

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Evaluación de fuentes y niveles de calcio (Ca) y magnesio (Mg) para corregir la disponibilidad de esos elementos en un suelo andisol de la costa sur de Guatemala con desbalance en las bases debido a excesos de potasio (K) por aplicaciones continuadas de vinaza

Trabajo de graduación presentado por

Kelly Margarita Oliva Aguilar

para optar al grado académico de licenciada en ingeniería en Tecnología Agrícola y Pecuaria

Guatemala

2018



Evaluación de fuentes y niveles de calcio (Ca) y magnesio (Mg) para corregir la disponibilidad de esos elementos en un suelo andisol de la costa sur de Guatemala con desbalance en las bases debido a excesos de potasio (K) por aplicaciones continuadas de vinaza

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Evaluación de fuentes y niveles de calcio (Ca) y magnesio (Mg) para corregir la disponibilidad de esos elementos en un suelo andisol de la costa sur de Guatemala con desbalance en las bases debido a excesos de potasio (K) por aplicaciones continuadas de vinaza

Trabajo de graduación presentado por

Kelly Margarita Oliva Aguilar

para optar al grado académico de licenciada en ingeniería en Tecnología Agrícola y Pecuaria

Guatemala

2018

Vo: Bo.:

(f)   
Ing. Agr. Fernando Hernández Hernández  
Asesor

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Agr. Fernando Hernández Hernández

(f)   
Ing. Agr. Elmer Vitelio Salazar  
Director de la Facultad de Ingeniería Agrícola

(f)   
Ing. Agr. Braulio Villatoro Villatoro

Fecha de aprobación: Guatemala, 18 de Enero de 2018

# CONTENIDO

Lista de cuadros.....	vii
Lista de figuras.....	viii
Lista de ilustraciones.....	ix
Resumen.....	x
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	2
A. General.....	2
B. Específicos.....	2
III. Justificación.....	3
IV. Marco teórico.....	4
A. Caña de azúcar.....	4
B. Requerimientos de nutrientes de la caña de azúcar.....	7
C. Capacidad de intercambio iónico del suelo.....	10
D. Sorgo.....	11
E. El método del cultivo intensivo en macetas para el estudio de la fertilidad de suelos.....	13
F. Vinaza.....	13
G. Fuentes de calcio y magnesio.....	14
H. Suelo andisol.....	15
V. Marco referencial.....	16
VI. Marco metodológico.....	19
A. Recursos.....	19
B. Diseño de tratamientos.....	20
C. Diseño experimental.....	21
D. Suelos utilizados en el estudio.....	23
E. Fuentes de Ca y Mg.....	23
F. Nutrientes de base.....	25
G. Manejo del experimento.....	27
H. Variables de respuesta.....	32
I. Análisis estadístico.....	33
VII. Resultados.....	34
VIII. Discusión de resultados.....	37

A.	Efecto de los suelos con diferentes niveles de k y diferentes relaciones de base.....	37
B.	Efecto de las fuentes de Ca Y Mg .....	40
C.	Efecto de las dosis Ca y Mg en la absorción de Mg por la planta.....	43
D.	Efecto de las interacciones en los factores suelo x fuente x dosis.....	44
E.	Efecto de las fuentes utilizadas sobre el ph al final del estudio y las relaciones de las bases .....	45
IX.	Conclusiones .....	47
X.	Recomendaciones .....	48
XI.	Bibliografía.....	49

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Estimación conceptual de las bases del suelo.....	11
Cuadro 2. Análisis medio de K, Ca, Mg y P de la vinaza proveniente de dos destilerías de Guatemala.....	14
Cuadro 3. Descripción de tratamientos.....	21
Cuadro 4. Análisis inicial de los tres suelos utilizados.....	23
Cuadro 5. Descripción de dosis de las respectivas fuentes utilizadas en cada tratamiento.....	24
Cuadro 6. Nitrógeno (N) aportado por el nitrato de Ca.....	26
Cuadro 7. Solución nutritiva de N para tratamientos 1,2 y 3.....	26
Cuadro 8. Solución nutritiva de N para tratamientos 7 al 21.....	26
Cuadro 9. Solución nutritiva de P y Micronutrientes para todos los tratamientos.....	27
Cuadro 10. Absorción de nutrientes K, Ca y Mg foliar (%) para los factores suelo, fuente y dosis.....	34
Cuadro 11. Peso seco de biomasa (g/maceta) para los factores suelo x fuente x dosis.....	35
Cuadro 12. Efecto de las fuentes utilizadas (Solubles, Dolomita y Terramix) sobre el pH del suelo.....	35
Cuadro 13. Efecto de las fuentes de Ca y Mg sobre las relaciones de bases en el suelo.....	36
Cuadro 14. Bases intercambiables y relación de bases en los tres suelos evaluados.....	39
Cuadro 15. Efecto en la variable peso seco en interacción de los factores suelo x fuente x dosis.....	44
Cuadro 16. Relaciones de las bases del suelo Ca/K, Mg/K y (Ca+ Mg)/K.....	46

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Contenidos de K foliar (%) para el factor suelo .....	37
Figura 2. Contenidos de Ca foliar (%) para el factor suelo .....	37
Figura 3. Contenidos de Mg foliar (%) para el factor suelo .....	38
Figura 4. Efecto de tres suelos con diferentes contenidos de K y diferentes relaciones de bases .....	39
Figura 5. Efecto de las fuentes de Ca y Mg en el contenido de Ca en la planta .....	41
Figura 6. Efecto de las fuentes de Ca y Mg en el contenido de Mg en la planta .....	41
Figura 7. Promedios del efecto de las fuentes para el peso seco .....	42
Figura 8. Promedios del efecto de las dosis de Ca y Mg en la absorción de Mg por la planta.....	43
Figura 9. Efecto de las fuentes de Ca y Mg utilizadas en el pH del suelo.....	45

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de ubicación de las instalaciones de CENGICAÑA .....	16
Ilustración 2. Croquis del ensayo .....	22
Ilustración 3. Aplicación de solución de Ca-Mg.....	25
Ilustración 4. Pesado de cal Dolomítica y Terramix .....	24
Ilustración 5. Casa malla utilizada para el ensayo .....	26
Ilustración 6. Colocación de círculos de papel filtro en el fondo de las macetas .....	27
Ilustración 7. Secado de suelo, pesado del suelo y llenado de macetas .....	27
Ilustración 8. Pesado de suelo para tratamientos del 7 al 21 .....	28
Ilustración 9. Siembra de sorgo.....	28
Ilustración 10. Riego del ensayo .....	29
Ilustración 11. Raleo de plantas .....	30
Ilustración 12. Aplicación de pesticidas .....	30
Ilustración 13. Corte y peso fresco de plantas .....	31
Ilustración 14. Ingreso de muestras al horno del laboratorio de CENGICAÑA.....	31

## RESUMEN

La vinaza es un residuo industrial que se obtiene de la destilación del alcohol en volúmenes elevados, y es por ello que se le ha dado uso en la agricultura como fertilizante en el cultivo de la caña de azúcar, por los nutrientes que contiene, principalmente grandes cantidades de potasio (K).

Al aplicar grandes cantidades de K contenidos en la vinaza se ocasiona un desequilibrio en las relaciones de bases del suelo. Es por ello que el objetivo de este estudio fue evaluar en condiciones de invernadero tres fuentes de Ca y Mg y dos dosis en tres condiciones de suelo distintas con relaciones de bases en desequilibrio, con la finalidad de corregir el desbalance generado. El suelo utilizado para este estudio corresponde a un andisol y se utilizó sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) como planta indicadora.

El diseño del experimento utilizado fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, con una estructura factorial de  $3 \times 2 \times 3 + 3$  correspondiente a 3 condiciones de suelo, 2 niveles de aplicación de Ca y Mg + 3 tratamientos testigos sin aplicación en las tres condiciones de suelos, evaluando 21 tratamientos en total.

Los resultados obtenidos nos indican que las fuentes evaluadas de Ca y Mg no corrigieron totalmente el desbalance en las bases del suelo, pero, se pudo observar una tendencia de aumento leve favorable en las relaciones de bases, respecto al testigo que no recibió aplicaciones. La mayor producción de materia seca se observó en los suelos con mayor cantidad de K, al contrario para las absorciones de Ca y Mg por la planta en donde disminuyó su contenido de absorción en estos suelos. La fuente que mayor rendimiento de materia seca obtuvo fue las solubles en ambas dosis en el suelo 3, se recomienda evaluar las fuentes solubles a nivel de campo para comprobar su rendimiento.

# I. INTRODUCCIÓN

La vinaza es un residuo de la destilación de alcohol utilizada como fertilizante en el cultivo de caña de azúcar, la cual ha dado muy buenos resultados, y es por ello que las aplicaciones de vinaza han aumentado significativamente. La vinaza aporta los nutrientes que el cultivo necesita, pero, en gran proporción aporta potasio y al incrementarse el potasio quedan en desequilibrio el calcio y magnesio, provocando un desbalance en la relación de bases del suelo.

En Guatemala existen investigaciones sobre el uso de la vinaza en el cultivo de caña de azúcar, pero no se han realizado investigaciones de como corregir el desbalance en las bases del suelo provocadas por continuas aplicaciones de la misma.

Con el afán de obtener una alternativa de como corregir el desequilibrio de las bases de suelo se realizó la presente investigación, la cual se llevó a cabo bajo condiciones controladas con sorgo forrajero como planta indicadora, la unidad experimental estuvo conformada por macetas con 400g de suelo previamente secado al aire y tamizado. El suelo utilizado se extrajo de la finca el Bálsamo del Ingenio Pantaleón, de las parcelas experimentales en donde se está evaluando el rendimiento de caña de azúcar a diferentes dosis de vinaza, dicha evaluación lleva un periodo de tiempo de 12 años, se tomaron 25 kg de suelo de los tratamientos que han tenido aplicaciones anuales de vinaza con la dosis de 120 m<sup>3</sup>/ha y un testigo sin aplicación de vinaza.

En la investigación se evaluaron tres condiciones diferentes de suelo (sin vinaza, con vinaza y con vinaza + agregado de KCl), 2 dosis de Ca y Mg (100-60 y 200-120kg/ha) y 3 fuentes de Ca y Mg y 3 fuentes de Ca y Mg (Nitrato de Ca - Sulfato de Mg, Cal dolomítica y Terramix), haciendo un total de 21 tratamientos evaluados siendo tres de ellos testigos con 0 aplicaciones de Ca y Mg.

La investigación se llevó a cabo durante 56 días, al momento de la siembra se realizó la aplicación de las enmiendas de Ca y Mg, seguidamente cada semana se realizaron aplicaciones de fertilización base finalizando una semana antes de la cosecha. Se realizaron aplicaciones de insecticida y fungicida como control de plagas. El riego se realizó según los requerimientos del cultivo.

Al finalizar el estudio se pudo determinar que los altos contenidos de K en los suelos 2 y 3 con desbalances en las relaciones de bases respecto a Ca y Mg en el suelo elevaron significativamente el K en la planta, causando reducciones significativas en la absorción de Ca y Mg por la planta. Y la mayor producción de materia seca se alcanzó en los suelos con alto K (suelos 2 y 3). Se determinó un efecto positivo de las fuentes solubles nitrato de calcio y sulfato de magnesio evidenciado en la mayor producción de materia seca en las dos dosis evaluadas en el suelo 3.

## II. OBJETIVOS

### A. General

Evaluar fuentes y dosis de Ca y Mg para corregir el desbalance en la relación de las bases del suelo afectado por excesos de K originados de aplicaciones continuas de vinaza utilizando sorgo forrajero como planta indicadora.

### B. Específicos

1. Evaluar la influencia de tres condiciones de suelos con diferente relaciones de Ca y Mg con respecto a K sobre la absorción de esos elementos y la producción de materia seca de sorgo
2. Evaluar tres fuentes de Ca y Mg sobre la absorción de estos elementos en la producción de materia seca de plantas de sorgo
3. Evaluar dos dosis de Ca y Mg en la absorción de esos elementos en la producción de materia seca de las plantas de sorgo
4. Determinar el efecto de la interacción de los factores fuente, dosis y relación de bases en la absorción y peso seco de plantas de sorgo
5. Determinar el efecto de las aplicaciones de las diferentes fuentes de Ca y Mg sobre el pH del suelo

### III. JUSTIFICACIÓN

La vinaza es un residuo líquido proveniente de la destilación del alcohol y está constituido principalmente por agua, MO y minerales, entre los cuales el K es el más abundante (CENGICAÑA, 2012:169, Pennatti *et al.*, 2005).

En la industria azucarera la fertilización es la que representa gran parte de los costos en la producción, es por ello que se ha optado por otras alternativas como la aplicación de vinaza contribuyendo al aporte de nutrientes al cultivo de la caña de azúcar.

En Guatemala se ha observado que las aplicaciones de vinaza incrementan la producción de caña en distintos suelos y aportan las necesidades de K del cultivo y parte de la necesidad de N. En un ensayo de vinaza y dosis de N realizado en un suelo Andisol por seis años consecutivos, se encontró que en promedio con una dosis de (120m<sup>3</sup>/ha) se obtuvo un incremento anual de 16.6 TCH con relación al testigo sin vinaza (CENGICAÑA, 2012:170).

Según la base de productividad de la zafra 2015/2016 de CENGICAÑA, el ingenio PANTALEON aplica 32,716 ha con vinaza de sus 48,558 ha de cultivo total. Esto indica que en más del 67% del área total del cultivo de caña de azúcar en este ingenio se aplica vinaza.

Según CENGICAÑA (2011:191), el uso de dosis altas de vinaza (>60m<sup>3</sup>/ha) resulta atractivo por los incrementos en los tonelajes de caña de azúcar. Sin embargo las altas dosis de vinaza aumentan las concentraciones de K intercambiable del suelo. Y el incremento de k intercambiable del suelo al elevar las dosis de aplicación de vinaza y la permanencia sin cambios en los contenidos de Ca y Mg causa incrementos de saturación de K a valores muy altos, en consecuencia se produce desbalances de las bases del suelo.

