contenido en nutrimentos es variable; la de hornos posee alrededor de 2% de K_2O y 1% de P_2O_5 en base a materia seca, mientras que Cairo y col. (2008) encontraron que la de centro de acopio mostraba contenidos de aproximadamente 1,5% de P_2O_5 y 2,6% de K_2O . Estos autores hallaron como mejor dosis la de 10 t de ceniza de centros de acopio por hectárea para suelos Pardos con Carbonato y Ferralíticos Rojos, mientras que la de 20t/ha era preferible para los suelos Oscuros Plásticos. En todos estos, la ceniza produjo aumentos significativos del fósforo y potasio y por su alto contenido en calcio se comportó como un material encalante con aumentos notables del pH. Los mejores efectos sobre el estado estructural del suelo ocurrieron en aquellos con limitaciones físicas, donde la permeabilidad mostró los mejores resultados. Además, se alcanzaron niveles de fertilidad con 20 t/ha superiores al testigo respecto a pH, materia orgánica, fósforo y potasio.

En otros suelos Arzola y col. (1998) atribuyeron los efectos beneficiosos de la ceniza sobre el rendimiento de la caña de azúcar a mejoras en las propiedades físicas del suelo, como aireación y drenaje, y al aporte de elementos como potasio, fósforo, calcio, etc. en suelos insuficientes. Según estos autores la ceniza por su abundancia en compuestos de sílice podría ser de interés en la solubilización del fósforo del suelo, ya que el unión silicato puede desplazar los aniones del ácido ortofosfórico (H_2PO_4^- , por ejemplo) de las posiciones en que se encuentre retenido al complejo de cambio del suelo; por otra parte, las posiciones con cargas positivas donde la fijación del fósforo puede ocurrir son bloqueadas por los aniones silicato, lo que favorece la solubilidad de fertilizantes fosfóricos que se apliquen posteriormente.

Según Sulroca (1995; citado por Cuéllar, 2002) 1 t de cenizas aporta de 6-8 kg. de P_2O_5 y entre 7-10 kg de K_2O , por lo que la aplicación de 25 t equivale a 380 kg. de superfosfato triple (\$92.90 USD) y 235 kg de cloruro de potasio (\$51.05 USD), lo cual representa un ahorro en divisas no menor a \$1900.00 USD, con los indicadores económicos de la época, por caballería beneficiada, con un efecto residual de 5 años como mínimo, garantizándose un incremento entre 6-15 % de los rendimientos agrícolas.

Arzola et al. (1998) reportaron en un suelo Ferralítico Rojo típico, insuficiente en potasio (0.1 cmol de K.kg⁻¹ de suelo) en el que se compararon diferentes abonos orgánicos con la ceniza de los hornos del ingenio (45t/ha), mayores rendimientos con esta última. Esto se asoció con ser la ceniza la que originó los mayores incrementos en los contenidos de potasio cambiante del suelo y los más bajos de la relación Ca/K cambiables. Sólo la ceniza aumentó marcadamente la producción de caña y azúcar en las cuatro cosechas evaluadas.

Lee et al.(1965; citado por Arzola, 1998), reportaron que al aplicar cenizas de los hornos, en los primeros 15 cm de espesor del suelo, el rendimiento de la caña de azúcar incrementó entre 11 y 28 % en caña planta e incluso algo más en los retoños sucesivos, lo que se atribuye en primer término a mejoras en las propiedades físicas, como es, por ejemplo, el aumento en la porosidad de aireación del suelo. Pan et al. (1978), compararon en un suelo fuertemente ácido de Malasia las cenizas de los hornos y las escorias silíceas, obteniendo

mejores rendimientos con la aplicación de 48 t de ceniza de los hornos.ha-1, que con 2.5 t de escorias.ha-1.

Respecto a ceniza de madera existen numerosas investigaciones que la muestran con efectos similares a las de caña de azúcar, es decir, aumento de pH y de fósforo, calcio, potasio y magnesio, fundamentalmente (Etiégni y col, 1991; Smeshwar,1996; Vance, 1996). Algunos de estos elementos se encuentran como óxidos, hidróxidos y carbonatos, por lo que el material presenta un fuerte carácter alcalino (Etiégni y Campbell, 1991). Estas cenizas presentan, en general, concentraciones muy bajas de metales pesados, si bien las extraídas con electrofiltros pueden presentar concentraciones más elevadas de metales tóxicos (Someshwar, 1996). Todas estas características hacen que en algunas zonas de EEUU y en Suecia (en este caso las cenizas proceden de plantas de bioenergía municipales) la mayor parte de las cenizas que se generan se apliquen a suelos agrícolas o forestales para mejorar sus propiedades (Vance, 1996).

En el mundo desarrollado la mayoría de las plantas de biomasa acumulan estas cenizas en grandes parques o son trasladadas a vertederos. En cualquier caso, diversas investigaciones tratan de desarrollar sistemas que permitan su aprovechamiento. Científicos de la Universidad de Santiago de Compostela (Solla Gullón y col., 2001) han demostrado el poder fertilizante de estas cenizas en terrenos agrícolas y forestales, debido a sus características alcalinas y a sus altas concentraciones de nutrientes minerales. Las cenizas contribuirían a mejorar la tierra y se evitaría que acabaran molestando en cualquier vertedero. Los investigadores gallegos recuerdan que la práctica en España de silviculturas intensivas y la ausencia de fertilización provoca un empeoramiento del estado nutricional del arbolado. Además, diversos estudios demuestran que los fertilizantes convencionales utilizados no son suficientes para compensar la extracción de nutrimentos durante la explotación maderera. En definitiva, concluyen, los beneficios serían dobles: las cenizas contribuirían a mejorar la tierra y se evitaría que acabaran molestando en cualquier vertedero. En las condiciones del ensayo el aporte de cenizas no conduce a aumentos sustanciales de la nitrificación y de los niveles de NO₃-.

Por su parte, científicos de la Estación Experimental del Zaidín (2002) , en Granada, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), han utilizado cenizas de alperujo, un subproducto derivado de la obtención del aceite de oliva, como fertilizante para plantas de pimiento. Los investigadores se han valido de las plantas de cogeneración de energía, que reutilizan grandes cantidades de estos residuos olivareros, aunque también producen montones de cenizas. Según los científicos granadinos, la aplicación de cenizas de alperujo aumenta el rendimiento de la cosecha de pimiento, especialmente en terrenos ácidos y neutros, aunque reconocen que esta mejora es menor que la inducida con fertilización mineral

2.2 Uso de micorrizas en la agricultura

El término micorrizas designa la asociación simbiótica entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas. Ellas se clasifican dependiendo de la anatomía de las raíces que colonizan en ectomicorrizas, endomicorrizas y endectomicorrizas. Dentro de las endomicorrizas, los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) constituyen la simbiosis más extendida del planeta. Los HMA pertenecen al orden Glomales de la clase Zygomycetes (Ruiz, 2001).

Esta asociación se define como simbiótica ya que a través de la creación de nuevas estructuras ocurren intercambios de sustancias nutritivas, metabolitos esenciales y sustancias hormonales, con beneficios para ambos simbioses (Trappe,1989).

Los HMA favorecen un mejor aprovechamiento de la zona radical al aumentar el volumen de suelo explorado, una mayor resistencia a las toxinas, incremento de la traslocación y solubilización de elementos nutritivos esenciales, aumento de la tolerancia a condiciones abióticas adversas (sequía, salinidad) y cierta protección contra patógenos radicales (Fernández Martín, 2003). Se ha comprobado que por cada metro de raíz colonizada se producen entre 7 y 250 metros de hifas externas del hongo (Barea y col., 1991). El micelio extrarradicular se ha mostrado capaz de captar eficazmente todos los nutrimentos, especialmente el fósforo, pero también el nitrógeno y microelementos (George y col., 1995). Otros autores se refieren también a la absorción de potasio, calcio, magnesio, además de especificar algunos

micronutrientes como cinc, cobre, molibdeno y boro (Koide, 1991). Es de señalar que la mayoría de los cultivos tropicales producen esta simbiosis (Fernández Martín, 2003).

De todos los nutrientes es el fósforo el que más atención ha despertado respecto a la micorrizas, en gran medida por la frecuente insuficiencia de fósforo en los suelos tropicales y por la creciente escasez de fosfatos naturales (Fernández Martín, 2003; Eichler-Loebermann, 2004).

Cuando el pH del suelo se encuentra entre 5,5 y 6,5 la solubilización de la roca fosfórica puede estar relacionada con la fuerte acidificación de la rizosfera provocada por los exudados de las raíces (Sieverding y Gálvez, 1988).

Los factores bióticos y abióticos ejercen gran influencia sobre las micorrizas. Entre ellos el clima (temperatura, luz) es decisivo. El largo de las raíces colonizadas, el número de esporas y la infectividad varían en diferente magnitud según la especie a través de todo el año (Fernández Martín, 2003). Otro de los factores claves es el contenido de agua de los suelos (Fernández y col., 1997). Las micorrizas son de gran importancia en las plantas bajo estrés hídrico, ya que la simbiosis logra desarrollar una capacidad de absorción superior; esta "irrigación" de la planta mantiene las hifas satisfactoriamente aun en condiciones adversas, desarrollando convenientemente la asociación (Ruiz-Losano y Azcón, 1995).

La relación entre pH del suelo y colonización de la micorriza es bastante compleja ya que depende no solamente de la especie micorrícica sino también de las características del suelo, la disponibilidad de nutrientes sobre todo P y N, pero también de otros como Cu, Zn, Mo y B (Fernández, 2003). Las especies del género *Glomus* varían bastante al respecto, observándose que algunas exhiben un amplio rango de pH como *G. fasciculatum*, y otras muestran un estrecho rango (Barros, 1987). Es muy importante en los estudios de selección de especies de estos hongos tener en cuenta el efecto del pH para seleccionar las especies o ecotipos más eficientes en los rangos de pH de interés (Fernández, 2003).

Entre los factores bióticos es de interés la interacción de los HMA con otros microorganismos rizosféricos, interviniendo en su funcionamiento y viceversa (Linderman, 1992).

En los últimos años ha ganado interés entre los científicos e investigadores el efecto benéfico de los HMA como bicontrol de organismos fitopatógeno en el sistema suelo-planta (García, 1993). Se informa por varios autores el efecto controlador, inhibidor, protector o reductor de las poblaciones de nematodos parasíticos de varios cultivos por los HMA. Se señala una disminución de los niveles poblacionales de *Meloidogyne incognita*; *Meloidogyne hapla*; *Meloidogyne javanica*; *Pratylenchus brachyus*; *Glodobera solanacearum* y otros. Se continúa examinando las interacciones nemátodos-HMA y el uso de estos hongos como posibles agentes de bicontrol de importancia económica (Baker, 1994).

Por otra parte, en un estudio sobre la inoculación de proteínas relacionadas con la patogenicidad (quitinasa, glucinasa) en etapas tempranas del establecimiento de la simbiosis en dos variedades de tomate inducidas por el HMA *Glomus clarum*, se observó que esta inducción podría contribuir al efecto protector sistémico contra patógenos (De la Noval et al., 2002).

La efectividad micorrícica está relacionada con el rendimiento de un determinado cultivo, lo cual es resultado de la interacción fisiológica entre los simbioses bajo determinadas condiciones ambientales. Esto a su vez depende del tipo de hongo, de la planta hospedera, y al interfase simbiótica (área de contacto entre simbioses, tasa de toma de nutrimentos y tasa de eflujo de carbohidratos) (Fernández, 2003). Según Fernández (1999), Ruiz (2001) y Rivera y col. (2001) otro factor determinante en la efectividad es el tipo de suelo: concentración de nutrimentos, materia orgánica y su mineralización, etc. Las especies fúngicas no presentan el mismo comportamiento en diferentes condiciones edáficas, lo cual implica encontrar las especies y cepas más efectivas en una condición edafoclimática dada. Las cepas típicas de la zona con mayor adaptabilidad no siempre significan una mayor eficiencia micorrícica (Sánchez, 2001).

Entre otros beneficios de las HMA se encuentra la de servir como aglutinadores de los microagregados del suelo para lo que se sugiere que el mecanismo agregador está dado por las hifas del hongo y al producción de polisacaridos extracelulares (Tisdall, 1991).

En Cuba se han realizado importantes trabajos que demuestran posibilidades de reducción notable de la fertilización mineral en cultivos como raíces,

tubérculos y hortalizas (Ruiz y Portieles, 1985, Ruiz, 2001, entre otros), así como en café (Fernández, 1999; Rivera y col, 2003). *Glomus intraradices* se ha mostrado efectivo en Cambisoles calcáricos en cultivos tales como yuca, boniato y papa (Ruiz, 2001), mientras que *Glomus fasciculatum* lo ha hecho en Ferralsoles éutricos también con varios cultivos (ñame, malanga, papa, boniato, yuca) y en Nitisoles respecto a café (Rivera y col., 2003).

En Cuba se han desarrollado técnicas que permiten la producción masiva de inoculante de alta calidad con el nombre comercial de EcoMic, de diferentes cepas para distintas características de suelo (*Glomus hoy-like*, *Glomus fasciculatum*, *G. intraradices*) (Rivera y col., 2003; Simó, 2008). La producción de inoculantes de HMA tiene características peculiares puesto que para completar su ciclo de vida necesitan reproducirse en las raíces de una planta hospedera donde colonizan las raicillas y desarrollan los propágulos fúngicos, todo lo cual constituye el inóculo micorrízico y no como otros inoculantes producidos por vía fermentativa (Sieverding, 1991). El EcoMic se ha desarrollado sobre un sustrato de tipo arcilloso con excelentes propiedades adherentes que con la sola presencia de agua hace efectiva la metodología de recubrimiento de la semilla; en la elaboración de este producto se emplean diferentes especies como *Glomus fasciculatum*, *Glomus clarum*, *Glomus mosseae* y *Glomus claroideum* (Fernández Marín, 2003).

2.3 Uso de arropo en la agricultura

El arropo es una práctica agrícola de antigua data. En Cuba ha merecido atención sobre todo en el cultivo de la caña de azúcar, aunque fundamentalmente con el objetivo de reducir la infestación de malezas y los costos para su control, aunque se reconocen otros beneficios como son conservar la humedad del suelo, evitar la erosión, mejorar la fertilidad del suelo y la liberación de sustancias alelopáticas fitotóxicas a muchas especies de malezas (Cuéllar y col., 2003). Según Hogarth y Allsopp (2000) esta práctica incrementa la actividad microbiana, mejora la estructura del suelo y reduce la necesidad de fertilización y riego. A muchos de estos beneficios atribuye Stranack (1998) a que en comparación con la quema en África del Sur una cubierta de paja inalterada haya producido un incremento anual de un 15%

más de caña. También se reconoce que la cubierta de arroyo o *mulch* contiene nutrientes que van pasando al suelo a medida que ella se descompone (Hogarth y Allsopp, 2000).

El mantenimiento de la vegetación natural con profundas raíces en condiciones de barbecho como arroyo para el cultivo a continuación en lugar de ser quemado en la región del Amazonas brasileño se recomienda por Sommer (2000, citado por Eichler-Loebermann, 2004), ya que de quemarse los nutrientes se perderían con mayor rapidez. Buerkert y col. (2000) y Gérard y col. (2001) comprobaron en la zona del Sahel aumentos de cosecha en el sorgo y el trigo por haber aplicado residuos de plantas como arroyo.

