

**EVALUACION DEL EFECTO DE APLICACIÓN DE VINAZAS SOBRE LAS  
PROPIEDADES FISICO QUIMICAS Y ACTIVIDAD BIOLOGICA EN UN SUELO DE  
ORDEN INCEPTISOL CULTIVADO CON CAÑA DE AZUCAR EN LA VEREDA LA  
PRIMAVERA – MUNICIPIO DE VILLARICA NORTE DEL CAUCA**

**RAFAEL JIMENEZ ORTIZ**



**UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES**

**Director: Dr. CARLOS ARTURO GRANADA TORRES**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
FACULTAD DE ECONOMIA  
CALI - COLOMBIA  
2017**

**EVALUACION DEL EFECTO DE APLICACIÓN DE VINAZAS SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO QUIMICAS Y ACTIVIDAD BIOLOGICA EN UN SUELO DE ORDEN INCEPTISOL CULTIVADO CON CAÑA DE AZUCAR EN LA VEREDA LA PRIMAVERA – MUNICIPIO DE VILLARICA NORTE DEL CAUCA**

**RAFAEL JIMENEZ ORTIZ**

**Tesis Para Optar al Título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Director: Dr. CARLOS ARTURO GRANADA TORRES**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
FACULTAD DE ECONOMIA  
CALI - COLOMBIA  
2017**

## **DEDICO:**

### **A DIOS**

Por sus infinitas bendiciones y su permanente protección.

### **A mi familia**

A mi esposa por su constante apoyo y al amor más grande de mi vida mi amada hija que desde la eternidad me acompaña cada instante.

### **A todos y todas**

Los amigos que de corazón me acompañaron especialmente a mi amigo Wilson Mina compañero de trabajo y de Maestría.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que me apoyaron y contribuyeron a culminar este proyecto y sus palabras de aliento fueron vitales para motivarme en momentos muy difíciles que afronte durante este último año.

Un fraternal reconocimiento:

A mi director de Trabajo de Grado. Doctor Carlos Arturo Granada Torres. Por sus valiosos aportes académicos y su humanismo.

A mi tutor Oscar Fernando Gómez por su valioso acompañamiento y colaboración

A la Universidad de Manizales

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar si el uso actual de la vinaza como fertilizante líquido en el cultivo de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca, puede ocasionar cambios negativos en las propiedades físico – Químicas y biológicas del suelo, se analizaron dos parcelas de un suelo tipo Inceptisol. Una de las parcelas identificada como 003X nunca ha recibido vinaza como fertilizante, y la parcela identificada como 003Y si ha recibido vinaza desde hace más de cinco años; se aplicó un diseño al azar con dos tratamientos (003X y 003Y), se efectuaron cuatro mediciones repetidas en el tiempo en periodos trimestrales (3, 6, 9 y 12 meses) y el muestreo se realizó a dos profundidades (0 – 20 cm; 20 – 60 cm), cuyas variables respuesta fueron: pH, MO %, P, Ca, Mg, K, S, Na, C.D, Densidad Aparente y Real y actividad biológica ( $\text{CO}_2$ ). El estudio se complementó evaluando la productividad de las dos parcelas durante seis años midiendo las variables TCH (Tonelada Caña Hectárea) y TAH (Tonelada Azúcar Hectárea).

Los resultados obtenidos permiten concluir que el uso de la vinaza si contribuye significativamente a incrementar en un 27,7 % la actividad biológica ( $\text{CO}_2$ ) de la biota presente en el suelo, y no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en las otras variables medidas. La productividad en la parcela fertilizada con vinaza (003Y) medida con los indicadores TCH y TAH fue mayor que la parcela control (003X), durante los últimos seis años.

**Palabras Claves:** Fertirrigación, Actividad Biológica, Respiración Basal, Coeficiente de Dispersión, Tonelada Caña Hectárea (TCH), Tonelada Azúcar Hectárea.

## ABSTRACT

To evaluate whether the current use of vinasse as liquid fertilizer in the sugarcane crop at the geographic valley of the Cauca river, can cause negative changes in physical-chemical properties and biological activity of the soil, two parcels were analyzed of an Inceptisol soil type. One of the parcels identified as 003X never received vinasse as fertilizer, and the other identified as 003Y has been received vinasse as fertilizer for more than five years; a randomized design with two treatments (003X and 003Y) was applied, four repeated measurements over time in quarterly periods (3, 6, 9 and 12 months) and the sampling were performed at two different depths (0 - 20 cm; 20-60 cm), the response variables measured were: pH, MO%, P, Ca, Mg, K, S, Na, CD, bulk density and real density and biological activity (CO<sub>2</sub>). The study was complemented by the assessing of the productivity of these two parcels for six years measuring TCH (Ton Cane Hectare) and TSH (Ton Sugar Hectare) variables.

The results concluding that the use of vinasse contributes significantly to increase the biological activity (CO<sub>2</sub>) a 27.7% in the soil biota and no statistically significant differences occurred in the other variables measured. Productivity in the plot fertilized with vinasse (003Y) measured with TCH and TSH indicators were higher than the control plot (003X) during the six years evaluated.

**Key Words:** fertigation, Biological Activity, Basal Respiration, dispersion coefficient, Ton Cane Hectare (TCH), Ton Sugar Hectare (TSH).

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3. PREGUNTA DE INVESTIGACION .....</b>	<b>7</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
4.1 Objetivo General.....	8
4.2 Objetivos Específicos.....	8
<b>5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....</b>	<b>9</b>
<b>6. MARCO TEORICO .....</b>	<b>11</b>
6.1 Aspectos Generales.....	11
6.2 Caña de Azúcar ( <i>Saccharum Officinarum</i> ) .....	12
6.3 Propiedades Químicas del Suelo .....	14
6.3.1 Nutrientes Esenciales del Suelo .....	14
6.3.2 Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) .....	16
6.3.3 Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) .....	17
6.4 Propiedades Físicas del Suelo .....	17
6.5 Propiedades Biológicas del Suelo .....	19
<b>6.6. LAS VINAZAS DE LA CAÑA DE AZUCAR.....</b>	<b>21</b>
6.6.1 Definición .....	21
6.6.2 Composición .....	21
6.6.3 Alternativas para el uso de la Vinaza.....	23
<b>7. METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
7.1 Diseño Experimental .....	24

<b>7.2 Población y Muestra .....</b>	<b>24</b>
<b>7.3 TRABAJO DE CAMPO .....</b>	<b>26</b>
<b>7.4 TRABAJO DE LABORATORIO .....</b>	<b>29</b>
<b>7.5 INTERPRETACION DE RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>36</b>
<b>8.1 RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
<b>8.2 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
8.2.1 pH .....	42
8.2.2 MATERIA ORGANICA .....	44
8.2.3 FOSFORO .....	46
8.2.4 AZUFRE .....	49
8.2.5. CATIONES INTERCAMBIABLES POTASIO – CALCIO – MAGNESIO .....	50
8.2.6. SODIO .....	53
8.2.7. Respiración basal (Actividad Microbiana CO <sub>2</sub> ) .....	55
8.2.8 DENSIDAD REAL - APARENTE .....	58
8.2.9. COEFICIENTE DE DISPERSION DE ARCILLA.....	60
8.2.10. PRODUCTIVIDAD CAÑA Y AZUCAR. ....	62
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>68</b>
<b>CIBERGRAFIA.....</b>	<b>73</b>
<b>11. ANEXOS.....</b>	<b>75</b>



## LISTA DE TABLAS

<u>Tabla 1. Resultados Fisicoquimicos parcelas 003X y 003Y ..... ¡Error! Marcador no definido.5</u>	
<u>Tabla 2. Resultados Fisicoquimicos parcelas 003X y 003Y .....</u>	36
<u>Tabla 3. Resultados Fisicoquimicos parcelas 003X y 003Y .....</u>	36
<u>Tabla 4. Resultados Fisicoquimicos parcelas 003X y 003Y .....</u>	37
<u>Tabla 5. Estadistica Descriptiva Tratamiento 003X (Sin vinaza) 0 -20 cm .....</u>	38
<u>Tabla 6. Estadistica Descriptiva Tratamiento 003X (Con Vinaza) 0 -20 cm .....</u>	38
<u>Tabla 7. Estadistica Descriptiva Tratamiento 003X (Sin vinaza) 20 - 60 cm .....</u>	39
<u>Tabla 8. Estadistica Descriptiva Tratamiento 003X (Con vinaza) 20- 60 cm.....</u>	39
<u>Tabla 9. Resultados Na: Ca – RAS en Vinazas de caña utilizadas en el tratamiento 003 Y.....</u>	56
<u>Tabla 10. Datos de productividad TCH (Tonelada Caña Hectarea – TAH (Tonelada Azucar Hectarea). Suerte 003X Control.....</u>	65
<u>Tabla 11. Datos de productividad TCH (Tonelada Caña Hectarea – TAH (Tonelada Azucar Hectarea). Suerte 003Y Vinaza.....</u>	66

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1. Composicion elemental de las vinazas de 55% y 10%</u> .....	22
<u>Figura 2. Ubicación Municipio de Villa Rica en el Cauca</u> .....	25
<u>Figura 3. Ubicación de las suertes 003X – 003Y Hacienda 010116</u> .....	26
<u>Figura 4. Escenario de muestreo y determinacion de la densidad aparente</u> .....	28
<u>Figura 5. Protocolo efectuado para la medicion del C.D.</u> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.0</b>
<u>Figura 6. Esquema de la camara de aire para Respiracion Basal</u>	<b>¡Error! Marcador no definido.2</b>
<u>Figura 7. Camara para la cuantificacion de la actividad microbiologica</u>	<b>¡Error! Marcador no definido.2</b>
<u>Figura 8. Protocolo para la medicion de la actividad biologica</u> .....	33
<u>Figura 9. Comparativo pH tratamientos 003X y 003Y; 0 -20 cm</u> .	<b>¡Error! Marcador no definido.2</b>
<u>Figura 10. Comparativo pH tratamientos 003X y 003Y; 20 -60 cm</u> .....	42
<u>Figura 11. Comparativo M.O tratamientos 003X y 003Y; .0 – 20 cm</u> .	<b>¡Error! Marcador no definido.4</b>
<u>Figura 12. Comparativo M.O tratamientos 003X y 003Y; .20 – 60 cm</u> .....	44
<u>Figura 13. Comparativo Fosforo Bray II Tratamientos 003X y 003Y.</u> .	<b>¡Error! Marcador no definido.6</b>
<u>Figura 14. Comparativo Fosforo Fijo Tratamientos 003X y 003Y;</u> .....	47
<u>Figura 15. Comparativo Azufre. Tratamientos 003X y 003Y. 0 – 20 cm</u> .....	49
<u>Figura 16. Comparativo Azufre. Tratamientos 003X y 003Y. 20 – 60 cm</u> .....	49
<u>Figura 17 Comparativo Potasio Tratamientos 003X – 003Y.</u> .....	50
<u>Figura 18 Comparativo Calcio y Magnesio 003X – 003Y; 0 -20 cm</u> .....	52
<u>Figura 19 Comparativo Calcio y Magnesio 003X – 003Y; 0 -20 cm</u> .....	52
<u>Figura 20. Comparativo Sodio Intercambiable 003X – 003Y</u> .....	53
<u>Figura 21 Comparativo respiracion Basal vs M.O 0 -20cm</u> .....	56

<u>Figura 22. Comparativo respiracion Basal vs M.O 20 -60cm .....</u>	56
<u>Figura 23. Comparativo Densidad real vs Densidad Aparente 0 -20 cm.....</u>	58
<u>Figura 24. Comparativo Densidad real vs Densidad Aparente 20 -60 cm.....</u>	58
<u>Figura 25. Comparativo M.O vs C.D Tratamiento 003X – 003Y. 0 -20 cm.....</u>	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.0</b>	
<u>Figura 26. Comparativo M.O vs C.D Tratamiento 003X – 003Y. 20 -60 cm... </u>	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.1</b>	
<u>Figura 27. Comparativo TCH – TAH Tratamientos 003X – 003Y.....</u>	62



## 1. INTRODUCCION

El sector azucarero colombiano está ubicado en el valle geográfico del río Cauca, abarca 47 municipios desde el norte del departamento del Cauca, hasta el sur del departamento de Risaralda. En esta región están involucradas 223.905 hectáreas en el cultivo de la caña; desde el 2005, cinco de los trece ingenios poseen destilerías anexas para la producción de alcohol carburante (Incauca, Manuelita, Providencia, Mayagüez y Risaralda). (Asocaña, 2014).

En Colombia, en el año 2011 se produjeron 2,3 millones de toneladas de azúcar a partir de 22,7 millones de toneladas de caña y 337 millones de litros de alcohol, destinados a la mezcla con gasolina (8% etanol, 92 % gasolina), de acuerdo al marco legal establecido por el gobierno desde noviembre de 2005. (Asocaña, 2014).

Los mayores productores de azúcar de la caña son: Brasil con cerca de 5 millones de hectáreas de área cultivada, seguido por India, China, Pakistán, Tailandia y México. (Cristofolletti et al., 2013)

La vinaza se produce en muchos países como un subproducto del etanol, dependiendo las materias primas: Caña de Azúcar en Sur América, Remolacha, vino y frutas en Europa y maíz y tequila en Norteamérica. (Cristofolletti et al., 2013)

Los primeros estudios sobre aplicación de vinaza al suelo, en Brasil iniciaron en 1950. Su uso como fertilizante mediante mecanismos de irrigación empezó a ser una práctica común en 1980, la fertirrigación consiste en la infiltración de pequeñas cantidades de vinaza en el suelo por irrigación de los cultivos de caña, cuando es aplicado al suelo, la vinaza fertiliza el cultivo, disminuyendo el costo en fertilizantes químicos. (Cristofolletti et al., 2013)

En Colombia se implementó el uso de la vinaza como fertilizante, para el cultivo de la caña, paralelo al arranque de las destilerías; y con esta práctica se disminuyó el uso de fertilizantes químicos a base de potasio.

Actualmente se está utilizando un fertilizante denominado Vinurea este se prepara mezclando Vinaza, urea, fosfatos y azufre, tomando como base el contenido de potasio. (Gómez, 2009).

El uso de este fertilizante, contribuye a evitar las pérdidas tan comunes de nitrógeno en la urea, esto principalmente a que las vinazas concentradas poseen sustancias quelantes, ligantes y encapsulantes. (Gómez, 2009)

Actualmente son pocos los estudios que se han realizado sobre el impacto que a futuro puede tener el uso constante de la vinaza como fertilizante líquido del suelo, y si puede ocasionar cambios negativos que afecten su estructura perjudicando su porosidad y eso conlleve a inhibir los procesos de mineralización realizados por los microorganismos; un problema potencial es el incremento en la salinidad y esto puede ocasionar disminución en la productividad del cultivo de la caña y afectar el desarrollo de otros cultivos.

Aunque existen evidencias de que la adición de Vinaza de la caña de azúcar al suelo puede resultar en muchos beneficios y no afectar los ecosistemas terrestres, cuando se deposita en el suelo puede mejorar su fertilidad, pero podría no exceder la capacidad de retención iónica del suelo; además, las dosis deben ser determinadas basadas en las características de cada suelo, debido a su desbalance en minerales y compuestos orgánicos existiendo la posibilidad de lixiviación especialmente de Nitrato y Potasio; en general su uso puede resultar en modificaciones en diferentes propiedades del suelo. (Silva et al., 2007)

Los efectos de aplicación de este residuo sobre el suelo depende de varios factores tales como la cantidad aplicada al suelo, tipo de suelo y composición química; tipo de cultivo y condiciones económicas involucradas en el proceso. (Cristofolletti et al., 2013)

Es importante también considerar que la aplicación de vinaza sobre áreas de cultivo de caña de azúcar incrementa las emisiones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  y no altera los flujos de  $\text{CH}_4$  del suelo; la aplicación de vinaza a un nivel de  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  triplica las emisiones de  $\text{CO}_2$  del suelo, investigación realizada por Goncalves et al (2013) en una granja en Boa Vista estado de Sao Paulo.

## 2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En un contexto global, se han tomado como referencia investigaciones efectuadas en Brasil, fundamentándose principalmente en un artículo de revisión efectuado por Cristofolletti et al.; (2013) llamado “Vinaza de caña de azúcar: implicaciones ambientales de su uso”, el describe los impactos ambientales que ocasiona la vinaza cuando llega al recurso agua, y al recurso suelo, y como este subproducto puede modificar las propiedades del suelo, su pH bajo, conductividad eléctrica y componentes químicos pueden ocasionar cambios en las propiedades físico químicas de suelos, ríos, lagos por efectos acumulativos, y también los efectos adversos sobre los suelos agrícolas y la biota en general.

Ramana et al.; (2002) estudiaron los efectos de diferentes concentraciones de efluentes de destilería en la germinación de semillas de algunas hortalizas como: tomate, cebolla, pepino, chile y calabaza, a baja concentración no se evidencio ningún efecto inhibitor excepto para el tomate, sin embargo a concentraciones altas (75% y 100%) se observó limitaciones en la germinación, y se encontró que a una concentración de 5% de efluentes de destilería la criticidad se incrementa para semillas de tomate, calabaza y 25% para el resto de los cultivos; sobre la base de la tolerancia al efluente de destilería los cultivos estudiados se dispusieron sobre la base de tolerancia: pepino > chile > cebolla > calabaza de botella > tomate. Concluyendo que el efecto de los efluentes de destilería es específico para cada cultivo y se debe tener cuidado antes de usar estos efluentes como riego en la fase de pre siembra.

Los estudios realizados por Tejada M, et al, 2009; durante tres años sobre un tipo de suelo denominado Xerollic Calciorthid cercano a Sevilla (España) mostro que la aplicación de Vinaza fresca de Remolacha genero un detrimento sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas incrementando perdidas del suelo y disminuyendo la cubierta vegetal, probablemente porque esta contiene altas cantidades de cationes monovalentes, como el sodio el cual desestabiliza la estructura del suelo; la alteración de los agregados del suelo alteran negativamente las velocidades de difusión del oxígeno de la atmosfera sobre la matriz del suelo así como su consumo.

Silva (2007) menciona que actualmente desde el marco ambiental la aplicación de la vinaza ha sido cuestionada por su efecto sobre el suelo y las aguas subterráneas, y

estos a conllevada a enfocarse en tres temas básicos para analizar su posible impacto: Características de la Vinaza, cambios en la composición del suelo, contaminación y cambios en las propiedades en el agua subterránea. Varios estudios sobre la disposición de la vinaza sobre el suelo se ha realizado, enfocándose sobre los efectos del pH sobre el suelo, las propiedades fisicoquímicas y sus efectos en el cultivo de la caña de azúcar, pero pocos han evaluado el potencial contaminante real de la vinaza en el suelo y las aguas subterráneas, ya que debido a sus elevados niveles de materia orgánica y nutrientes, principalmente potasio casi todas las destilerías brasileras han adoptado su utilización en la fertirrigación de las plantaciones de caña de azúcar.