Actualmente en Guatemala no se cuenta con estudios sobre la corrección del desbalance en las bases del suelo provocadas por las altas dosis de vinaza aplicadas al suelo. Para ello se plantea la presente investigación con el propósito de evaluar las dosis y fuentes de calcio y magnesio que permitan corregir el desbalance de bases provocado por la aplicación de altas dosis de vinaza. Esta investigación aportará a la industria azucarera del país una alternativa de corrección al desbalance en las bases del suelo sin tener que dejar de utilizar la vinaza como fertilizante.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. CAÑA DE AZÚCAR

#### 1. Nombre común y científico

Caña de azúcar (*Saccharum Officinarum L.*)

#### 2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la caña de azúcar es la siguiente:

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyta

Clase: Angiospermae

Sub-clase: Monocotyledoneae

Súper Orden: Commelinidae

Orden: Commelinales

Familia: Poaceae

Género: *Saccharum*

Especie: *officinarum L.*

3. **Origen.** No se conoce con exactitud el origen de la caña de azúcar; se han propuesto muchas teorías al respecto, sin embargo, se considera que el centro de origen del complejo *Saccharum* es la región que comprende parte de India, China, Nueva Guinea y zonas aledañas, por encontrarse ahí el mayor número de especies (Subirós, 1975:3).

Este cultivo se desarrolló entre 1500 y 1600 en la mayoría de los países tropicales del continente de América (Antillas, México, Brasil, Perú, etc.) y durante mucho tiempo ha sido su principal riqueza agrícola. Para el caso de Guatemala es a Pedro de Alvarado al que se le atribuye la introducción del cultivo de caña de azúcar, siendo cerca de San Jerónimo Verapaz en donde se establecieron los primeros trapiches y luego se extendió hacia el sur del país a Antigua Guatemala hasta Escuintla y Santa Rosa (Villatoro, 2008:31).

#### 4. Morfología

a. Raíz. Las raíces son fibrosas que puede llegar alcanzar hasta los 80 centímetros de profundidad, el 80% de la misma se encuentra regularmente en los primeros 35 cm del suelo. Las raíces son parte importante de la planta ya que por medio de ellas la planta puede absorber los nutrientes y agua, también sirven de anclaje de la planta especialmente cuando son plantaciones cosechadas mecánicamente debido que las cosechadoras remueven las raíces cuando estas están muy superficiales y el suelo es arenoso (Díaz y Portocarrero, 2002:4).

La raíz primaria está ubicada en el embrión. Las raíces adventicias son las que se originan en el tallo, en la banda de raíces (zona cercana al entrenudo). Las raíces adventicias son de dos tipos: las primordiales y las permanentes (Subirós, 1975:19).

1) Raíces primordiales. Se forman a partir de los primordios radicales que se ubicados en la banda de raíces; son delgadas y ramificadas; su duración es efímera (corta duración). Tienen la función de absorber agua y sales minerales para que la yema se desarrolle. Una vez que la yema ha germinado y comienza el proceso de macollamiento, son sustituidas por las raíces permanentes (Subirós, 1975:20).

2) Raíces permanentes. Estas raíces son las que brotan cuando se desarrollan los tallos nuevos, como consecuencia del macollamiento. Tienen un mayor diámetro, son más numerosas y largas. Su número aumenta de acuerdo con el desarrollo del resto de la planta (Subirós, 1975:20).

b. Tallo. El tallo es el órgano más importante económicamente de la planta de la caña de azúcar, ya que en él se almacenan los azúcares. La caña de azúcar forma cepas constituidas por la aglomeración de los tallos, que se originan de las yemas del material vegetativo de siembra y de las yemas de los nuevos brotes subterráneos (Amaya *et al.*, 1995:33).

Los tallos están formados por nudos y entrenudos. En cada nudo esta insertada una hoja y se distribuyen en forma alterna, en la axila se encuentra la yema. El color de los tallos depende principalmente de la variedad, generalmente es verde, pero tambien se pueden observar coloraciones amarillas, rojizas, moradas o pueden tener combinaciones de estos colores por efecto de los rayos solares, es por ello que se pueden observar cambios en la coloracion del tallo en una misma variedad (Subirós, 1975:24).

El tamaño o longitud de los tallos depende, en gan parte, de las condiciones agoecologicas de la zona donde se tiene establecido el cultivo y del manejo agonomico que se le brinde a la variedad (Amaya *et al.*, 1995:34).

1) **Nudo.** Es la porción dura y más fibrosa del tallo de la caña de azúcar, que separa a dos entrenudos. El nudo está formado por el anillo de crecimiento, la banda de raíces, la cicatriz foliar, la yema y el anillo ceroso (Amaya *et al.*, 1995:35).

El anillo de crecimiento posee una coloración diferente, generalmente más clara, y a partir de él se origina el entrenudo. La banda de raíces es una zona pequeña que sobresale del nudo en donde se originan las primeras raíces o raíces primordiales. La cicatriz foliar rodea al nudo después de que la hoja se cae debido al fenómeno natural de senescencia. La yema es la parte más importante ya que da origen a los nuevos tallos. Cada nudo presenta una yema en forma alterna protegida por una vaina foliar. La forma de la yema y su pubescencia es diferente para cada variedad y ambos caracteres se usan para la identificación de éstas (Villatoro, 2008:33).

2) **Entrenudo.** Es el espacio comprendido entre dos nudos. Los entrenudos son cortos en la parte interna del subsuelo, en la zona de inserción con el tallo madre, esto facilita a la formación de tallos secundarios, en la base o zona cercana a la superficie del suelo por el contrario son gruesos y esta característica ayuda a mejorar la resistencia a la caída o ácame de la caña (Subirós, 1975:26).

El diámetro, el color, la forma y la longitud de los entrenudos cambian con las variedades. La forma más comunes del entrenudo son: cilíndrica, abarrilado, en forma de huso, conoidal, obconoidal y cóncavo-convexo (Amaya *et al.*, 1995:36).

c. **Hoja.** Las hojas de la caña de azúcar se originan en los nudos del tallo y se distribuyen en formas alternas a lo largo del mismo a medida que este crece. Cada hoja se conforma de la lamina foliar y por la vaina, a la unión de estas dos partes se denomina lígula y en cada extremo de ésta existe una aurícula con pubescencia variable. La forma y el color de la lígula, así como la forma de la aurícula, son características importantes en la diferenciación de las variedades de la caña de azúcar (Amaya *et al.*, 1995:40).

d. **Flor.** La inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula sedosa en forma de espiga. Está constituida por un eje principal con articulaciones en las cuales se insertan las espiguillas, una frente a la otra; ésta contiene una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas. Cada flor está rodeada de pubescencias largas que le dan a la inflorescencia un aspecto sedoso (Amaya *et al.*, 1995:42)

## B. REQUERIMIENTOS DE NUTRIENTES DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar, al igual que el resto de las plantas, requiere 16 elementos esenciales para su adecuada nutrición. Se le llama elemento esencial aquel que cuya ausencia causa la alteración en el desarrollo normal de la planta, según el papel que cumpla este elemento a nivel fisiológico (Subiros, 1975:151).

Una parte de los elementos son generalmente adquiridos por la planta de la atmosfera y del agua; estos son el carbono (C), el Hidrógeno (H), y el oxígeno (O). Los otros elementos los aporta el suelo si están disponibles, de lo contrario, deben de ser agregados como fertilizantes. Estos nutrientes son nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Subirós, 1975:151).

Adicionalmente debe incluirse el silicio (Si), aunque no se considere esencial, es importante y es un elemento benéfico en la nutrición del cultivo de la caña de azúcar (CENGICAÑA, 2012:150).

### 1. Macronutrientes

a. Nitrógeno (N): Este es uno de los elementos más importantes en el desarrollo de la planta, ya que sin él no hay crecimiento, debido a que forma parte de la estructura molecular de las proteínas, de la clorofila, de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), de los citocromos y de las coenzimas (Subirós, 1975:152).

La falta de nitrógeno se manifiesta en el poco desarrollo de toda la planta, poco macollamiento, tallos delgados y raquíticos y las hojas se tornan de color verde pálido o amarillento. Los síntomas aparecen primero en las hojas viejas debido a la movilidad de este en la planta (CENGICAÑA, 2012:151).

b. Fósforo (P): Es un nutriente esencial para las plantas y juega un papel vital en la fotosíntesis y en muchos otros procesos bioquímicos. Sus principales funciones son transporte y almacenamiento de energía, y el mantenimiento de la membrana celular (CENGICAÑA, 2012: 157).

Este elemento se encuentra en altas concentraciones en los puntos de crecimiento, debido a la influencia que tiene en la división celular (Subirós, 1975:152).

Las deficiencias de fósforo en el cultivo de caña de azúcar se manifiestan en un pobre macollamiento con tallos delgados y entrenudos cortos, las hojas son delgadas, angostas y más pequeñas (CENGICAÑA, 2012:157).

c. **Potasio (K):** El potasio está relacionado con procesos muy importantes, como la fotosíntesis, respiración, formación de clorofila, metabolismo de carbohidratos y formación de almidón y activador de enzimas necesarias en la síntesis de proteínas. Además, tiene una participación activa en la permeabilidad de las membranas celulares, en el transporte de azúcares por el floema, en la absorción de iones y en la entrada de agua y transpiración de la planta (Subirós, 1975:153).

La falta de este elemento se manifiesta primero en las hojas viejas de las plantas con moteado y clorosis en la punta y márgenes de las hojas termina con necrosamiento en las hojas afectadas (CENGICAÑA, 2012:163).

a. **Calcio (Ca):** Es un elemento esencial y forma parte de los pectatos de Ca que es importante constituyente de la pared celular. El calcio participa en el equilibrio electrostático de la célula y actúa como un activador de numerosas enzimas como amilasas, quinasas y ATP-ases y juega un importante papel en el metabolismo de N. La deficiencia presenta tallos delgados y pobre crecimiento radicular (CENGICAÑA, 2012:166).

Además se pueden observar la deficiencia en las hojas viejas que presentan manchas y clorosis en forma localizada y pueden presentar síntomas similares a la roya y pueden morir prematuramente (Anderson y Bowen, 1994:12).

b. **Magnesio (Mg):** El Mg es un componente integral de las moléculas de clorofila así como de varias proteínas de las plantas. Este catión también activa varias enzimas involucradas en el metabolismo de carbohidratos y en la síntesis del ácido nucleico así como enzimas que actúan sobre substratos fosforilados (Anderson y Bowen, 1994:12).

El Mg es absorbido por las raíces de las plantas y es un nutriente móvil en las plantas. La deficiencia de Mg causa clorosis intervenal de color anaranjado a amarillento en las hojas viejas pero avanza a hojas jóvenes si la deficiencia es severa. Los rebrotes son débiles y el crecimiento de la caña de azúcar es retardado (CENGICAÑA, 2012:167).

a. **Azufre (S):** El azufre es esencial para la síntesis de aminoácidos, proteínas, vitaminas, formación de clorofila y el crecimiento de las plantas (CENGICAÑA, 2012:165).

La carencia de S se manifiesta cuando el follaje adquiere una coloración amarillenta, que usualmente comienza por las hojas jóvenes. Las plantas muestran poco vigor y el grosor de los tallos se reduce. El azufre es absorbido por las raíces de la planta como ión sulfato y es relativamente inmóvil en la planta (Subirós, 1975:153).

## 2. Micronutrientes

a. Zinc (Zn): El zinc participa en la síntesis del ácido indol acético (AIA); es activador de una serie de enzimas como la anhidrasa carbónica (que cataliza la descomposición del ácido carbónico en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O), la deshidrogenasa alcohólica, hidrogenasa del ácido láctico y ácido glutámico. Actúa también en la síntesis de proteínas. El zinc es un elemento inmóvil en la planta (Subirós, 1975:154).

La deficiencias de este elemento se caracterizan por la presencia de franjas cloróticas en la hoja que se unen para formar una banda clorótica ancha a ambos lados de la nervadura central, pero que no se extiende al margen de la hoja, excepto en casos severos de deficiencia; la clorosis se origina en las venas; fajas longitudinales verde claras a lo largo de los márgenes de las hojas y que se originan en la punta de las hojas y que se extienden hacia la mitad de la hoja, pero rápidamente toda la hoja pasa a ser clorótica (Anderson y Bowen, 1994:34).

b. Cobre (Cu): El Cu es esencial para la actividad de varias enzimas como fenolasas, oxidasa del ácido ascórbico, oxidasa de los citocromos y varias oxireductasas de la respiración y la fotosíntesis. El Cobre es un nutriente inmóvil dentro de la planta (Anderson y Bowen, 1994:16).

Los primeros síntomas de deficiencia de cobre se caracterizan por la presencia de una clorosis que se desplaza en forma descendente a lo largo de los márgenes de las hojas (Subirós, 1975:155).

c. Manganeso (Mn): La principal función del manganeso es ser agente activador enzimático en varios procesos como la respiración, metabolismo de N, activador de reductasas; interviene en el ciclo de Krebs (respiración en la mitocondria) y ciclo de Calvin (fotosíntesis en el cloroplasto), además de ser encargado de la formación de vitamina C (ácido ascórbico). Tiene poca movilidad dentro de la planta (Subirós, 1975:155).

La deficiencia de Mn afecta las hojas jóvenes que presentan clorosis intervenal de la punta hacia el medio de la hoja. Bajo severas condiciones de deficiencia de Mn toda la hoja se torna blanquecina (Anderson y Bowen, 1994:16).

d. Boro (B): Cumple una función muy importante en el transporte de azúcares, se piensa que actúa en la diferenciación y desarrollo celular, en el metabolismo de nitrógeno, en la absorción activa de sales, en el metabolismo hormonal, en las relaciones hídricas, en el metabolismo lipídico y del fósforo y también en la fotosíntesis (Subirós, 1975:155).