3.1 Experimentos realizados

Se montaron 3 experimentos de campo en un área de pequeños agricultores, en el municipio de Camajuaní, Villa Clara. Para los dos primeros experimentos se contó con un área de fuerte erosión (suelo Pardo Sialítico Mullido Carbonatado, según Hernández y col., 1999), la del primer experimento más acentuada a simple vista que la del segundo, con marcada reacción al clorhídrico desde la superficie, difiriendo en el contenido de fósforo (insuficiente en el primer caso y suficiente en el segundo). El potasio era elevado en ambas áreas como más adelante se expone.

Variantes:

- 1.- Testigo, sólo N como urea (46% N)
- 2.- Aplicación NPK como fertilizantes químicos (urea, SPT con 46% P_2O_5 y KCL con 60% K_2O)
- 3.- 10 t de ceniza/ha + N como urea)
- 4.- 10 t de ceniza/ha de ceniza + micorriza + N como urea
- 5.- Micorriza
- 6.- Micorriza + N como urea
- 7.- 10 t de ceniza/ha + arroyo + N como urea

Observación: el tratamiento 7 sólo se incluyó en el experimento 2.

Se utilizó un diseño en bloques al azar con 3 repeticiones en cada experimento. Cada parcela contaba con 4,8 m², con 4 surcos de 3 m de largo, de ellos dos evaluables, a una distancia de 0.4m entre surcos y de 0.3m de narigón. Como planta indicadora se utilizó maíz.

La dosis de nitrógeno equivale a 50 kg N/ha, la de fósforo a 50kg P_2O_5 /ha y la de K_2O a 100kg/ha.

La ceniza de centro de acopio para el beneficio de la caña de azúcar presentaba un contenido de 1,56 % P_2O_5 y 3,1% K_2O .

Observación: el contenido de fósforo del suelo es en el experimento 1 insuficiente (según Machiguin) y el potasio es suficiente, mientras que en el

segundo ambos macronutrientes son suficientes. Ambas áreas presentan valores de pH (KCl) de 8,2-8,3. El análisis de suelo se presenta completo en Resultados y Discusión.

La micorriza se aplicó como el producto comercial EcoMic, cepa Glomus intraradices. Para ello se utilizó en la proporción 1kg EcoMic /600ml agua, mezclados hasta obtener una pasta adherible a las semillas; una vez recubiertas se dejaron secar a la sombra hasta el día siguiente, quedando convenientemente paletizadas.

Como arropo se utilizó hojas seca de plátano con un espesor de unos 3 cm y un ancho de 20 cm.

Como tercer experimento se montó una prueba mucho más simple en un suelo Pardo Sialítico Mullido medianamente lavado, sin muestras visibles de erosión, color pardo oscuro del primer horizonte, en una posición del relieve poco favorable a la erosión. Variantes:

1. Testigo absoluto
2. Aplicación de micorriza
3. Aplicación de ceniza (10 t/ha)
4. Aplicación de ceniza + micorriza

Este experimento se montó de modo que cada tratamiento contaba con 2m de surco evaluables, distribuidos en bloque al azar con 3 réplicas

3.2 Evaluaciones de la planta indicadora

Evaluaciones de los experimentos 1 y 2

●Semanalmente: altura y número de hojas por planta (5 plantas /parcela), haciendo un total de 15 réplicas al analizar estadísticamente los resultados (cada planta una réplica). A partir de la segunda semana se midió el ancho de la cuarta hoja a partir de la base recomendada por Thomas (1951) como indicadora del estado nutricional de la planta.

●A los 35 días: peso fresco y seco de la totalidad de cada planta (15 réplicas por variante) y extracción de fósforo y potasio en tejido vegetal para calcular la extracción total por planta.

3.3 Evaluaciones en el experimento 3.

Altura y número de hojas a los 15 y a los 30 días; 10 plantas por variante=10 réplicas.

3.4 Análisis de suelo

- Análisis químico de suelo: fósforo según Machiguin (solución extractiva de carbonato de amonio al 1%, fotolorimetricamente) y Oniani (solución extractiva: H_2SO_4 0.1N, fotolorimetricamente) respectivamente, y potasio según Oniani (por fotometría de llama), pH en sol. de KCl 1N.
- El conteo de microorganismos, por dilución seriada, se realizó según Vinogradsky (1949, citado por Mayea, 1982).

3.5 Análisis estadístico

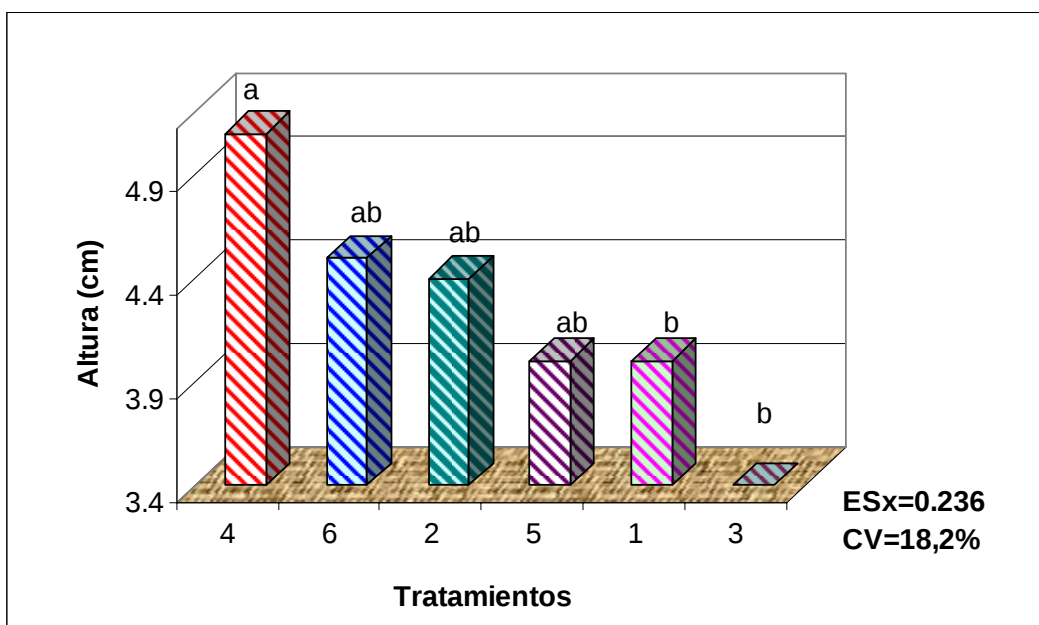
- análisis de varianza de clasificación doble sin interacción y posterior comparación de medias según prueba de Tukey (HSD), utilizando el paquete estadístico SPSS, version 11.3. Cuando no se encontró homogeneidad de varianza se aplicó la prueba de Kruskal Wallis con posterior prueba múltiple de rangos utilizando el programa Statistix, versión 1. Los resultados de la prueba múltiple para medias de rangos según Kruskal Wallis aparecen en Anexos (Tablas 1; 2; 3 y 4.).

Resultados y discusión

4.1 Primer experimento

4.1.1 Influencia de los diferentes tratamientos sobre la planta indicadora

En la Figura. 1 se observa respecto a la altura de la planta –el indicador más sensible de los dos utilizados- que la ceniza acompañada de micorriza, además del fondo común de nitrógeno, ha sido el mejor tratamiento en este primer muestreo, mientras que la ceniza sola ha sido el peor. Esto parece indicar que la plántula con su todavía débilmente desarrollado sistema radical necesita de algún mecanismo adicional para poder aprovechar los nutrientes de la ceniza, y la micorriza resulta muy conveniente, ya que esta combinación tiende, evidentemente, a resultar superior, como promedio, incluso al tratamiento NPK.



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N

Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre la altura de la planta (experimento 1, muestreo 1).

Estos simbioses que incluyen HMA son especialmente efectivos en la absorción de fósforo, que transfiere al hospedador, incrementando la capacidad de la planta para acceder al depósito de fosfato soluble del suelo (Jaizme-Vega y Rodríguez, 2004).

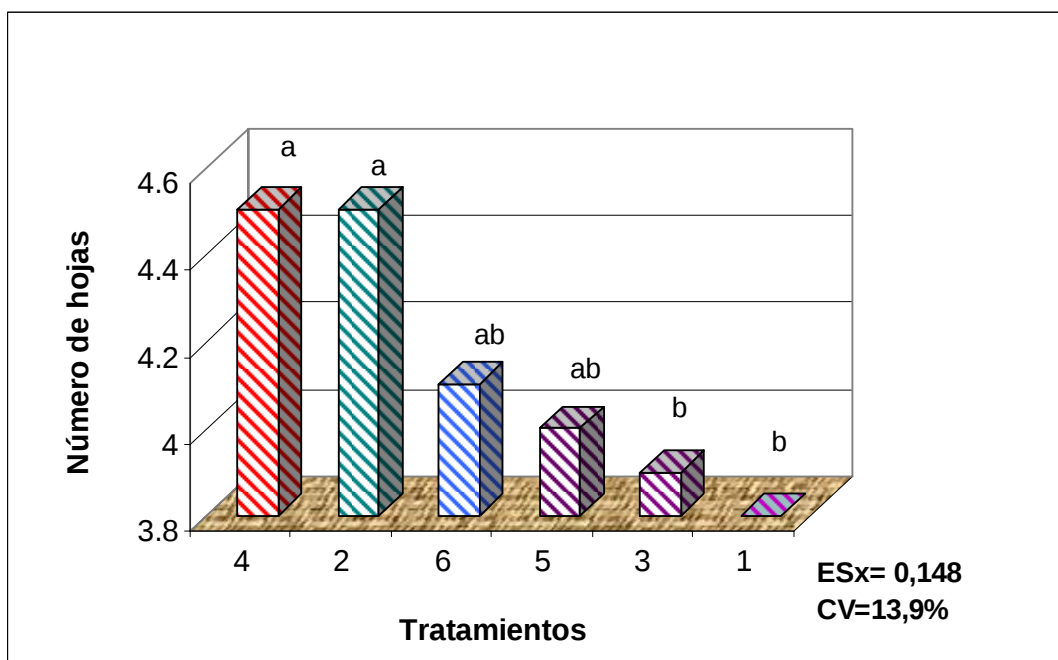
El mecanismo para incrementar la absorción de fósforo vía micorriza se basa en la capacidad de las hifas para explorar un mayor volumen de sustrato con mayor eficiencia que el sistema radical por sí solo de donde extraerían el fósforo en solución (Fernández Martín, 2003); no obstante, hay indicios de que el fósforo absorbido por la asociación también pueda proceder de fracciones sólidas del fósforo del suelo (Bolan, 1991). Según Bolan y col. (1987) es posible que las plantas micorrizadas no utilicen las mismas fuentes de fósforo que las plantas no micorrizadas. Es probable que determinados grupos funcionales de microorganismos asociados a la hifosfera del hongo puedan aumentar indirectamente la solubilización de fosfatos mediante la activación del complejo enzimático de las fosfatasas (Meyer y Linderman, 1986). Piccini y col. (1988) encontraron asociación entre microorganismos solubilizadores de fósforo y hongos formadores de micorrizas arbusculares.

Es conocido que la ceniza presenta el fósforo en medida no despreciable en formas no acuosolubles, por otra parte, no puede descartarse que la ceniza tenga un efecto inicial, aunque localizado, de elevación excesiva del pH, con la consiguiente insolubilización de nutrientes como el fósforo y microelementos, lo cual podría irse atenuando al reaccionar con mayor masa de suelo con el transcurso del tiempo y hacerse más patente el poder amortiguador del mismo. De ahí, que la micorriza con el conocido efecto de aumentar el poder de la planta para absorber nutrientes, sobre todo de aquellos poco solubles como los anteriormente citados, haya contribuido a favorecer el aprovechamiento de la ceniza por el vegetal, por el ya mencionado hecho de que las hifas de los hongos pueden llegar adonde no lo podrían hacer los pelos absorbentes (Ruiz, 2001).

También es de hacer notar que aun la micorriza sólo con nitrógeno resultó muy favorable a la altura de la planta, tendiendo a ser mayor que cuando se aplica ella sola, lo que demuestra que si bien respecto a PK y otros nutrientes

puede satisfacer las necesidades nutrimentales, no lo hace en igual medida respecto al nitrógeno en este suelo bajo en materia orgánica.

Respecto al número de hojas en este primer muestreo, en líneas generales, se observa (Fig. 2) semejante efecto, sobre todo en lo que a la efectividad de la ceniza más micorriza, no superada por el tratamiento NPK, y la inferioridad de la ceniza y la micorriza respectivamente, cuando se las aplica solas.

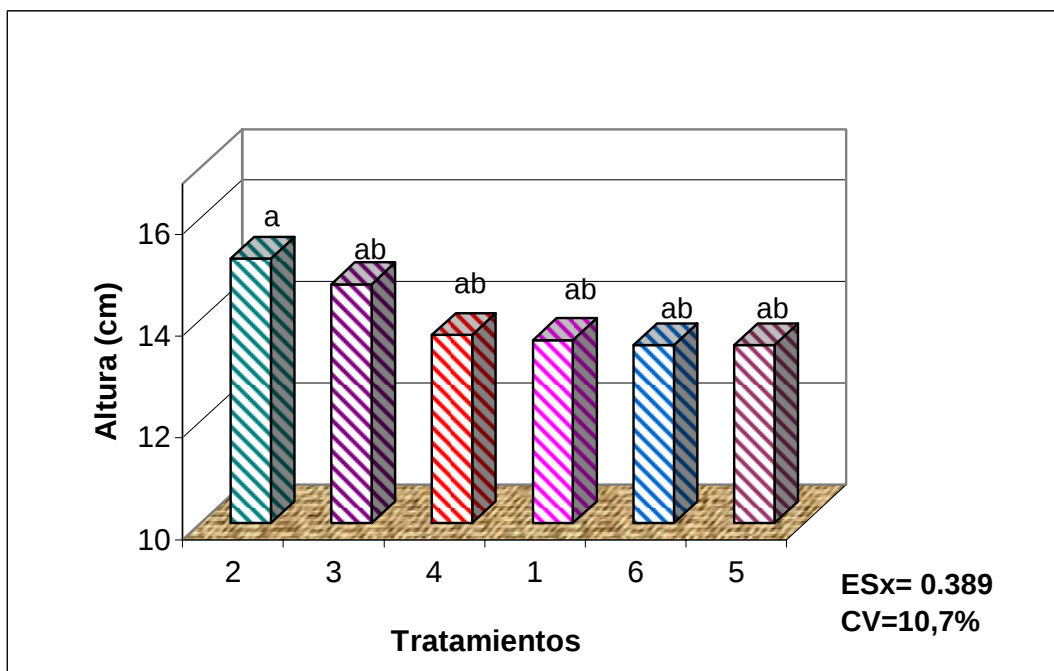


Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre el número de hojas (experimento 1, muestreo 1).