Cristofolletti et al.; (2013) en su artículo de revisión, afirma que acorde a la literatura consultada la directa aplicación de vinaza en el suelo puede causar salinización, lixiviación de metales presentes en el suelo a aguas de pozo, cambios en la calidad del suelo debido a un desbalance nutricional, principalmente manganeso, reducción de la alcalinidad, perdidas de cultivos, incremento de fito toxicidad y olores desagradables; la fertirrigación puede ser en ocasiones una práctica paliativa que proporciona una falsa impresión de solucionar eficientemente el problema de la disposición de la vinaza.

La vinaza también debe considerarse como un agente que incrementa la población y la actividad microbiana en el suelo. El pH del suelo tratado con vinaza aumenta, principalmente de las superficies cultivadas con mayor tiempo, aunque en los primeros diez días después de su aplicación se reducirá el pH considerable posteriormente se elevara abruptamente pudiendo alcanzar valores superiores a siete, este efecto es vinculado a la acción de los microorganismos. Silva et Ribeiro.; (1988) citado por Silva, (2007).

La materia orgánica puede ser considerada un factor importante de la productividad agrícola debido a su influencia sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. En el momento en que la materia orgánica contenida en la vinaza se incorpora en el suelo, es colonizada por hongos que la convierten en humus, neutralizan la acidez del medio preparando de esta manera, el camino para el crecimiento bacteriano; Por lo tanto, cuando se añade como fertilizante, también favorece el desarrollo estos microorganismos que actúan en la mineralización y la inmovilización de nitrógeno y su nitrificación, des nitrificación y fijación biológica, así como de microorganismos participantes en los ciclos biogeoquímicos de otros elementos.(Silva; 2007)

Según Neves et al.; (1983) citado por Silva (2007), la adición de vinaza junto con la incorporación de materia orgánica, puede mejorar las condiciones físicas del suelo y promover una mayor movilización de nutrientes, como una función del aumento de la solubilidad proporcionado por el residuo líquido. Silva (2007) cita a Cunha et al. (1981) ellos informaron que la dinámica de nitrógeno en los suelos tratados con residuos



orgánico, como la vinaza es complejo debido a las transformaciones bioquímicas. El nitrógeno está presente en vinaza, predominantemente en forma orgánica, y la mineralización es la primera transformación biológica que se produce en el suelo. Una vez que la relación C / N es baja en la vinaza una mineralización significativa de formas inmovilizadas de nitrógeno puede ocurrir en el suelo; Silva (2007) cita a Madejón et al.; (2001) ellos trabajando con vinaza y otros materiales para el acondicionamiento del suelo orgánico observaron pequeños aumentos de su salinidad, elevación en el contenido de materia orgánica y nitrógeno orgánico y total. Lyra et al. (2003) coinciden con Madejón et al. (2001) en que se puede esperar un aumento en la concentración de sales en el suelo y el potencial riesgo de salinización con aplicación de vinaza a través de los años, teniendo en cuenta la tasa de absorción de potasio por la planta, su concentración en la vinaza y baja conductividad eléctrica (CE) observada en las aguas subterráneas, indicativo de reducida lixiviación; se ha observado que la eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por el suelo, puede ser afectada por su capacidad de infiltración y la presencia de cobertura vegetal y por lo tanto entre más vegetación mayor capacidad de remoción biológica. (Silva; 2007).

Y finalmente Silva (2007) concluye que la literatura sobre los efectos de la vinaza en suelos y aguas subterráneas es todavía bastante limitado, con pocos trabajos con la vinaza de caña de azúcar y remolacha, se puede verificar que los resultados son bastante variables debido a la gran diversidad de suelos y la composición de vinaza.

Un estudio muy relevante y que da directrices para el desarrollo del marco metodológico fue el trabajo realizado por Tejada et al.; (2006) ellos evaluaron dos tipos de vinaza y su afectación a las propiedades y posibles pérdidas del suelo, esta investigación se realizó cerca de la ciudad de Sevilla se compararon dos formas de vinazas de remolacha una pura y otra compostada con residuos triturados de una desmotadora de algodón, que fueron aplicadas durante 4 años. El estudio concluyó que la aplicación de vinaza a suelos con tendencias a la sequía deteriora las propiedades físicas y incrementa la pérdida del suelo, se asume que esto se debe a que la vinaza posee altas concentraciones de cationes monovalentes, particularmente  $\text{Na}^+$  y ácidos fulvicos los cuales al adicionarse al suelo desestabilizan la estructura del mismo, este efecto fue mucho más fuerte que el de estabilización por la adición de la materia orgánica presente en la vinaza, sin embargo cuando la vinaza fue compostada con los residuos de la desmotadora de algodón se observó un mejoramiento en las propiedades físicas del suelo y una disminución en las pérdidas del suelo.

Vargas (1987), en Costa Rica efectuó un estudio con la finalidad de valorar el efecto de la aplicación de vinaza sobre ciertas variables agronómicas e industriales, la dosis de vinaza fijo con base en la cantidad de potasio aportada por la vinaza (2 g/L), los

resultados obtenidos en los análisis de suelo permitieron concluir que la vinaza mejora el pH del suelo, disminuye el aluminio intercambiable e incrementa la concentración de potasio.

En el contexto nacional Gasca et al.:(2011) evaluó los cambios en el PSI (Porcentaje Sodio Intercambiable), la RAS (Radio de Adsorción de Sodio), aplicó diversas concentraciones de vinaza como enmienda sobre un suelo afectado por sodicidad con severas limitaciones en su fertilidad, y concluyó que la actividad biológica, C – Biomasa mostraron incrementos significativos en el rango ideal para el establecimiento del cultivo; también observaron leves incrementos en el pH a una profundidad de 0 – 20 cm.

Resultados que coinciden con las aportaciones hechas por Gaspar Korndorfer en las memorias del Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar realizado en Cali (Colombia) en Noviembre de 2009 , el afirma que en suelos tratados con vinaza el potencial redox disminuye (reacciones de reducción) y el pH aumenta, debido a que en condiciones de anaerobiosis los compuestos orgánicos presentes en la vinaza liberan electrones y por las reacciones de reducción se consumen protones (iones  $H^+$ ), siendo este proceso el principal responsable por el aumento del pH del suelo. (Tecnicaña; 2009)

### **3. PREGUNTA DE INVESTIGACION**

*¿Actualmente se pueden evidenciar modificaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo por el uso de la vinaza como fertilizante líquido, y que a futuro pueda conllevar a procesos erosivos que pongan en riesgo la sustentabilidad agrícola en la región del valle geográfico del río Cauca?*

## **4. OBJETIVOS**

### ***4.1 Objetivo General***

Evaluar el efecto de aplicación de vinaza sobre las propiedades fisicoquímicas y actividad biológica en un suelo de orden Inceptisol cultivado con caña de azúcar en la vereda La Primavera en el municipio de Villarrica Norte del Cauca.

### ***4.2 Objetivos Específicos***

- Cuantificar las propiedades fisicoquímicas y de actividad Biológica en diferentes épocas del cultivo de caña de azúcar desde el momento previo a la aplicación de vinaza, durante su desarrollo hasta el corte.
- Comparar los resultados obtenidos en la cuantificación de las propiedades fisicoquímicas y de actividad microbiana de un suelo que ha recibido vinaza como fertilizante y otro que nunca se ha fertirrigado con este subproducto.
- Estimar las productividades en Tonelada Caña y Tonelada Azúcar por hectárea en los últimos seis años, de un suelo que ha recibido vinaza y otro que no se ha fertirrigado con este subproducto.

## 5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Esta investigación busca conocer la incidencia de la aplicación de vinaza al suelo, sus posibles modificaciones que puedan impactar negativamente su estructura física y si se presenta una alteración en la densidad aparente lo cual puede conllevar a una modificación negativa de su porosidad generando problemas de aireación que puedan perjudicar la biota que está presente en los procesos de fijación de nutrientes a la planta.

Esto conlleva a generar una nueva propuesta dentro del marco metodológico analítico que consiste en realizar pruebas de respiración en el suelo, hasta ahora en el proceso inherente a las actividades de campo en las instalaciones del Ingenio Azucarero en cuestión no se han cuantificado, esto con el objetivo de correlacionar las variables de Sodio, Materia Orgánica, densidad aparente y real y respiración basal (actividad Biológica) , y de esta forma determinar si los posibles efectos acumulativos por la permanente adición de vinaza mediante procesos de fertirrigación han perjudicado drásticamente la capacidad de mineralización y transformación de nutrientes por parte de la biomasa encargada de estos complejos procesos, se utilizaran las metodología descrita por Tejada M, et al, 2009.

El reporte generado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático 2013 menciona que la temperatura global continuara incrementándose en el presente siglo bajo todos los escenarios , y a mediados de siglo la velocidad de calentamiento global será más fuerte dependiendo del escenario, el incremento en la media de temperatura superficial está proyectada de 0.3 a 4.8 °C. las actividades humanas han sido la ruta que ha generado cambios en la composición de la atmosfera ya sea por vía directa (emisión de gases o partículas) o indirectamente (Vía química atmosférica), las emisiones antropogénicas han conducido los cambios en la concentración de los gases efecto invernadero durante la era industrial (desde 1750), en los últimos 15 años, el CO<sub>2</sub> ha sido el mayor contribuyente a estos gases, Los otros principales han sido el metano, oxido de nitrógeno y los halo carbonos (Green Facts; 2013) , bajo esta declaración por parte del IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) es muy factible que en menos de 25 años se incrementen las temperaturas promedio en la región del valle geográfico del Rio Cauca, y esto traiga consecuencias graves al escenario de producción agroindustrial y sus derivados (Biocombustibles) del sector cañero del departamento, y se evidenciaría en un incremento de procesos erosivos y se agudizarían mucho más si actualmente se está presentando una salinización y modificación de las propiedades físico químicas del suelo por la fertirrigación con vinazas de la caña de azúcar, esto traería consecuencias letales tanto para el sector

productivo el cual vería disminuidos sus rendimientos en su producción; y esto generaría una problemática social, si por algún motivo los suelos dejan de ser útiles para el desarrollo de los cultivos de caña de azúcar, generando desempleo en gran parte de las comunidades que dependen exclusivamente de este monocultivo; también el presente trabajo investigativo podría generar nuevos hilos de discusión que cuestionen si bajo estas posibles modificaciones estructurales y fisicoquímicas en el suelo por la adición de la vinaza , este puede responder satisfactoriamente a otros cultivos como son el maíz, el arroz y el trigo, considerados cultivos prioritarios en los planes de seguridad alimentaria propuestos por la ONU.

## 6. MARCO TEORICO

### 6.1 Aspectos Generales

Con la excepción de las grandes ciudades, la agricultura es el sustento de la actividad económica de los pueblos andinos, ya que emplea a la mayor parte de la población y es fuente importante del ingreso y abastecimiento de alimento de los hogares, por su propia naturaleza, la agricultura ocupa el territorio y utiliza recursos del ecosistema: agua, suelo y clima. El conjunto de actividades secundarias y terciarias que animan la vida económica y social de los pueblos no existiría si colapsa su núcleo motriz: La Agricultura. (Comunidad Andina; 2008)

El cambio climático probablemente tendrá efectos significativos para el sector agropecuario en Colombia responsable de más de una décima parte del PIB del país y fuente de empleo para más de una quinta parte de su población, el aumento previsto de la temperatura promedio anual para el 2050 se estima en 2.5 °C con incremento en las precipitaciones en un 2.5 % a mediados de siglo, y las proyecciones indican que para ese año en la mayoría de las áreas (>60%) actualmente cultivadas se verán impactados probablemente el 80% de los cultivos y los cultivos perennes de alto valor sufrirán el mayor impacto, esto generara efectos de amplio alcance en la agroindustria, en las cadenas de abastecimiento y en la seguridad alimentaria y nutricional. (Charlotte *et al*; 2013)

La presente investigación se desarrolla en el contexto local del Valle geográfico del Valle del Cauca, donde la economía agroindustrial gira en torno a la producción de azúcar y alcohol carburante a partir de la caña de azúcar, según el CEPAL (2002) en la serie Desarrollo Productivo se describe que el complejo productivo azucarero está conformado por cerca de 1200 proveedores de caña de azúcar, sembrada en 200 000 hectáreas, 13 ingenios, más de 40 empresas procesadoras de alimentos, bebidas y licores; dos co- generadores de energía eléctrica; un productor de papel; tres industrias sucro químicas; más de 50 grandes proveedores especializados. De la producción total de azúcar el 43% se destina al mercado de exportación y el restante 57% al mercado nacional; de este porcentaje el 53% corresponde al consumo humano directo y otro 47% se utiliza como materia prima en los procesos de incorporación de valor agregado.(CEPAL, 2002).

Desde hace 7 años, los ingenios Incauca, Providencia, Manuelita, Mayagüez y Risaralda, han invertido más de US\$150 millones en la construcción de destilerías para la producción de etanol, en Colombia el etanol es utilizado como una fuente renovable de energía y se mezcla con la gasolina corriente de los vehículos en una medida del 8%, en el caso del etanol Colombiano se reduce con su utilización un 74% de la emisión de GEI (Gases Efecto Invernadero), de acuerdo con el resultado de Análisis de Ciclo de Vida realizado por el instituto de Investigación EMPA de Suiza. El etanol se ha convertido en una fuente de energía renovable y sostenible dado que ayuda a mitigar los efectos del calentamiento global, es biodegradable, ya que el 85 % se degrada en aproximadamente 28 días, mientras que los combustibles fósiles pueden durar años para degradarse. (Biocombustibles, la energía del Futuro, 2012)

Las condiciones naturales del valle del Cauca, localizado en el suroccidente de Colombia, para el cultivo de la caña constituyen una ventaja comparativa excepcional y determinante del desarrollo del conglomerado. El Valle del río Cauca se encuentra a 1000 metros en promedio sobre el nivel del mar; con una extensión de 429 000 hectáreas planas, con una temperatura promedio de 25 grados con oscilaciones de 12 grados entre el día y la noche; el brillo solar es superior a las seis horas diarias, con una humedad relativa de 75.6 % y precipitaciones promedio/ año de 1000 ml. El Valle del Cauca, algunas áreas de Hawái, Perú y las islas Mauricio son las únicas cuatro zonas en el mundo donde se puede cultivar caña durante todo el año: no existe zafra. (CEPAL; 2002)

## **6.2 Caña de Azúcar (*Saccharum Officinarum*)**

La caña de azúcar es uno de los cultivos más antiguos en el mundo, no se tienen datos concretos de cuando inician su siembra, se cree que esta empezó 3000 años A.C. como un tipo de césped en la Isla de Nueva Guinea y de allí se extendió a Borneo, Sumatra e India. ([www.procana.org](http://www.procana.org))

Se afirma que en 1501 fueron introducidas al continente americano plantas de caña que crecieron y luego el éxito de las plantaciones de azúcar a Santo Domingo y que este se multiplicó a lo largo del Caribe y América del Sur. ([www.procana.org](http://www.procana.org))

Colombia no fue ajena a este movimiento, se plantó por primera vez en Santa María La Antigua del Darién en 1510; Pedro de Heredia introdujo la caña en la Costa Atlántica alrededor de 1533 y posteriormente Sebastián de Belalcázar fundador del Santiago de



Cali, la planta en el Valle del Cauca, en su estancia en Yumbo en 1541. ([www.procana.org](http://www.procana.org))

Hacia 1550 se fundaron tres ingenios a orillas del río Amaime y desde esta región se envió azúcar y miel a Panamá en 1588. Para 1721 había en el Valle del Cauca 33 trapiches en funcionamiento. La caña cultivada en esa época se denominaba criolla, y durante la visita de Alexander Humboldt especialista en temas como la botánica, el clima y la geología recomendó a los hacendados vallecaucanos cultivar la variedad Tahití u Otahiti la cual fue introducida al Valle del Cauca entre 1802 y 1808 y se esparció por el territorio colombiano. ([www.procana.org](http://www.procana.org))

La Caña de Azúcar es considerada una gramínea tropical perenne con tallo grueso y fibroso que puede crecer entre 3 y 5 metros de altura. Estos contienen una gran cantidad de sacarosa que se procesa para la obtención de azúcar y derivados sacro energéticos y es considerado uno de los cultivos agroindustriales más importantes en las regiones tropicales; se adapta a casi cualquier tipo de suelo, pero se desarrolla mejor en suelos francos profundos y bien drenados. Se prefieren suelos con un pH de 7, pero se puede cultivar en un rango de 5.5 a 7.8. (Ángel, 2008)

Con un pH próximo o menor de 4.5, la acidez del suelo limita la producción, principalmente por la presencia de aluminio intercambiable y de algunos micro nutrientes como hierro y manganeso que pueden ocasionar toxicidad y muerte de la planta. (Ángel, 2008)

La industria azucarera de Colombia está localizada principalmente en la parte plana del valle geográfico del río Cauca, cuya extensión aproximada es de 375,00 ha, de las cuales 185,000 se dedican a la producción de caña de azúcar. De acuerdo al IGAC y a la CVC, en esta región hay 84 series de suelos de los órdenes Mollisol, Inceptisol, Vertisol, Alfisol y Ultisol que corresponden a los porcentajes siguientes: 36, 26, 21, 10, 5 y 1 del área total. (Quintero; 1995)

Los suelos de la parte plana son, en su mayoría aluviales y algunos de los del piedemonte son de origen coluvio – aluviales. En general, predominan los suelos franco – arcillosos con pH entre 5.5 y 7.0, contenidos de materia orgánica entre 2% y 4%, fósforo disponible superiores a 10 ppm y contenidos de potasio intercambiable superiores a 0.20 cmol/Kg de suelo. La relación de Ca/Mg intercambiables es adecuada y los contenidos de estos nutrientes en el suelo son altos. (Quintero; 1995)

### **6.3 Propiedades Químicas del Suelo**

Según Fassbender (1982), la química de suelos es aquella parte de la ciencia del suelo que estudia la composición, las propiedades y reacciones químicas de los suelos. Los mayores esfuerzos encaminados hacia la comprensión de las propiedades químicas del suelo, han sido enfocados hacia la nutrición vegetal. El estudio de los coloides del suelo, el intercambio iónico, la reacción del suelo (pH), la conductividad eléctrica y el tipo de compuestos químicos presentes, son los temas más sobresalientes.