La deficiencia de boro se presenta por la formación de pequeñas manchas alargadas, de apariencia acuosa, que se ubican en las secciones intervenales en forma de franjas. Luego el tejido de la lámina se separa y se forman rajaduras definidas. Este elemento no es móvil dentro de la planta (Subirós, 1975:155).

e. Molibdeno (Mo): Está muy relacionado con el metabolismo del nitrógeno; también con el fósforo. Forma parte del sistema de la reductasa del nitrógeno así como de la asimilación de nitrato. La deficiencia de Mo se asocia con bajos niveles de ácido ascórbico; se ha indicado que el Mo también tiene relación con la absorción y transporte de hierro (Subirós, 1975:156).

La deficiencia de Mo aparece en las hojas viejas como pequeñas fajas cloróticas longitudinales en el tercio superior de la hoja (Anderson y Bowen, 1994:27).

f. Hierro (Fe): El hierro interviene en la síntesis de proteínas del cloroplasto, a la vez que juega un papel importante en la síntesis de clorofila y de los citocromos. Además es componente de diversas flavoproteínas (Subirós, 1975:156).

La deficiencia de este elemento se caracteriza por una decoloración de las áreas intervenales a lo largo de la lámina foliar, en especial en las jóvenes. Si la deficiencia es severa, se produce una clorosis marcada que deja el follaje prácticamente blanco y puede producir manchas necróticas de color marrón-rojizo en la área intervenales (Subirós, 1975:156).

## C. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IÓNICO DEL SUELO

Los suelos son entes activos que tienen la propiedad de retener, fijar, intercambiar y absorber una cantidad máxima de iones positivos (cationes) y negativos (aniones). La capacidad de retención permite y favorece el intercambio total o parcial de la cantidad presente por cantidades equivalentes de otros iones. Los iones retenidos, de acuerdo con su carga, se llaman catión o anión de intercambio (DEICA-LAICA, 2012:11).

1. **Capacidad de intercambio catiónico:** Es el número total de cationes de intercambio que pueden ser retenidos por un suelo (la magnitud de sus cargas negativas) (DEICA-LAICA, 2012: 11).

La cantidad de cationes se expresa en miliequivalentes por 100g del suelo secado al horno y se le denomina capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Es una de las más importantes propiedades químicas del suelo y está estrechamente relacionada con la fertilidad del mismo (Tisdale y Nelson, 1985:122).

Cuanto mayor sea la CIC, más cationes potencialmente podrá retener e intercambiar un suelo (DEICA-LAICA, 2012: 11).

El intercambio catiónico es el cambio de un catión por otro en la superficie de un coloide, los coloides del suelo han absorbido numerosos cationes entre ellos: Ca, Mg, K, Na, NH<sub>4</sub>, Al, Fe e H, que están retenidos en varios grados de intensidad, según sus cargas y su capacidad de hidratación y deshidratación. Como regla los iones con una valencia de 2 o 3 están sostenidos más fuertes que los que son monovalentes. Y a una menor hidratación de un ion significa que está sostenido menos estrechamente (Tisdale y Nelson, 1985:123).

2. **Cationes de cambio:** Los cationes de cambio se expresan en miliequivalentes por 100g de suelo y por sus respectivas saturaciones en % en el complejo de cambio. A la suma de los cationes Ca, Mg, K y Na se le denomina “bases de cambio” y su relación porcentual con la CIC se llama “porcentaje de saturación de bases” (SCCS, 1991:174)

En el Cuadro 1 aparece la interpretación general en relación con la fertilidad del suelo, según la experiencias acumuladas en el país de Colombia a través de números ensayos realizados por el ICA (SCCS, 1991:174).

Cuadro 1. Estimación conceptual de las bases del suelo.

Elemento	Unidad	Interpretación		
		Bajo	Medio	Alto
Ca	me/100 g.s.	< 3	3-6	> 6
	Saturación %	< 30	30-50	> 50
Mg	me/100 g.s.	< 1.5	1.5-2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15-25	>25
K	me/100 g.s.	< 0.2	0.2-0.4	> 0.4
	Saturación %	< 2	2-3	> 3
Na	me/100 g.s.	Su contenido debe de ser menor de 1		
	Saturación %	Debe de ser menor de 15%		

Relación normal: Ca/Mg/K = 3/1/0.25

Fuente: (SCCS, 1991:174)

## D. SORGO

### 1. Nombre común y científico

Sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*)

### 2. Morfología

a. **Raíz:** El sistema radicular es adventicio fibroso y se desarrolla de los nudos más bajos del tallo. La profundidad de enraizado es generalmente de 1 a 1.3 metros, con 80% de las raíces en los primeros 30 centímetros. El número de pelos absorbentes puede ser el doble que en maíz, las raíces de soporte pueden crecer de primordios radicales, pero no son efectivas en la absorción de agua y nutrientes (CENTA, 2007:6).

b. Tallo: El sorgo es una planta de un solo tallo, pero puede desarrollar otros (hijos) dependiendo de la variedad y el ambiente; está formado de una serie de nudos y entrenudos, su longitud varía de 0.5 a 4 metros, su diámetro de 0.5 a 5 cm cerca de la base, volviéndose más angosto en el extremo superior; su consistencia es sólida con una corteza o tejido exterior duro y una médula suave. Los tallos tienen de 7 a 24 nudos y son erectos (CENTA, 2007:6).

c. Hojas: El número de hojas varía de 7 a 24 según la variedad y el período de crecimiento, son erectas hasta casi horizontales y se encorvan con la edad. La longitud de una hoja madura oscila entre 30 a 135 cm y su ancho entre 1.5 a 15 cm; son alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa (CENTA, 2007:6).

d. Inflorescencia: Es una panícula de racimo con un raquis central completamente escondido por la densidad de sus ramas o totalmente expuesto, cuando está inmadura es forzada hacia arriba dentro de la vaina más alta (buche), después que la última hoja (bandera) se expande distendiéndola a su paso (CENTA, 2007:6).

3. Plagas. Según INTA (2011:56), los insectos se consideran plaga cuando constituyen un factor limitante de la producción y superan cierto umbral de densidad. Existen distintas plagas que atacan en las diferentes etapas de crecimiento del cultivo del sorgo, causando mermas variables en la producción. El manejo integrado de plagas conduce al control de las principales, que son aquellas que se presentan periódicamente y poseen capacidad para ocasionar los mayores daños.

Las principales plagas son: Gallina ciega (*PHillopHaga spp.*), Gusano de alambre (*Melanotus sp.*, *Agiotes sp.*, *Dalopius sp.*), Gusanos cortadores (*Noctuidae: Lepidoptera*), Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), Gusano soldado (*Spodoptera exigua*), Afidos, pulgones (*Aphis sp.*) (CENTA, 2007:20-25).

4. Enfermedades. Las enfermedades más comunes en el cultivo de sorgo son: roya del sorgo (*Puccinia sorghi*), mancha zonada de la hoja (*Gloeocercospora sorghi*), mancha gris de la hoja (*Cercospora sorghi*), tizón de la hoja (*Helminthosporium sp.*), Antracnosis o/y pudrición roja (*Colletotrichum gaminicola*), pudrición del tallo (*Fusarium sp.*), cogollo retorcido (*Fusarium moniliformis*) y mildiú veloso (*Peronosclerospora sorghi*) (CENTA, 2007:25).

## 5. EL MÉTODO DEL CULTIVO INTENSIVO EN MACETAS PARA EL ESTUDIO DE LA FERTILIDAD DE SUELOS

Los estudios de la relación planta-suelo, especialmente los referentes a la nutrición mineral del suelo, la metodología del cultivo en macetas bajo invernadero son utilizadas desde mediados del siglo pasado. Tanto en el caso de gramíneas. Los resultados obtenidos con estos ensayos en invernadero no tienen un valor absoluto por sí mismos, pero ofrecen un acercamiento al conocimiento del estado nutricional del suelo en relación a la planta indicadora utilizada (Tomei, *et al.* 2007:11)

Una de las ventajas de este método en macetas es que permite poner en evidencias las carencias o deficiencias nutritivas minerales de los suelos en un tiempo corto.

1. Descripción del método. Para los tratamientos intensivos en macetas se utilizan de 500-1000g de suelo por maceta. La explotación intensiva del suelo se logra cultivando gran número de plantas por macetas para lograr el agotamiento del suelo en un corto tiempo.

Las técnicas utilizadas para determinar las carencias pueden ser aditivas o sustractivas. En la técnica aditiva se cuenta con un tratamiento testigo, sin incorporar nutrientes y se andan sucesivamente los nutrientes a evaluar. La técnica sustractiva parte de un tratamiento que incluye todos los nutrientes en forma simultánea (tratamiento completo) y se sustrae un nutriente a la vez (Tomei, *et al.* 2007:11).

2. Sorgo como planta indicadora. Las plantas indicadoras son las plantas utilizadas en tipos de ensayos que tienen como finalidad detectar deficiencia de minerales, entre las más comunes está el sorgo (*Sorghum vulgare*). El empleo de gramíneas como plantas indicadoras, simplifica los ensayos al no depender de las relaciones simbióticas con otros organismos. Sin embargo, los resultados obtenidos no son extrapolables a especies leguminosas. En estas especies no solo intervienen los requerimientos de las plantas sino también los que corresponden a los microorganismos asociados a ellas (Tomei, *et al.* 2007:12).

## 6. VINAZA

La vinaza es un material líquido resultante de la producción de etanol, ya sea por destilación de la melaza fermentada o de la fermentación directa de los jugos de la caña (García y Rojas, Sf.:3). La vinaza se constituye principalmente por agua, materia orgánica y minerales, entre los cuales el potasio es el más abundante (CENGICAÑA, 2012:169).

El empleo de la vinaza como fertilizante se convirtió en un importante factor económico, principalmente para la agroindustria azucarera. Los resultados ha sido positivos al aumentar la producción de la caña de azúcar (Korndörfer, *et al.* Sf.:23).

1. **Composición de la vinaza.** Según Marcos Chávez (1985), la composición química de la vinaza es bastante variable, dependiendo principalmente de la materia prima utilizada en la destilación, la cual puede proceder de tres fuentes: melaza (concentrada), directamente del jugo de los molinos y mixta (mezcla de jugo y melaza).

Cuadro 2. Análisis medio de K, Ca, Mg y P de la vinaza proveniente de dos destilerías de Guatemala

Parámetro	Destilería	
	DARSA	Pantaleón
K (mg/L)	7264	11800
Ca (mg/L)	1105	1400
Mg (mg/L)	491	600
P (mg/L)	309	100
K (KgK <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> vinaza)	8.7	14.1

Fuente: CENGICANÑA (2008)

## G. FUENTES DE CALCIO Y MAGNESIO

1. **Nitrato de Calcio.** El Nitrato de Calcio o también conocido como Nitrato de Cal es uno de los abonos universales. El nitrato de calcio es un abono inorgánico y se formula de esta manera Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Dentro de esta sal sólo vamos a encontrar calcio, nitrógeno y oxígeno, los dos primeros componentes mencionados, las plantas (salvo el nitrógeno con las leguminosas), no pueden obtenerlo por sí mismos, por lo que necesitan de aportes especiales. Para facilitar la absorción de calcio por las raíces de la planta es importante que las condiciones hídricas del suelo sean buenas y, además, no haya mucha presencia de amonio (Infoago, 2016).

1. **Sulfato de Magnesio.** Es un mineral común, subproducto de la purificación de otras sales y contiene siete moléculas de agua (heptahidratado) (Mikkelsen, 2010:28).

El Sulfato de Magnesio es la fuente de Mg soluble más utilizada para corregir deficiencia de magnesio. Al ser muy soluble en agua, permite una eficiente utilización en fertirriego, como también para aplicaciones foliares (FUMEX LTDA).

2. **Dolomita.** También llamada cal dolomítica, a menudo es más barata que las fuentes comunes de Mg, pero es un material de lenta disolución especialmente si no se usa en suelos ácidos (Mikkelsen, 2010:28).

## H. SUELO ANDISOL

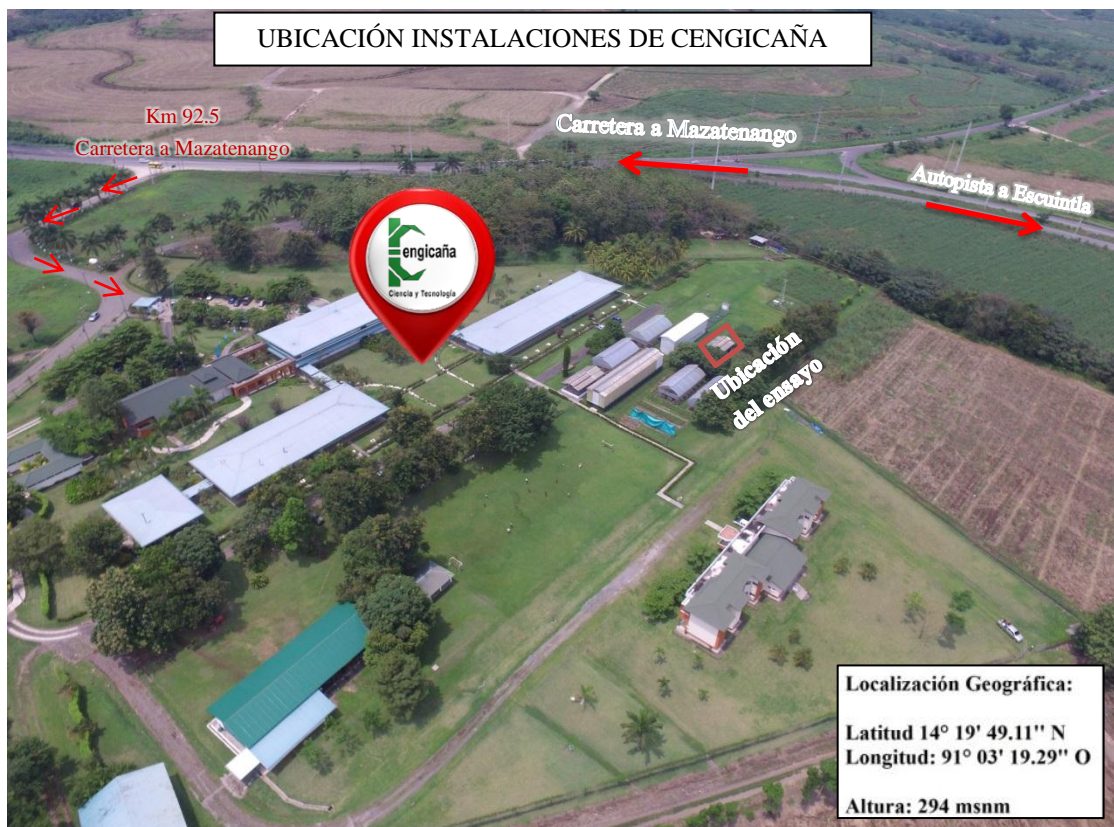
Un suelo andisol principalmente se caracteriza por tener valores bajos de densidad aparente, retención de fósforo de más de 85%, alta retención de humedad, porcentaje de carbono orgánico alto debido a que este orden de suelo forman compuestos muy estables con la materia orgánica, presentan coloraciones oscuras y se encuentran localizados en áreas que tienen influencia volcánica (Ramos,2003:16).