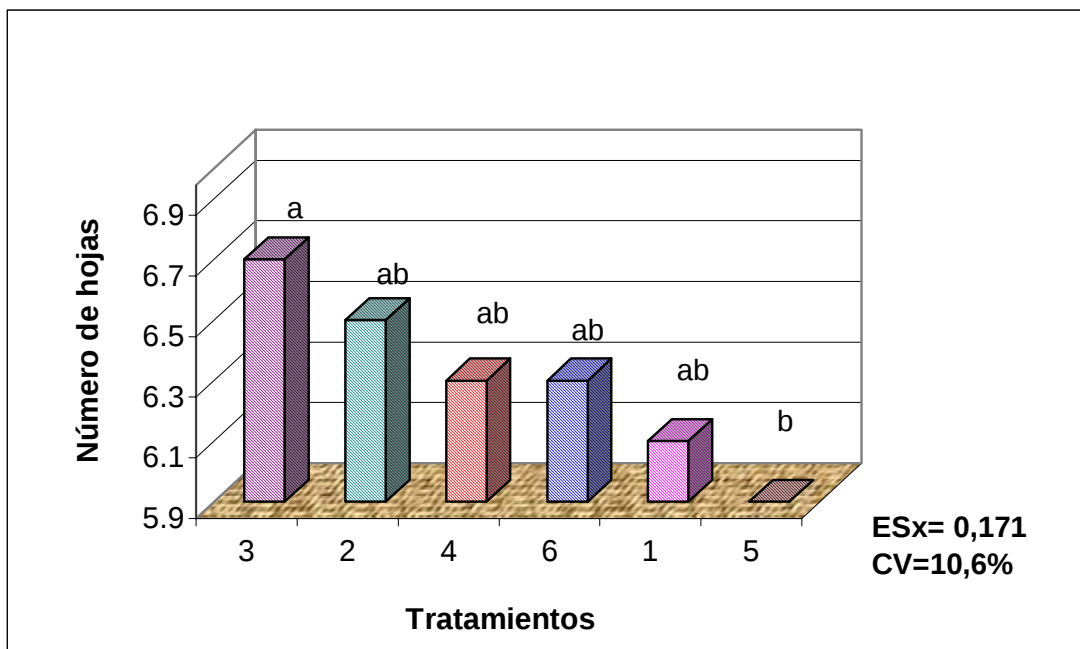
A partir del segundo muestreo (Fig. 3 a 11), los resultados cambian notablemente, ya que entonces todos los indicadores de la planta muestran a la ceniza aplicada solamente con nitrógeno como el mejor tratamiento o por lo menos no superado, mientras que la micorriza sola constituye la peor variante. Este cambio radical, respecto a la ceniza, se explicaría, muy probablemente, por el hecho de que ahora el sistema radical, en las condiciones de esta investigación, está suficientemente desarrollado como para poder hacer un buen uso de la ceniza sin necesidad de otros tratamientos acompañantes. Por otra parte, la ceniza por su reacción con el suelo debe de haber o atenuado sus efectos adversos a través de la reacción del suelo, resultando un efecto positivo neto a su favor.



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

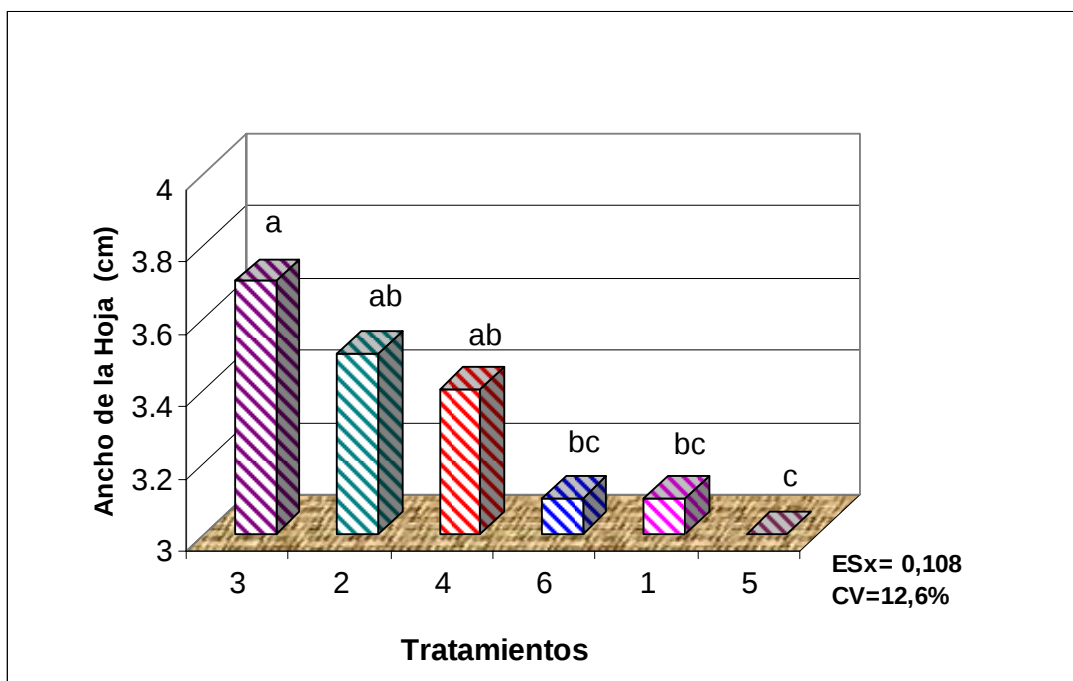
Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre altura (experimento 1, muestreo 2).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

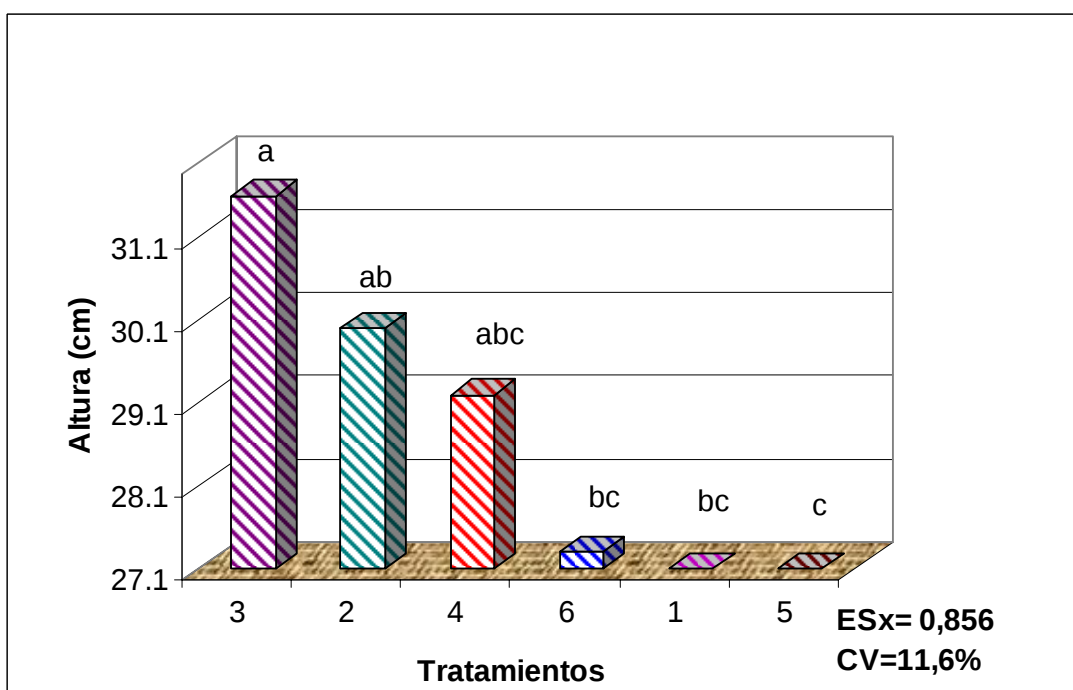
Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el número de hojas (experimento 1, muestreo 2).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre el ancho de hojas (experimento 1,

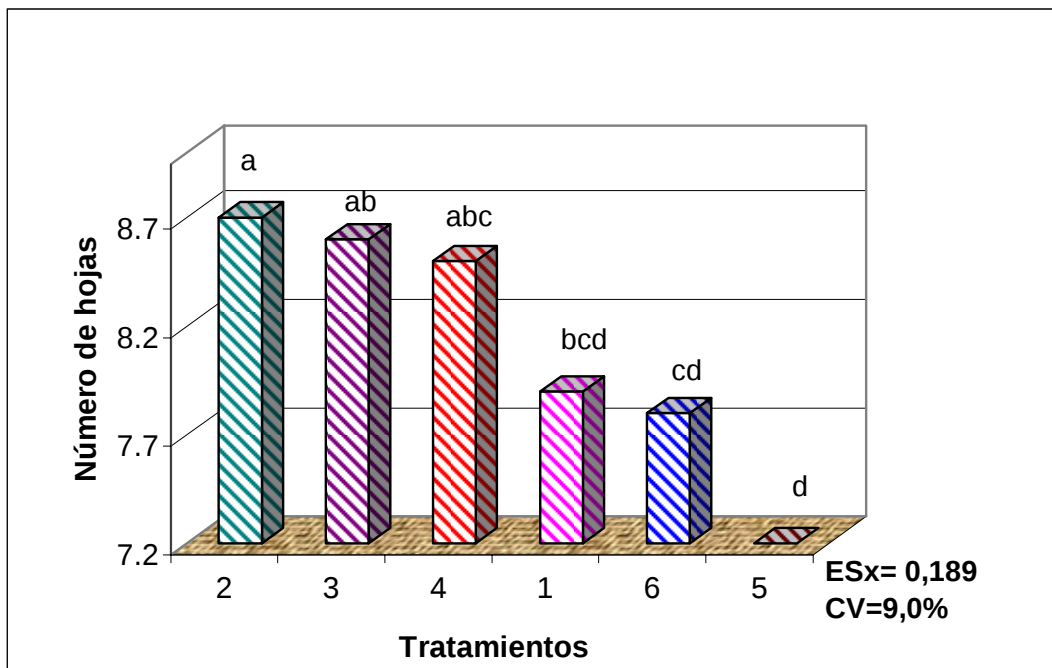


muestreo 2).

Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

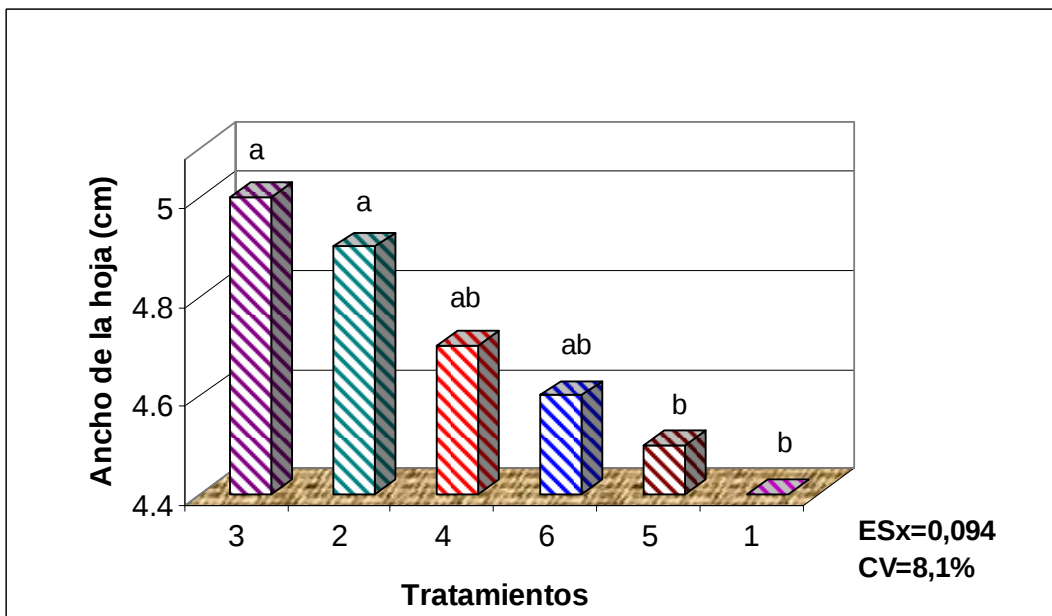
Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre altura (experimento 1, muestreo 3).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

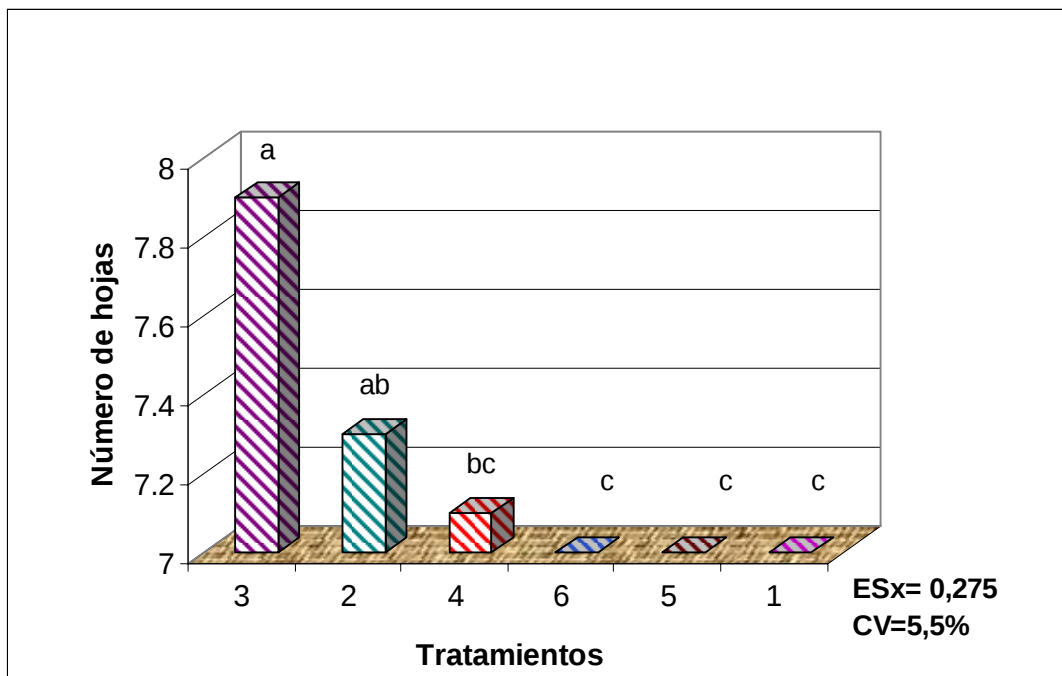
Figura 7. Efecto de los tratamientos sobre el número de hojas (experimento 1, muestreo 3).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