Las propiedades más relevantes y que se asocian con el presente trabajo investigativo son:

#### **6.3.1 Nutrientes Esenciales del Suelo**

La composición química del suelo, con la cantidad de nutrimentos asimilables a disposición de la planta, afectan la composición química de la caña. La elevada exigencia de nutrimentos por parte del cultivo de la caña, motiva el rápido empobrecimiento del suelo, especialmente cuando este se explota en forma de monocultivo, para la obtención de cosechas lucrativas, se debe llevar un adecuado tratamiento con fertilizantes. (Ángel, 2008)

Existen 16 elementos nutritivos esenciales para la caña de azúcar: el carbono, el hidrogeno y el oxígeno no son minerales y la planta los toma del bióxido de carbono y del agua, los nutrimentos restantes son: nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y molibdeno. La cantidad de nutrimentos que extrae un cultivo es diferente de acuerdo con la variedad, el tipo de suelo, las condiciones del clima y el manejo del cultivo. El cultivo demanda altos requerimientos nutricionales en consideración a la alta cantidad de materia verde y seca que produce, situación que agota los suelos y hace necesario un adecuado programa de fertilización. La caña de azúcar requiere además grandes cantidades de agua, aunque también es relativamente eficiente en su uso, si la precipitación no es suficiente para cubrir el requerimiento mínimo de 1500 mm por temporada, se puede utilizar irrigación. (Ángel, 2008)

##### **6.3.1.1 Nitrógeno**

Es un componente esencial de las células vivas y se encuentra principalmente en las partes jóvenes de la planta en estado de crecimiento, la planta lo absorbe por las raíces o por las hojas en forma de nitrato y amonio, una vez dentro de la planta se reduce y

transforma en carbohidratos y finalmente en proteínas; además de su importancia para la formación de carbohidratos y proteínas, es un constituyente esencial de la molécula de clorofila, influyendo en la coloración del follaje y en el tamaño de las cepas. Los experimentos realizados en el Valle geográfico del río Cauca, permiten establecer que es el nitrógeno el nutrimento que más limita la producción de este cultivo y los requerimientos varían con el tipo de suelo, número de cortes y variedad utilizada. (Quintero; 1995)

#### 6.3.1.2. Fosforo

El fósforo al igual que el nitrógeno y el potasio se considera un nutrimento primario, las plantas lo absorben principalmente en la forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y en menor proporción como  $\text{HPO}_4^{2-}$  es un constituyente importante de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos y del ATP, este último es importante para los procesos metabólicos, que requieren energía, además es esencial para la síntesis de la clorofila y está íntimamente relacionado con la formación de la sacarosa. (Quintero; 1995)

#### 6.3.1.3 Potasio

Las plantas absorben potasio en la forma elemental ( $\text{K}^+$ ), siendo un elemento muy móvil dentro de la planta e importante en la formación de aminoácidos y proteínas, aunque no forma parte de los compuestos metabólicos, es necesario para el metabolismo de los carbohidratos. En la caña de azúcar, el potasio regula las actividades de la invertasa, amilasa, la peptasa y la catalasa. (Quintero; 1995)

Se considera que la cantidad de K que es necesario aplicar por hectárea varía entre 0 y 0.83 Kg dependiendo de la respuesta diferencial de las variedades en producción de caña y en rendimiento. El cloruro de potasio y el sulfato de potasio son las fuentes comerciales de potasio más conocidas, sin embargo la primera es de uso casi generalizado en los ingenios azucareros. (Quintero; 1995)

El uso del potasio como fertilizante se ha multiplicado rápidamente en la medida que los productores de caña de azúcar se dan cuenta de los síntomas de la deficiencia de este elemento y pueden comprobar la respuesta de la caña de azúcar a este importante nutriente. Incrementos en rendimiento de caña de azúcar al usar dosis altas de fertilizantes potásicos especialmente en los suelos fuertemente lixiviados de las tropicales de México y Norte de Centro América. Las nuevas variedades, de altos rendimientos son capaces de producir más caña y azúcar por hectárea si su nutrición está mejor balanceada en N P y K. (Lazcano, 1999)

#### 6.3.1.4 Calcio

Las plantas absorben calcio de la solución del suelo en forma iónica ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y en menor proporción, mediante el proceso de intercambio por contacto. El calcio es esencial para el crecimiento de los meristemas y particularmente para el desarrollo y funcionamiento adecuados de los ápices de las raíces. En la zona azucarera Colombiana existen algunos suelos cultivados con caña de azúcar, en los cuales la relación Ca/Mg es amplia, a veces invertida pero la mayoría presenta relaciones cercanas a dos. En suelos que han recibido aplicaciones continuas de vinaza, es posible encontrar altos contenidos de potasio – hasta de 7 cmol/Kg- lo que conduce a una relación Ca/K muy estrecha que puede inducir deficiencias de calcio en la planta. (Quintero; 1995)

#### 6.3.1.5 Magnesio, Azufre y Micro nutrimentos

La disponibilidad de magnesio en el suelo, al igual que la de calcio, depende de la fracción intercambiable y de su balance en relación con este último nutrimento y con el potasio; las plantas absorben el azufre del suelo en forma de  $\text{SO}_4^{-2}$  y en pequeñas cantidades a través de las hojas como dióxido de azufre, este elemento es un constituyente importante de los aminoácidos cisteína, cistina y metionina, y sin ser un constituyente incide en la formación de la clorofila. (Quintero; 1995)

Las plantas requieren una serie de elementos menores - micro nutrimentos – en cantidades relativamente pequeñas necesarias en procesos enzimáticos, de oxidación-reducción, formación de clorofila y transporte de carbohidratos entre otros. Las plantas absorben los micro nutrimentos cobre, hierro, manganeso y cinc en forma catiónica y como sales complejas (Quelatos); el cloro lo absorben en forma aniónica, el molibdeno como molibdato y el boro como boratos. (Quintero; 1995)

#### 6.3.2 Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.)

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K,  $\text{NH}_4$  etc.). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrogeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. ([www.fao.org/soils\\_portal/](http://www.fao.org/soils_portal/))

### 6.3.3 Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

La sodificación es el proceso por el cual el contenido de sodio intercambiable de un suelo se incrementa, causando la formación de un suelo sódico, el sodio puede sustituir parte del calcio y el magnesio originalmente presente en el complejo de cambio del suelo, si las sales solubles se eliminan por lavado, el suelo puede hacerse impermeable debido a la dispersión del sodio presente en el complejo de cambio; se han encontrado suelos sódicos con valores de pH superiores a 8,5 debido a que parte del sodio se hidroliza formando hidróxido de sodio que es una base fuerte y por lo tanto eleva el pH, bajo estas condiciones la solubilidad de varios nutrientes se reduce considerablemente y por lo tanto su disponibilidad está seriamente comprometida. (Sociedad Colombiana del Suelo; 2013)

El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) puede ser calculado a partir de la relación de adsorción de sodio (RAS) la cual es igual a:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\left(\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})}{2}}\right)}$$

A partir del RAS se puede calcular el PSI utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{PSI} = \frac{0.01 \text{ RAS}}{1 + 0.01 \text{ RAS}}$$

Suelos con un PSI igual o mayor a 15 caen dentro de la categoría de suelos sódicos, el sodio a partir de ciertos niveles puede producir dispersión del coloide con el problema de que la conductividad hidráulica se reduce y se presentan problemas del movimiento y disponibilidad del agua al igual que la degradación de algunas propiedades físicas. (Sociedad Colombiana del Suelo; 2013)

## 6.4 Propiedades Físicas del Suelo

La caña de azúcar no exige ningún tipo de suelo y puede ser cultivada desde suelos arenosos, franco-arcillosos y arcillosos. Las condiciones ideales para el cultivo de la caña son: suelo bien drenado, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm<sup>3</sup> (1.3 – 1.4 g/cm<sup>3</sup> en suelos arenosos), con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos tamaños, con porosidad total superior al 50%, con una capa freática bajo los 1.5 a 2 m desde la superficie y una capacidad de retención de humedad

disponible del 15% o superior (15 cm por metro de profundidad del suelo); malas condiciones físicas tales como la compactación del suelo debido a la intensa mecanización requerida para el encalado, son muy difíciles de corregir, por esta razón las propiedades físicas del suelo son consideradas un factor de crecimiento de la caña. (<http://www.sugarcane crops.com/>)

Entre los efectos negativos de la compactación del suelo están (<http://www.sugarcane crops.com/>):

- El aumento de la densidad aparente (suelos delgados a medios: 1.5 a 1.7 g/cm<sup>3</sup> y suelos pesados: 1.45 a 1.57 g/cm<sup>3</sup> y la resistencia a la penetración.
- Reducción de la porosidad, tasas de infiltración y capacidad de almacenamiento de agua.
- Impedancia a la penetración y proliferación radicular, sistemas radiculares superficiales generan susceptibilidad a la sequía.
- Menor absorción de agua y nutrientes.

Las propiedades físicas, asociadas a las características químicas son determinantes y claves para la óptima productividad del suelo; el arreglo de la fase sólida, la naturaleza y distribución por tamaño de agregados y del espacio poroso entre sus partículas constituyentes (estructura) juega un papel determinante en el desarrollo de las propiedades físicas, y por ende de la fertilidad del suelo (García, 2010). Un suelo con buenas características físicas debe contener suficientes espacios porosos entre las partículas minerales y orgánicas y entre los agregados del suelo, con el fin de garantizar el adecuado suministro de agua, aire y nutrientes a las raíces de las plantas (Luna, 2006).

Los tres tipos diferentes de partículas (limo, arena y arcilla) difieren en su tamaño y en su capacidad de retención de nutrientes, y esto se refiere a la capacidad de las partículas del suelo para suministrar nutrientes a las plantas, la arcilla puede retener más nutrientes que la arena y por lo tanto es capaz de liberar más nutrientes para las plantas. Las partículas de arena, limo y arcilla se agrupan a la vez en unidades de diferentes tamaños; estos son conocidos como agregados, y la forma como estas partículas están agrupadas es llamada estructura del suelo. ([www.fao.org](http://www.fao.org))

Los suelos que tienen una adecuada agregación permiten la circulación del aire y el agua, la penetración de las raíces y evitan la formación de costras en su superficie. Además facilitan un buen contacto entre las semillas y el suelo permitiendo una buena absorción de agua y, por ende, una rápida germinación. La compactación del suelo ocurre cuando las partículas están comprimidas unas con otras lo que reduce el

desarrollo de las raíces, el movimiento capilar del agua y la infiltración de agua y aire; como consecuencia se incrementan la escorrentía y la erosión hídrica del suelo. ([www.fao.org](http://www.fao.org))

En general, para el crecimiento de la planta el suelo debe estar suelto, con buena formación de agregados de tal forma que permita la circulación del aire, el agua y los nutrientes y la penetración de las raíces. Las plantas que crecen en este tipo de suelo gastan menos energía para el enraizamiento. El agua es necesaria para la germinación de la semilla y el crecimiento del cultivo. La retención del agua en el suelo depende del tipo de suelo y su manejo. Los suelos altamente degradados con baja porosidad y bajo contenido de materia orgánica no tienen la capacidad para almacenar mucha agua y, por lo tanto, no tienen mucha disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo. En regiones áridas con pocas lluvias, la humedad del suelo es de vital importancia. La preservación de la estabilidad de los agregados es importante a fin de reducir el sellado superficial y aumentar las tasas de infiltración. Con el aumento de estabilidad de la superficie se reduce la escorrentía. ([www.fao.org](http://www.fao.org))

### **6.5 Propiedades Biológicas del Suelo**

El suelo es un importante hábitat para los microorganismos y estos desempeñan un importante papel en la descomposición de la materia orgánica presente, catalizando transformaciones únicas e indispensables en el ciclo del carbono y nitrógeno; la biomasa microbiana es considerada la parte viva de la materia orgánica y uno de los componentes que controlan funciones claves en el suelo. (Silva et al; 2011)

Los organismos vivos del suelo mejoran la entrada y el almacenamiento de agua, la resistencia a la erosión, la nutrición de las plantas y la descomposición de la materia orgánica; la biodiversidad del suelo, el tamaño de las poblaciones de organismos en él, y su actividad dependen de prácticas de manejo como laboreo, controles fitosanitarios, manejo de residuos de cosecha así como de su cobertura y fertilidad. Los microorganismos del suelo, aportan una buena cantidad de biomasa e intervienen activa y directamente en ciclos geoquímicos como del C, N, P y el S; toman parte en una buena cantidad de procesos y reacciones que tienen que ver con la nutrición vegetal. (Jaramillo, 2002)

Ciertos microorganismos pueden asociarse con plantas mejorando su nutrición, como en los casos de las micorrizas y de la fijación biológica del nitrógeno, otros ejercen

control sobre otros macro y microorganismos manteniendo un equilibrio entre las poblaciones. Por ejemplo el control que ejerce *Trichoderma* sobre otros hongos. (Jaramillo, 2002)

En el cultivo de la caña de azúcar los microorganismos que promueven el crecimiento vegetal lo efectúan a través de diferentes mecanismo que pueden ser resumidos en: fijación biológica del nitrógeno, síntesis de fitohormonas como las auxinas, promoción del crecimiento de la raíz y proliferación de pelos radicales, mejoramiento en la absorción de agua y nutrientes, solubilización de fosfatos y otros minerales, e inhibición de microorganismos patógenos. (Torriente; 2010)

Las especies de bacterias aisladas en la caña de azúcar y sus efectos beneficiosos principales en la planta han sido:

- *Azospirillum brasilense*; *Azotobacter sp*; *Acetobacter diazotrophicus*: Estas tres especies participan en la fijación de nitrógeno y producción de fitohormonas de crecimiento vegetal.
- *Burkholdenia cepacia (Pseudomonas)*: contribuye a efectos antagónicos ante los hongos patógenos.
- *Pantoea sp*: Mecanismo de acción como bacteria endófito.

En la mayoría de los suelos sometidos a prácticas agrícolas, los nichos ecológicos pueden ser afectados en sus características físico – químicas y biológicas, cada profunda modificación genera una presión de selección, favoreciendo algunos componentes de la comunidad microbiana y eliminando otros, así ocurre una alteración en el estado de equilibrio de las poblaciones. (Silva et al; 2011)

El uso de parámetros microbiológicos como indicadores de la calidad del suelo ha sido recomendado debido al íntimo contacto que se establece entre los microorganismos y los microambientes del suelo; muchas investigaciones son desarrolladas midiendo propiedades genéricas, como la respiración basal de los microorganismos presentes en el suelo, la actividad enzimática, mineralización de la materia orgánica, entre otras que bajo condiciones controladas de laboratorio representan estimaciones de las funciones metabólicas de la biomasa microbiana, reflejando su fisiología como comunidad total presente en el suelo. (Silva et al; 2011)

La actividad de los organismos (respiración basal) consume  $O_2$  y produce  $CO_2$  por lo que la medida del  $CO_2$  producido en una determinada cantidad de suelo es un buen



indicador de la actividad que están desarrollando los organismos presentes; esta estimación es prácticamente una medida de la mineralización del carbono orgánico que posee el suelo. La producción de CO<sub>2</sub> en el suelo es un buen índice de actividad biótica y es considerado por el SQI (1999) como uno de los índices para evaluar la calidad del mismo y puntualiza que la tasa de respiración del suelo es fuertemente afectada por la humedad y por la temperatura, no solo del suelo sino también ambientales.<sup>1</sup> (Jaramillo, 2002)

La actividad de los microorganismos del suelo puede ser evaluada midiendo algunas respuestas metabólicas como respiración (Consumo de O<sub>2</sub>), emisión de CO<sub>2</sub> o la producción de calor. La actividad de ciertos grupos de organismos se estima midiendo los productos de las transformaciones específicas que ellos realizan. (Jaramillo, 2002)

## **6.6. LAS VINAZAS DE LA CAÑA DE AZUCAR**

### 6.6.1 Definición

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, su composición depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia y destilación y de las variedades y maduración de la caña; debido a sus mecanismos fisiológicos, la caña de azúcar se clasifica como gramínea, es sumamente eficiente en la utilización del agua y la luz en la asimilación del CO<sub>2</sub> para la producción de azúcares, y por este motivo consume grandes cantidades de potasio, por esta razón este es el elemento más abundante en la vinaza. (Tecnicaña, 2006).

### 6.6.2 Composición

En general, este subproducto presenta un color café, tiene altos niveles de materia orgánica en forma de ácidos orgánicos, siendo bajo en N y P, y rica en cationes como son: K, Ca y Mg. (Cristofolletti *et al.*, 2013)

---

<sup>1</sup> SOIL QUALITY INSTITUTE (SQI) 1999. Soil quality test kit guide. USDA

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, en este caso melaza, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación y de las variedades y maduración de la caña. La vinaza resultante de la destilación de melaza fermentada tiene una composición elemental que contiene todos los componentes del vino que han sido arrastrados por el vapor de agua así como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles. Los principales constituyentes son (Tecnicaña, 2005):

- Sustancias inorgánicas solubles en las cuales predomina los iones K, Ca y SO<sub>4</sub>.
- Células muertas de levadura.
- Sustancias orgánicas resultantes de los procesos metabólicos de levaduras y microorganismos contaminantes.
- Alcohol y azúcar residual.
- Sustancias orgánicas insolubles y volátiles.

Según Underkofler y Hickey materia orgánica presente en una vinaza de 55% en sólidos podría estar distribuida aproximadamente de la manera siguiente:

- 1) Azúcares entre 6 y 7%
- 2) Proteínas + Aminoácidos entre 5 y 7%
- 3) Gomas entre 11 y 12%
- 4) Ligninas y compuestos de estructura fenólica entre 9 y 11%
- 5) Compuestos de bajo peso molecular entre 9 y 10 %; no obstante haber sido concentrada hasta un 55% contiene compuestos muy volátiles. (Tecnicaña, 2005)

Característica	Unidades	Vinaza 55% s.t.	Vinaza 10 % s.t.
N	kg/m <sup>3</sup>	4.30	0.63 – 1.14
P	kg/m <sup>3</sup>	0.22	0.04 – 0.11
K	kg/m <sup>3</sup>	34.03	4.05 – 9.01
Ca	kg/m <sup>3</sup>	5.00	0.74 – 2.2
Mg	kg/m <sup>3</sup>	5.40	0.80 – 1.36
S	kg/m <sup>3</sup>	11.55	1.28
pH	–	4.3 – 4.5	3.5 – 4.3
CE	DS/m <sup>1</sup>	17	11.0

Figura No1. Composición elemental de las vinazas de 55% y 10% Brix. (Fuente: Tecnicaña; 2005)

### 6.6.3 Alternativas para el uso de la Vinaza

Las principales alternativas para el uso y disposición de la vinaza son aerobiosis y reciclaje en fermentación y fertirrigación pueden ser usados a gran escala, mientras que otros tratamientos están en fases de investigación y desarrollo como: combustión, producción de levadura, usos en construcción civil, producción de alimentos para ganado, la digestión anaeróbica, incineración entre otros. (Cristofolletti et al., 2013)

Actualmente el uso más común en el valle geográfico del río Cauca, es la fertirrigación de los cultivos de caña de azúcar, según Cristofolletti.; (2013) el uso de la vinaza en fertirrigación es una alternativa enfocada en el uso racional de los recursos naturales, previniendo la descarga de la vinaza en ríos, mientras contribuye a la fertilización del suelo, requiere una baja inversión inicial (tubos, bombas, camiones y tanques de decantación) bajos costos de mantenimiento, aplicación rápida, no requiere tecnologías complejas y aumenta el rendimiento del cultivo; esta práctica reemplaza parcial o totalmente el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo ciertos parámetros ambientales necesitan ser tenidos en cuenta para la fertirrigación, tales como tipo del suelo, distancia a cuerpos de agua, capacidad de campo (retención de agua), y porcentajes de sales en el suelo.