## V. MARCO REFERENCIAL

### A. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL EXPERIMENTO

El ensayo se realizó en El Centro de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) ubicado en el km 92.5 carretera a Mazatenango, en finca Camantulul, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, con coordenadas 14°19'49" latitud norte y 91°03'19" longitud oeste, según el meridiano de Greenwich.

Ilustración 1. Mapa de ubicación de las instalaciones de CENGICAÑA



Fuente: Autor.

## B. ECOLOGÍA

1. **Altitud:** 300 metros sobre el nivel del mar.
2. **Temperatura:** La temperatura mínima registrada es de 19°C con un promedio al año de 25°C y una máxima de 29°C.
3. **Precipitación pluvial:** Según ICC, fue de 255 mm en promedio en el año 2016.
4. **Pendiente:** Los suelos de CENGICAÑA tiene una inclinación mínima del 0.6%, una máxima de - 0.6% y un promedio del 0.6% a - 04%.
5. **Humedad relativa:** Es del 54.24%.
6. **Vientos:** Tienen una velocidad promedio de 5 km/h.

## C. FLORA Y FAUNA

1. **Flora:** Entre la flora del lugar se encuentra:
  - a. Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).
  - b. Crotalaria (*Crotalaria sp.*).
  - c. Teca (*Tectona gaudis*).
  - d. Palo blanco (*Calycophyllum biflorum*).
  - e. Ceiba (*Ceiba pentandra*).
  - f. Bambú (*Thyrsostachys siamensis*).
  - g. Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*).
  - h. Pino (*Pinus sp.*).
2. **Fauna:** Las especies animales más representativas son:
  - a. Rata de campo (*Sigmodon hispidus*).
  - b. Rata negra (*Rattus rattus*).
  - c. Rata gris (*Liomys sp.*).
  - d. Lagartijas (*Podarcis sicula*).
  - e. Lechuzas (*Tyto alba*)
  - f. Conejos (*Oryctolagus cuniculus*)

## D. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA FINCA EL BALSAMO

El suelo utilizado para el experimento se extrajo de la finca El Bálsamo perteneciente al ingenio Pantaleon, ubicada en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, con coordenadas  $14^{\circ}18'19.07''$  longitud norte y  $91^{\circ}00'39.65''$  longitud oeste , según el meridiano de Greenwich.

## VI. MARCO METODOLÓGICO

### A. RECURSOS

#### 1. Físicos

##### a. Equipo

- Invernadero tipo casa malla de 18m<sup>2</sup>
- 84 macetas plásticas (capacidad 400g)
- Balanza digital
- Balanza analítica
- Horno secador Premlab de CENGICAÑA
- Metro
- 84 círculos de papel filtro
- Probeta de 100ml
- Balón volumétrico de 1000 ml
- Beaker 1000 ml
- Pipeta 10 ml
- 42 bolsas de papel craf
- Tijera podadora
- Papel mantequilla
- Agitador magnético
- Pizeta
- Bomba de mochila (capacidad 16 litro)

b. Insumos

- 25g de semillas de sorgo (1,008 semillas)
- Nutrientes correctivos (Ca-Mg):
  - 3.95g Nitrato de calcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  y 5g Sulfato de magnesio  $\text{MgSO}_4$
  - 9.32g Cal dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ )
  - 8.82g Terramix ( $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$ )
- Nutrientes base (N, P y Micronutrientes):
  - 6 litros de solución de Nitrógeno.
  - 6 litros de solución de fosforo y micronutrientes.
- Control de plagas:
  - 12 ml de fungicida Vitavax
  - 4 ml de fungicida Derosal
  - 12 ml de insecticida Coragen

2. **Financieros:** Todos los costos generados por esta investigación fueron financiados por el Centro Guatemalteco de Investigaciones y Capacitación de Caña de Azúcar (CENGICANÑA) e ingenio PANTALEÓN.

## B. DISEÑO DE TRATAMIENTOS

Factorial  $3 \times 2 \times 3 + 3$ , correspondientes a tres condiciones de suelo (sin vinaza, con vinaza y con vinaza + agregado de KCl), dos niveles de aplicación de Ca y Mg (100-60 y 200-120kg/ha) y tres fuentes (nitrato Ca y sulfato Mg, Cal dolomítica y Terramix) + tres tratamientos testigos sin aplicación en los tres suelos con diferentes relaciones de Ca y Mg con respecto a K. En total se evaluaron 21 tratamientos, los cuales se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Descripción de tratamientos

No Tratamiento	Suelo	Dosis de aplicación Ca-Mg (kg/ha)	Fuentes de Ca y Mg
1	S1(sin vinaza)	100 – 60	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> y MgSO <sub>4</sub>
2	S2(con vinaza)	100 – 60	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> y MgSO <sub>4</sub>
3	S3(con vinaza + agregado KCl)	100 – 60	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> y MgSO <sub>4</sub>
4	S1(sin vinaza)	200 – 120	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> y MgSO <sub>4</sub>
5	S2(con vinaza)	200-120	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> y MgSO <sub>4</sub>
6	S3(con vinaza + agregado KCl)	200-120	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> y MgSO <sub>4</sub>
7	S1(sin vinaza)	100 – 60	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
8	S2(con vinaza)	100 – 60	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
9	S3(con vinaza + agregado KCl)	100 – 60	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
10	S1(sin vinaza)	200 – 120	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
11	S2(con vinaza)	200-120	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
12	S3(con vinaza + agregado KCl)	200-120	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
13	S1(sin vinaza)	100 – 60	Terramix (CaO.MgO)
14	S2(con vinaza)	100 – 60	Terramix (CaO.MgO)
15	S3(con vinaza + agregado KCl)	100 – 60	Terramix (CaO.MgO)
16	S1(sin vinaza)	200 – 120	Terramix (CaO.MgO)
17	S2(con vinaza)	200-120	Terramix (CaO.MgO)
18	S3(con vinaza + agregado KCl)	200-120	Terramix (CaO.MgO)
19	S1(sin vinaza)	0 – 0	Nada
20	S2(con vinaza)	0 – 0	Nada
21	S3(con vinaza + agregado KCl)	0 – 0	Nada

## C. DISEÑO EXPERIMENTAL

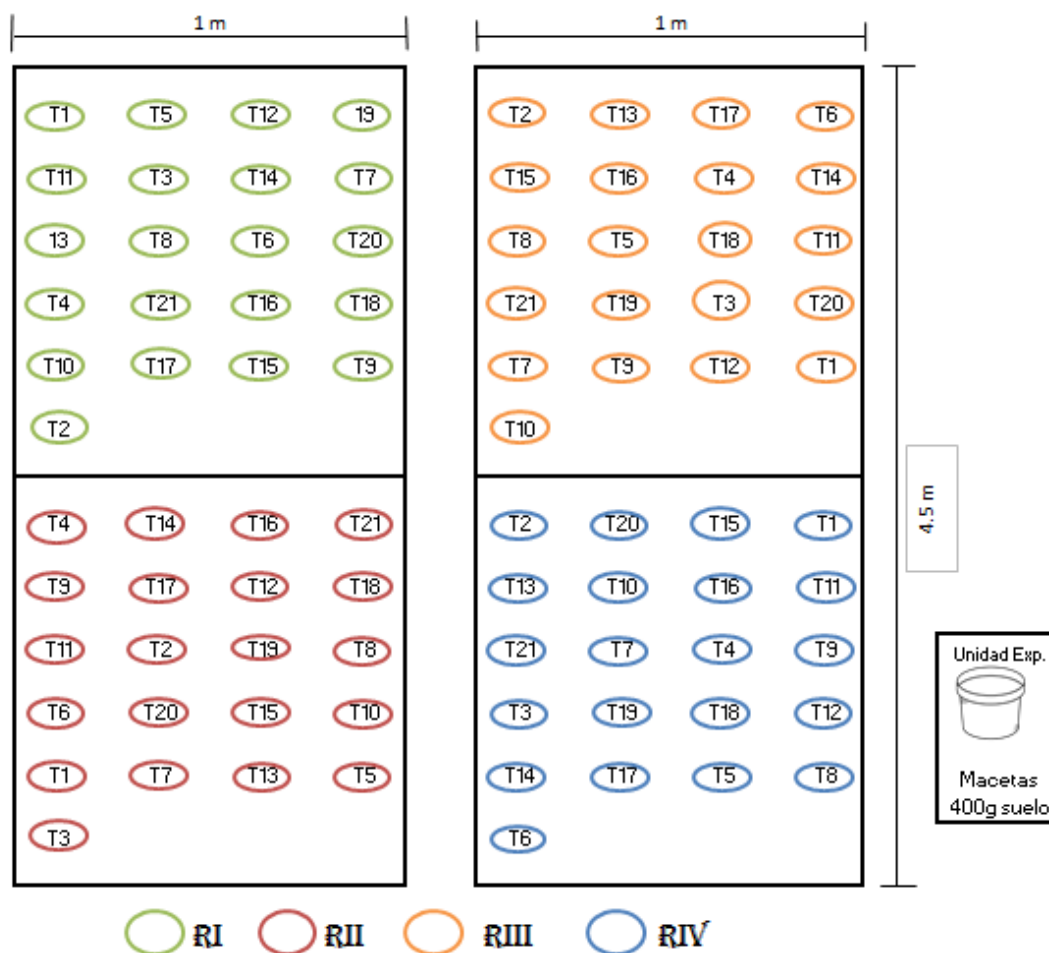
Bloques completamente al azar con 4 repeticiones (Ilustración 2); el modelo que corresponde a este diseño se describe a continuación.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

**DESCRIPCIÓN:** $j=1,2,\dots,r$  $i=1,2,\dots,t$  $\mu$  = Parámetro, efecto medio $\tau_i$  = Parámetro, efecto del tratamiento I $\beta_j$  = Parámetro, efecto del bloque j $\epsilon_{ij}$  = valor aleatorio, error experimental de la u.e. i,j $Y_{ij}$  = Observación en la unidad experimental

Las unidades experimentales estuvieron conformadas por macetas con 400g de suelo secado previamente al aire, utilizando sorgo forrajero como planta indicadora.

Ilustración 2. Croquis del ensayo



## D. SUELO UTILIZADOS EN EL ESTUDIO

Los suelos provinieron de un suelo Andisol de muestras tomadas de la capa superficial (0-20 cm) de tratamientos aplicados con vinaza en diferentes dosis de un ensayo de largo plazo (12 años de aplicaciones sucesivas y controladas) localizado en la Finca El Bálsamo de ingenio Pantaleon. Un suelo provino de un tratamiento que no ha recibido vinaza durante ese tiempo (S1: sin vinaza) y otro provino de un tratamiento que ha recibido anualmente 120 m<sup>3</sup> de vinaza/ha durante 12 años (S2: con vinaza). Se generó un tercer suelo con el doble de nivel de K que el segundo (S3: con vinaza + KCl).

Se colecto en cada tratamiento de vinaza la cantidad de 25 kg de suelo a una profundidad de 0-20 cm. Estos suelos fueron secados al aire hasta conseguir un peso constante y tamizado con un tamiz de 2 mm x 2mm y seguidamente se tomaron tres muestras de cada suelo para su caracterización química y física en el Laboratorio de CENGICANÑA. A partir de los datos de laboratorio del suelo tomado en el tratamiento de 120 m<sup>3</sup> de vinaza/ha se generó el tercer suelo con doble de K para tener un desbalance de las bases Ca y Mg más acentuado.

1. Elevación de potasio. Se generó un tercer suelo con doble K utilizando la fuente cloruro de potasio (KCl), en el cual se tomó de referencia el suelo 2, para poder elevar la concentración de potasio a 8.23 meq/100g de suelo, para ello se necesitó 1.66g de cloruro de potasio por maceta.

En el Cuadro 4 se puede observar las concentraciones de K, Ca y Mg al inicio del estudio notándose la elevación de potasio en el suelo 2 y 3.

Cuadro 4. Análisis inicial de los tres suelos utilizados

Suelo	K	Ca	Mg
	Meq/100 g		
1	0.5	7.6	3.1
2	4.6	10.4	4.2
3	8.2	8.7	3.0

## E. FUENTES DE Ca Y Mg

Se evaluaron tres fuentes de Ca y Mg, dos fuentes solubles de estos elementos nitrato de calcio (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) con 21 % de Ca y 15.5 % de N y sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>) con 19 % Mg y 20 %S. Y dos fuentes de menor solubilidad: Cal dolomítica (CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>) con un contenido de 18 % de Ca y 10 % de Mg y Terramix que es una mezcla de CaO y MgO con 19 % de Ca y 11 % de Mg y 8 % de S. En el Cuadro 4 se puede observar las cantidades de las fuentes utilizadas por cada maceta de su respectivo tratamiento.

Cuadro 5. Descripción de dosis de las respectivas fuentes utilizadas en cada tratamiento.