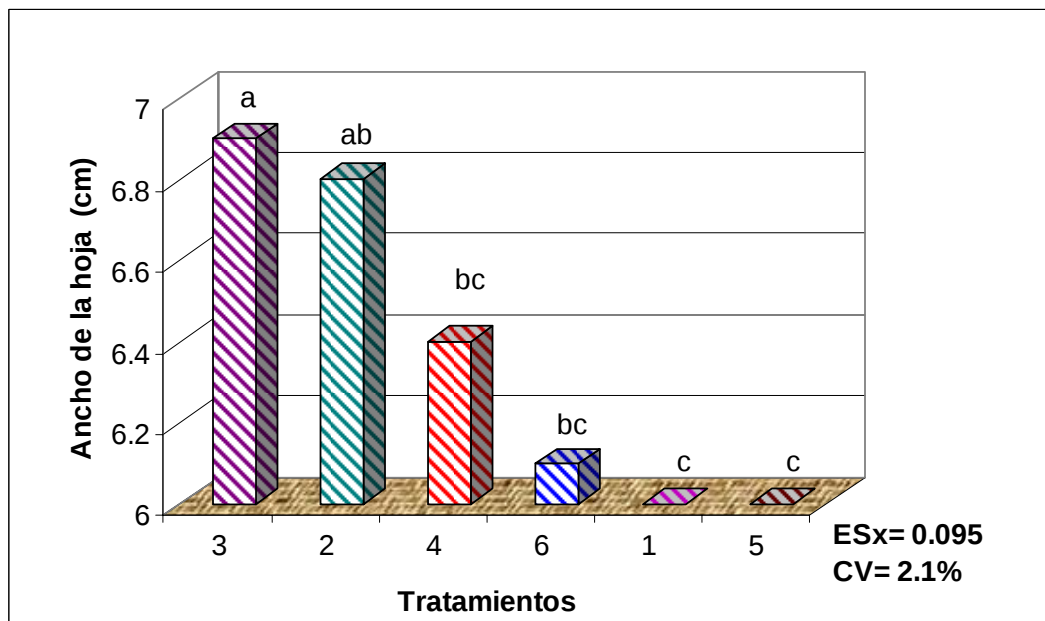
Figura 8. Efecto de los tratamientos sobre el ancho de la hoja (experimento 1, muestreo 3).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

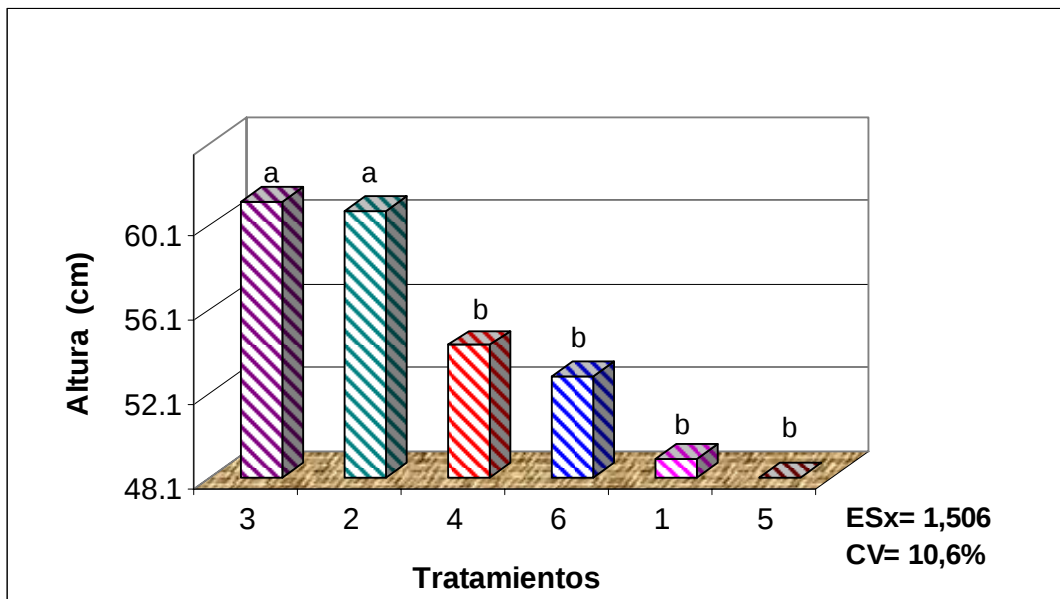
Figura 9. Efecto de los tratamientos sobre la altura (experimento 1, muestreo 4).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

Figura 10. Efecto de los tratamientos sobre ancho de hojas (experimento 1, muestreo 4).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

Figura 11. Efecto de los tratamientos sobre el ancho de la hoja (experimento 1, muestreo 4).

Es de destacar que se utilizó un nivel de ceniza (10t/ha) conteniendo abundantes aportes de fósforo y potasio totales, además de otros macro y micronutrientes; de usarse otros niveles menores, tal vez el efecto favorable inicial de la micorriza se hubiera mantenido al haber una mayor dependencia del transporte de nutrientes hasta la raíz que cuando estos son abundantes en el suelo.

No puede descartarse la posibilidad de que las condiciones de este suelo, bastante erosionado, y por lo tanto, muy afectado en su fertilidad, no sean favorables a esta cepa de micorriza y con el tiempo tienda a hacerse poco efectiva o a disminuir su presencia. En efecto, atendiendo la literatura cubana (Ruiz, 2001; Rivera y col. 2003) ella ha sido probada como eficaz en suelos Pardos Sialíticos de relativa fertilidad general si se comparan con los de esta investigación.

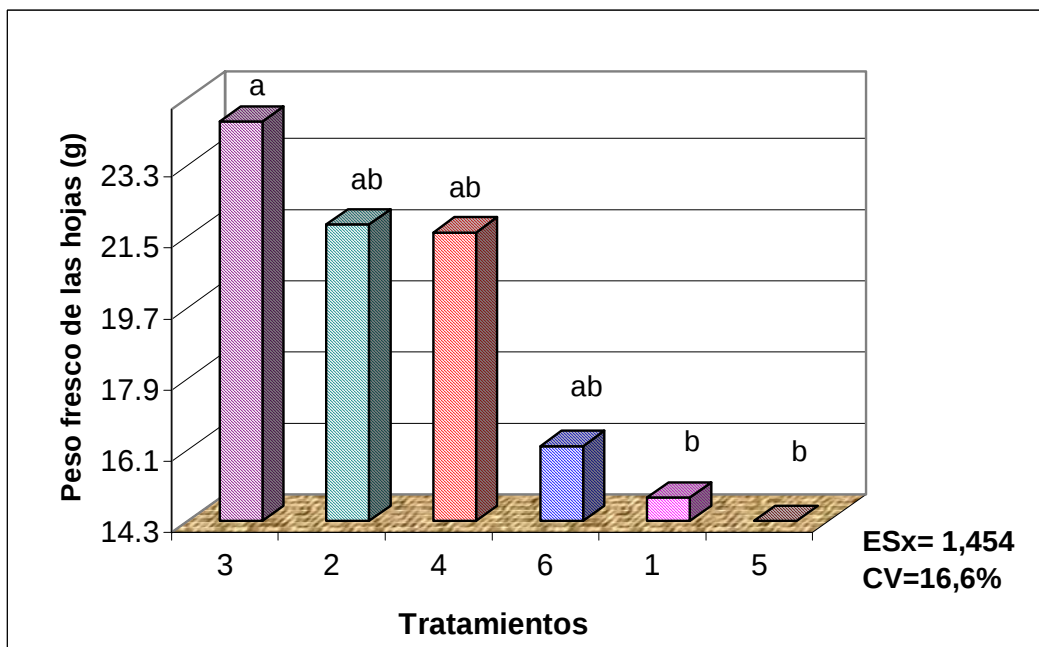
Las Fig. 12; 13 y 14, correspondientes al peso fresco de las plantas, confirman de modo general lo que ya los indicadores de cada muestreo sugerían, lo que ahora se hacen más patentes las diferencias: la ceniza sola se confirma como

no superada por ninguna otra variante, incluyendo el abonado NPK, y al manifestarse la diferencia significativa entre tratamientos N y NPK, se confirma la carencia de por lo menos uno de estos dos últimos nutrimentos (ver análisis de suelo a continuación), aunque pueden estar incluidos otros elementos nutrientes presentes en la ceniza e insuficientes en el suelo. Esta diferencia se explica, atendiendo al análisis de suelo, a insuficiencia de fósforo observable según el análisis por el método de Machiguin, al cual a pesar de sus limitaciones, se siguió, ya que el de Oniani resultaría aun peor en estas condiciones fuertemente calcáreas, como demostró sin lugar a dudas López (1990) para suelos cañeros en cuanto a su poder diagnóstico para este nutrimento. El potasio, por el contrario alcanza un valor que podría considerarse suficiente.

Análisis de suelo

pH	P ₂ O ₅ (mg/ 100g suelo)	K ₂ O (mg/ 100g suelo)
8,2	3,9	23,1

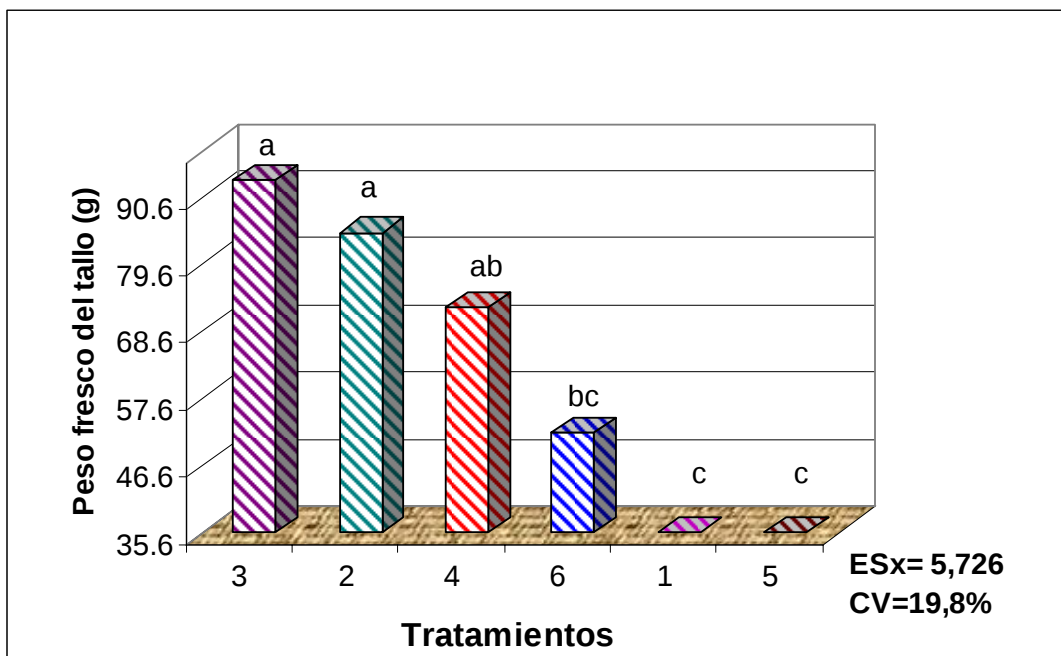
Es de subrayar que los peores tratamientos resultaron en primer lugar la micorriza sola, lo que confirma su insuficiente efectividad en estas condiciones de suelo, seguida por el tratamiento consistente sólo en nitrógeno.



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

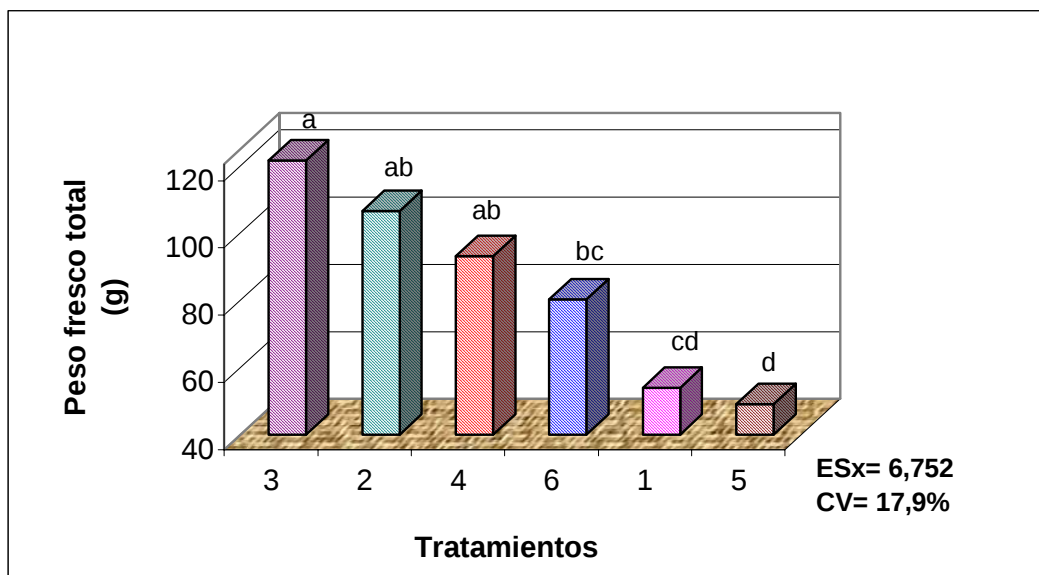
Figura 12 Efecto de los tratamientos sobre peso de las hojas (experimento 1, muestreo final).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

Figura 13 Efecto de los tratamientos sobre peso fresco del tallo (experimento 1, muestreo final).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N;

Figura 14. Efecto de los tratamientos sobre peso fresco total (experimento 1, muestreo final).