La producción de vinaza en el Valle del Cauca se incrementó con la instalación de las destilerías de etanol. Actualmente se generan en promedio 2.5 litros de Vinaza, la cual es rica en potasio (K), azufre (S), materia orgánica (M.O.) y elementos menores, aunque los contenidos de N y P son relativamente bajos. Ya está demostrado experimentalmente que es posible reemplazar el K aplicado al cultivo como KCl por vinaza, lo que no solo baja los costos de fertilización sino que provee al suelo M.O y otros nutrimentos de origen eminentemente orgánico. (Tecnicaña, 2009)

## 7. METODOLOGIA

### **7.1 Diseño Experimental**

La metodología que se aplicó en la presente investigación es de tipo cuantitativa, de carácter experimental, donde priman las variables de observación empírica, caracterizadas por la observación, medición y comprobación.

Está inmersa en un modelo Post positivista fundamentado en la probabilidad, ya que incluye los tres aspectos más relevantes y que se aplicaran en el marco metodológico:

- Recolección de Datos
- Análisis de datos numéricos en términos de variación.
- Comparación de grupos. Relación entre factores.

La hipótesis nula que se plantea es: “La utilización de la Vinaza como fertilizante liquido no ocasiona cambios negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo”.

### **7.2 Población y Muestra**

Esta investigación se realizó en el municipio de Villarica (Norte del Cauca) más específicamente en la vereda la primavera jurisdicción de este municipio (Figura No 2), en una hacienda experimental identificada en la base de datos de Cenicaña (Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia) cartográficamente como: Hacienda 010116 con un total de 14 suertes y un área de 82.6 ha ([www.cenicaña](http://www.cenicaña), 2016); la actividad agrícola de esta hacienda se centra desde hace mas de 20 años en el cultivo de la caña de azúcar.

Las coordenadas geográficas de las dos áreas experimentales denominadas suertes identificadas como suerte 003Y y la suerte 003X son: 3°21'36.33" N - 76°46'58.4" W ([www.cenicaña](http://www.cenicaña), 2016), la primera suerte (003Y) no se somete a procesos de fertirrigación con vinaza, caso contrario de la segunda (003X), la cual recibe una fertilización mineral con KCl. (Figura No 3)

### 7.2.1. Clasificación de los Suelos.

Los estudios detallados de estos suelos realizados por CENICAÑA, lo clasifican en el orden Inceptisol de la familia Fluvaquentic Endoaquepts de la consociación JAPIODOS (JJ) , estos son suelos originados de aluviones fluvio – volcánicos finos; pobre a imperfectamente drenados, superficiales a moderadamente profundos; el nivel freático estacional es de carácter fluctuante entre las capas más profundas, las texturas son finas y la fertilidad natural moderada, pertenecientes a relieves planos, de pendientes 0 -1% y micro relieves ligeramente cóncavos, en clima ambiental cálido húmedo, con temperatura de 24 °C precipitación aproximada a los 2000 mm anuales. Geográficamente se localizan al norte del departamento de Cauca. ([www.cenicaña](http://www.cenicaña), 2016)

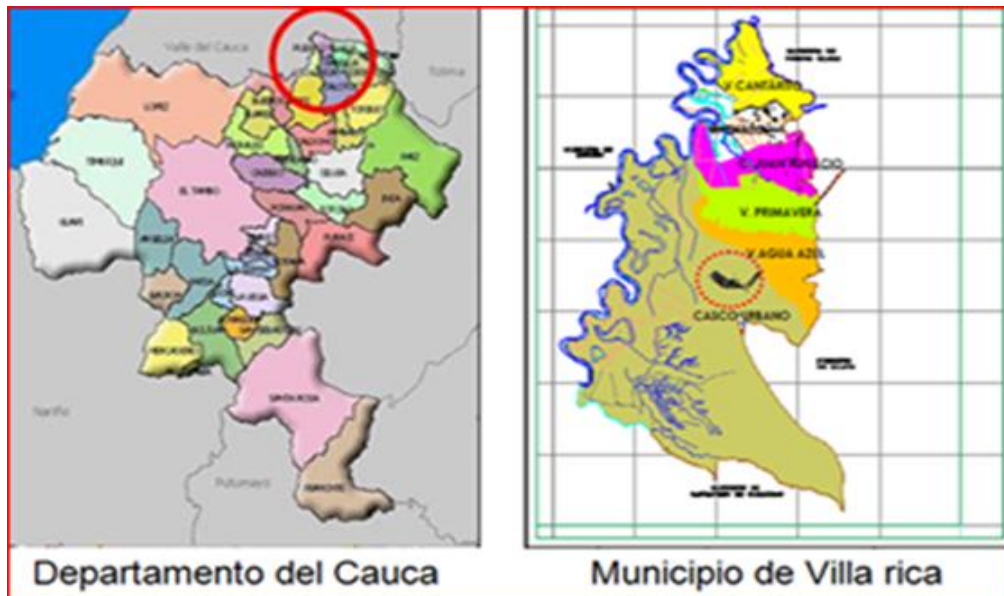
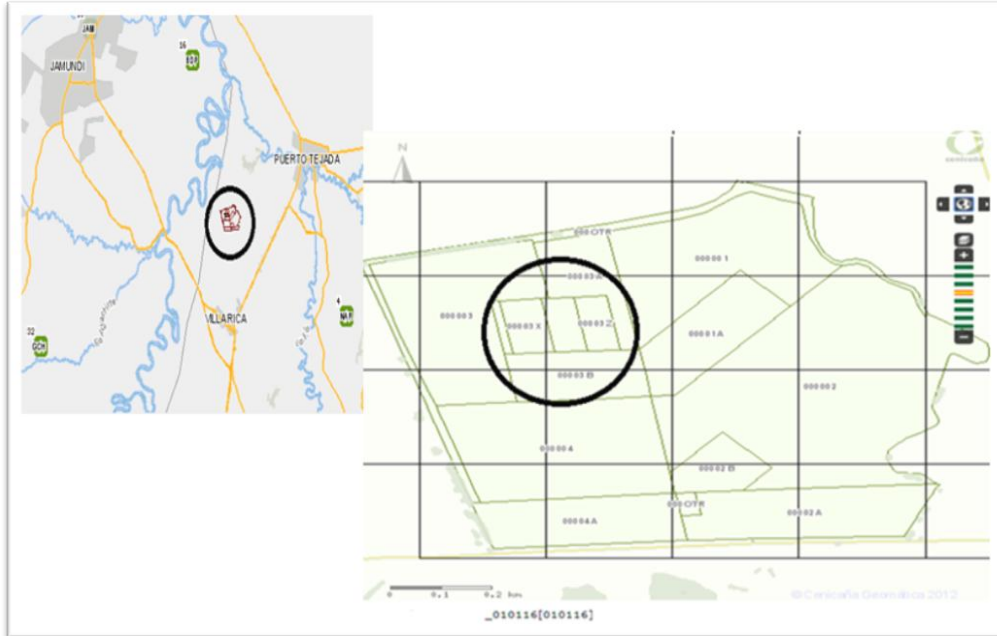


Figura 2. Ubicación municipio de Villa Rica en el Cauca (Fuente: P.D. Villa Rica, 2012-2015)



**Figura No3. Ubicación de las suertes 003X – 003Y Hacienda -010116 Vereda La Primavera  
(Fuente: Cenicaña Geomatica, 2012)**

### **7.3 TRABAJO DE CAMPO**

Para lograr obtener resultados óptimos coherentes con los objetivos propuestos, el diseño experimental fue al azar, con dos tratamientos, un factor (profundidad), y cuatro mediciones repetidas en el tiempo en periodos trimestrales (3, 6, 9 y 12 meses).

En la fase de recolección de datos el muestreo que asociado al trabajo de campo duro un año, tiempo de duración aproximado del cultivo de la caña, se realizaron muestreos cada tres meses, en cuatro periodos: 3 – 6 – 9 y 12 meses, en el último periodo el muestreo se realizó posterior a la recolección de la caña cortada manualmente y anterior a la primera fertilización.

Un aspecto muy importante es que el primer muestreo se hizo de igual forma antes de la segunda fertilización.

El tamaño de la parcela es de 1.1 Ha para la suerte 003X y de 0.90 Ha para la suerte 003Y; la población de muestreo para cada parcela está constituida por 42 surcos tomando doce puntos de muestreo, seleccionados de manera aleatoria sistemática.

Para la toma de las muestras para análisis fisicoquímicos se usaron barrenos para muestreo de suelos y se tomaron las muestras a dos profundidades 0- 20, y 20 – 60 cm. En cada suerte se tomara 12 puntos de muestreo para análisis fisicoquímicos, y en cada punto se conformó un clúster de tres sub-muestras tomadas con barreno, luego se homogenizaron y se conformó un único compuesto para la determinación de las características fisicoquímicas de fertilidad y salinidad. Los muestreos se realizaron seleccionando puntos aleatorios sistemáticos, como se muestra en la figura en medio del surco buscando una zona representativa libre de materiales extraños como barbojos, basura o rocas que ocasionen interferencias en los resultados de análisis.

Posteriormente conformado el compuesto se procedió a homogenizar y cuartear para extraer dos muestras cada una de aproximadamente 1 Kg, una de estas se envió al laboratorio de suelos del Ingenio Providencia para análisis fisicoquímicos; la otra muestra se utilizó para la prueba de actividad microbiana en suelos, esta se realizó el mismo día del muestreo. (Figura No4)

Las directrices utilizadas para el trabajo de campo son las que se mencionan en el protocolo de muestreo de suelos anexo en la resolución 0100 No 0630 0081 de 2012 correspondiente a la reglamentación de vinazas emitida por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (CVC)

En cada suerte se tomaron cinco puntos aleatorios para la determinación del análisis de densidad aparente. Para el ensayo biológico de respiración basal, se usó un barreno, el cual previamente se desinfecto con Vanodine (3ml/L) en cada cambio de igual forma se tomaran las muestras a dos profundidades diferentes.



Fig.4. Escenario de muestreo y determinación de la densidad Aparente Suertes 003X - 003Y.



## 7.4 TRABAJO DE LABORATORIO

Una vez realizado el muestreo descrito anteriormente, se procedió a realizar un pool de análisis que integró determinaciones Físicas, Químicas, y Biológicas.

Las propiedades físicas que se midieron fueron densidad aparente la cual se realizó durante el muestreo, y la densidad real efectuada en el laboratorio; se realizó en el laboratorio Químico de Campo Externo ubicado en el Ingenio Providencia la prueba de textura por el método Bouyoucos.

Se determinó el porcentaje de Arcilla dispersa en el suelo; la cantidad relativa de arcilla que se encuentre dispersa, es decir, sin unirse a otras partículas del suelo, da una idea del grado de agregación y de la estabilidad de los agregados que tiene el suelo si se mide este contenido en suelos que están siendo sometidos a laboreo intenso, en diferentes épocas, el incremento de su valor puede ser un indicador de degradación física de aquellos y de aumento de su susceptibilidad a la erosión. (Jaramillo; 2002)

Este análisis se realizó aplicando la siguiente metodología tomada de González (1990), y remitida por Jaramillo (2002):

- Se toman 50 g de suelo seco y tamizado por malla de 2mm de perforación.
- Se lleva la muestra a un cilindro de un litro y se completa ese volumen con agua.
- Se agita el cilindro con la muestra 20 veces y se deja reposar por 2 horas, posteriormente se succionan 25 ml de la suspensión con una pipeta, a una profundidad de 10 cm dentro de la suspensión en el cilindro.
- Se coloca el material succionado en una tara adecuada y se lleva secar en horno, a 105 °C durante 24 a 36 horas. Al cabo de este tiempo se pesa el material seco y se calcula el coeficiente de dispersión con la siguiente fórmula:

$$CD = a / b \times 100$$

Donde a: % de arcilla en la muestra sin dispersante.

b: % de arcilla obtenido por el método del hidrómetro.

Para la determinación del valor de a, se tiene la siguiente relación:

$$a = \text{PFM} / \text{PMI}$$

Dónde: PMF: Peso del material pipeteado a las 2h, seco al horno.

PMI: Peso del material que hay en 25 ml de la suspensión, al iniciar la sedimentación, se supone que todo el material está distribuido homogéneamente en todo el líquido, en ese momento. (Ver Figura No5)



Figura No5. Protocolo efectuado para la medición del C.D. (Coeficiente de dispersión de arcillas).

Los análisis químicos se realizaron externamente en el laboratorio Químico de Campo del Ingenio Azucarero Providencia, este laboratorio es el soporte para la toma de decisiones en los programas de fertilización del sector agroindustrial vinculado a la actividad cañera de los ingenios Providencia e Incauca. Los parámetros evaluados fueron:

PARAMETRO	METODOLOGIA	FUENTE
pH	Potenciometro 1:1	MANUAL DE LABORATORIO QUIMICO DE CAMPO SUPERINTENDENCIA DE CAMPO INGENIO PROVIDENCIA
Materia Organica (%)	Volumetrica Walcker & Black	
Fosforo Total (ppm)	Bray II	
Fosforo Fijo (%)	Bray II	
Azufre	Metodo Turbidimetrico	
Cationes Intercambiables: Ca - Mg - K - Na (meq/100 g)	Acetato de Amonio - pH : 7,00	
Arcilla (%)	Textura Bouyoucos	

Con los resultados reportados por el laboratorio externo se determinó el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) acorde a la siguiente fórmula descrita por Tejada et González (2006):

$$ESP = 100 \times (Na_x / CIC)$$

Donde  $Na_x$  es el sodio intercambiable ( $cmol\ Kg^{-1}$ ) y la CIC es la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

La prueba bioquímica de respiración del suelo o actividad microbiana se efectuó en el laboratorio, y se realizó el mismo día que se tomaron las muestras, este análisis es vital para evaluar la salud de la biota presente en el suelo, utilizando el Método Respirométrico del CAB (Centro de Agro biología de Brasil) descrito por Montenegro (2008).

La actividad de los microorganismos del suelo puede ser evaluada midiendo algunas respuestas metabólicas como respiración (Consumo de  $O_2$ ), emisión de  $CO_2$  o la producción de calor. La actividad de ciertos grupos de organismos se estima midiendo los productos de las transformaciones específicas que ellos realizan. (Jaramillo; 2002)

En común acuerdo con la coordinación del laboratorio de investigaciones de Campo del Ingenio, se ejecutó la siguiente metodología tomada de Montenegro (2008) (Ver Figura No 8):

- Pesar 50 g de muestra de suelo húmedo.
- Colocarla dentro del recipiente de vidrio que se utilizara como cámara la muestra previamente pesada y humedecerla a un 60% de capacidad de campo. (Figura No7)
- Antes de incubar a una temperatura de  $30^\circ C$ , depositar en un pequeño recipiente de vidrio o dial 10 ml de solución de NaOH 1N, sellar herméticamente el sistema.
- Igual forma utilizar un blanco que consiste en una cámara de incubación con el dial conteniendo la solución de NaOH sin suelo.
- Incubar por cinco días a una temperatura de  $30 \pm 1^\circ C$ .
- Sacar del sistema de incubación la cámara incubadora y extraer el dial que contiene el NaOH y adicionar 2 ml de  $BaCl_2$  agitar y pasar a un Erlenmeyer de 50 ml el contenido para titular con una solución de HCl 0.5 N agregando 2 gotas de fenolftaleína a la solución de NaOH.

- Determinar la actividad microbiana (AM) o respiración basal de acuerdo a la fórmula:

$$A.M. = \frac{(B - T) \times N \times 0.006 \times 10^6}{P} = \mu\text{g C. g}^{-1} \text{ peso del suelo seco.}$$

Dónde: B = Volumen gastado en el Blanco

T = Volumen de la Titulación.

P = Peso del suelo en equivalente seco.

Reginatto (2003) evaluó la calidad de suelos en fondos utilizados en acuicultivos, y utilizo la prueba de respiración del suelo como herramienta para evaluar su calidad para lo cual utilizo una modificación de la técnica de la cámara de aire, como se ilustra en la Fig. No 6, los siguientes pasos para la determinación del CO<sub>2</sub> fueron muy similares a los descritos por Montenegro (2008)

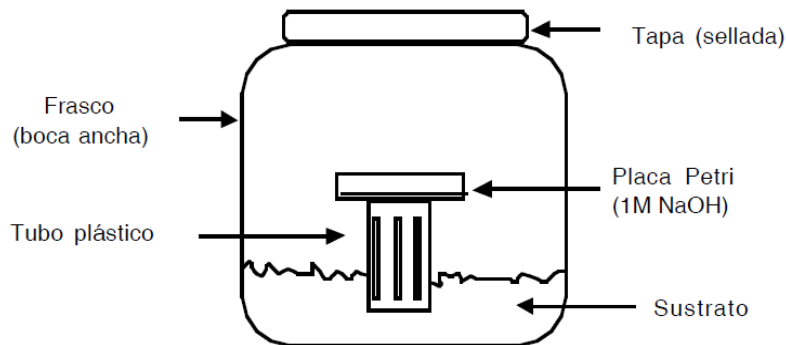


Figura No6. Cámara de Aire para Respiración Basal. (Fuente: Reginatto; 2003)

El montaje que se utilizó a nivel de laboratorio para cuantificar el CO<sub>2</sub> figura No 7, es similar al descrito por Reginatto (2003), el recipiente de vidrio es de sello hermético ya que es utilizado en la industria de conservas, de esta manera se garantiza que no se presentaran perdidas del metabolito gaseoso que será medido.