No Tratamiento	Suelo (balance Ca-Mg-K)	Dosis de aplicación Ca-Mg (mg/maceta)	Fuentes de Ca y Mg
1	S1(sin vinaza)	95-120	Nitrato de Ca y sulfato Mg
2	S2(con vinaza)	95-120	Nitrato de Ca y sulfato Mg
3	S3(con vinaza + agregado KCl)	95-120	Nitrato de Ca y sulfato Mg
4	S1(sin vinaza)	190-240	Nitrato de Ca y sulfato Mg
5	S2(con vinaza)	190-240	Nitrato de Ca y sulfato Mg
6	S3(con vinaza + agregado KCl)	190-240	Nitrato de Ca y sulfato Mg
7	S1(sin vinaza)	111	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
8	S2(con vinaza)	111	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
9	S3(con vinaza + agregado KCl)	111	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
10	S1(sin vinaza)	222	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
11	S2(con vinaza)	222	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
12	S3(con vinaza + agregado KCl)	222	Dolomita (CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub> )
13	S1(sin vinaza)	105	Terramix (CaO.MgO)
14	S2(con vinaza)	105	Terramix (CaO.MgO)
15	S3(con vinaza + agregado KCl)	105	Terramix (CaO.MgO)
16	S1(sin vinaza)	210	Terramix (CaO.MgO)
17	S2(con vinaza)	210	Terramix (CaO.MgO)
18	S3(con vinaza + agregado KCl)	210	Terramix (CaO.MgO)
19	S1(sin vinaza)	0	Nada
20	S2(con vinaza)	0	Nada
21	S3(con vinaza + agregado KCl)	0	Nada

1. Fuentes solubles (nitrato de Ca y sulfato de Mg). Estas fuentes se aplicaron diluidas, pesando 1.18g de nitrato de calcio y 1.5g de sulfato de magnesio aforado en 500 ml de agua desmineralizada y se aplicó 40 ml/maceta con una probeta, para los tratamientos 1 al 3.

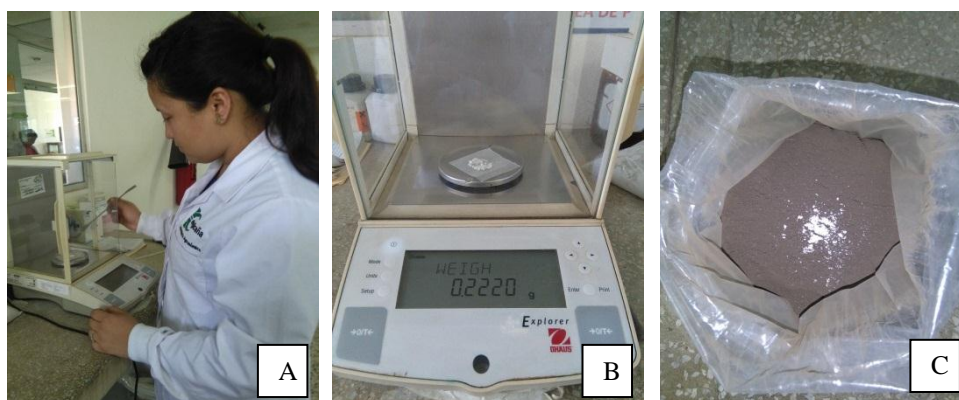
Para los tratamientos 4 al 6 se pesó 2.37g de nitrato de calcio y 3g de sulfato de magnesio aforados en 500 ml de agua desmineralizada y se aplicó 40 ml/maceta con una probeta.

Ilustración 3. Aplicación de solución de Ca-Mg



2. Fuentes de baja solubilidad (Cal dolomítica y terramix). Para estas fuentes se pesó en una balanza analítica lo correspondiente de cada fuente (Cuadro 5) según el tratamiento y se incorporó al suelo previamente secado al aire y pesado (400g) en una bolsa nylon.

Ilustración 4. Pesado de Cal Dolomítica y Terramix



A) Pesado de las fuentes (cal dolomítica y terramix). B) Balanza analítica utilizada. C) incorporación de las fuentes al suelo previamente pesado.

## F. NUTRIENTES DE BASE

1. Solución 1 (Nitrógeno). Para la solución de nitrógeno se consideró el nitrógeno aportado por el nitrato de calcio aplicados en la siembra como enmiendas para los tratamientos del 1-6. En el Cuadro 6 se puede observar el nitrógeno aportado por el nitrato de calcio.

Cuadro 6. Nitrógeno (N) aportado por el nitrato de Ca

Tratamiento	Cantidad del compuesto por maceta de 400g		
	Nitrato de calcio (Ca)	N aportado	
		Mg/maceta	Ppm
1,2,3	95 mg	14	35
4,5,6	190 mg	28	70

En los tratamientos 1,2 y 3 se realizó una aplicación de Nitrógeno con una solución que contuvo 35 ppm ya que los otros 35 ppm fueron aportados al inicio con el nitrato de calcio (Cuadro 6). Se diluyó 50 ml de la solución (Cuadro 7) en 500ml de agua desmineralizada aforados en un balón volumétrico y se aplicó 40ml de esta dilución con una probeta a cada maceta.

Cuadro 7. Solución nutritiva de N para tratamientos 1,2 y 3

Elemento	Fuente	Peso en Gamos para	Cantidad aportada en
		1 Litro de solución	100 ml de solución
N	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	10	35 ppm

Los tratamientos 4,5 y 6 no recibieron la primera aplicación de Nitrógeno debido a que el nitrato de calcio aplicado al inicio aportó los 70 ppm de N.

Para los tratamientos del 7 al 21 la primera aplicación se realizó con la solución de N descrita en el Cuadro 8 de la cual se diluyó 100 ml en 1 litro de agua desmineralizada aforada en un balón volumétrico de 1 litro y se aplicó 40ml por maceta, a partir de la semana 2 después de la siembra todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de N.

Cuadro 8. Solución nutritiva de N para tratamientos 7 al 21

Elemento	Fuente	Peso en Gamos para	Cantidad aportada en
		1 Litro de solución	100 ml de solución
N	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	20	70 ppm

De la semana 4 en adelante se aplicó 2 veces a la semana la solución de N, siempre aplicando 40ml por maceta de la solución diluida en cada aplicación.

2. Solución 2 (Fósforo y micronutrientes). La solución madre de P y micronutrientes se describe en el Cuadro 9, las aplicaciones se realizaron a partir de la segunda semana después de la siembra. En la semana dos y tres después de la siembra se aplicó una vez por semana. A partir de la semana cuatro en adelante se realizaron dos cada semana, en donde se diluyó 100ml de la solución madre (Cuadro 9) en 1 litro de agua desmineralizada aforada en un balón volumétrico de 1 litro. Se aplicó 40ml por maceta de la dilución en cada aplicación.

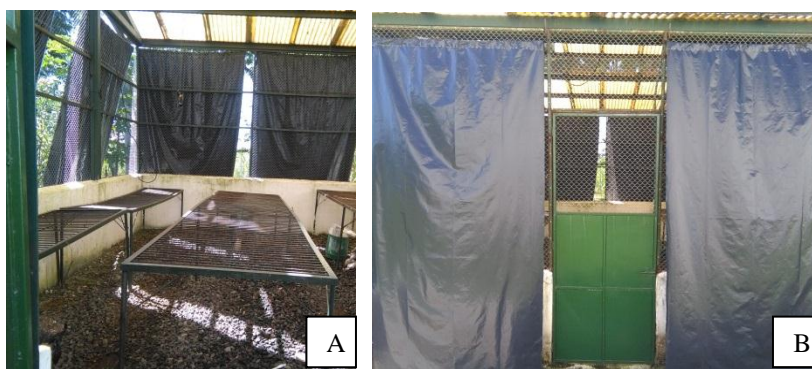
Cuadro 9. Solución nutritiva de P y Micronutrientes para todos los tratamientos

Elemento	Compuesto	Cantidad en 1 litro
Fosforo	Ácido fosfórico	22 ml
Azufre	Ácido sulfúrico	5.2 ml
Manganeso	Sulfato de Mn	9.23g
Cobre	Sulfato de Cu	0.79g
Zinc	Sulfato de Zn	4.39g
Boro	Ácido Bórico	1.15g
Molibdeno	heptamolibdato de amonio	0.37g
Hierro	Sulfato de Hierro	9.95g

## G. MANEJO DEL EXPERIMENTO

1. Limpieza de área: Limpieza y ordenamiento del invernadero a utilizar. Se colocaron cortinas de nylon para evitar daños por viento y lluvia, las cortinas se bajaron solo si era necesario (Ilustración 5).

Ilustración 5. Casa malla utilizada para el ensayo

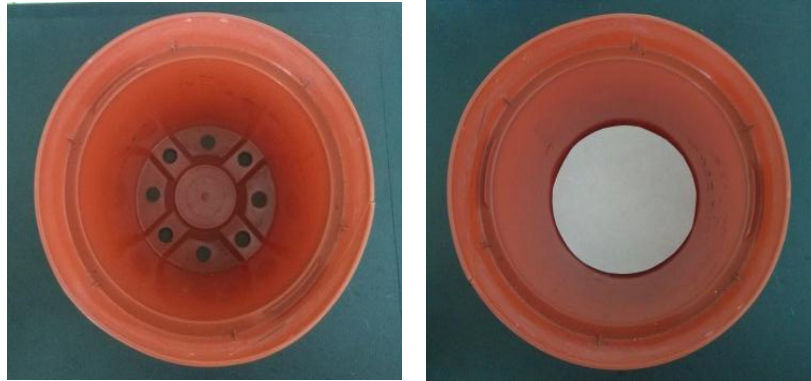


A) Interior de la casa malla utilizada en el ensayo

B) Colocación de cortinas de nylon para evitar daños por viento y lluvia.

2. **Pesado del suelo y llenado de macetas:** Al fondo de cada maceta se le fue colocado un círculo de papel filtro para evitar pérdida de suelo por los agujeros de drenaje que las macetas traen (Ilustración 6).

Ilustración 6. Colocación de círculos de papel filtro en el fondo de las macetas



Con una balanza digital se pesaron 400g de suelo seco correspondiente a cada tratamiento, el cual previamente fue secado al aire y tamizado con un tamiz 2mm x 2mm (Ilustración 7).

Ilustración 7. Secado de suelo, pesado del suelo y llenado de macetas



A) Secado de suelo al aire libre B y C) Llenado de macetas con 400g de suelo y pesado en una balanza digital

Para los tratamientos del 7 al 18 se pesó el suelo correspondiente a cada tratamiento con la balanza digital y se colocó en bolsas de nylon debido a que las fuentes (dolomita y terramix) fueron incorporaron al suelo antes de que este se introdujera en las macetas (Ilustración 8). El resto de tratamientos fueron pesados directamente en las macetas debido a que la incorporación de las enmiendas fue diluida en agua desmineralizada y aplicada estando ya en las macetas como se muestra en la Ilustración 7.

Ilustración 8. Pesado de suelo para tratamientos del 7 al 21



3. **Siembra de sorgo:** Se estableció el cultivo con semilla sexual, sembrando por maceta 12 semillas a una profundidad de siembra de aproximadamente 4cms. La siembra se realizó de la siguiente manera (Ilustración 9): 1) Perforación de 12 agujeros con una profundidad aproximadamente de 4cms. 2) Colocación de 1 semilla por agujero. 3) Cierre del agujero cuidando de no dejar compactando el suelo.

Ilustración 9. Siembra de sorgo



4. **Riego:** Inicialmente se saturó el suelo con 210ml por maceta. Posteriormente se realizaron los riegos según lo requerido por el cultivo, se efectuó de forma manual con una probeta graduada de 100ml. Y fue de manera uniforme para todos los tratamientos.

Ilustración 10. Riego del ensayo



5. **Raleo:** 8 días después de la siembra se realizó un raleo para elegir únicamente 8 plantas, las más sanas y vigorosas por maceta, las plantas se extrajeron totalmente completas de forma manual (Ilustración 11).

Ilustración 11. Raleo de plantas



6. **Control de plagas y enfermedades:** Se realizaron aplicaciones de fungicida e insecticida para prevenir daños futuros por plagas y enfermedades. Las aplicaciones se realizaron con una bomba de mochila de capacidad de 16 litros.

a. Fungicida:

1) Vitavax 34 SC (suspensión concentrada) es un fungicida de contacto que proporciona un excelente control, además promueve un incremento en la germinación (Duwest). La aplicación se realizó al momento de la siembra, con una dosis de 3 ml de vitavax por litro agua (total 4 litros utilizados).

2) Derosal 50 SC (suspensión concentrada) el cual es un fungicida sistémico de acción protectora y curativa (Ecured, 2017). Se aplicó con una dosis de 1ml de Derosal por litro de agua (total 4 litros utilizados) asperjado a todos los tratamientos. La aplicación se realizó a los 15 días después de la siembra como control con una bomba de mochila.

b. Insecticida:

1) Coragen 20 SC (suspensión concentrada) el cual es un insecticida sistémico y translaminar (Dupont). Se aplicó con una dosis de 1.5ml Coragen por litro de agua (total 4 litros utilizados), asperjado a todos los tratamientos. La aplicación se realizó 20 días después de la siembra y una segunda aplicación a los 40 días después de la siembra como control. Utilizando una bomba de mochila.

Ilustración 12. Aplicación de pesticidas



## H. VARIABLES DE RESPUESTA

Esta información fue recolectada al finalizar el ciclo de la investigación, a los 56 días después de la siembra del cultivo. Las variables consideradas en la evaluación se describen a continuación.

1. **Peso seco de las plantas de sorgo:** Las plantas fueron cortadas desde la base del tallo, al ras del suelo, para luego ser pesadas en la balanza digital, replica por replica de cada tratamiento. Luego de ser pesadas se introdujeron en una bolsa de papel craf (Ilustración 13).

Ilustración 13. Corte y peso fresco de plantas



A) Corte de las plantas desde la base del tallo B) Peso de plantas en una balanza digital  
C) introducción de plantas pesadas en bolsa de papel craf

Fuente: Autor

Se utilizó un horno Premlab del laboratorio agronómico de CENGICAÑA, para secar las plantas a una temperatura de 70°C por 16 horas, seguidamente se pesaron en una balanza digital cada replica de todos los tratamientos.

Ilustración 14. Ingreso de muestras al horno del laboratorio de CENGICAÑA



2. **Absorción de nutrientes (K, Ca y Mg):** Las plantas secadas en el horno se molieron y se tomaron 50g de muestra para ser analizados en el laboratorio agronómico de CENGICAÑA con el objetivo de determinar el contenido de nutrientes en cada uno de los diferentes tratamientos evaluados.