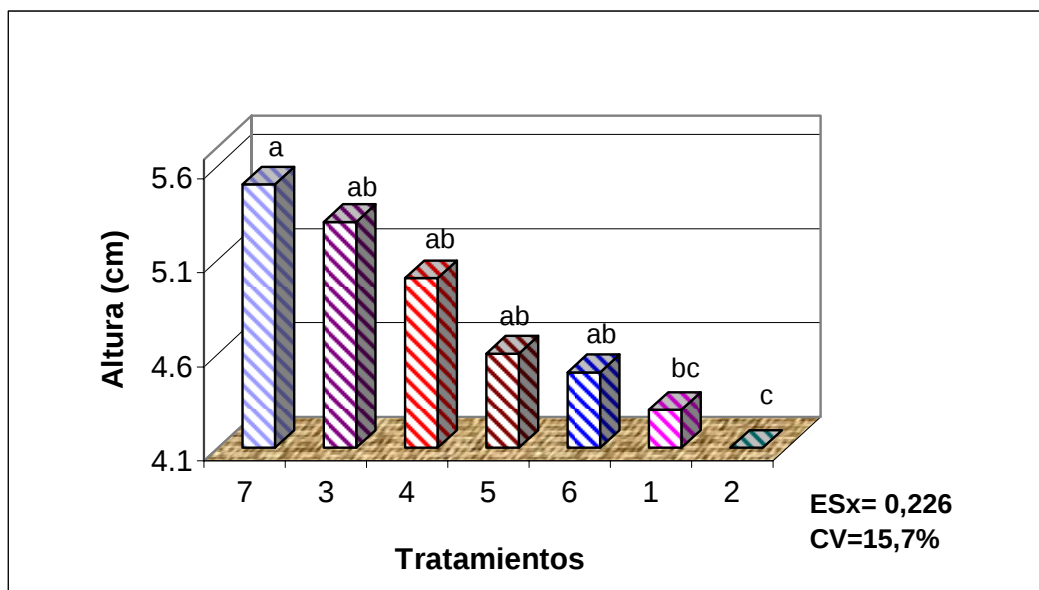
4.2 Segundo experimento

4.2.1 Influencia de los diferentes tratamientos sobre la planta indicadora

Este experimento, comparado con el anterior, según muestran los resultados, se llevó a cabo en diferentes condiciones respecto a la respuesta al fósforo o potasio, o a ambos. Si se comparan las Fig. 1-14 (primer experimento) con la 15-28 (segundo experimento) se observa que mientras que en el primer experimento el tratamiento NPK resulta generalmente con medias superiores al N, en el segundo experimento se comportan sin apenas diferencias entre ellos, lo que demuestra que para la planta en el primero había carencia natural de por lo menos uno de esos macronutrientes y que en el segundo no la había, es decir, eran suficientes para el cultivo. El análisis de suelo a continuación muestra al fósforo evaluable como suficiente a diferencia del experimento 1.

pH	P2O5 (mg/ 100g suelo)	K2O (mg/ 100g suelo)
8,2	5,4	25,4

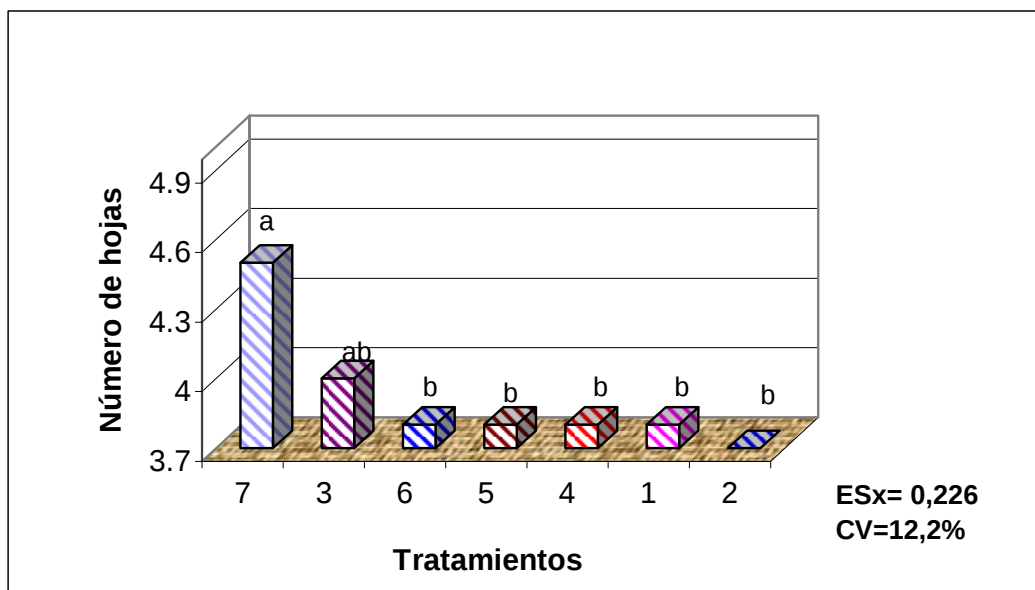
En el primer muestreo del segundo experimento el arropo más ceniza mostró las medias más altas de todas las variantes experimentadas, es decir, la ceniza fue eficaz, pero esta eficacia se vio favorecida por el arropo. Es conocido el efecto positivo que esta medida suele tener para la conservación de la humedad del suelo, la vida microbiana, etc., señaladas por diferentes autores (Cuéllar , 2002; Cuéllar y col., 2003), y el efecto que a su vez estos tendrían sobre la disponibilidad de los nutrimentos del suelo, no sólo sobre fósforo y potasio, sino también sobre otros nutrimentos o factores.



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arropo+N

Figura 15. Efecto de los tratamientos sobre altura de la planta (experimento 2, primer muestreo).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

Figura 16 Efecto de los tratamientos sobre número de hojas (experimento 2, primer muestreo).

Buerkert y col. (2000) y Gérard y col. (2001) comprobaron el aumento de la asimilabilidad del fósforo del suelo y de los rendimientos de las cosechas de sorgo y trigo en la zona del Sahel a causa del arrope de residuos de cosecha.

También se observa que aun la ceniza sola, aunque no exactamente igual, es bastante eficaz. Al no haber insuficiencia de PK hay que atribuir el efecto positivo al aporte que la ceniza hace de magnesio o de microelementos, o de ambos; o atribuirlo a otros factores: efecto sobre microorganismos del suelo, a propiedades físicas, etc. Estos suelos se caracterizan por una relación Ca/Mg muy elevada (Fundora y col., 1980) por lo que no sería raro que el aporte del segundo nutrimento mejore la nutrición de la planta. En cuanto a los micronutrientes, es menos probable un efecto positivo ya que si bien la ceniza los aporta, por otra, la elevación inicial del pH causada por ella perjudicaría la solubilidad de los mismos (Eisler- Loeberman, 2004). No obstante, no puede descartarse un efecto neto a favor del mejoramiento del suministro de los mismos, al predominar el efecto del aporte sobre el de la insolubilización.

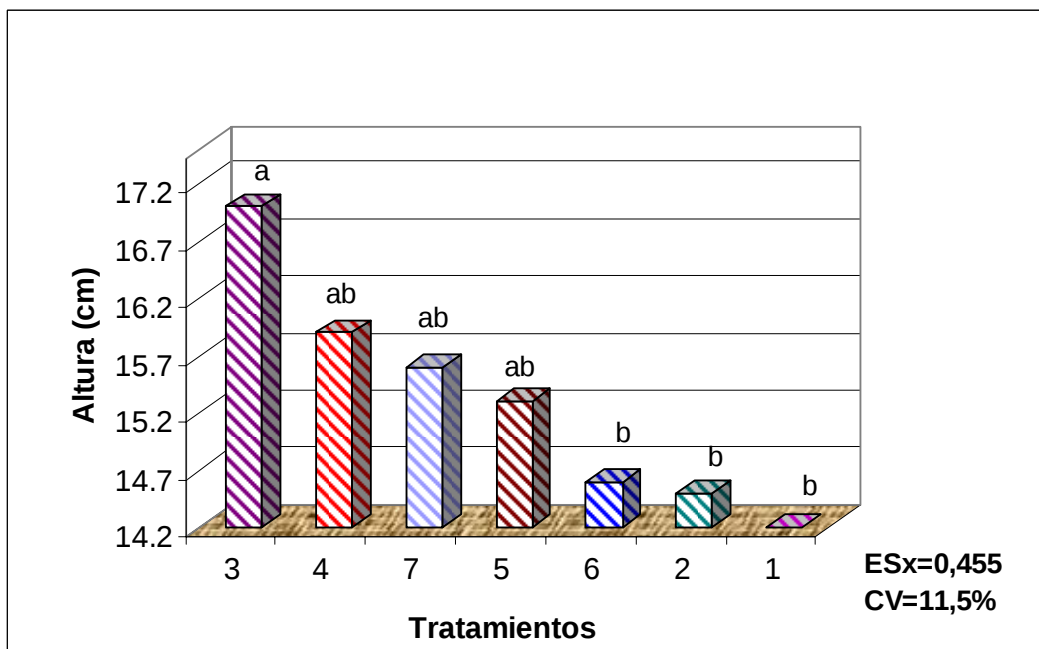
Este hallazgo es de sumo interés para el uso de ceniza en estos suelos muy poco fértiles ya que es un abono natural del que podrían esperarse múltiples beneficios y por lo tanto amplias posibilidades de uso ante diferentes situaciones de infertilidad, y no como generalmente se la considera a los efectos prácticos: portadora únicamente de fósforo y potasio (Cuéllar, 2002).

En los muestreos que siguen al primero, incluyendo el peso fresco (Fig.17-28) los resultados son en líneas generales semejantes, excepto que el arrope con ceniza ya no suele mostrarse superior a la ceniza sola, y que a partir del tercer muestreo la micorriza con nitrógeno se reafirma como uno de los mejores tratamientos. En las circunstancias de esta área de suelo la micorriza se muestra muy favorable, es decir, excepto nitrógeno, con el transcurso del tiempo logra suplir todas las carencias de los nutrimentos que pudieran mostrarse insuficientes, aunque sin superar a la ceniza sola ni con arrope (sobre todo en peso de la totalidad de la planta).

Esto demuestra nuevamente como las condiciones del suelo son decisivas para el efecto que las micorrizas puedan tener sobre las plantas.

En cuanto a que el arrope junto con la ceniza vaya perdiendo cierta importancia respecto a la ceniza sola se explicaría por la capacidad en aumento del sistema radical más desarrollado para aprovechar la ceniza. Con menores dosis de ceniza podría esperarse un efecto más sostenido del arrope por las mismas razones expuestas en el primer experimento al discutir el efecto inicial positivo de la micorriza respecto a ceniza.

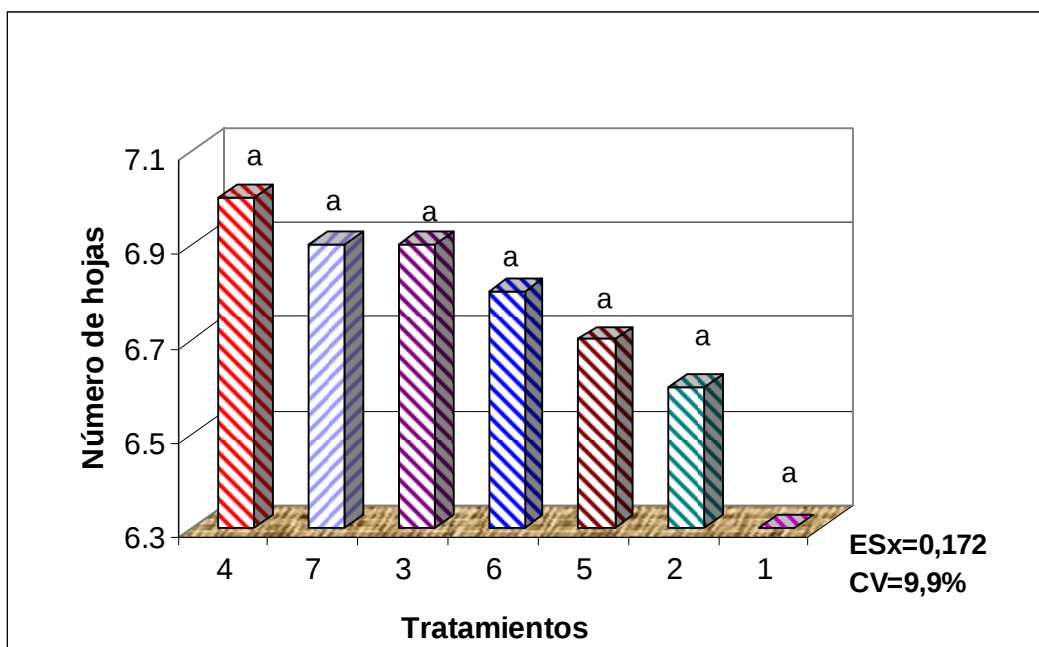
Es necesario subrayar el hecho de en prácticamente todas las evaluaciones, incluyendo el peso total de la planta los tratamientos N (1) y NPK (2) resultan los peores, ya que no es necesario aporte alguno de PK al suelo y todos los demás tratamientos, excepto micorriza sola (tratamiento 5), incluyen la aplicación de nitrógeno. A este respecto resulta interesante observar como la micorriza sola, al parecer suministra nitrógeno al vegetal, aunque no se equipara en cuanto a lo que la ceniza puede aportar de otros nutrimentos (tal vez magnesio y microelementos) a este suelo.



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

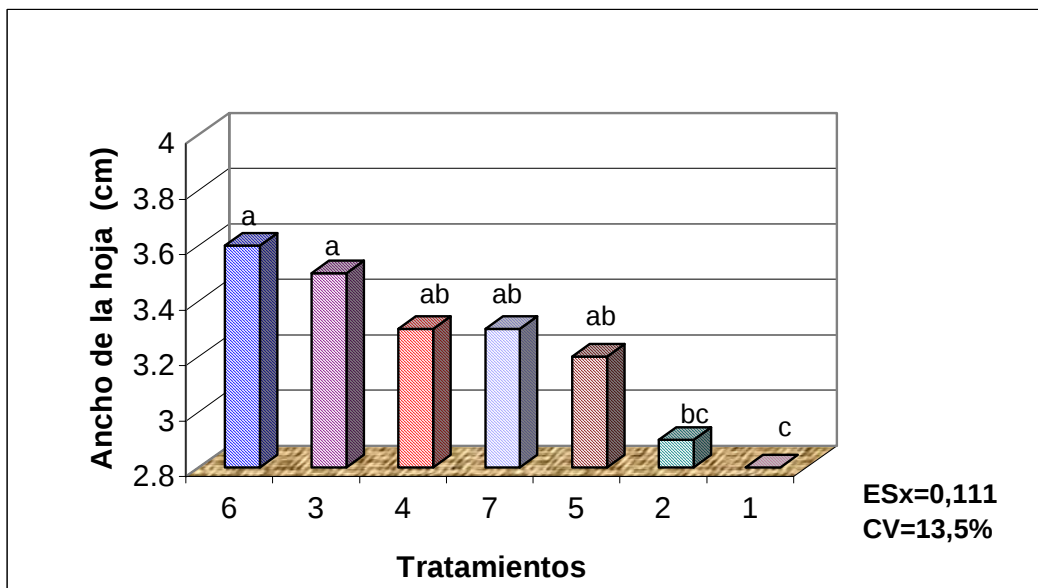
Figura 17. Efecto de los tratamientos sobre la altura (experimento 2, segundo muestreo)



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

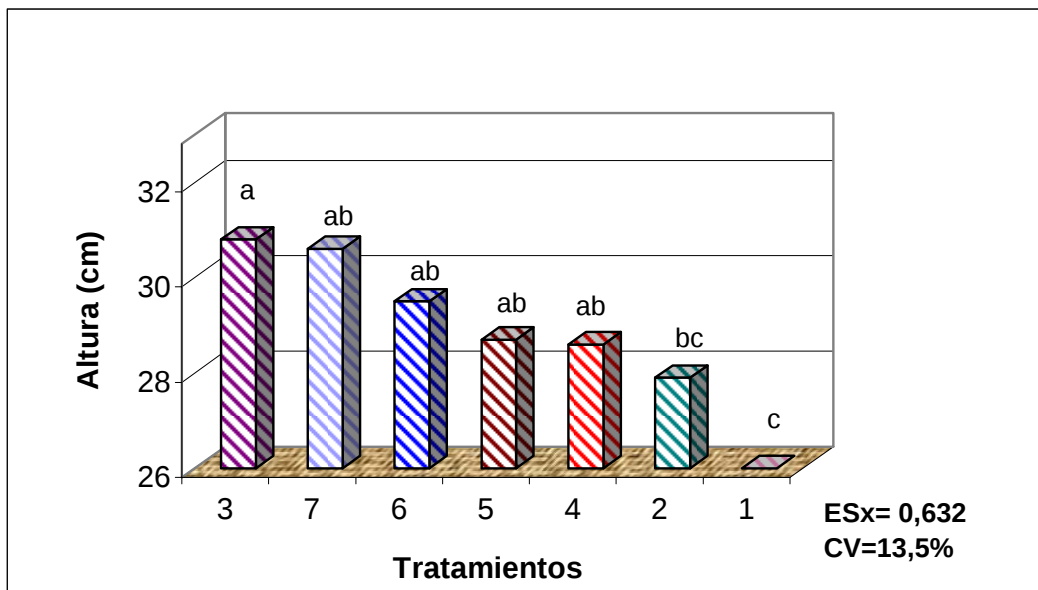
Figura 18. Efecto de los tratamientos sobre número de hojas (experimento 2, segundo muestreo).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