**Figura No 7. Cámara para la cuantificación de la actividad microbiológica**



Figura. No 8. Protocolo para la medición de la Actividad Biológica (respiración Basal)

## **7.5 INTERPRETACION DE RESULTADOS**

Los resultados fisicoquímicos y biológicos que se obtuvieron en la etapa de recolección de datos, se analizaron mediante una técnica de inferencia estadística llamada prueba de hipótesis (algunos autores la denominan prueba de significación) para comparar dos formulaciones, en este proyecto el concepto formulación hace relación a los tratamientos con vinaza de la suerte 003Y y sin vinaza de la suerte 003X. El diseño experimental que se planteó en la presente investigación corresponde a un Diseño aleatorio donde el muestreo fue sistemático al azar, con un control y un tratamiento, un factor (profundidad), y cuatro mediciones repetidas en el tiempo en periodos trimestrales (3, 6, 9 y 12 meses).

Las variables fisicoquímicas, biológicas y físicas, se analizaron mediante una prueba de significación conocida como “prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales” o “prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales” , previamente a este proceso se validó si a un 5% de significancia se puede asumir que las varianzas son iguales esto se efectuó mediante una “prueba f para varianzas de dos muestras” estos análisis estadísticos se realizaron utilizando el recurso de análisis de datos disponible en Microsoft Excel 2010.

Estas pruebas permitieron aceptar o rechazar la hipótesis nula que se planteó en el inicio de la presente investigación ““La utilización de la Vinaza como fertilizante líquido no ocasiona cambios negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo” .

## 8. RESULTADOS Y DISCUSION

### 8.1 RESULTADOS

Los análisis fisicoquímicos fueron enviados al laboratorio de suelos del Ingenio Providencia, estos reportes pueden ser observados en las tablas No1 al No4, y también se incluyen en el Anexo No13; la identificación de las muestras en los siguientes reportes corresponden a Muestras Compuestas tomadas a dos profundidades 0 – 20 cm y 20 – 60 cm de dos tratamientos identificados como 003Y (Vinaza) y 003X (Control).

Tabla No1. Resultados Fisicoquímicos parcelas 003X y 003Y

Fecha: Agosto 4 de 2014

Suerte (Parcela)	Prof. cm	pH V:V 1:1	CEa dS/m	MO W.B %	P Bray II ppm	P Fijación %	S ppm	Cationes intercambiables meq/100 g					Textura Bouyoucos			
								Ca	Mg	K	Na	CIC	Clasif.			
													Arena	Limos	Arcillas	Tex.
Mta comp.	0-20	6,5	0,24	2,48	6,23	13,30	31,20	15,04	16,87	0,30	0,42	42,28	10,60	22,00	67,40	Ar
003 Y	20-60	6,8	0,13	2,04	3,55	15,44	26,30	15,62	15,94	0,23	0,50	30,82	10,60	20,00	69,40	Ar
Mta comp.	0-20	6,1	0,52	2,67	6,06	19,71	29,90	16,46	15,89	0,40	0,43	35,78	8,60	24,00	67,40	Ar
003 X	20-60	6,3	0,11	2,15	5,06	14,16	28,40	15,54	17,20	0,24	0,43	31,99	8,60	18,00	73,40	Ar

Fuente: Laboratorio Químico de Campo Ingenio Providencia.(2014)Tabla No2. Resultados Fisicoquímicos parcelas 003X y 003Y

Fecha: Diciembre 18 de 2014

Suerte (Parcela)	Prof. cm	pH V:V 1:1	CEa dS/m	MO W.B %	P Bray II ppm	P Fijación %	S ppm	Cationes intercambiables meq/100 g					Textura Bouyoucos			
								Ca	Mg	K	Na	CIC	Clasif.			
													Arena	Limos	Arcillas	Tex.
Mta comp.	0-20	6,7	0,20	2,27	5,23	24,41	64,40	16,07	14,56	0,22	0,62	25,59	14,60	20,00	65,40	Ar
003 Y	20-60	7,1	0,14	1,53	2,38	23,99	12,60	16,32	15,19	0,16	0,77	25,74	6,60	24,00	69,40	Ar
Mta comp.	0-20	6,4	0,22	2,10	6,57	27,41	39,90	14,75	11,27	0,21	0,59	26,34	8,60	24,00	67,40	Ar
003 X	20-60	7,1	0,20	1,54	3,05	26,12	23,70	16,40	10,11	0,18	0,64	25,96	8,60	26,00	65,40	Ar

Fuente: Laboratorio Químico de Campo Ingenio Providencia. (2014)



Tabla No3. Resultados Fisicoquímicos parcelas 003X y 003Y

Fecha: Marzo 12 de 2015

Suerte (Parcela)	Prof. cm	pH V:V 1:1	CEa dS/m	MO W.B %	P Bray II ppm	P Fijación % ppm	S ppm	Cationes intercambiables meq/100 g					Textura Bouyoucos			
								Ca	Mg	K	Na	CIC	Clasif.			
								Arena	Limos	Arcillas	Tex.					
Mta comp.	0-20	6,2	0,21	2,31	3,38	22,21	36,70	6,26	12,78	0,36	0,59	19,99	8,60	20,00	71,40	Ar
003 Y	20-60	6,4	0,29	1,47	2,10	24,38	66,00	6,09	11,85	0,31	0,81	19,06	8,60	24,00	67,40	Ar
Mta comp.	0-20	6,2	0,16	2,24	2,58	19,59	27,60	5,43	12,12	0,37	0,61	18,53	12,60	22,00	65,40	Ar
003 X	20-60	6,7	0,13	1,49	1,46	21,33	3,10	5,21	11,22	0,32	0,80	17,55	10,60	28,00	61,40	Ar

Fuente: Laboratorio Químico de Campo Ingenio Providencia. (2015)

Tabla No4. Resultados Fisicoquímicos parcelas 003X y 003Y

Fecha: Agosto 13 de 2015

Suerte (Parcela)	Prof. cm	pH V:V 1:1	CEa dS/m	MO W.B %	P Bray II ppm	P Fijación % ppm	S ppm	Cationes intercambiables meq/100 g					Textura Bouyoucos			
								Ca	Mg	K	Na	CIC	Clasif.			
								Arena	Limos	Arcillas	Tex.					
Mta comp.	0-20	6,3	0,39	2,37	6,58	22,84	23,30	18,80	19,33	0,49	0,50	39,12	10,60	18,00	71,40	Ar
003 Y	20-60	6,8	0,50	2,04	4,82	20,63	40,70	20,56	19,25	0,54	0,74	41,09	10,60	18,00	71,40	Ar
Mta comp.	0-20	6,0	0,22	2,35	4,02	25,94	9,80	18,83	19,50	0,40	0,58	39,31	8,60	20,00	71,40	Ar
003 X	20-60	6,1	0,49	2,02	4,98	25,05	13,48	13,08	14,95	0,30	0,82	29,15	8,60	14,00	77,40	Ar

Fuente: Laboratorio Químico de Campo Ingenio Providencia. (2015)

Con los reportes que se observan en las tablas del No 1 al No4 (Anexo 13), se procede a realizar una estadística descriptiva que permita analizar de una forma general y posteriormente específica las variables que fueron propuestas en la metodología y que permiten dar respuesta a los objetivos específicos planteados en la presente investigación, también se incluyen las variables medidas directamente (respiración basal, densidad aparente y real y coeficiente de dispersión de arcillas), estos resultados estadísticos descriptivos pueden ser observados en las tablas del No 5 al No8.

Tabla No5. Estadística descriptiva, Tratamiento 003X (Sin vinaza) 0 – 20cm.

**TRATAMIENTO 003 X (CONTROL)**

**PROFUNDIDAD 0 - 20 cm**

Variable	n	Media	Desviación Estándar	Varianza	Mínimo	Máximo	C.V (%)
pH	4	6,18	0,1708	0,0292	6,00	6,40	2,77%
M.O. (%)	4	2,34	0,2426	0,0589	2,10	2,67	10,37%
P Bray (ppm)	4	4,81	1,8491	3,4190	2,58	6,57	38,46%
P Fijo (%)	4	23,16	4,1003	16,8128	19,59	27,41	17,70%
S (ppm)	4	26,80	12,5281	156,9533	9,80	39,9	46,75%
K (meq/100g)	4	0,345	0,0911	0,0083	0,210	0,40	26,41%
Ca (meq/100g)	4	13,87	5,8685	34,4392	5,43	18,83	42,32%
Mg (meq/100g)	4	14,70	3,7805	14,2924	11,27	19,5	25,73%
Na (meq/100g)	4	0,553	0,0826	0,0068	0,43	0,61	14,95%
Da g/cm <sup>3</sup>	4	1,280	0,0128	0,0002	1,268	1,298	1,00%
Dreal g/cm <sup>3</sup>	4	2,162	0,0457	0,0021	2,102	2,212	2,11%
C.D. Arcilla (%)	4	4,55	1,6355	2,6747	3,06	6,86	35,98%
Respiracion Basal	4	57,31	6,0708	36,854	48,23	61,01	10,59%

Tabla No6. Estadística descriptiva, Tratamiento 003Y (Con vinaza) 0 – 20cm

**TRATAMIENTO 003 Y (VINAZA)**  
**PROFUNDIDAD 0 - 20 cm**

Variable	n	Media	Desviacion Estándar	Varianza	Mínimo	Máximo	C.V (%)
pH	4	6,43	0,2217	0,0492	6,2	6,7	3,45%
M.O. (%)	4	2,36	0,0914	0,0084	2,27	2,48	3,88%
P Bray (ppm)	4	5,36	1,4356	2,0608	3,38	6,58	26,81%
P Fijo (%)	4	20,69	5,0128	25,1278	13,3	24,41	24,23%
S (ppm)	4	38,90	17,8675	319,2467	23,3	64,4	45,93%
K (meq/100g)	4	0,34	0,1138	0,0130	0,22	0,49	33,24%
Ca (meq/100g)	4	14,04	5,4255	29,4356	6,26	18,8	38,64%
Mg (meq/100g)	4	15,89	2,8422	8,0783	12,78	19,33	17,89%
Na (meq/100g)	4	0,53	0,0907	0,0082	0,42	0,62	17,03%
Da g/cm <sup>3</sup>	4	1,2645	0,0138	0,0002	1,2526	1,2841	1,09%
Dreal g/cm <sup>3</sup>	4	2,0721	0,0275	0,0008	2,0327	2,0965	1,33%
C.D. Arcilla (%)	4	3,85	1,3915	1,9363	2,75	5,71	36,12%
Respiracion Basal	4	73,18	10,0744	101,4935	58,66	80,00	13,77%

Tabla No7. Estadística descriptiva, Tratamiento 003X (Sin vinaza) 20 – 60cm

**TRATAMIENTO 003 X (CONTROL)**  
**PROFUNDIDAD 20 - 60 cm**

Variable	n	Media	Desviacion Estándar	Varianza	Mínimo	Máximo	C.V (%)
pH	4	6,55	0,4435	0,1967	6,1	7,1	6,77%
M.O. (%)	4	1,8	0,3340	0,1115	1,49	2,15	18,55%
P Bray (ppm)	4	3,64	1,7236	2,9708	1,46	5,06	47,38%
P Fijo (%)	4	21,99	4,8221	23,2528	15,44	26,12	21,93%
S (ppm)	4	17,17	11,2596	126,7783	3,1	28,4	65,58%
K (meq/100g)	4	0,26	0,0632	0,0040	0,18	0,32	24,33%
Ca (meq/100g)	4	12,56	5,0964	25,9730	5,21	16,40	40,58%
Mg (meq/100g)	4	13,37	3,2871	10,8051	10,11	17,20	24,59%
Na (meq/100g)	4	0,67	0,1806	0,0326	0,43	0,82	26,86%
Da g/cm <sup>3</sup>	4	1,2592	0,0211	0,0004	1,2369	1,2841	1,68%
Dreal g/cm <sup>3</sup>	4	2,2143	0,0496	0,0025	2,1710	2,2845	2,24%
C.D. Arcilla (%)	4	3,24	0,0872	0,0076	3,13	3,31	2,69%
Respiracion Basal	4	44,82	4,2429	18,0023	42,01	51,14	9,47%

Tabla No8. Estadística descriptiva, Tratamiento 003Y (Con vinaza) 20 – 60cm

**TRATAMIENTO 003 Y (VINAZA)**  
**PROFUNDIDAD 20 - 60 cm**

Variable	n	Media	Desviacion Estándar	Varianza	Mínimo	Máximo	C.V (%)
pH	4	6,78	0,2872	0,0825	6,4	7,1	4,24%
M.O. (%)	4	1,77	0,3127	0,0978	1,47	2,04	17,67%
P Bray (ppm)	4	3,21	1,2421	1,5429	2,1	4,82	38,67%
P Fijo (%)	4	20,79	4,7297	22,3702	14,16	24,38	22,75%
S (ppm)	4	36,40	22,826	521,03	12,6	66	62,71%
K (meq/100g)	4	0,31	0,1651	0,0273	0,16	0,54	53,27%
Ca (meq/100g)	4	14,65	6,1082	37,3105	6,09	20,56	41,70%
Mg (meq/100g)	4	15,56	3,0365	9,2205	11,85	19,25	19,52%
Na (meq/100g)	4	0,71	0,1396	0,0195	0,5	0,81	19,81%
Da g/cm <sup>3</sup>	4	1,2592	0,0050	0,0000	1,25265	1,2632	0,40%
Dreal g/cm <sup>3</sup>	4	2,2026	0,0443	0,0020	2,1593	2,262	2,01%
C.D. Arcilla (%)	4	2,79	0,4338	0,1882	2,38	3,39	15,58%
Respiracion Basal	4	38,29	1,1365	1,2915	36,59	38,97	2,97%

Los resultados que se aprecian en las tablas No5 y No6, correspondiente a la estadística descriptiva de los tratamientos 003X (sin vinaza) y 003Y (con vinaza), a una profundidad de 0 – 20 cm, evidencian incrementos en los resultados obtenidos en las variables: pH, Materia orgánica, Fosforo Bray, Sulfatos, Calcio, Magnesio y Respiración basal para el tratamiento que ha recibido vinaza (003Y); mientras que para las variables densidad aparente y real, fosforo fijado a la estructura del suelo y coeficiente de dispersión de arcillas son mayores en el tratamiento control. (003X).

Al observar los resultados de las tablas No7 y No8, correspondiente a la estadística descriptiva de los tratamientos 003X (sin vinaza) y 003Y (con vinaza), a una profundidad de 20 – 60 cm, se siguen presentando las mismas tendencias cuando se analizan los promedios de los análisis fisicoquímicos, siendo relevante el alto contenido de azufre que se obtuvo para el tratamiento de la parcela con vinaza (003Y) y a esa profundidad la respiración basal o actividad microbiana es ligeramente mayor en el tratamiento control (sin vinaza).

Para comprobar si se puede aceptar la hipótesis nula planteada: “La utilización de la Vinaza como fertilizante líquido no ocasiona cambios negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo”, se utilizó la prueba t para evaluar las medias

poblacionales de los dos tratamientos a las dos profundidades evaluadas, sin embargo antes de su aplicación se realizó la prueba f para varianzas a un nivel de significancia de 0.05 para evidenciar si no existían diferencias significativas a nivel de varianzas entre los tratamientos evaluados.

Los resultados de la prueba f para los dos tratamientos evaluados a las dos profundidades 0 – 20 cm y 20 – 60 cm, presentados en los anexos del No1 al No6, permiten observar que para la mayoría de los comparativos de las varianzas no se presentan diferencias significativas al nivel de significancia de 0.05.

La prueba F para evaluar la homogeneidad de varianzas para las dos medias poblacionales de los análisis fisicoquímicos, físicos y prueba de respiración basal a la profundidad de 0 – 20 cm no presento diferencias significativas; caso contrario para los parámetros de densidad aparente y % de coeficiente de dispersión de arcilla los cuales presentaron diferencias significativas en el factor profundidad de 20 – 60 cm.

Partiendo de este procedimiento inferencial denominado prueba F se procedió a evaluar mediante la prueba t student las medias poblacionales de los dos tratamientos a las dos profundidades, se aplicó la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales para la mayoría de las variables evaluadas, exceptuando los parámetros de densidad aparente y % de coeficiente de dispersión de arcilla a la profundidad de 20 – 60 cm, estos se evaluaron utilizando la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales, utilizando el recurso análisis de datos de Microsoft Excel 2010.

Los resultados obtenidos para la prueba t de los dos tratamientos identificados Control (003X) y Vinaza (003Y) a la profundidad de 0 -20cm, presentaron diferencias significativas en las pruebas de respiración basal y densidad real (\*\*: valor p significativo  $0.01 < p \leq 0.05$ ), donde el valor p fue de 0.04289 y 0.01506 respectivamente, por lo tanto para estas dos variables se rechaza la hipótesis nula; los otros parámetros fisicoquímicos evaluados no presentaron diferencias significativas. (Ver anexos No7 y No8)

Los resultados obtenidos para la prueba t de los dos tratamientos control (003X) y Vinaza (003Y) a la profundidad de 20 -60cm, para todas las variables fisicoquímicas, y respiración basal no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias poblacionales, es decir se acepta la hipótesis nula. (Ver anexos del No10 al No12)

## **8.2 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

### 8.2.1 pH

El pH del suelo está asociado a la disponibilidad de nutrientes y la reacción del suelo, se puede decir que un pH entre 6 y 7, es el mejor para la más fácil asimilación de los elementos nutrientes; en lo que respecta a los microorganismos está reconocido que las bacterias y actinomicetos actúan mejor en suelos con valores de pH intermedios y elevados, su actividad se reduce notablemente a valores inferiores a 5.5. (Navarro et Navarro; 2003).

Los resultados obtenidos en la determinación de pH entre los dos tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza), no presentaron diferencias estadísticamente significativas a ambas profundidades (ver Anexo No 7 y No 10); aunque se puede visualizar un valor de pH mayor para la suerte que ha recibido vinaza con un promedio de 6,43 en comparación con un 6,18 que se obtuvo para el control; como se observa en la figura No9. el pH fue mayor para el tratamiento con vinaza durante los periodos de muestreo y análisis, en la profundidad evaluada de 0 -20 cm.

Se observa una misma tendencia a la profundidad de 20 -60 cm, (figura No10) aunque con un ligero incremento en el pH del tratamiento 003Y lo que permite argumentar que a esa profundidad los procesos de variación de pH no necesariamente son debidos a efectos atribuibles a los compuestos presentes en la vinaza.

El pH óptimo para el desarrollo del cultivo de caña de azúcar según Quintero (1995) es de 6.5 es decir ligeramente ácido aunque tolera suelos ácidos hasta alcalinos, con un pH próximo o menor de 4.5, la acidez del suelo limita la producción.