3. **pH:** Para determinar esta variable se conformaron muestras del suelo utilizado en el ensayo y fueron ingresadas al laboratorio agronómico de CENGICAÑA, se realizaron dos análisis el primero antes de establecer el ensayo y el segundo al finalizarlo.

## I. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis de varianza según el factorial  $3 \times 2 \times 3$  y las comparaciones respectivas con los testigos. Y la comparación de medias se hizo con Tukey al  $p < 0.05$  y con contrastes al comparar los tratamientos con los testigos sin aplicación.

## VII. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del ensayo realizado durante dos 2 meses utilizando sorgo como planta indicadora. Los cuadros muestran los resultados obtenidos a partir de la cosecha de la biomasa por maceta expresados en peso seco, de los tratamientos evaluados y resultados de la concentración o absorción de nutrientes obtenidos a partir de las determinaciones en el laboratorio y expresados en base seca. También se presentan los resultados de pH y concentración y relación de bases del suelo al inicio antes de la aplicación de los tratamientos y los resultados obtenidos al final de la evaluación.

### A. ABSORCIÓN DE NUTRIENTES (K, Ca Y Mg) POR LA PLANTA EN LOS FACTORES SUELO, FUENTE Y DOSIS

En el Cuadro 10 se observan la absorción (%) de K, Ca y Mg para el factor suelo (S1: sin vinaza, S2: con vinaza y S3: con vinaza + agregado de KCl), fuente (solubles, dolomita y terramix) y dosis (D0, D1 y D2) comparados con el testigo (sin aplicación de Ca y Mg).

Cuadro 10. Absorción de nutrientes K, Ca y Mg foliar (%) para los factores suelo, fuente y dosis

Suelo	Fuente	Dosis	Absorción de nutrientes (%)		
			K	Ca	Mg
S1	Testigo	D0	1.03	0.66	0.48
	Solubles	D2	0.74	0.53	0.51
		D1	0.72	0.58	0.63
	Dolomita	D2	0.96	0.59	0.54
		D1	0.97	0.61	0.62
	Terramix	D2	0.88	0.65	0.50
		D1	0.73	0.57	0.61
S2	Testigo	D0	7.25	0.37	0.24
	Solubles	D2	7.73	0.32	0.28
		D1	7.68	0.33	0.28
	Dolomita	D2	7.70	0.35	0.26
		D1	7.89	0.35	0.28
	Terramix	D2	6.73	0.35	0.25
		D1	6.73	0.36	0.27
S3	Testigo	D0	9.29	0.29	0.13
	Solubles	D2	9.12	0.25	0.17
		D1	9.64	0.29	0.20
	Dolomita	D2	8.16	0.28	0.17
		D1	8.63	0.27	0.16
	Terramix	D2	8.22	0.29	0.14
		D1	9.10	0.28	0.16

## B. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA (g/MACETA) EN LOS FACTORES SUELO X FUENTE X DOSIS

En el Cuadro 11 se muestran los resultados de la variable ‘Peso seco’ en: 1) Tres distintas condiciones de suelos utilizados para dicha investigación S1 (suelo sin aplicación de vinaza), S2 (suelo con aplicación de vinaza de 120m<sup>3</sup>/ha anuales) y S3 (con vinaza (120m<sup>3</sup>/ha anuales) + agregado de KCL). 2) Tres fuentes de Ca y Mg utilizadas (Solubles, Dolomita y Terramix) y el testigo (sin aplicación de fuente). 3) dos dosis de las fuentes, D1 (100-60kg/ha) y D2 (200-120kg/ha) y sin aplicación (D0).

Cuadro 11. Peso seco de biomasa (g/maceta) para los factores suelo x fuente x dosis

Suelo	Fuentes de Ca y Mg (g)						
	Testigo	Solubles		Dolomita		Terramix	
	D0	D1	D2	D1	D2	D1	D2
S1	4.42	4.84	5.10	3.80	4.32	5.77	4.66
S2	7.35	6.51	7.23	6.75	6.43	7.68	6.79
S3	7.13	8.00	7.97	6.62	7.78	7.72	7.32
Promedio general	6.30	6.45	6.77	5.72	6.18	7.06	6.26

## C. EFECTO DE LAS FUENTES UTILIZADAS SOBRE EL pH DEL SUELO AL FINAL DEL ESTUDIO Y RELACIONES EN LAS BASES

Cuadro 12. Efecto de las fuentes utilizadas (Solubles, Dolomita y Terramix) sobre el pH del suelo

Suelo	pH inicial	pH final			
		Testigo	Solubles	Dolomita	terramix
S1	5.57	4.67	4.57	4.75	4.82
S2	6.34	5.12	5.12	5.17	5.22
S3	6.38	5.17	5.18	5.19	5.24

En el Cuadro 13 se presentan los resultado de los análisis de suelo realizados antes y después de la evaluación, en donde se presentan el comportamiento a nivel de suelo de las bases según la fuente aplicada. Solo se tomó los extremos en cuanto a suelos siendo estos el S1 (sin vinaza) y S3 (con vinaza + agregado de K).

Cuadro 13. Efecto de las fuentes de Ca y Mg sobre las relaciones de bases en el suelo

Suelo	K (meq/100g)					Ca (meq/100g)					Mg (meq/100g)				
	I	F.T	F.S	F.D	F.Te	I	F.T	F.S	F.D	F.Te	I	F.T	F.S	F.D	F.Te
S1	0.52	0.21	0.22	0.21	0.23	7.56	6.23	4.92	5.88	6.39	3.11	1.90	1.30	1.42	1.77
S3	8.23	4.48	4.57	4.48	4.49	8.65	8.65	9.18	9.15	8.74	3.02	3.17	3.98	3.61	3.37

I= Inicial, F.T= Final Testigo, F.S= Final Solubles, F.D=Final Dolomita y F.Te=Final Terramix

## VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### A. EFECTO DE LOS SUELOS CON DIFERENTES NIVELES DE K Y DIFERENTES RELACIONES DE BASES

1. Efecto en los contenidos de K, Ca y Mg en la planta. El análisis de varianza indico que los suelos con diferentes niveles de K y diferentes relaciones de bases tuvieron efectos estadísticamente significativos en la absorción de K, Ca y Mg por la planta y en el peso seco total. En las figuras 1, 2 y 3 se muestran respectivamente la absorción de K, Ca y Mg por la planta obtenidos en los tres suelos evaluados.

Figura 2. Contenidos de K foliar (%) para el factor suelo

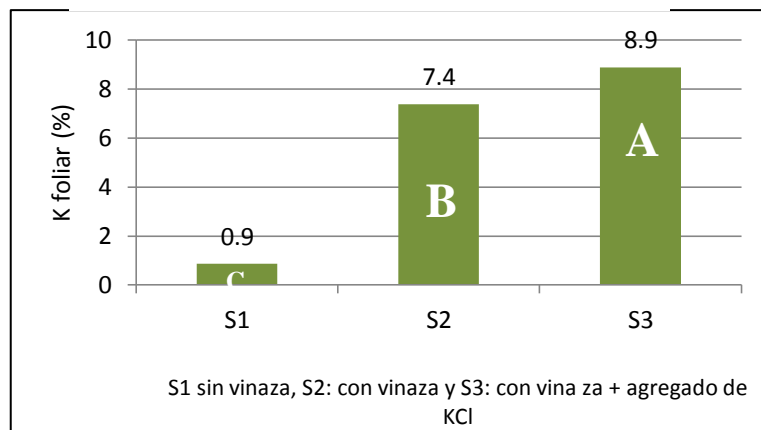


Figura 1. Contenidos de Ca foliar (%) para el factor suelo

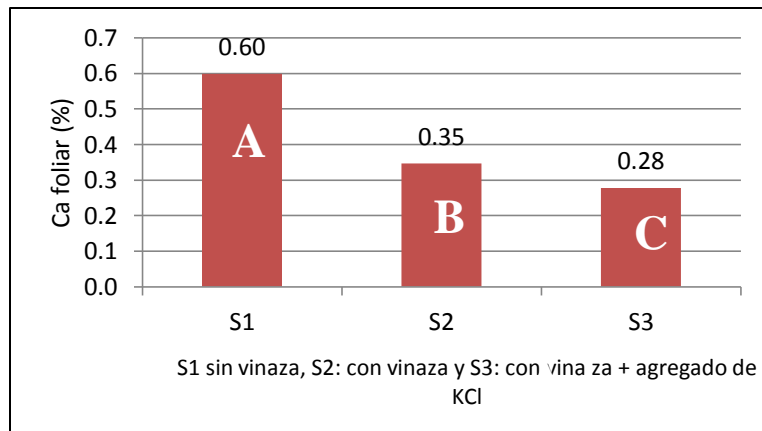
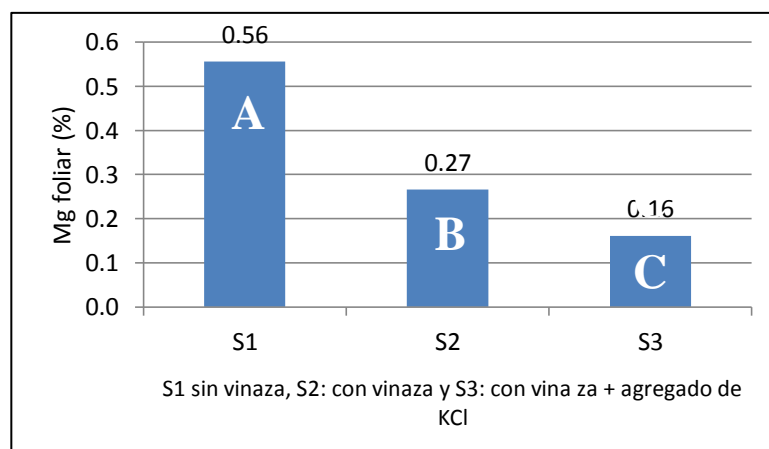


Figura 3. Contenidos de Mg foliar (%) para el factor suelo



Se observa que la absorción de K por las plantas se incrementó en forma significativa de 0.90 % a 7.4 % cuando crecieron en el suelo 2 que tenía alto nivel de K intercambiable en el suelo (4.6 meq/100g) en comparación a cuando crecieron en el suelo 1 cuyo contenido de K era bajo (0.50 meq/100 g) (Figura 1). La absorción de K por las plantas fue proporcional a los contenidos de este elemento en el suelo aumentando 8 veces su absorción bajo el suelo 2. La absorción de K no se incrementó en forma lineal al tener más K hasta 8 meq/100g como sucedió con el suelo 3, aunque se observó un incremento en la absorción por la planta a 8.9 % (Figura 1).

Los altos niveles de K intercambiable presentes en los suelos y las relaciones inadecuadas de bases con respecto a Ca y Mg en los suelos 2 y 3 redujeron en forma significativa la absorción de Ca y Mg por la planta indicando la fuerte competencia y antagonismo en la absorción de estas bases por las raíces cuando el K está en exceso en el suelo. La absorción de Ca se redujo drásticamente de 0.60 a 0.35 % en la planta en el suelo 2 y hasta 0.28 % en el suelo 3 (Figura 2). De la misma manera la absorción de Mg por la planta fue afectada drásticamente. El Mg se redujo en forma significativa de 0.56 a 0.27 % en la planta en el suelo 2 y hasta 0.16 % en el suelo más desbalanceado (suelo 3) (Figura 3), evidenciándose fuertemente el impacto de los altos niveles de K en la absorción de estos dos cationes. Según Cakmak (2015), el antagonismo ocurre cuando dos nutrientes minerales o más interactúan teniendo iones con propiedades fisicoquímicas (valencia y/o diámetro del ion) similares. Se da una competencia debido a la entrada a un mismo canal proteico o por la unión a una proteína transportadora. al existir un exceso de K en los suelos S2 y S3 utilizados en el estudio el Mg disminuyó evidentemente en el follaje de las plantas, a pesar que fue aplicado no pudo ser absorbido con facilidad por la planta por el antagonismo que el K hizo al estar en excesivas cantidades

En el Cuadro 14 se muestran los contenidos de K, Ca y Mg en el suelo y las relaciones entre estos cationes en los tres suelos evaluados.

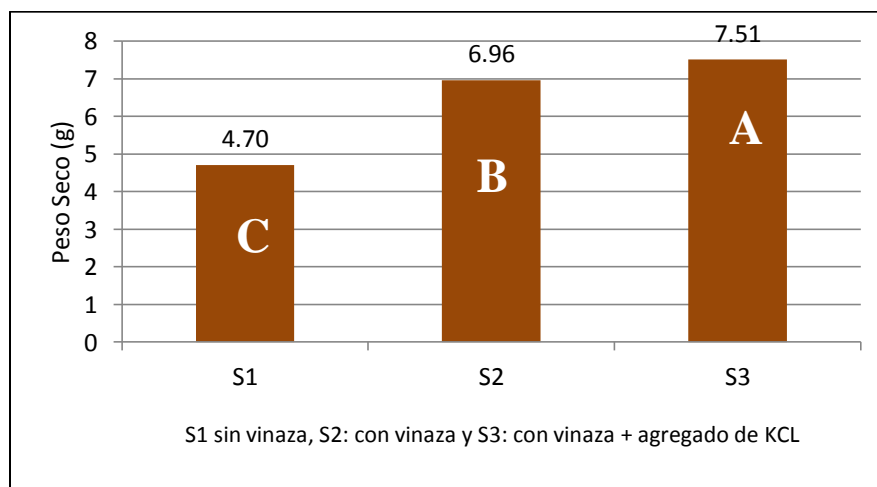
Cuadro 14. Bases intercambiables y relación de bases en los tres suelos evaluados

Suelo	K	Ca	Mg	Relaciones de bases			
	Meq/100 g			Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
1	0.5	7.6	3.1	2.5	14.5	6.0	20.5
2	4.6	10.4	4.2	2.5	2.3	0.9	3.2
3	8.2	8.7	3.0	2.9	1.1	0.4	1.4

Los resultados de absorción de K, Ca y Mg por la planta son congruentes con los niveles de K intercambiables y de la inadecuada relación existente entre ellas en el suelo presentadas en el cuadro 14. En el suelo 2 se observan que las relaciones Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K son inadecuadas para Ca y Mg con valores respectivamente de 2.3, 0.9 y 3.2 muy por debajo de los valores del suelo 1 que presenta relaciones adecuadas. Las relaciones para el suelo 3 son aún más inadecuadas para Ca y Mg.