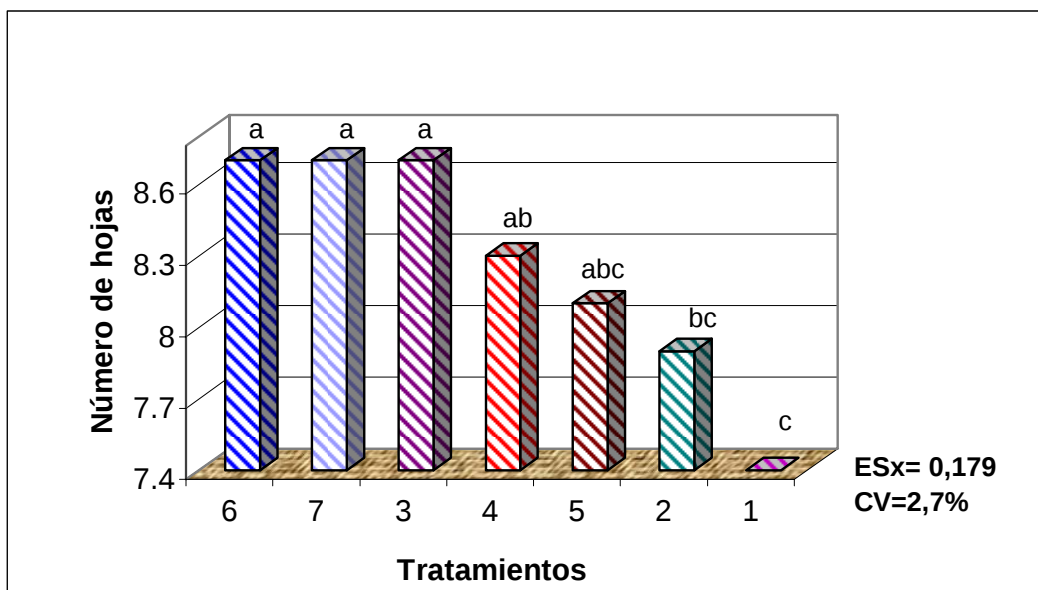
Figura 19. Efecto de los tratamientos sobre el ancho de la hoja (experimento 2, segundo muestreo).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

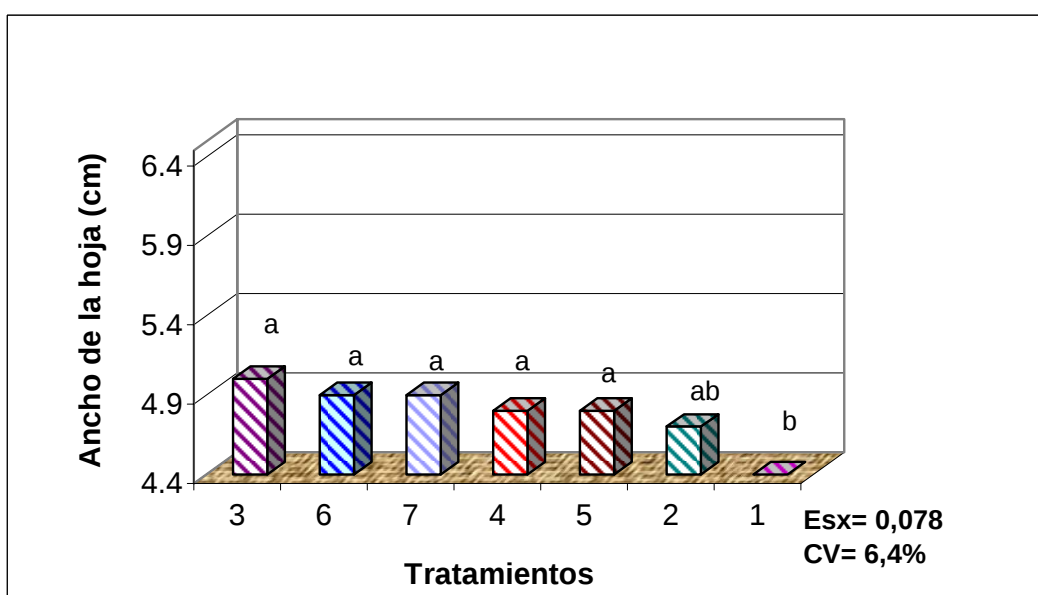
Figura 20. Efecto de los tratamientos sobre altura (experimento 2, tercer muestreo).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

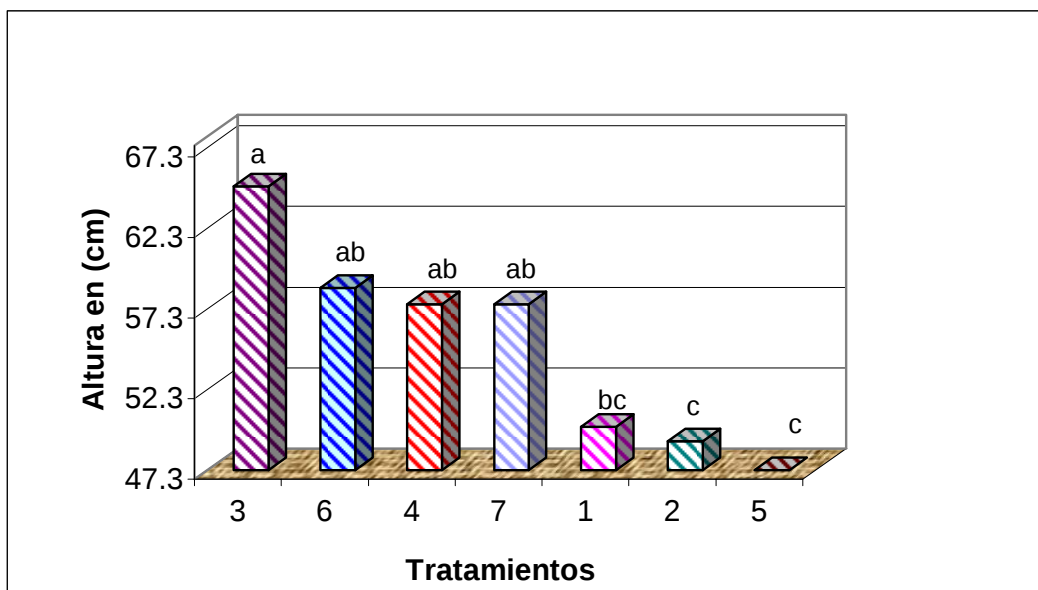
Figura 21. Efecto de los tratamientos sobre número de hojas (experimento 2, tercer muestreo).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

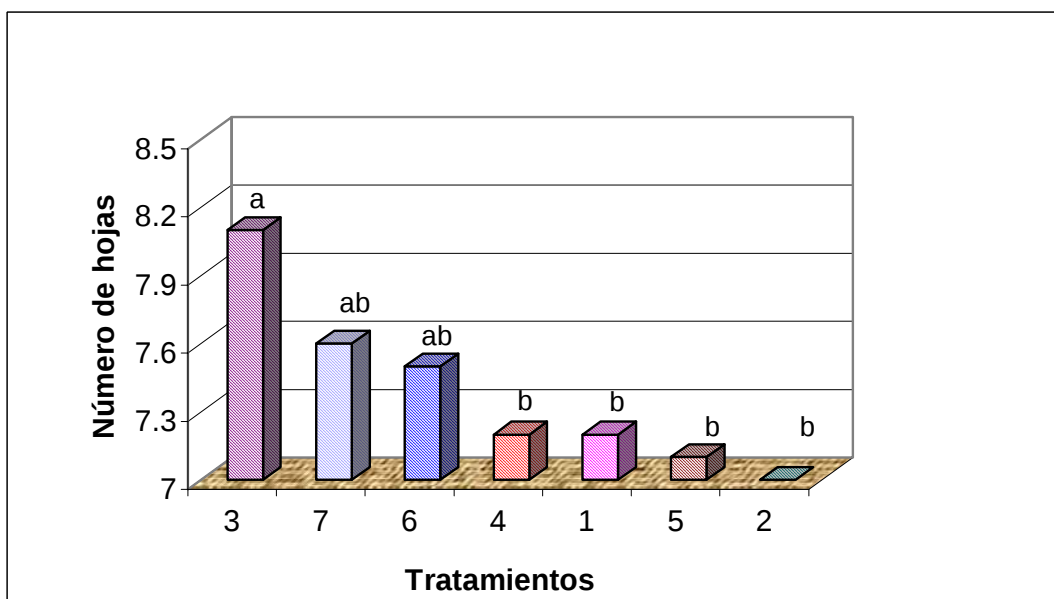
Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

Figura 22. Efecto de los tratamientos sobre ancho de la hoja (experimento 2, tercer muestreo).



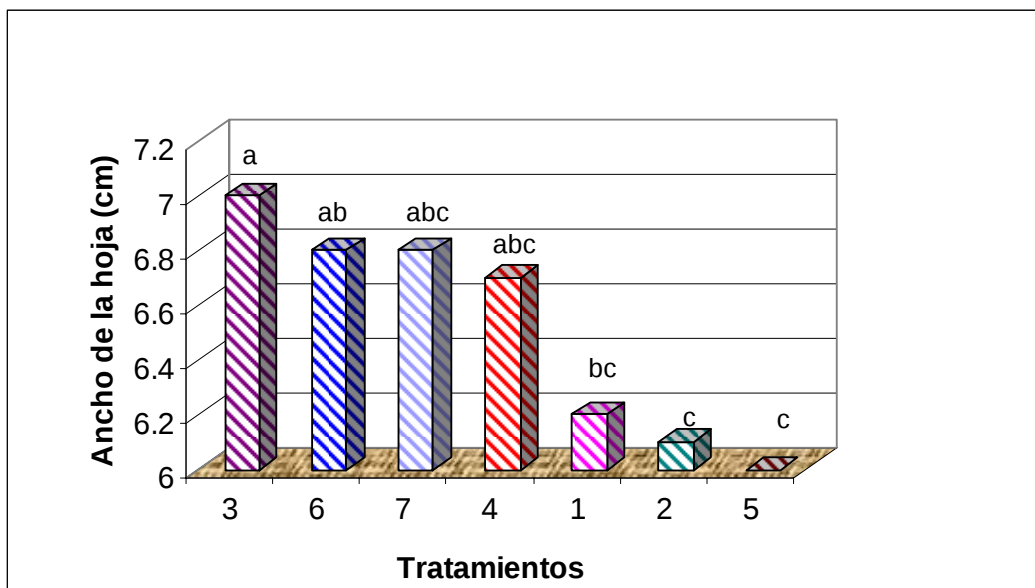
Medias con letras distintas corresponden a las diferencias de las medias de rango (Kruskal Wallis) según prueba múltiple de rangos para $p < 0,05$. Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

Figura 23. Efecto de los tratamientos sobre la altura (experimento 2, cuarto muestreo).



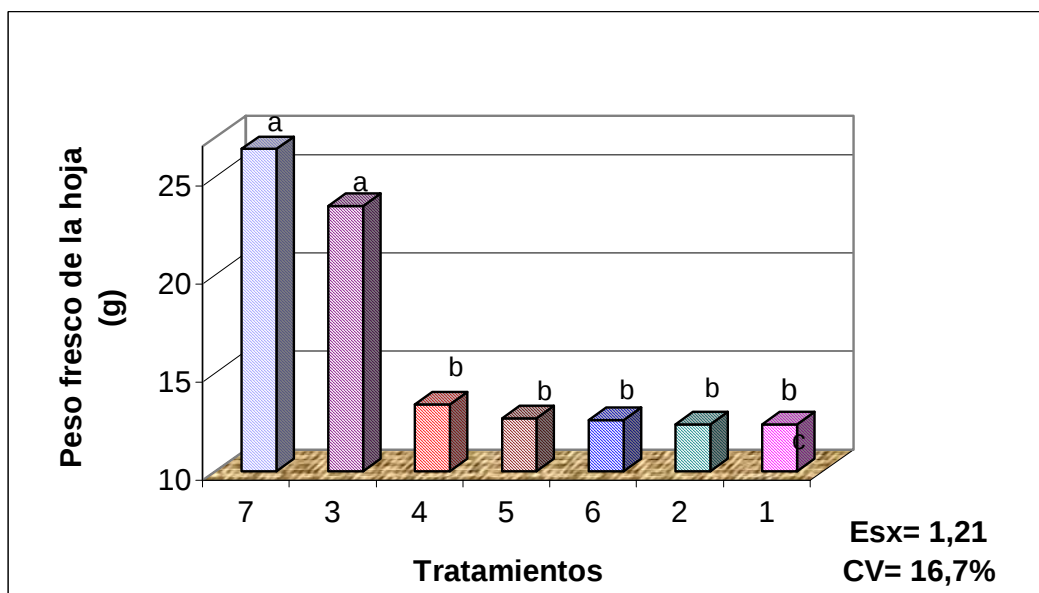
Medias con letras distintas corresponden a las diferencias de las medias de rango (Kruskal Wallis) según prueba múltiple de rangos para $p < 0,05$. Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

Figura 24. Efecto de los tratamientos sobre número de hojas (experimento 2, cuarto muestreo).