Resultados similares fueron obtenidos por Gasca *et al* (2011) y Brito *et al* (2009), concluyendo que la vinaza induce a una disminución en el potencial redox, como consecuencia de la liberación de electrones de los compuestos orgánicos presentes, este proceso de reducción inducido por la vinaza consume protones (iones  $H^+$ ) principal responsable en el aumento de pH; otro proceso que describe Gasca *et al* (2011) es la existencia de actividades microbianas en el proceso de descomposición de la materia orgánica, teniendo como consecuencia la liberación de  $CO_2$  y otros gases, influyendo en el pH del suelo.

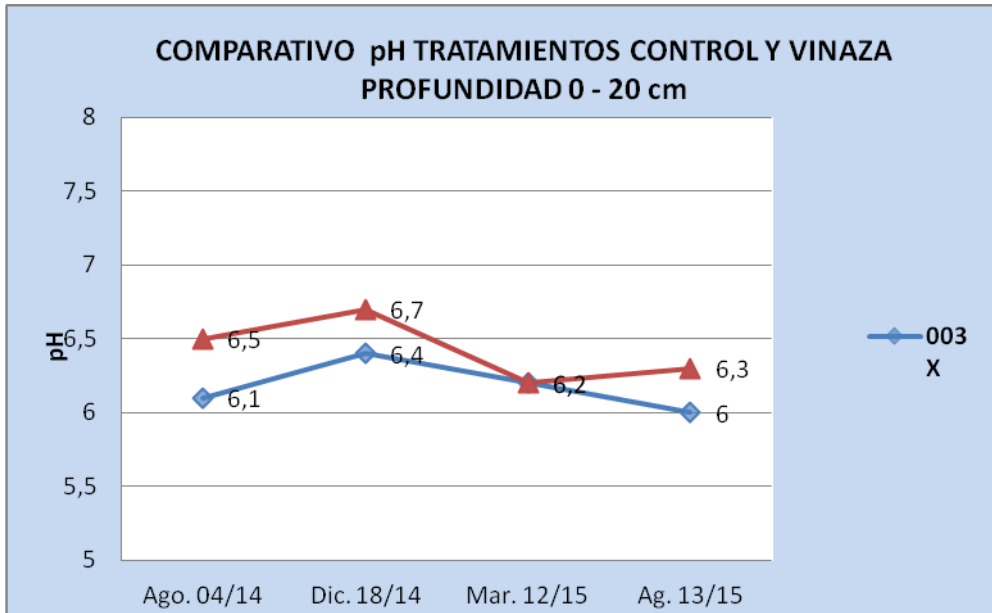


Figura No 9. Comparativo pH tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 0 – 20 cm

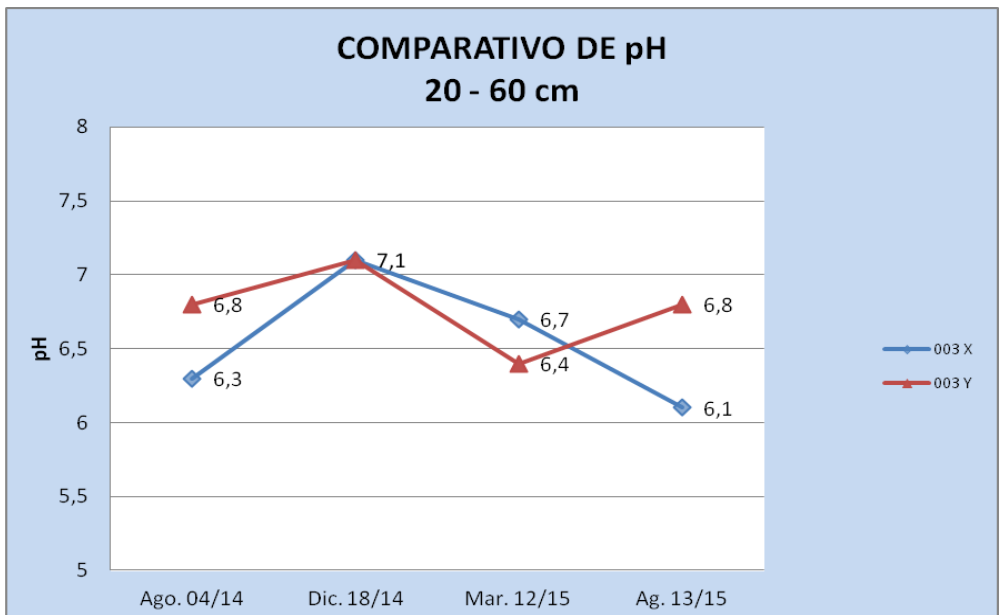


Figura No 10. Comparativo pH tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 20 – 60 cm

## 8.2.2 MATERIA ORGANICA

Universalmente se acepta que la materia orgánica (M.O.) por sus efectos agregantes, favorece el aumento del espacio poroso con lo que se facilitan la aireación, el drenaje interno del suelo y la retención de humedad (Flores et al; 2004). La materia orgánica no húmica es la principal fuente de energía y de carbono para los microorganismos del suelo, y desde el punto de vista fisicoquímico, es la materia orgánica húmica o humus la fracción más importante del suelo, pues sus propiedades coloidales la transmite al suelo propiedades únicas. (Jaramillo; 2002).

Los resultados obtenidos en el porcentaje de materia orgánica en la presente investigación no presentan diferencias estadísticamente significativas (ver anexo No7 y No10), presentándose un mínimo incremento en el tratamiento 003 Y (vinaza) en comparación con el control a la profundidad de 0 -20 cm, como se observa en la figura No11. Lo que se confirma con los valores promedio de 2,34% y 2,36 % para el tratamiento control y vinaza respectivamente; Igual tendencia se observa en la figura No12. a la profundidad de 20 – 60 cm.

Resultados similares han sido reportados por Gasca *et al* (2011), Brito *et al* (2009), Korndorfer *et al* (2004) estos autores concluyen que la no existencia de cambios significativos en los contenidos de materia orgánica en todo el perfil del suelo y las fluctuaciones de la M.O. se ligan estrechamente a las variaciones de la biomasa y la actividad microbiana, y que esta actividad se debe a la existencia en la vinaza de fuentes orgánicas que proporcionan energía a los microorganismos aumentando así la velocidad de crecimiento de la masa microbiana.

Montenegro (2008), describe que efectos acumulados de la vinaza aplicada en algunas de las propiedades químicas en varios suelos sometidos a labranza cañera, se han detectado en los primeros 20 cm de profundidad y han aumentado ligeramente los contenidos de materia orgánica.

Acorde a los resultados que se han obtenido en las dos suertes sometidas a estudio, se puede concluir que la vinaza ha aportado materia orgánica al suelo, incrementando en un 0.02 % el contenido de M.O en comparación con el tratamiento control a una profundidad de 0 -20 cm; que aunque no se ve reflejado en un incremento considerable en el stock de M.O., si mejora la fertilidad y las propiedades del suelo, ya que como se verá más adelante debe verse sus efectos positivos integrando otras variables que están asociadas a esta variable.



Los contenidos de materia orgánica medidos en ambas suertes corresponden a valores considerados según Quintero (1995) como suelos de categoría mediana donde los valores de M.O. varían entre 2 y 4%.

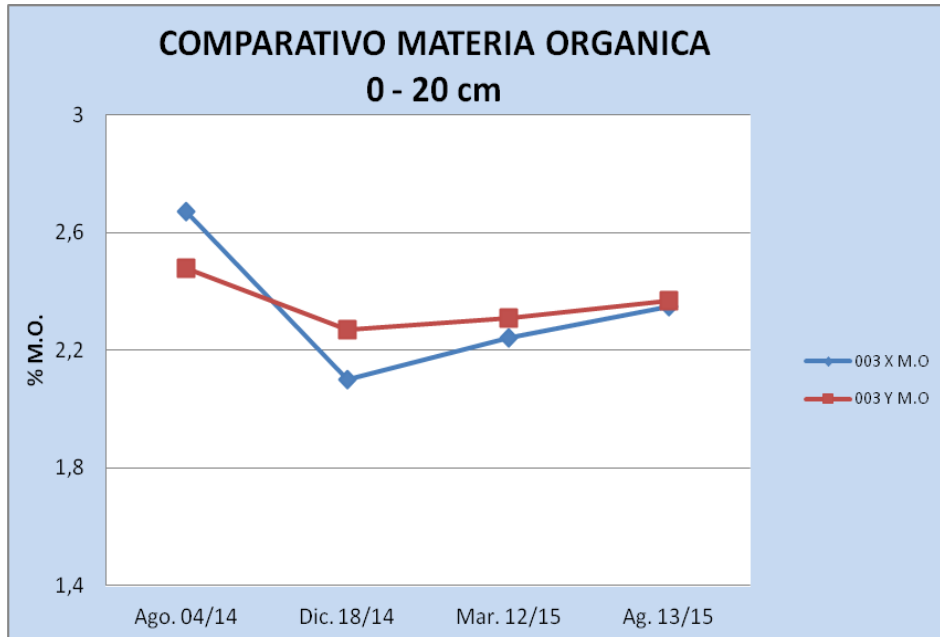


Figura No 11. Comparativo M.O. Tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 0 – 20 cm

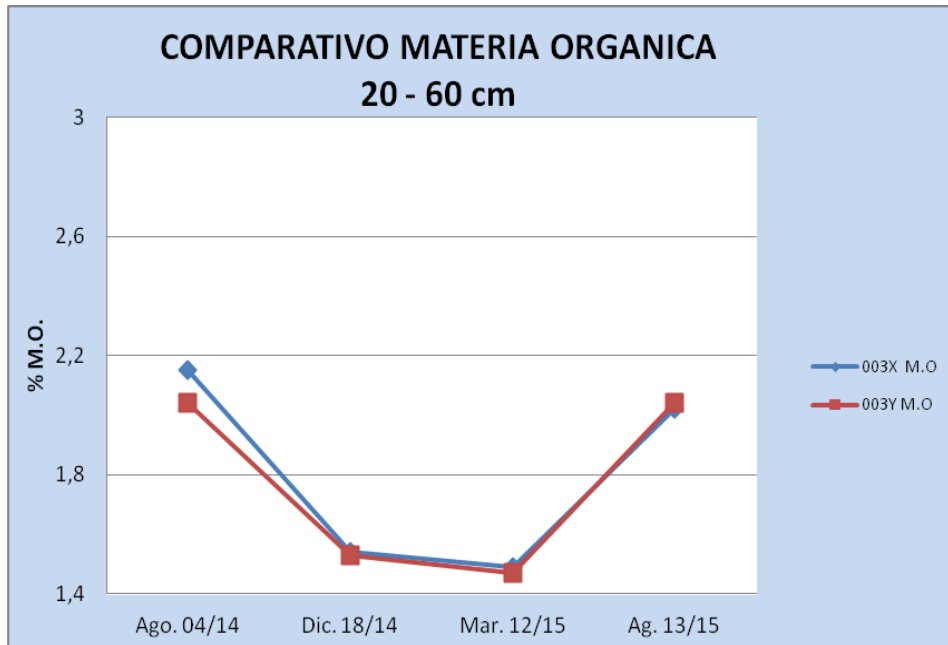


Figura No 12. Comparativo M.O. tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 20 – 60 cm

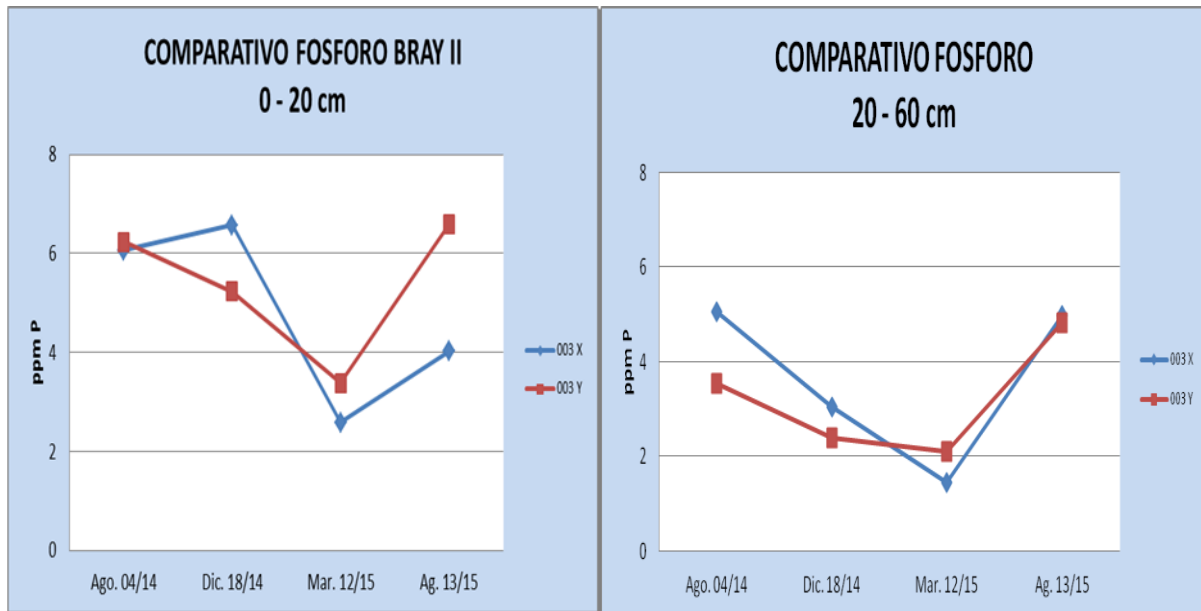
## 8.2.3 FOSFORO

### 8.2.3.1 FOSFORO DISPONIBLE METODO BRAY II

Según Quintero (1995) los resultados de las investigaciones efectuadas en el valle geográfico del río Cauca, han permitido establecer en forma tentativa los niveles críticos de fósforo disponible en el suelo, los cuales se han determinado por el método Bray: Categoría Baja (< 5 ppm Fósforo), Categoría Mediana (5 -10 ppm Fósforo) y Alta (> 10 ppm Fósforo).

La vinaza contiene concentraciones bajas de fósforo, según Fuess (2014) no se han observado impactos por la disposición de este subproducto en las áreas fertilizadas, ya que el contenido de este nutriente es usualmente escaso en los suelos debido a su lento ciclo biogeoquímico.

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los dos tratamientos a ambas profundidades (ver anexo No7 y No10); la escasa contribución de fósforo que la vinaza aporta al suelo, permite observar en la figura No13. que a la profundidad de 0 - 20 cm el tratamiento 003 Y (Vinaza) no contribuye significativamente a incrementar estos niveles, y se puede pensar que el mejoramiento de las propiedades del suelo por la presencia de materia orgánica puede posteriormente mejorar el contenido de fósforo disponible, luego de que la biomasa cañera ha alcanzado su máximo desarrollo, podría explicar el ligero incremento al finalizar el muestreo. A la profundidad de 20 -60 cm se observa un mejor contenido de fósforo en el tratamiento 003 X.



**Figura No 13. Comparativo Fosforo Bray II tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 0 – 20 cm; 20 – 60 cm**

Se concluye que en términos de fosforo disponible este suelo se clasifica en categoría mediana de disponibilidad del nutriente en ambos tratamientos.

### 8.2.3.2 FOSFORO FIJO

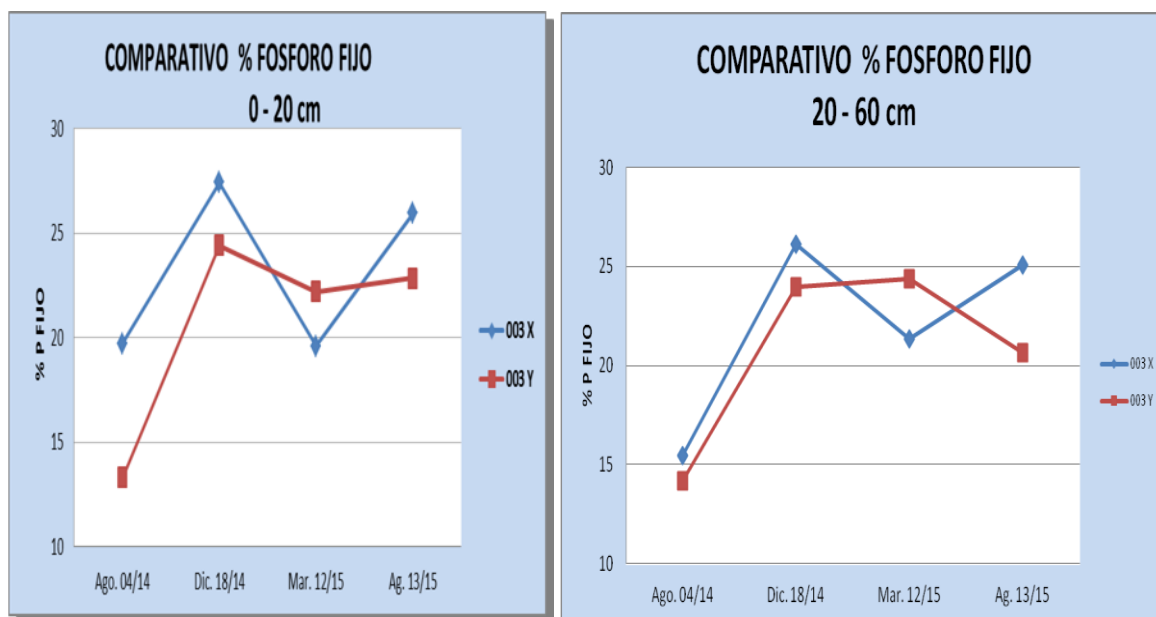
A diferencia del nitrógeno y del azufre, que son elementos que se absorben en forma iónica, el fosforo es un elemento poco móvil, por su tendencia a reaccionar dando formas fosforadas no disponibles para las plantas, considerado un elemento muy crítico, algunos minerales de arcilla son mucho más fijadores que otros, por ejemplo las arcillas tipo alófanas presentan una fijación extremadamente alta. (<http://www.edafologia.com.ar>)

Los resultados obtenidos en porcentaje de fosforo fijo (%P) para ambos tratamientos 003X y 003Y a ambas profundidades no presentaron diferencias estadísticamente significativas. (ver anexo No7 y anexo No10)

El promedio obtenido en la determinación del % P fijo para el tratamiento 003Y (Vinaza) fue de 20.69% en comparación al tratamiento 003X (Control) cuyo resultado fue de 23.16 %, es decir existe un 2.47% menos fosforo inmovilizado en la suerte que ha recibido vinaza, resultado que se obtuvo en la profundidad 0 – 20 cm, como se observa en la figura No14.; la misma tendencia se observa a 20 -60 cm de profundidad aunque con un valor menor de 1.2 % menos de fosforo inmovilizado.