2. Efecto en el peso seco de las plantas. En la Figura 4 se presenta el efecto promedio de los diferentes suelos con diferentes contenidos de K y diferentes relaciones de bases en el peso seco/maceta.

Figura 4. Efecto de tres suelos con diferentes contenidos de K y diferentes relaciones de bases en el peso seco



En la Figura 4 se observa que en promedio el peso seco de las plantas/maceta fue significativamente más alto en los dos suelos que tenían alto K (suelos 2 y 3). Se observa que el peso promedio alcanzado en el suelo 1 caracterizado por un bajo nivel de K intercambiable (0.50 meq/100g) y con relación adecuada de bases fue de 4.70 g/maceta. Sin embargo, el rendimiento de materia seca aumentó a 6.96 g/maceta en el suelo 2 caracterizado por un alto contenido de K intercambiable en el suelo (4.5 meq/100g) y relación desbalanceada de bases, alcanzando un rendimiento máximo de 7.51 g/maceta en el suelo 3 que tenía todavía más alto K (8.2 meq/100g) y relación de bases desbalanceada más acentuada. Los rendimientos de materia seca alcanzados en los suelos 2 y 3 corresponden respectivamente a incrementos del 48 % y 60 % respecto al suelo 1.

Los mayores rendimientos de materia seca obtenidos en los suelos 2 y 3 respecto al suelo 1 indican que los altos niveles de K en la planta en estos tratamientos y de la reducción de los niveles de Ca y Mg en los mismos no llegaron a límites críticos para incidir en forma negativa en crecimiento de las plantas. Por el contrario, estos resultados indicarían la baja disponibilidad de potasio en el suelo 1 (0.50 me/100g) proveniente de tratamientos sin vinaza y de la corrección de este nutriente por las aplicaciones de vinaza recibida en los suelos 2 y 3. Por otro lado, estos resultados indicarían que los valores de Ca de 0.28-0.35 % y de Mg de 0.16-0.28 % obtenidos en las plantas que crecieron en el suelo 2 y 3 no fueron críticos. Los valores no críticos de Ca y Mg en las plantas a pesar del desbalance de los mismos en el suelo por excesos de K en los suelos 2 y 3 estarían soportados por los niveles adecuados de Ca y Mg intercambiables de estos dos suelos con valores de 10.4-8.7 y de 4.2-3.0 meq/100g en forma respectiva. Pérez *et al.* (2017), a nivel de campo encontraron que la vinaza aplicada en diferentes dosis durante doce años consecutivos han aumentado significativamente los niveles de K intercambiable del suelo y causado desbalances en el suelo; sin embargo los rendimientos de caña han aumentado en forma significativa bajo estas condiciones aunque con disminuciones en los contenidos de sacarosa especialmente en las dosis más altas de vinaza.

## B. EFECTO DE LAS FUENTES DE Ca Y Mg

1. Efecto en los contenidos de Ca y Mg en la planta. El análisis estadístico de varianza mostró que las fuentes de Ca y Mg aplicadas tuvieron efectos significativos en la absorción de Ca por la planta. El efecto de estas fuentes no alcanzó significancia estadística en la absorción de Mg pero los resultados muestran una tendencia positiva y congruente con lo esperado.

En las figuras 5 y 6 se muestran respectivamente la absorción de Ca y Mg por la planta obtenido por las fuentes (solubles, dolomita y terramix) comparadas con el testigo sin aplicación.

Figura 5. Efecto de las fuentes de Ca y Mg en el contenido de Ca en la planta

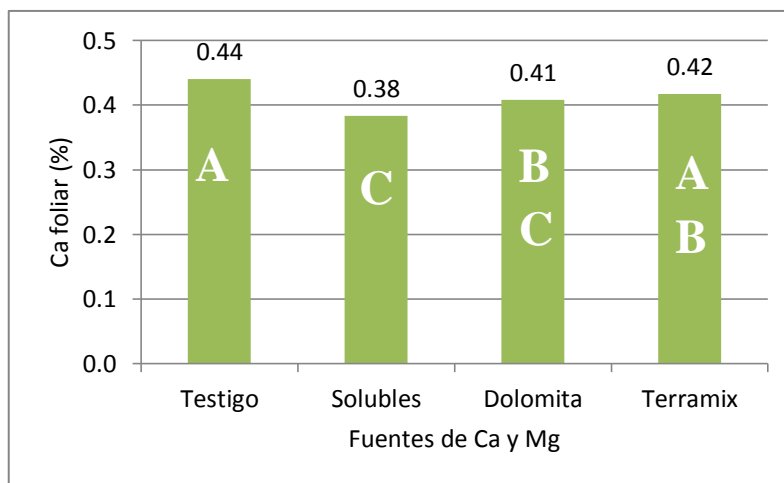
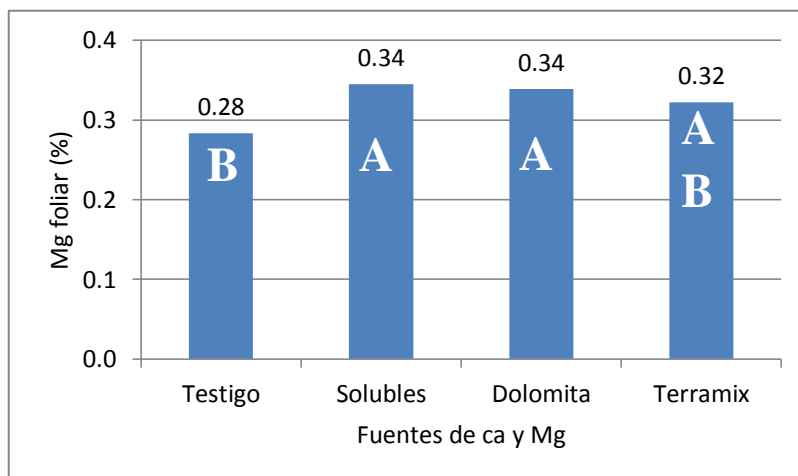


Figura 6. Efecto de las fuentes de Ca y Mg en el contenido de Mg en la planta



En la Figura 5 se observa que las fuentes aplicadas no mejoraron los contenidos de Ca en la planta, incluso se observa que el testigo sin aplicación en promedio tuvo un contenido mayor que las fuentes solubles y que la dolomita y similar contenido con terramix, contrario a lo observado con Mg donde se observa que en promedio las tres fuentes utilizadas incrementaron la absorción de este elemento por la planta

siendo congruente con lo esperado. El Mg en la planta paso de 0.28 % en el testigo sin aplicación a 0.34 % en los tratamientos aplicados con fuentes solubles y dolomita y a 0.32 % con terramix.

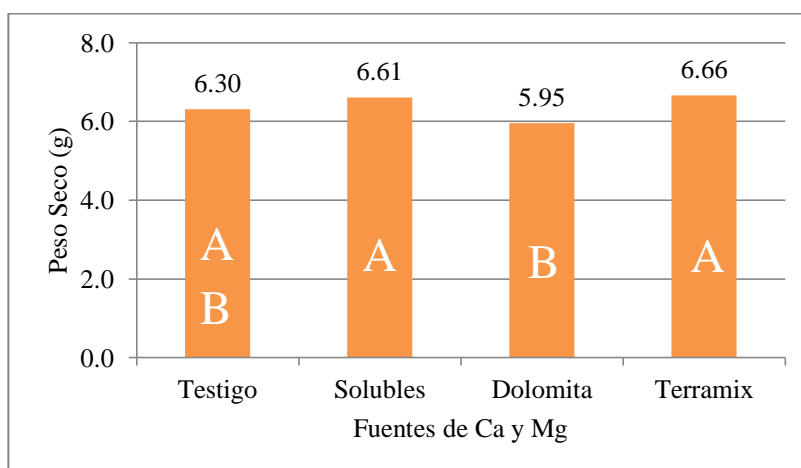
Las menores absorciones de Ca con las fuentes utilizadas no se expresaron en el resultado final de biomasa de peso seco ya que los rendimientos con los solubles fueron superiores al rendimiento alcanzado con el testigo sin aplicación como se muestra más adelante en la sección de efecto en el peso seco.

2. Efecto en el peso seco de las plantas. En la Figura 7 se presenta el efecto promedio de las fuentes y testigo en el peso seco, con diferencias estadísticamente significativa (Pr:0.0001). Los mayores rendimientos de materia seca obtenidos en las fuentes utilizadas se encontraron en las fuentes solubles y terramix representando respectivamente un aumento de 5 y 6% con respecto al testigo y se observa una disminución en el rendimiento de materia seca para la fuente dolomita con respecto al testigo. Esto resultados indican que las fuentes que más favorecieron al rendimiento de materia seca fueron las solubles y el terramix con un peso promedio respectivamente de 6.6 y 6.7 g/maceta.

Los resultados en aumento de materia seca con las fuentes solubles y terramix podrían estar indicando la influencia de una mejor absorción de Mg por las plantas tratadas con estas fuentes y la posible limitación de Mg más que Ca. El Mg es más sensible ante excesos de K que Ca (Cakman 2015).

El bajo efecto de la dolomita en el peso seco de las plantas posiblemente esté relacionada con la mas baja disponibilidad de este material en comparación con las otras dos fuentes. De todas maneras es importante indicar que el efecto de las fuentes sobre el peso de materia seca depende del suelo a que se aplique y de la dosis de aplicación de las mismas por la interacción significativa de la fuente de variación suelo x dosis x fuente que se presenta más adelante.

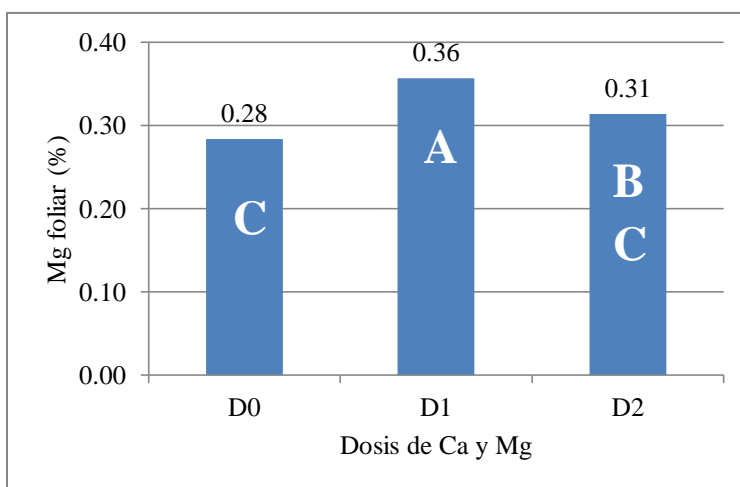
Figura 7. Promedios del efecto de las fuentes para el peso seco



### C. EFECTO DE LAS DOSIS Ca Y Mg EN LA ABSORCIÓN DE Mg POR LA PLANTA

De acuerdo al análisis estadístico se encontró que la única variable afectada significativamente por las dosis de las fuentes evaluadas fue la absorción de Mg. En la Figura 8 se presenta el efecto de las dosis de las fuentes utilizadas (D0: sin aplicación, D1:100-60 kg/ha y D2:200-120 kg/ha). La dosis que presentó el mayor contenido promedio de Mg en el follaje fue la D1 con 0.36% seguida por D2 con 0.31%, ambas por encima del testigo D0 que no obtuvo aplicación. Se observa que de la D0 a la D1 aumento un 8% y del D1 al D2 se reduce levemente pero siempre por arriba del testigo sin aplicación. Esto indica que para las dosis de las fuentes de Ca y Mg en esta evaluación la eficacia máxima de absorción de Mg se da en la D1. Existe un límite en la tasa de absorción máxima ya que por encima de cierta concentración en la solución la absorción no aumenta; en las fuentes de baja solubilidad la concentración de nutrientes en la solución no aumenta con adiciones mayores de fertilizantes (Bordoli y Barbazán, 2010:31), y en este caso el límite de mayor absorción de Mg por la planta se dio en la dosis de 100-60 kg/ha de Ca-Mg, a partir de este límite máximo de absorción de Mg la dosis mayor D2 disminuyó la absorción de Mg.

Figura 8. Promedios del efecto de las dosis de Ca y Mg en la absorción de Mg por la planta



## D. EFECTO DE LAS INTERACCIONES EN LOS FACTORES SUELO X FUENTE X DOSIS

1. Efecto en la variable peso seco en la interacción de los factores suelo x fuente x dosis. El efecto de la interacción suelo x fuente x dosis en la variable peso seco según el análisis de varianza estuvo a una probabilidad de  $P:0.06$ . Por la congruencia de los datos, por la probabilidad de significancia presentada y por la integración de la expresión de todos los factores a la vez se presentan los datos en el Cuadro 15 con la respectiva separación de medias (Tukey: 0.06).

Cuadro 15. Efecto en la variable peso seco en interacción de los factores suelo x fuente x dosis

Suelo	Fuentes de Ca y Mg (g)													
	Testigo		Solubles			Dolomita			Terramix					
	D0		D1	D2		D1	D2		D1	D2		D2		
S1	4.42	EF	4.84	EF	5.10	DEF	3.80	F	4.32	F	5.77	CDE	4.66	EF
S2	7.35	AB	6.51	BC	7.23	AB	6.75	ABC	6.43	BCD	7.68	AB	6.79	ABC
S3	7.13	ABC	8.00	A	7.97	A	6.62	ABC	7.78	AB	7.72	AB	7.32	AB

Prueba de medias de Tukey: Medias seguidas con la misma letra en cada columna.