Medias con letras distintas corresponden a las diferencias de las medias de rango (Kruskal Wallis) según prueba múltiple de rangos para $p < 0,05$. Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7Ceniza+.Arrope+N

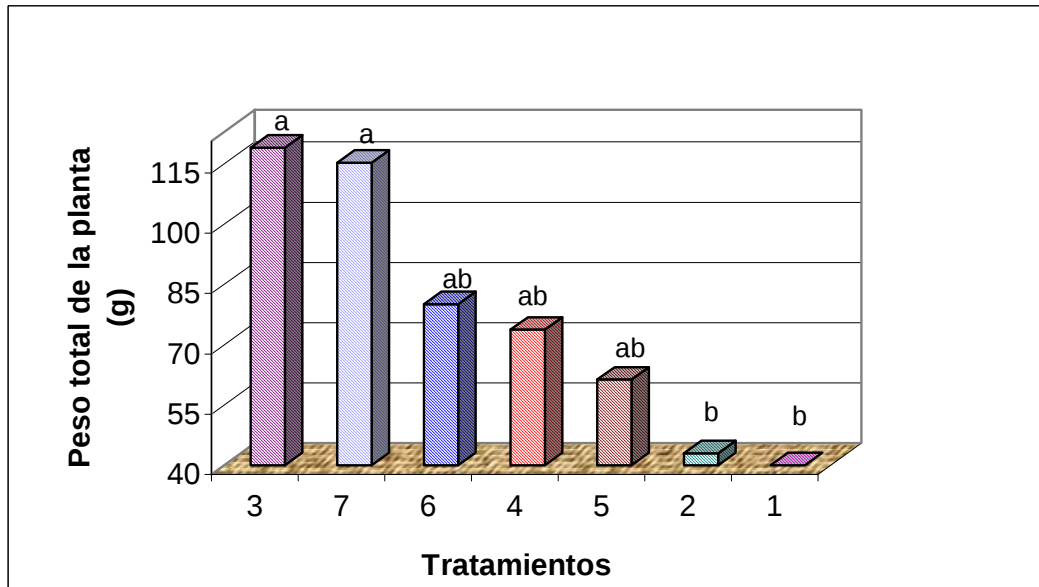
Figura 25. Efecto de los tratamientos sobre el ancho de la hoja (experimento 2, muestreo 4)



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7Ceniza+.Arrope

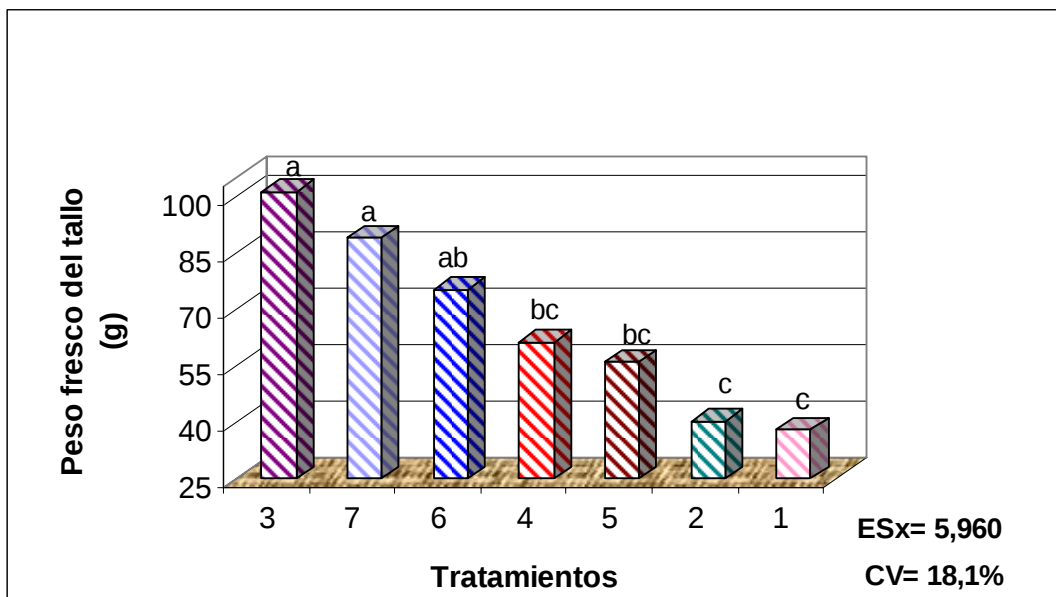
Figura 26. Efecto de los tratamientos sobre peso fresco de las hojas (experimento 2, muestreo final).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

Figura 27. Efecto de los tratamientos sobre peso fresco del tallo (experimento



2, muestreo final)

Medias con letras distintas corresponden a las diferencias de las medias de rango (Kruskal Wallis) según prueba múltiple de rangos para $p < 0,05$. Tratamientos: 1. N; 2. NPK; 3. Ceniza+N; 4. Ceniza+Mic.+N; 5. Mic.; 6. Mic+N; 7. Ceniza+.Arrope+N

Figura 28 Efecto de los tratamientos sobre peso total de la planta (experimento 2, muestreo final)

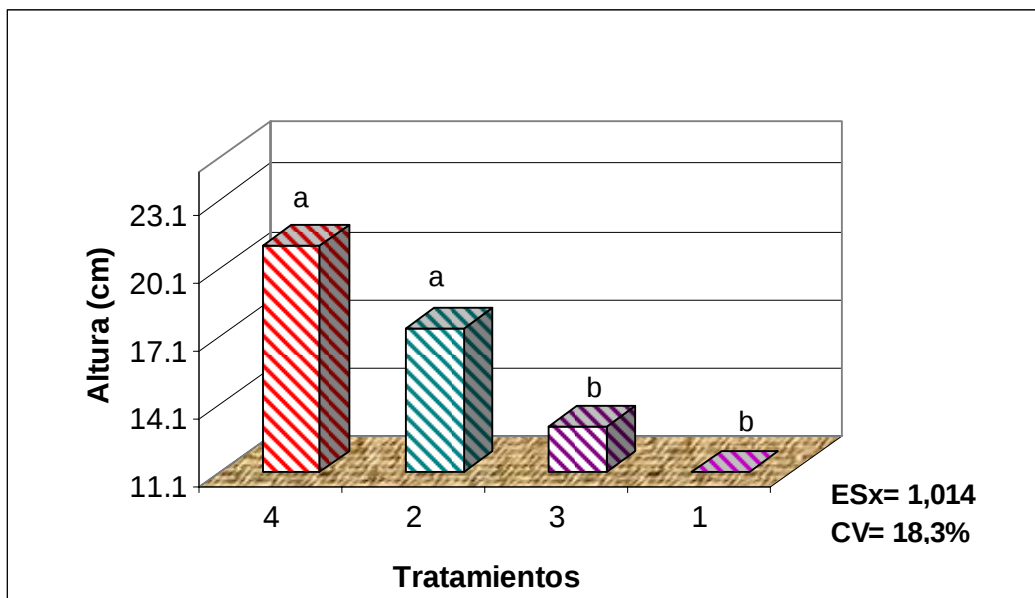
4.3 Tercer experimento

4.3.1 Influencia de los diferentes tratamientos sobre la planta indicadora

Los resultados de esta investigación, más simple en cuanto a objetivos y variantes que las anteriores, demuestran (Figuras 29-31), sobre todo en el segundo muestreo, que la ceniza acompañada de micorriza resultó superior, tanto a la ceniza como a la micorriza solas, respectivamente. El análisis de suelo arrojó los siguientes resultados:

El fósforo según Oniani: 8 mg P_2O_5 /100g suelo (insuficiente según Lugo, 2005) y el potasio 31 mg K_2O /100g suelo (alto contenido, según Lugo, 2005) pH en KCl de 6,6.

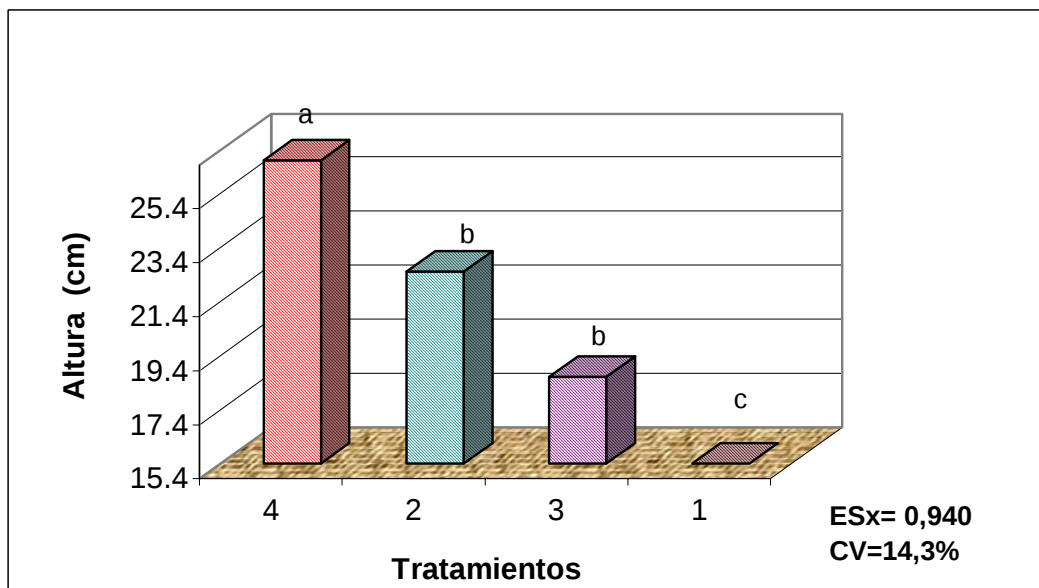
Las Figuras muestran como en otras condiciones de suelo, Pardo Sialítico mullido medianamente lavado (áreas con relativamente poca pendiente, poca erosión, mayor fertilidad) la micorriza si favoreció hasta el último muestreo (4 semanas después de la siembra) el aprovechamiento de la ceniza, lo que se refleja en los indicadores considerados. Puede pensarse en la posibilidad antes apuntada de la influencia diferente del suelo de esta área respecto al del primer experimento sobre la efectividad de esa cepa de micorriza.. Numerosos autores han demostrado que las condiciones ambientales, entre ellas las características del suelo, influyen decisivamente en la eficacia de las micorrizas (Rivera y col., 2001; Ruiz, 2001; Sánchez, 2001).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1 testigo absoluto; 2 Micorriza; 3. Ceniza 4. Ceniza+Micorriza

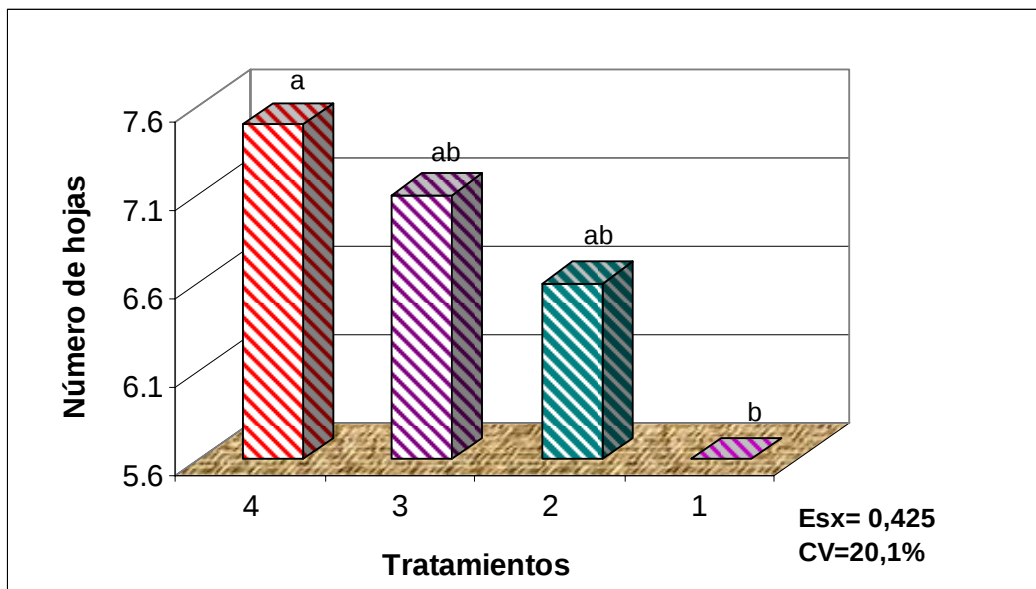
Figura 29. Efecto de los tratamientos sobre la altura (experimento 3, primer muestreo).



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1 testigo absoluto; 2 Micorriza; 3. Ceniza 4. Ceniza+Micorriza

Figura 30. Efecto de los tratamientos sobre la altura (experimento 3, muestreo 2)



Medias con letras distintas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey (HSD)

Tratamientos: 1 testigo absoluto; 2 Micorriza; 3. Ceniza 4. Ceniza+Micorriza

Figura 31. Efecto de los tratamientos sobre el número de hojas (experimento 3, muestreo 2)

A continuación se muestran algunos análisis del suelo de esta área (Tabla 1 y 2), lo que unido a la observación de características morfológicas, como son la mayor profundidad efectiva, color pardo muy oscuro del primer horizonte, además de sin reacción al clorhídrico y pocas señales de erosión resultante de la relativamente suave pendiente, confirman las diferencias entre ambas áreas respecto al suelo y por lo tanto en relación con el comportamiento de esa cepa de micorriza.

4.4 Influencia de los tratamientos sobre características químicas del suelo en los experimentos (1 y 2)

4.4.1 Influencia sobre la reacción del suelo

El suelo de los experimentos 1 y 2 muestra un elevado valor de pH (8,1-8,2), acorde con su condición calcárea (Tabla 1 y 2) el cual no es alterado por ninguna de las variantes investigadas. Es posible que haya habido un efecto inmediato de la ceniza elevando el pH localizadamente en la zona de aplicación, lo cual debió de haber desaparecido en breve lapso a causa del poder amortiguador del suelo y tal vez por otras reacciones implicadas. Es conocida la abundante presencia de arcillas de tipo 2:1 en estos suelos Pardos Sialíticos, caracterizadas por una capacidad de intercambio catiónico (Cairo y Fundora, 1994) y por tanto con alta capacidad amortiguadora ante cambios que puedan afectar la reacción del suelo.

Tabla 1. Efecto de los tratamientos sobre características químicas del suelo (experimento 1)

4	8,2	55,9	10,3	36,3
Tratamiento	pH(4Cl)	P ₂ O ₅ Oniani 46,7 mg/100g	P ₂ O ₅ Machiguin 7,4 mg/100g	K ₂ O Oniani 25,3 mg/100g
5	8,1	41,1	6,5	29,8
6	8,2	21,0	3,9	23,5
1				
2	8,2	51,1	8,2	33,3
3	8,2	53,7	8,9	39,2

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre características químicas del suelo (experimento 2)

Tratamiento	pH (KCl)	P ₂ O ₅ Oniani mg/100g	P ₂ O ₅ Machiguin mg/100g	K ₂ O Oniani mg/100g
1	8,2	34,9	5,4	24,4
2	8,2	52,0	8,3	30,7
3	8,2	57,3	9,1	38,2
4	8,2	64,7	10,1	35,4
5	8,1	36,7	5,8	26,1
6	8,1	47,9	7,6	27,1
7	8,2	50,7	9,3	31,6

4.4.2 Influencia sobre el fósforo del suelo

Respecto al fósforo del suelo hay una fuerte influencia de los tratamientos sobre su contenido aunque no siempre igual en ambos experimentos.

Se observa el mayor efecto causado por los tratamientos que comprenden ceniza (3, 4 y 7), seguidos por el que incluyó fósforo inorgánico (tratamiento 2).

El aporte de fósforo realizado por las 10 t de ceniza es elevado aunque todo no sea en forma acuosoluble, y esto se refleja en la acción de dos soluciones extractivas de diferentes métodos: Según Oniani y según Machiguin, respectivamente.

Después de los tratamientos anteriores, aparece el tratamiento 2 respecto a la cuantía del aumento de fósforo en relación con el testigo. Este fósforo es aportado como superfosfato triple, el cual debe de sufrir una fuerte fijación en las condiciones calcáreas de este suelo (Arzola y Fundora, 2007).