Este comportamiento obtenido puede estar asociado a que la materia orgánica puede reducir la intensidad del proceso de fijación, al reducir el impacto que las partículas de arcilla ocasionan, ya que tienden a retener y fijar el fósforo, suelos de textura fina como los suelos arcillosos tienen una capacidad de fijación mayor de fósforo que los suelos arenosos. ( <http://www.nutricadodesafras.com.br/fosforo>)

Una buena práctica que permite mejorar la disponibilidad de fósforo consiste en adicionar materia orgánica ya que esta libera nutrientes a la solución del suelo y tiene poca capacidad para fijar fuertemente los iones fosfato; los suelos ricos en materia orgánica, siempre exhiben relativamente bajos niveles de fijación de fósforo. (<http://www.edafologia.com.ar>.)



**Figura No 14. Comparativo Fósforo Fijado. Tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 0 – 20; 20 – 60 cm**

La materia orgánica aportada por la vinaza a la suerte 003Y contribuye muy posiblemente a disminuir el porcentaje de fósforo inmovilizado en la matriz del suelo, al disminuir el impacto que de por sí la textura del suelo puede conllevar al fijar el fósforo, ya que la textura del suelo es Arcillosa (Ar). Como puede observarse en el Anexo 13.

#### 8.2.4 AZUFRE

Según Fuess *et al* (2014) la directa aplicación de vinaza al suelo puede ser una problemática dado su bajo pH y altas concentraciones de sulfato, que usualmente se encuentran en las vinazas provenientes de la caña de azúcar, debido al uso del ácido sulfúrico en los procesos de fermentación.

La presencia de sales de sulfato puede inhibir el crecimiento de la caña y la síntesis de clorofila y disminuir la asimilación de potasio y calcio. Se han encontrado concentraciones más altas que 5000 ppm de sulfatos, esto puede conducir a la generación de olores indeseables en la anaerobiosis, debido a la generación de sulfuros vía reducción del sulfato. (Fuess *et Garcia*; 2014).

El promedio de azufre contenido en la vinaza utilizada como fertilizante en la suerte 003Y fue de 8000 mg/L, y su efecto se evidencia en los resultados obtenidos en el comparativo que se muestra en la figura No 15. Donde se observa altos valores para este parámetro a la profundidad de 0 – 20 cm comparado con el tratamiento 003 X (Control); y un dato de suma relevancia ambiental es que durante este ensayo y a medida que transcurrió el tiempo de crecimiento de la biomasa de caña, se observa que ocurren procesos de lixiviación del ion sulfato como se puede observar en el dato de 66 ppm obtenido el 18 de diciembre a la profundidad de 20 – 60 cm. (fig. No16.)

Se concluye que aunque no se presentan diferencias significativas para este parámetro entre los dos tratamientos a nivel estadístico, si merece ser tenido en cuenta el posible impacto que las prácticas de fertirrigación con vinaza pueden ocasionar a acuíferos por el incremento del ion sulfato que puede lixiviarse y contribuir a su contaminación sobretodo en suelos de textura arenosa.

Resultados similares fueron obtenidos por Camargo *et al* (1987) quienes estudiaron la dinámica de azufre en el suelo y encontraron que los contenidos de S – SO<sub>4</sub> aumentaron con relación al control, tanto en la superficie como en horizontes más profundos (40 a 80 cm), evidenciando acentuada lixiviación. (Korndörfer *et al* 2004; citado en Montenegro; 2008.)

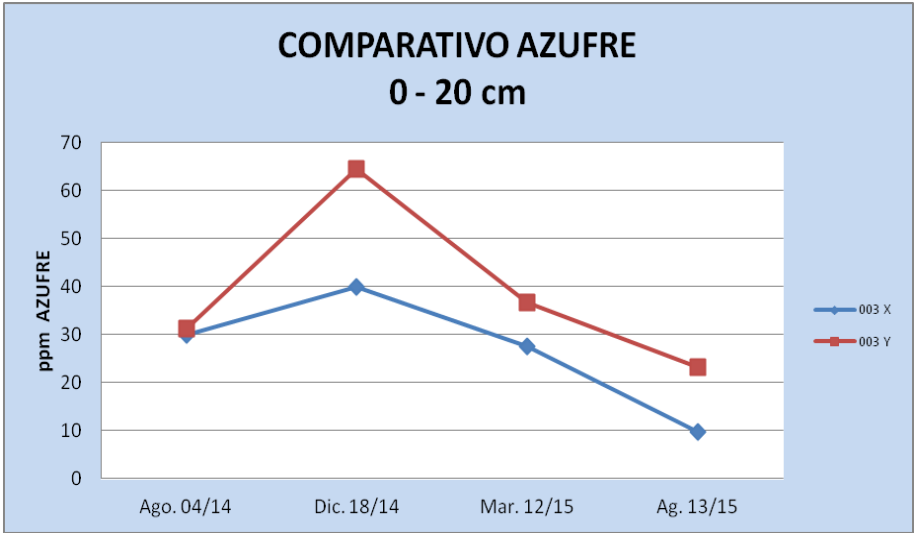


Figura No 15. Comparativo Azufre tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 0 – 20 cm

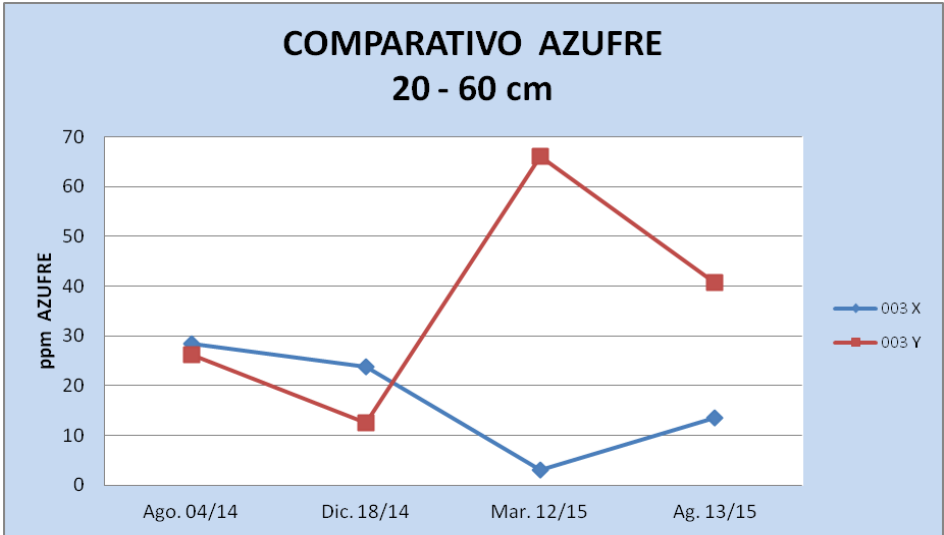


Figura No 16. Comparativo Azufre tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 20 – 60 cm

### 8.2.5. CATIONES INTERCAMBIABLES POTASIO – CALCIO – MAGNESIO

Se ha demostrado experimentalmente que es posible reemplazar el K aplicado al cultivo como KCl comercial por vinaza, lo que baja los costos de fertilización; estudios realizados en lotes comerciales de tres ingenios azucareros en el valle del cauca, concluyeron que existe una tendencia a la estabilidad en los contenidos de K

intercambiable en el suelo sin presentar incrementos y mostrando una tendencia creciente en TCH (Tonelada Caña por hectárea). (Tecnicaña; 2009)

Los tenores de Potasio intercambiable en el suelo para ambos tratamientos son muy similares a 0 -20 cm de profundidad lo que demuestra que la aplicación de vinaza si contribuye a suplir los requerimientos de potasio (fig. No17); cabe resaltar que el ultimo valor obtenido es más alto para el tratamiento 003 Y (Vinaza), este se obtuvo posterior a la cosecha manual de la suerte evaluada, concluyendo que el stock de potasio sigue siendo significativo por encima de 0.3 cmol/Kg, según Quintero (1995) el K intercambiable > 0.3 cmol/Kg se considera de categoría alta.

Evaluando los resultados de potasio obtenidos a 0 -20 cm, se evidencia una posible lixiviación del potasio en la suerte 003Y al finalizar el muestreo y análisis de este parámetro, de resto no se observan diferencias a este perfil.

Resultados similares fueron reportados por Silva et al (2014), concluyendo que la aplicación de vinaza, proporciona aumentos significativos de potasio en el suelo, independiente de brote o retoño de la caña de azúcar, encontrando que en suelos arenosos la vinaza presenta hasta en capas de suelo de 40 cm un gran stock de potasio.

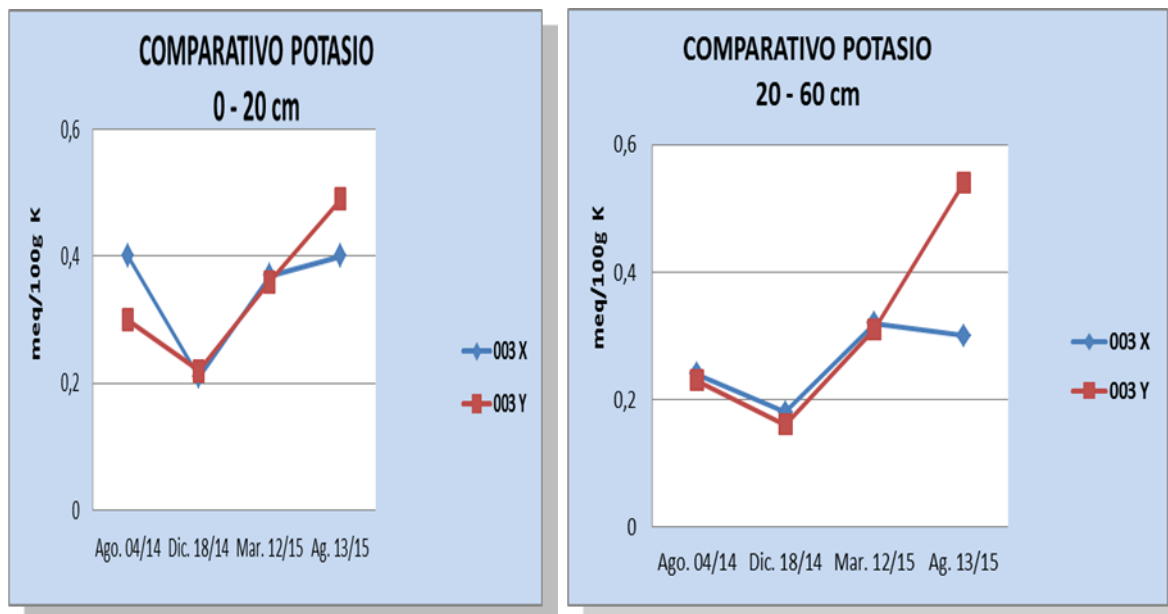


Figura No 17. Comparativo Potasio tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza);  
0 – 20 cm; 20 – 60 cm

Los cationes intercambiables Calcio y Magnesio no presentaron diferencias significativas a nivel estadístico, sin embargo para ambas profundidades estudiadas 0 - 20 cm y 20 – 60 cm se puede observar un ligero incremento en los tenores de Calcio y Magnesio en el tratamiento 003 Y (vinaza) (ver Anexo No8 y No11) (Figura No18 y No19), esto se debe a que la Vinaza es rica en sales de calcio y magnesio. Se observa un incremento considerable en la concentración de Calcio y magnesio para el tratamiento 003Y a la profundidad de 20 – 60 cm, estos resultado pueden indicar procesos de lixiviación. (Figura No19)

Resultados similares fueron reportados por Paula *et al* (1999), quienes estudiando la dinámica del potasio y otros cationes intercambiables en un Lactosol arcillo rojizo, encontraron que la vinaza elevo significativamente los tenores de Ca y Mg a una profundidad de 0 – 20 cm, mas no se alteraron sus valores en la profundidad de (20 -40 cm), y los valores medios de Ca y Mg en esta capa fueron de 12 a 6 mmol/L respectivamente; Gasca et al (2011) describen que el poder electrolítico de la vinaza se debe a sus altas concentraciones de Potasio y Calcio, que son suficientes para desplazar el sodio del complejo de cambio, contribuyendo a disminuir el impacto por sodicidad del suelo, por este motivo puede ser utilizada como enmienda en suelos afectados por sodio; corroborando los resultados obtenidos para estos parámetros.

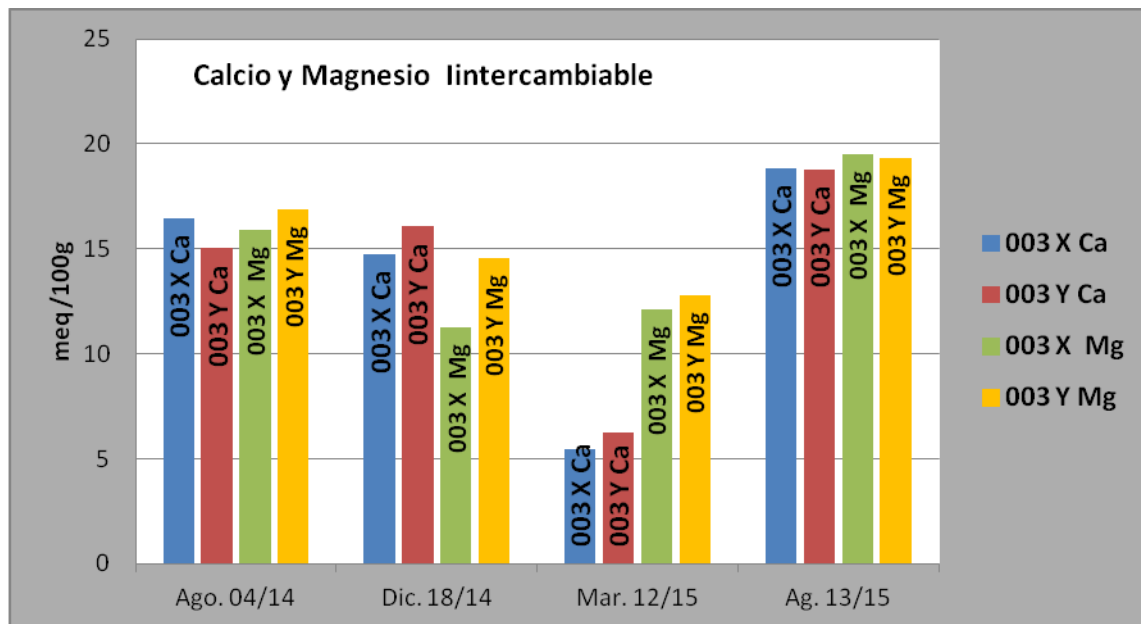




Figura No 18. Comparativo Calcio y Magnesio tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 0 -20 cm

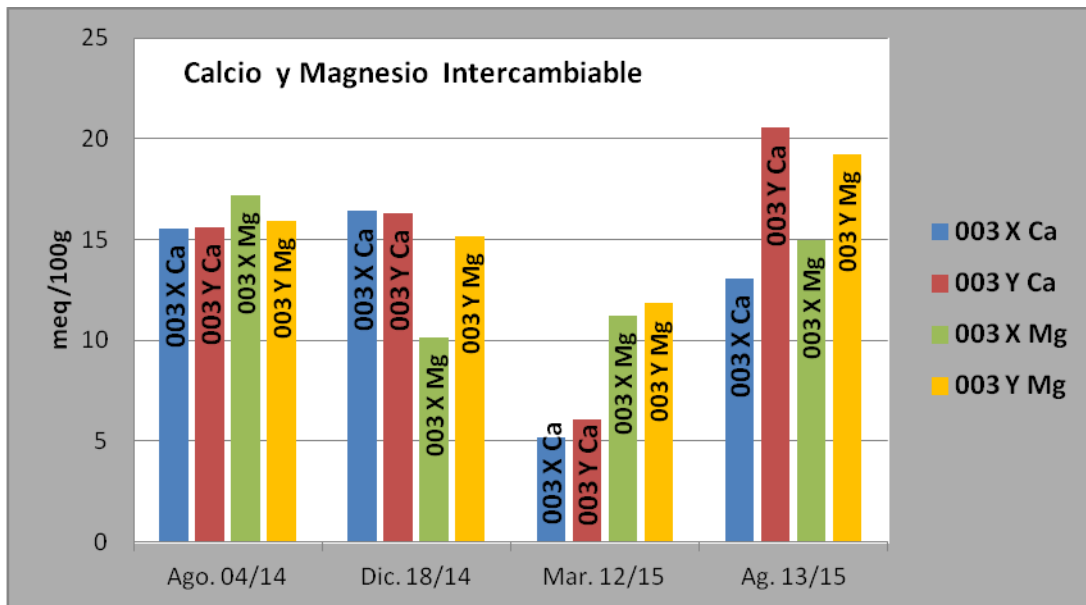
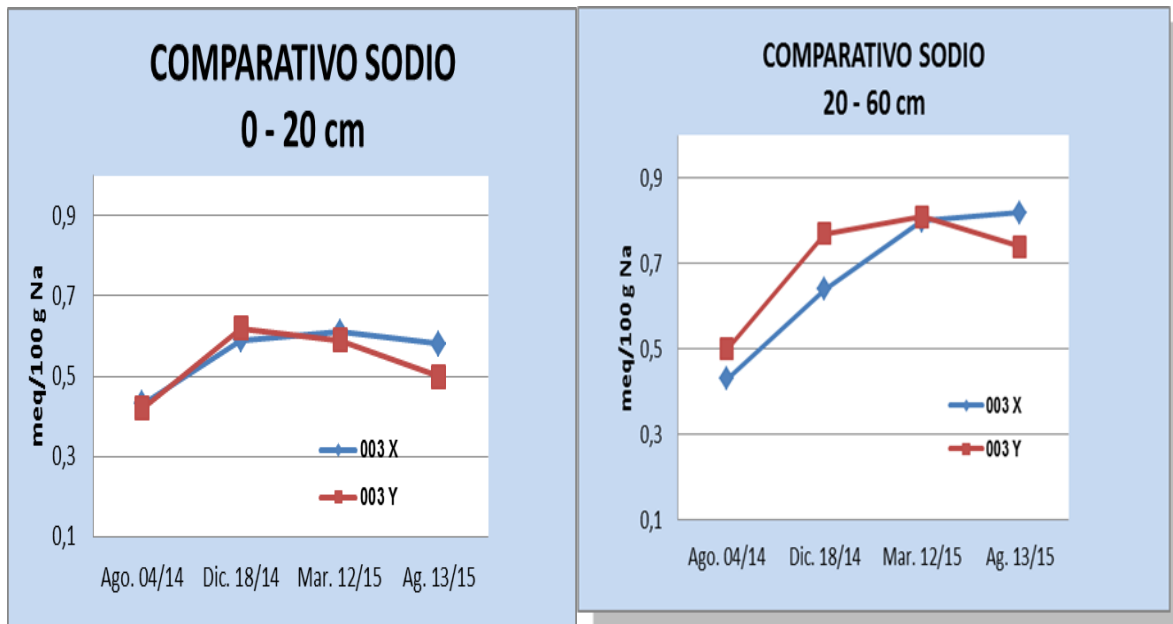


Figura No19. Comparativo Calcio y Magnesio tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 20 - 60 cm

### 8.2.6. SODIO

La sodificación es el proceso por el cual el contenido de sodio intercambiable de un suelo se incrementa, causando la formación de un suelo sódico, se han encontrado suelos sódicos con valores de pH superiores a 8,5 esto debido a que el sodio se hidroliza formando hidróxido de sodio y por lo tanto incrementando el pH. Cuando el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) es igual o mayor que 15 caen en la categoría de suelos sódicos. (Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo; 2013)

Los suelos sódicos presentan problemas de movimiento y disponibilidad de agua al igual que la degradación de algunas de las propiedades físicas, a nivel de la planta se puede presentar toxicidad directa de  $\text{Na}^+$ , dificultad en la penetración de raíces, reducción del sistema radicular y por lo tanto que la planta sufra por falta de agua y nutrimentos. (Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo; 2013)



**Figura No 20. Comparativo Sodio Intercambiable. Tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza) 0 – 20; 20 - 60 cm**

Los resultados obtenidos para el sodio intercambiable no presentan diferencias significativas entre los tratamientos 003 X (control) y 003 Y (Vinaza), es decir la vinaza no genera cambios en las propiedades químicas del suelo en términos de sodio intercambiable (meq/100g) a una profundidad de 0 – 20 cm, como se observa en la figura No20. el sodio tiende a ser un poco más bajo en el tratamiento con vinaza; y se observa también como resultado relevante que a la profundidad de 20 – 60 se presentó un mayor contenido de sodio en el tratamiento 003Y a lo largo de los primeros tres muestreos indicando posibles lixiviaciones, para posteriormente disminuir en el último muestreo, muy probablemente por la movilidad del ion  $\text{Na}^+$  a otros horizontes más profundos.