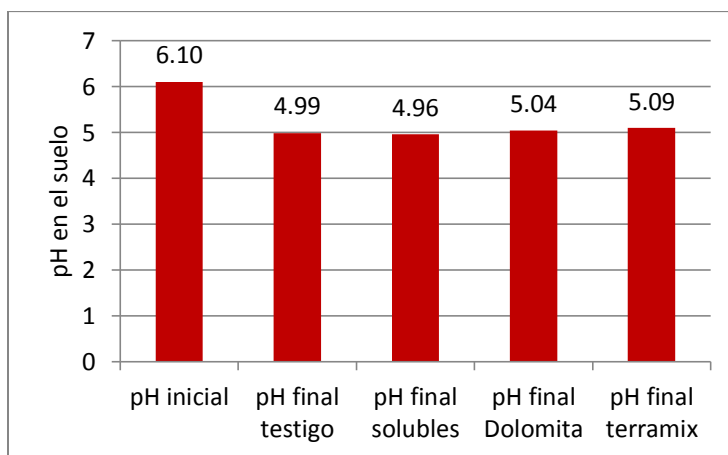
En el Cuadro 15 se observa que el efecto de las fuentes en el peso seco/maceta fue superior en forma significativa con la fuente soluble tanto en D1 como en D2 en el Suelo 3 (S3) pero no en los otros suelos. Esto indica que las fuentes solubles fueron más efectivas en el suelo con mayor exceso de K (suelo 3). Se observa que con el testigo sin aplicación (Testigo DO) el peso seco se incrementó de 4.42 a 7.35 g, del suelo 1 al suelo 2 y disminuyó a 7.13 al pasar al suelo 3 que es el más crítico en cuanto al contenido de K. Sin embargo con la fuente soluble, tanto en D1 como en D2 el peso seco se incrementó al pasar del suelo 2 al suelo 3 en forma significativa. Para las otras fuentes también se mejoró ligeramente el peso seco en el Suelo 3 en comparación con el testigo en este mismo suelo.

De los resultados del Cuadro 15 se deduce que el mejor tratamiento fue la aplicación de la fuente soluble en dosis de 120-60 kg de Ca y Mg respectivamente.

## E. EFECTO DE LAS FUENTES UTILIZADAS SOBRE EL pH DEL SUELO AL FINAL DEL ESTUDIO Y LAS RELACIONES DE LAS BASES DE SUELOS

1. Efecto de las fuentes de Ca y Mg sobre el pH de suelos. En Figura 9 se presenta el pH inicial y el efecto de las fuentes sobre el pH al finalizar la evaluación. Se observa que de un pH inicial de 6.1 disminuyó a 4.99, 4.96, 5.04 y 5.09 respectivamente para las fuentes: testigo, solubles (nitrato de Ca y sulfato de Mg), dolomita y terramix. Las fuentes aplicadas hicieron su efecto en el transcurso de tiempo de la evaluación, pero esta acidificación presentada en el suelo al final del estudio se debe principalmente a que las aplicaciones constantes de N (9 aplicación uniforme a todos los trat.) utilizado en este caso la fuente nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) durante todo el transcurso de la evaluación causar el efecto de acidificación en el pH de los suelos. Según Ginés y Sancho (2002:4) el nitrato de amonio o nitrato amónico ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) es un fertilizante que contiene el nitrógeno en forma amoniacal y en forma de nitrato, dando una reacción global ácida, debida al amonio. También podemos atribuir la baja en el pH final a los constantes riegos aplicados haciendo un efecto de lavado de las fuentes en el suelo.

Figura 9. Efecto de las fuentes de Ca y Mg utilizadas en el pH del suelo



Se observa que en cuanto a las diferentes fuentes de Ca y Mg, las fuentes que presentaron un leve aumento en el pH final de 5.04 y 5.09 respectivamente fueron las fuentes dolomita y terramix en comparación con el PH final del testigo (sin aplicación de fuentes de Ca y Mg) con 4.99.

2. Relaciones de bases (k, Ca y Mg). En el Cuadro 16 se presenta las relaciones en las bases del suelo K, Ca y Mg antes y después del estudio en las diferentes fuentes y el testigo. Se consideró solo el S1 (sin vinaza) y S3 (con vinaza + agregado de KCl) siendo estos los extremos en cuanto a la condición de los suelo respecto al K.

Cuadro 16. Relaciones de las bases del suelo Ca/K, Mg/K y (Ca+ Mg)/K

Suelo	Ca/K (meq/100g)				
	I	F.T	F.S	F.D	F.Te
S1	14.54	29.68	22.30	27.59	28.04
S3	1.05	1.93	2.01	2.04	1.95

Suelo	Mg/K (meq/100g)				
	I	F.T	F.S	F.D	F.Te
S1	5.98	9.05	5.90	6.68	7.74
S3	0.37	0.71	0.87	0.81	0.75

Suelo	(Ca+Mg)/K (meq/100g)				
	I	F.T	F.S	F.D	F.Te
S1	13.54	15.28	10.82	12.56	14.13
S3	9.02	9.35	10.05	9.96	9.49

I= Inicial, F.T= Final Testigo, F.S= Final Solubles, F.D=Final Dolomita y F.Te=Final Terramix

Se observa que en la relación Ca/K para el S1 inicial se situaba en un rango intermedio con 14.5 meq/100g aumentando el valor en las fuentes con aplicación de Ca y Mg, quedando con valores de 22.3,27.59 y 28.0meq/100g respectivamente para las relaciones finales(después del estudio) solubles, dolomita y terramix; lo cual indica altas relaciones al final ya que el suelo 1 no contenía aplicaciones de vinaza (k bajo 0.5meq/100g) al aplicar las fuentes Ca y Mg estos elemento aumentan su valor por ende los valores de la relación Ca/k aumentan a favor de Ca. Comparando la relación Ca/K inicial en los dos suelos en discusión (S1 y S3) se puede notar que de 14.54meq/100g (relación media) para el S1 se redujo a 1.05meq/100g (relación muy baja) para el S3 desfavoreciendo a Ca, este valor mejoro al aplicar las fuentes respecto al S3 a 2.01, 2.04 y 1.95meq/100g respectivamente para las fuentes (Ca y Mg) solubles, dolomita y terramix, las fuentes aumentaron levemente la relación comparadas con el Testigo. La misma tendencia se observa en la relación Mg/k y en la relación (Ca+Mg)/K.

## IX. CONCLUSIONES

1. Los altos contenidos de K en los suelos 2 y 3 con desbalances en las relaciones de bases respecto a Ca y Mg en el suelo elevaron significativamente el K en la planta, causando reducciones significativas en la absorción de Ca y Mg por la planta. El incremento de K y la disminución de absorción de Ca y Mg no afectaron negativamente el rendimiento (peso seco), al contrario se incrementó de forma significativa. Indicando que Ca y Mg no llegaron a límites críticos.
2. En la condición de suelo más crítica (suelo 3) las fuentes solubles (nitrato de Ca y sulfato de Mg) y terramix fueron ligeramente superiores a la dolomita ya que incrementaron el peso seco de las plantas con respecto al testigo no aplicado.
3. La dosis que presentó el mayor contenido promedio de Mg en la planta fue la D1 (100-60kg/ha de Ca- Mg) seguida por D2 y ambas por encima del testigo D0 que no obtuvo aplicación. Esto indica que para las dosis de las fuentes de Ca y Mg en esta evaluación la eficacia máxima de absorción de Mg se da en la D1.
4. Se determinó un efecto positivo de las fuentes solubles nitrato de calcio y sulfato de magnesio evidenciado en la mayor producción de materia seca en cualquiera de las dos dosis evaluadas en el suelo 3.
5. Las fuentes de Ca y Mg no afectaron el pH como se pensó al inicio, sin embargo en los resultados se observó que fue influenciado por las constantes aplicaciones de N (nitrato de amonio) debido a que el amonio contenido en la fuente de N utilizada acidifica los suelos. Se determinó que en la comparación de las fuentes con el testigo que no tuvo aplicación de Ca y Mg, las fuentes que aumentaron levemente el pH final son dolomita y terramix.

## X. RECOMENDACIONES

- Evaluar otras fuentes de Ca y Mg para determinar si efectivamente estas podrían mejorar las relaciones de las bases del suelo.
- Evaluar fuentes de Ca y Mg por separado para aislar los efectos en la absorción de estos por la planta.
- Evaluar otras fuentes enfatizando las aplicaciones de fuentes de baja solubilidad como la dolomita y el terramix a dosis más altas pensando en los efectos a más largo plazo.
- Considerar otra fuente de N que no acidifique los suelos como lo hizo el nitrato de amonio en esta evaluación.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, Álvaro. *et al.* 1995. «Bilogía». En: CENICAÑA. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*, Colombia, Cali. Págs. 31-62.
- Anderson, D.; Bowen, J. 1994. *Nutrición de la caña de azúcar*. Instituto de Potasa y el fosforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. Págs. 40.
- Bordoli, José Martín; Barbazán, Mónica. 2010. *Aplicación de fertilizantes «Dosis »*. Curso de fertilidad de suelos 2010. Uruguay. Universidad de la Republica. Págs. 91.
- Cakmak, Ismail. 2015. *Sinergismos y Antagonismos entre nutrientes minerales durante la absorción y transporte en las plantas*. 3er curso Internacional sobre Nutrición de cultivos. <https://www.Intagi.com/articulos/nutricion-vegetal/sinergismos-y-antagonismos-entre-nutrientes> [fecha consulta: 05 octubre 2017]
- CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). 2012. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. «Requerimientos de nutrientes de la caña de azúcar» Melgar, M.; Meneses, A.; Orozco, H.; Pérez, O.; y espinosa, R. (eds.) Guatemala. 512 págs.
- CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). 2012. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. «Vinaza » Melgar, M.; Meneses, A.; Orozco, H.; Pérez, O.; y espinosa, R. (eds.) Guatemala. 512 págs.
- CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). 2011. *Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2010-2011*. Guatemala. 291 págs.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2007. *Guía técnica del sorgo*. La libertad, El Salvador. 40 págs.

- DEICA.LAICA (Departamento de investigación y extensión de la caña de azúcar).2012. *Relación catiónica y su importancia para la agricultura*. Editor: Chaves Solera, Marcos. 18ª ed. San José, Costa Rica. Págs. 20.
- DUPONT. *Coragen 20SC*. [http://www.dupont.mx/content/es\\_mx/home/productos-y-servicios/proteccion-de-cultivos/proteccion-de-vegetales/productos/coragen.html](http://www.dupont.mx/content/es_mx/home/productos-y-servicios/proteccion-de-cultivos/proteccion-de-vegetales/productos/coragen.html) [Fecha de consulta: 9 Junio de 2017]
- DUWEST. *Vitavax 34 SC*. [http://www.duwest.com/user\\_files/uploads/images/Vitavax\\_34\\_-\\_DFU.pdf](http://www.duwest.com/user_files/uploads/images/Vitavax_34_-_DFU.pdf) [Fecha de consulta: 9 de Junio de 2017]
- Díaz, Lucas y Portocarrero, Eduardo.2002. En: ZAMORANO. *Manual de producción de caña de azúcar*. Honduras. 148 págs.
- FUMEX LTDA. Sulfato de magnesio heptahidratado. [http://www.fumex.cl/pdfs/fichas\\_tecnicas/SULFATO\\_DE\\_MAGNESIO.pdf](http://www.fumex.cl/pdfs/fichas_tecnicas/SULFATO_DE_MAGNESIO.pdf) [Fecha de consulta: 10 de Junio de 2017]
- García O., Álvaro y Rojas C., Carlos. Sf. *Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos*. TECNICAÑA. Colombia. Págs. 3-1.
- Ginés, Iratzu y Sancho, Ignacio. 2002. *Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo*. Fertiberia S.A. Págs 9.
- Infoago. *El nitrato de calcio en la agricultura*. <http://infoago.com/mexico/el-nitrato-de-calcio-en-la-agricultura/> [Fecha de consulta: 9 de Junio de 2017]
- INTA (Instituto nacional de tecnología agropecuaria). 2011. *Manual de sorgo*. 1ª ed. Editores: Carrasco, Natalia; Zamora, Martin y Merlin, Ariel. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 105 págs.
- Korndörfer, G.H, et al. Sf. *Manejo, aplicación y valor fertilizante de la vinaza para caña de azúcar y otros cultivos*. [http://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec\\_no24\\_2010\\_p25-30.pdf](http://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec_no24_2010_p25-30.pdf) [fecha de consulta: 12 de Abril del 2017]
- Mikkelsen, Robert. *Suelo y fertilizante magnesio*. [https://www.researchgate.net/publication/308795926\\_Soil\\_and\\_Fertilizer\\_Magnesium](https://www.researchgate.net/publication/308795926_Soil_and_Fertilizer_Magnesium) [Fecha de consulta: 13 de junio de 2017]
- Ramos, Norvin.2003.*Evaluación del fósforo extraído con dos soluciones extractoras en 19 suelos del altiplano occidental de Guatemala*. «Descripción y ubicación de los suelos según clasificación

- taxonomica ». Tesis Universidad de San Carlos De Guatemala, Guatemala. Facultad de agronomía. 40 págs.
- SCCS (Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo). 1991. *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riegos*. Amezquita, Edgar, *et al.* Editado e impreso por: Montoya y Araújo Ltda. Bogotá, D.E. 324 págs.
- Subirós Ruiz, Fermín. 1975. *El cultivo de la caña de azúcar*. 1ª ed. San José, Costa Rica: EUNED. 448 págs.
- Tisdale, Samuel; Nelson, Werner. 1985. *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. 2ª ed. México, D.F.: UTEHA. 760 págs.
- Tomei, C.E.; Hack, C.M. y Porta, M. 2007. *El método del cultivo intensivo en macetas para el estudio de la fertilidad de suelos. Argentina*. Agotecnia N° 17. Inst. Agot. UNNE. Págs. 11-15.
- Villatoro, Braulio Ramiro. 2008. *Evaluación de la tolerancia a la sodicidad de variedades promisorias de caña de azúcar (saccharum spp.)*. Tesis Universidad San Carlos De Guatemala. Guatemala.: Facultad de agronomía. 163 págs.