Por último, el menor aumento corresponde a los tratamientos 5 y 6, aunque notable por corresponder a las variantes que incluyen micorrizas excluyendo cualquiera de los abonos que contenían fósforo aplicados en este trabajo. Como ya se discutió es probable que determinados grupos funcionales de microorganismos asociados a la hifosfera del hongo micorrícico puedan

aumentar indirectamente la solubilización de fosfatos mediante la activación del complejo enzimático de las fosfatasas (Meyer y Linderman, 1986). Piccini y col. (1988) encontraron asociación entre microorganismos solubilizadores de fósforo y hongos formadores de micorrizas arbusculares. Más adelante se expondrá como los resultados del presente trabajo demuestran aumento de las bacterias solubilizadoras de fosfatos en el suelo donde se aplicó micorriza.

4.4.3 Influencia sobre el potasio del suelo

En la Tabla se muestra como los tratamientos que aportan ceniza (3 y 4 en los dos primeros experimentos y 7 del segundo) son los que en general hacen un mayor aporte de potasio asimilable del suelo, aunque también es muy patente el influjo del cloruro de potasio aplicado en la variante 2.

Las variantes que no aportan potasio no han aumentado o lo han hecho en muy pequeño grado el contenido de este macronutriente en el suelo.

4.4.4 Influencia sobre los microorganismos del suelo (experimento 2)

Lo más notable en cuanto a la influencia de los diferentes tratamientos sobre los microorganismos del suelo se expone a continuación:

La Tabla 3 muestra que las variantes que incluyen ceniza (tratamiento 3 y 4) tienen la mayor influencia sobre las bacterias solubilizadoras de fosfatos. Probablemente la ceniza aporte nutrientes no presentes en concentraciones suficientes para las bacterias en el suelo; en cuanto a la micorriza anteriormente se expuso la influencia positiva que estas pueden tener sobre las bacterias solubilizadoras de fosfatos ((Meyer y Linderman, 1986; Piccini y col., 1988), pero en este caso no ha superado a la ceniza sola.

Todos los tratamientos aumentan el Azotobacter sobre el testigo, pero el más notable resulta el que incluye ceniza y micorriza. Esta influencia de la micorriza se ha reportado en la literatura existente (Fernández Martín, 2002).

También el tratamiento 4 manifiesta cierta influencia sobre los hongos si se compara con el testigo; aparte de cualquier efecto indirecto, la propia micorriza, obviamente, es un hongo.

Tabla 3. Influencia de las variantes investigadas sobre los microorganismos del suelo (u.f.c. /g suelo)

Trata- miento	Bacterias***	B S F**	Azotobacter *	Hongos**	Actinomi- cetos**
T -1	5.3×10^7	1.9×10^5	9×10^3	3×10^5	9.9×10^5
T - 7	4.5×10^7	1.4×10^5	1.1×10^4	1.5×10^5	8×10^5
T - 3	5.6×10^7	4×10^5	1.2×10^4	3.4×10^5	7.3×10^5
T - 4	4.9×10^7	3.5×10^5	5.5×10^5	3.8×10^5	8.2×10^5

Conclusiones

- La ceniza resultó un fertilizante eficaz aún en condiciones de suelo calcáreas y por lo tanto de pH elevado (8,2-8,3).
- En un suelo deficiente en fósforo la ceniza se mostró tan eficaz o aún superior a la fertilización con superfosfato en la respuesta de la planta indicadora.
- En un suelo sin insuficiencia de fósforo ni potasio la ceniza provocó una reacción muy positiva en la planta, al parecer, por aporte de otros nutrimentos insuficientes (magnesio y/o microelementos) o por favorecer otras características o condiciones del suelo.
- La ceniza no ocasionó aumentos en los valores del pH del suelo calcáreo, pero si lo hizo de modo notable respecto a fósforo y potasio.
- La ceniza favoreció la población de microorganismos del suelo como las bacterias solubilizadoras de fósforo y el Azotobacter.
- La micorriza se mostró muy dependiente de las condiciones de suelo en cuanto a su efectividad sobre la planta.
- La micorriza contribuyó de manera apreciable, aunque mucho menor que la ceniza y el abonado mineral, al contenido de fósforo del suelo.
- En condiciones no calcáreas de suelo, con pH neutro y con fertilidad general mayor que en suelos Pardos Sialíticos calcáreos y muy erosionados la micorriza se mostró mucho más eficaz en su efecto sobre la planta.

- En condiciones de suelo de una aceptable fertilidad, excepto insuficiencia de fósforo, la micorriza contribuyó notablemente a que la planta hiciera un uso más eficaz del fósforo de la ceniza y del propio suelo, además de otros beneficios posibles.
- La micorriza se mostró muy favorable combinada con la ceniza en cuanto a favorecer la población de Azotobacter.
- El arroje sólo se mostró favorable en estadios muy tempranos del cultivo.

Recomendaciones

- Investigar diferentes dosis de ceniza, sobre todo menores, en diferentes condiciones de suelo.
- Continuar investigando la combinación de diferentes dosis de ceniza con distintos medios y medidas que pudieran contribuir a un mejor aprovechamiento de ella, más allá de los estudiados en el presente trabajo.
- Estudiar otras cepas de micorriza para condiciones de suelo con grandes limitantes como los de esta investigación.

Bibliografía

- Anónimo (2001): (fecha de acceso: 7 de febrero de 2004): Fuentes de contaminación de nitratos y otros compuestos nitrogenados. Miliarium Aureum, S.L. (en línea). URL disponible en: <http://www.miliarium.com/Monografias/Nitratos/Fuentes.asp>.
- Arzola, N. y O. Fundora (2007): Manejo ecológico de la fertilidad del suelo. Texto para la Maestría de Agricultura Sostenible, Universidad de Cienfuegos, soporte digital
- Arzola, N., A. Menéndez, M. De León, E. García, A. Cabrera (1998) Bases para el empleo de fertilizantes y enmiendas. En: Elementos básicos sobre suelo y uso de fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar, pp. 37-132.
- Baker, T. (1994): Musanews. Rev. InfoMusa 3(2): 28.
- Barea, J. M. y col. (1991): Morfología, anatomía y citología de las micorrizas VA. En: Fijación y movilización de nutrientes. Madrid. Tomo II, pp. 150-173.
- Barros, A. (1987): Micorrizas vesículo arbusculares em cafeeiros da região sul do estado de Minas Gerais. Tesis presentada para optar por maestría, Lavras, Minas Gerais, 97 pp.
- Buerkert, A., A. Bantiono, K. Dossa,. (2000): Mechanism of residue mulch induced cereal growth increases in West Africa. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 346-358.
- Cairo, P. (2008): Comunicación personal
- Cairo, P. y O. Fundora (1994): Edafología. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 476 pp.
- Chaves, O. (2007) comunicación personal.
- De la Noval, Blanca; J. F. Delgado; V. Olalde y N. Martínez (2002): Inducción de proteínas relacionadas con partogenecidad por micorrizas arbusculares y sistemina. Resúmenes del XIII Seminario Científico. INCA, La Habana, p.128.

- Eichler-Loebermann (2004): Möglichkeiten zur Einflussnahme auf Phosphorkreisläufe für die Gestaltung nachhaltiger Bodennutzungssysteme. Tesis para la obtención del grado académico de doctor agriculturae habilitatus (Dr. agr. habil.). Facultad de Ciencias Agrarias y del Medioambiente Universidad de Rostock, 179 pp
- Eichler-Loebermann, B. (2008). Comunicación personal
- Estación Experimental del Zaidín, Granada (2002): (fecha de acceso 06/03/2007): Expertos aplican las cenizas procedentes de biomasa como fertilizantes para los suelos. (en línea) disponible en: <http://www.agroinformacion.com/leer-noticia.aspx?not=37353>
- Etiégni L., A.G. Campbell., (1991): Physical and chemical characteristics of wood ash. Bioresour. Technol.37, 173-178.
- Etiégni L., A.G. Campbell., A.G., Mahler, R.L. (1991): Evaluation of wood ash disposal on agricultural land:I. Potential as a soil additive and liming agent. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22, 243-256.
- Fernández, F. (1999): Manejo de las asociaciones micorrícicas arbusculares en la producción de postura de cafeto. Tesis de doctorado, INCA, Cuba, 190 pp.
- Fernández Martín, F. (2003): La simbiosis micorrícica arbuscular. En: El manejo efectivo de la simbiosis micorrícica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. Editores: Rivera, R. y Fernández, K. Ediciones INCA, La Habana, 166 pp.
- Finck, A. (1982): Fertilizar and Fertilization. Introduction and Practical Guide to Crop Fertilization, Verlag Chemie- Weinheim- Deerfield Beach, Florida-Basilea, 234 pp.
- Fundora, O.; N. Arzola; J. Machado (1980): Agroquímica. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 267 pp.
- Fundora, O. y O. Yepis (2000): Ahorro de fertilizantes y prevención de la contaminación ambiental. Forum de Ciencia y Técnica, Santa Clara. 25 pp.

- García, E. (1987): Efectividad de la fertilización con NPK en caña de azúcar sobre suelos Pardos con carbonatos de la provincia de Camaguey. Tesis de doctor en Ciencias Agrícolas, 118 pp
- George, E.; Marshner, H.; I. Jakobsen, y col., (1995): Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soils. *Cri. Rev. Biotechnology* 15:257-270.
- Gérard, B.; P., Hiernaux,; B. Muehlig-Versen, A. Buerkert (2001): Destructive and non-destructive measurements of residual crop residue and phosphorus effects on growth and composition of herbaceous fallow species in the Sahel. *Plant Soil* 228: 265-273.
- HELCOM, (1997) :Report on the evaluation of the relation of atmosphere deposition to riverine input of nitrogen to the Baltic Sea. *Envirom. Proc.* No. 68.
- Hogarth, D. M. y P. G. Allsopp (2000): Manual of cane growing. Brisbane 463 pp.
- Jaizme-Vega M. C. y A. S. Rodríguez Romero (2004) (fecha de acceso: 7 de febrero de 2005): Aplicaciones de micorrizas sobre el cultivo de platanera. Avances. (en línea) disponible en: <http://www.agroecologia.net/hacemos/micobana.pdf>
- Koide R. T. (1991): Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytol.* 117: 365-386
- Kremser, U.; E. Schnug (2001): Fertilizer use and protection of water bodies. *Fertilization in the Third Millenium- Fertilizar Food Security and Environmental Protection. 12th Int. World Fertilizer Cogress*, China, Proceedings, Vol.I, pp.16-32.
- Linderman, R. G. (1992): Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. En: *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. Eds.: Bethlenfalvay, G. J. y R. G. Linderman. Special Publication 54. ASA, Madison, Wise. Pp. 45-70.
- López, M.(1990): Comunicación personal

- Lugo, I. (2005): Posibilidades de ahorro de fertilizantes y disminución de la contaminación ambiental en Empresas de Cultivos Varios. Trabajo de diploma. Fac. Cienc. Agropec., Universidad centra de Las Villas, 67 pp.
- Mayea, S. y col. (1982): Introducción a la Microbiología del Suelo. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 197pp.
- Rivera R. y K. Fernández, (2003): Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. En: El manejo efectivo de la simbiosis micorrícica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. Eds.: Rivera, R. y Fernández, K. Ediciones INCA, La Habana, 166 pp.
- Rivera, R. y K. Fernández (2003): Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. En: El manejo efectivo de la simbiosis micorrícica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. Rivera, R. y Fernández, K. Ediciones INCA, La Habana, 166 pp.
- Ruiz L. (2001): Efectividad de las asociaciones micorrícicas en especies vegetales de raíces y tubérculos en suelos Pardos y Ferralíticos rojos de la región central de Cuba. Tesis de doctorado. INCA, Cuba, 95 pp.
- Ruiz, L. y J. M. Portieles (1985): Estudio de la interacción de NPK sobre los rendimientos del boniato (*Ipomea batatas* Lam.) en la época de primavera. Ciencia Téc. Agric. V. Trop. 8 (2). 53-69.
- Ruiz-Losano, J.M. y R. Azcón (1995): Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plantas as affected by the fungal species and water status. *Physiologia Plantarum* 95: 472-498
- Sánchez, C. (2001): Manejo de las asociaciones micorrícicas arbusculares y abonos verdes en la producción de posturas de cafeto en algunos tipos de suelo. Tesis de doctorado. INCA, Cuba, 105 pp.
- Schultz, D. (1999): Potentials to decrease nitrogen emissions from agriculture into the environment . The Nitrogen Production Programme in the. Federal Republic of Germany, pp 90-99.
- Simó, J. (2008): Comunicación personal.

- Sieverding, E. (1991): Vesicular arbuscular mycorrhiza in tropical agrosystem. Deutsche Gessellschaft fuer technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, Alemania, 371 pp.
- Sieverding, E. y A. L. Gálvez (1988): Soil and phsphate sources affect performance of va mycorrhizal fungi with cassava. Angew. Botanik 62: 273-293
- Solla-Gullón, F., R. Rodríguez-Soalleiro, A. Merino (2001): Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio Prod. Prot. Veg. Vol. 16 (3): 27-32.
- Someshwar, A. V., 1996. Wood and combination wood-fired boiler ash characterisation. J. Environ. Qual. 25, 962-972.
- Stranack, R. (1998): The benefits of trashing. The Link, SASA Experimental Station, 8(3): 1.
- Thomas, W.; Mack, W. y Smith, C.B. (1953): Leaf concentrations of five elements in relation to optimum nutrition of a number of horticultural crops. Penn. State College Agric. Exp. Sta. Bull. 564.
- Trappe, J.M. (1987): Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolucionary standpoint. En: Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Eds.: Safir, G. R. CRC press. Boca Raton. Pp. 5-25.
- Tisdal, J. M. (1991): Fangal hyphae and structural stability of soli. Aus. J. Soil Re. 29: 729-743.
- Vance, E.D. (1996): Land application of wood-fired and combination boiler ashes: an overview. J. Environ. Qual. 35, 937-944.

Tabla 1. Medias de rango (Kruskal Wallis) de la altura de la planta,
experimento 2, muestra 4

Tratamientos	Medias de rango	
3	90.5	a
6	67.2	ab
4	63.7	ab
7	63.3	ab
1	34.1	bc
2	29.3	c
5	22.9	c

Medias de rango con letras distintas difieren según prueba múltiple de rangos para $p < 0.05$

Tabla 2. Medias de rango (Kruskal Wallis) del número de hojas de la planta,
experimento 2, muestro 4

Tratamientos	Medias de rango	
3	85	a
7	65.4	ab
6	58.5	ab
4	44.8	ab
1	44.8	bc
5	37.9	c
2	34.5	c

Medias de rango con letras distintas difieren según prueba múltiple de rangos
para $p < 0.05$

Tabla 3. Medias de rango (Kruskal Wallis) del ancho de la hoja, experimento 2, muestro 4

Tratamientos	Medias de rango	
3	84.0	a
6	66.5	ab
7	63.6	ab
4	52.5	b
1	42.0	c
2	31.5	c
5	31.5	c

Medias de rango con letras distintas difieren según prueba múltiple de rangos para $p < 0.05$

Tabla 4. Medias de rango (Kruskal Wallis) del peso fresco total de la planta,
experimento 2,

Tratamientos	Medias de rango	
7	30.2	a
3	29.6	a
6	21.8	ab
4	19.1	ab
5	14.3	ab
2	6.0	b
1	5.0	b

Medias de rango con letras distintas difieren según prueba múltiple de rangos
para $p < 0.05$