Resultados similares fueron obtenidos por Brito *et al* (2009), evaluando el comportamiento de aplicación de vinaza en diferentes tipos de suelos, encontró una disminución en la concentración de sodio en un Nitossolo y Argissolo, atribuyendo este comportamiento al efecto competitivo del potasio que al estar en mayores cantidades, debe haber movido al sodio facilitando su lixiviación y migración a horizontes más profundos; situación que permitiría explicar el comportamiento del sodio en la profundidad de 20 -60 del tratamiento 003Y.

Gasca *et al.*; (2011) evaluando el efecto de aplicación de vinaza y su influencia en el porcentaje de sodio intercambiable (RAS), llegan a la conclusión de que la aplicación

de vinaza no muestra cambios significativos en el RAS y sin embargo si se observa una disminución del sodio intercambiables en periodo que duro la evaluación; correlacionando con los resultados que se encontraron en la evaluación de este parámetro en las suertes contrastantes del presente estudio.

Es posible predecir la ocurrencia de procesos de sodificación por el uso de vinazas como enmiendas, usando una relación sodio – calcio (Na: Ca) y la relación de adsorción de sodio (RAS), la cual relaciona las concentraciones de Na, Ca y Mg; los riesgos de sodificación pueden presentarse cuando Na: Ca > 3:1 y RAS>10; las vinazas provenientes de la caña de azúcar tienden a presentar relaciones Na: Ca (0.001:1 a 1.2:1), significativamente bajos. (Fuess et Garcia; 2014).

**Tabla No9. Resultados Na:Ca - RAS en vinazas de caña utilizadas en el tratamiento 003Y**

AÑO	g/ml	%			ppm			Na : Ca	RAS
	densidad	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na	Ca	Mg		
2014	1,185	0,3	1,1	0,6	0,0023	0,0092	0,0044	<b>0,247 : 1</b>	<b>0,030</b>
2015	1,121	0,3	0,8	0,3	0,0022	0,0064	0,0023	<b>0,350 : 1</b>	<b>0,034</b>

Los resultados que se observan en la tabla No9, correspondiente a las composiciones de las vinazas utilizadas como fertilizante en la suerte 003Y, permiten corroborar que las relaciones de Na : Ca durante los años 2014 y 2015 están entre 0.001: 1 a 1.2: 1 y el RAS es muy inferior a 10, que son valores críticos según Fuess et García.; (2014) para un riesgo de salinización, lo que permite concluir que por debajo de estos valores este sustrato no genera riesgos por sodificación al ser adicionado al suelo.

#### 8.2.7. Respiración basal (Actividad Microbiana CO<sub>2</sub>)

La respiración basal del suelo se define como la suma total de todas las funciones metabólicas en las cuales se produce CO<sub>2</sub>, las bacterias y los hongos son los principales responsables de esta liberación vía degradación de la materia orgánica; la disponibilidad de carbono en el suelo ha sido descrita como fuente principal para el aumento de la Actividad Microbiana, siendo la respiración basal un sensible indicador de estrés que los microorganismos pueden presentar en el sustrato (Suelo), permitiendo entender las transformaciones y perdidas de los compuestos orgánicos del suelo. (Silva et al; 2007), es por esta razón que esta prueba fue determinante para evaluar la actividad biológica del suelo.

Se presentaron diferencias significativas entre los dos tratamientos control y vinaza, concluyendo que la vinaza utilizada como fertilizante líquido contribuye a incrementar la tasa de respiración basal en el suelo a una profundidad de 0 – 20 cm, es decir su efecto sobre la actividad biológica es positivo.

Como se observa en la figura No21. Existe una correlación entre materia orgánica presente en el suelo y actividad microbiana (respiración basal); los resultados obtenidos para el tratamiento 003Y (Vinaza) en contenido de M.O (%) y actividad Microbiana (respiración basal) son mayores que los que se obtuvieron para el tratamiento 003X (Control), permitiendo inferir que en el perfil de 0 -20 cm, la vinaza aporta fuentes orgánicas que estimulan los procesos metabólicos de los microorganismos del suelo.

Resultados similares son reportados por Gasca et al (2011), estos investigadores afirman que la aplicación de vinaza contribuye al mejoramiento de las propiedades del suelo al estimular la micro biota, la actividad biológica de este estudio presento tendencia a niveles altos expresando este indicador tasas de respiración superiores a 40 Kg CO<sub>2</sub>/ha – día.

La aplicación de vinaza a suelos agrícolas ha mostrado que incrementa la rata de respiración del suelo, mejorando su fertilidad, incrementando el ciclo Carbono – Nitrógeno, incrementado las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. (Lopes *et al*, 1986.; Barros *et al*, 2010.; Bebé *et al*, 2009.; Parnaudeau *et al*, 2008.; citados por Goncalves *et al*, 2013.)

En el perfil del suelo evaluado a 20 – 60 cm, no se encontraron diferencias significativas en la respiración basal (Fig.22), siendo ligeramente mayor los valores de actividad microbiana en la suerte 003X (control) que en el 003Y (vinaza), esto permite inferir que existen procesos de lixiviación de compuestos presentes en la vinaza que pueden ocasionar estrés microbiano y disminuir su eficiencia y respuesta metabólica.

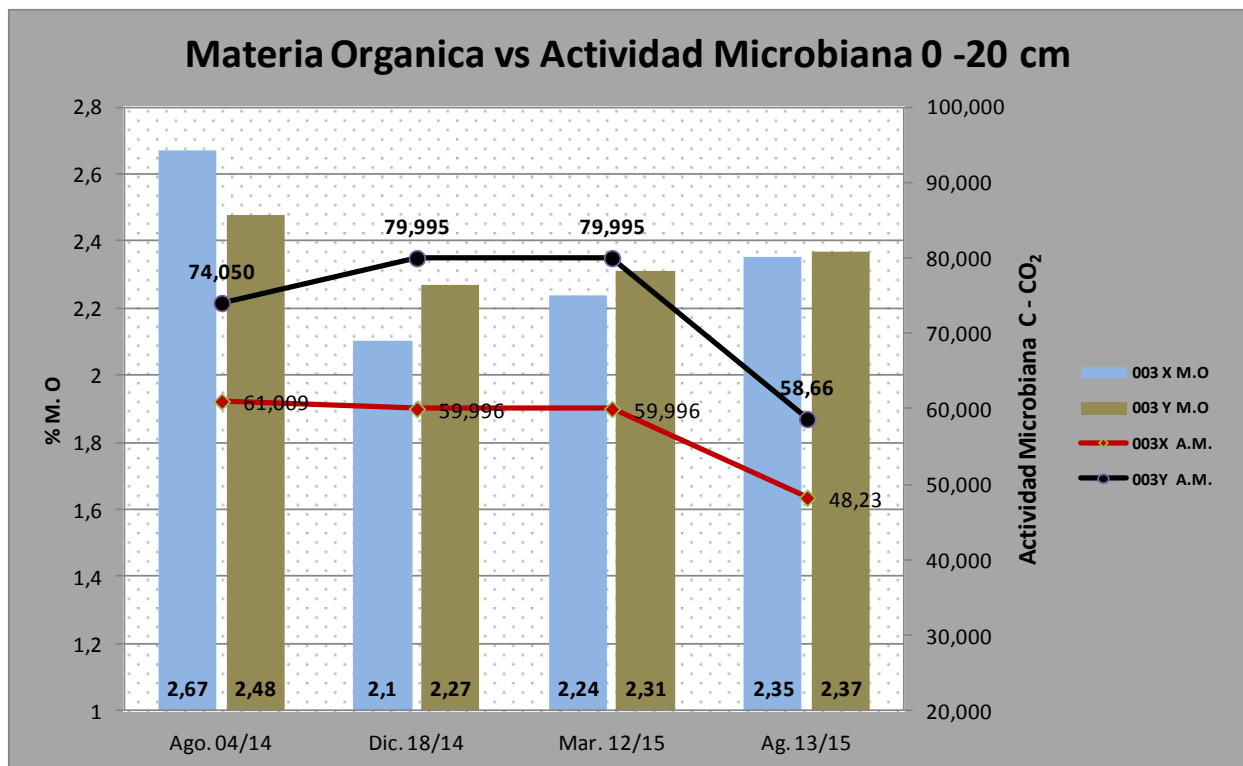


Figura No 21. Comparativo Respiración Basal Vs M.O. Tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 0 -20 cm

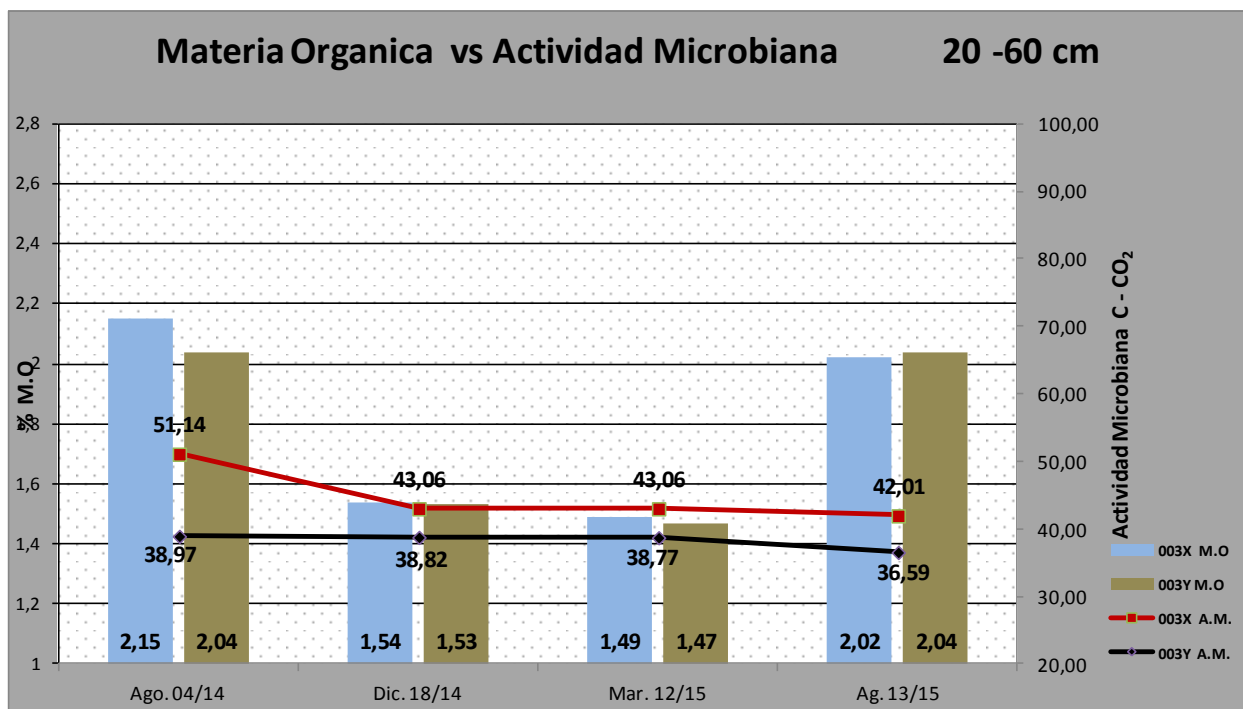


Figura No 22. Comparativo Respiración Basal vs M.O. Tratamientos 003X (Control) y 003Y (Vinaza); 20 -60 cm

## 8.2.8 DENSIDAD REAL - APARENTE

La densidad de un material se define como el peso que tiene dicho material, por unidad de volumen; el suelo por ser un cuerpo poroso se presentan dos consideraciones con respecto a la densidad: si se considera la masa de las partículas sólidas, se tiene la densidad real, pero si además se tiene en cuenta su organización se tiene la densidad aparente. En el suelo se consideran como valores altos para la densidad aparente ( $D_a$ ) aquellos que son superiores a 1.3 g/ml en suelos de textura fina, los mayores a 1.4 g/ml en suelos con texturas medias y los mayores a 1.6 g/ml, en suelos con texturas gruesas. (Jaramillo; 2002).

Los resultados obtenidos para las densidades real y aparente, como se observa en la figura No23. son menores para el suelo que ha recibido vinaza (003Y) en comparación con el control (003X), sin embargo para la densidad aparente no se presentaron diferencias significativas entre los dos tratamientos, a ambas profundidades; escenario diferente se obtuvo para la densidad real donde las diferencias si son significativas a 0 - 20 cm de profundidad y permiten concluir que la composición e integración de la vinaza al suelo si contribuye a mejorar significativamente este parámetro.

La menor densidad real en el suelo tratado con vinaza se debe a la aportación que de materia orgánica se da desde este sustrato, los compuestos presentes en este fertilizante líquido contribuyen a disminuir el peso del suelo por unidad de volumen, resultados similares son descritos por Camargo *et al.* (1988) citado por Técnicaña. (2009) concluyendo que el uso de la vinaza no afecta la densidad global; Zolin *et al* (2011) encontraron que los tenores de carbono orgánico y densidad del suelo tienen una relación directa, es decir a mayores valores de carbono orgánico implica valores de densidad menores, que fueron visualizados principalmente en la capa superficial de 0 – 15 cm.

Los resultados que se obtuvieron contrastando las densidades entre los dos tratamientos a 20 – 60 cm, como se observa en la figura No24. No presentaron diferencias significativas, esto se debe a que la influencia de la materia orgánica a esa profundidad es menor y no contribuye a mejorar las propiedades físicas del suelo.

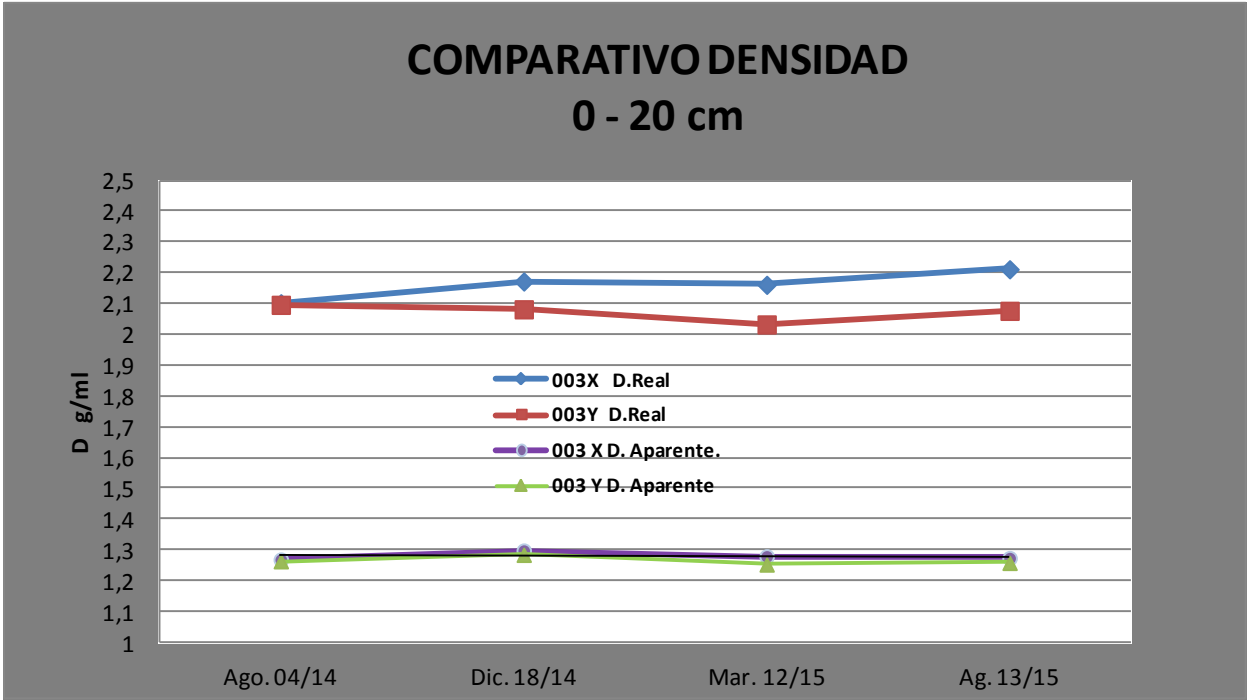


Figura No 23. Comparativo Densidad real vs Densidad Ap. Tratamiento 003X y 003Y

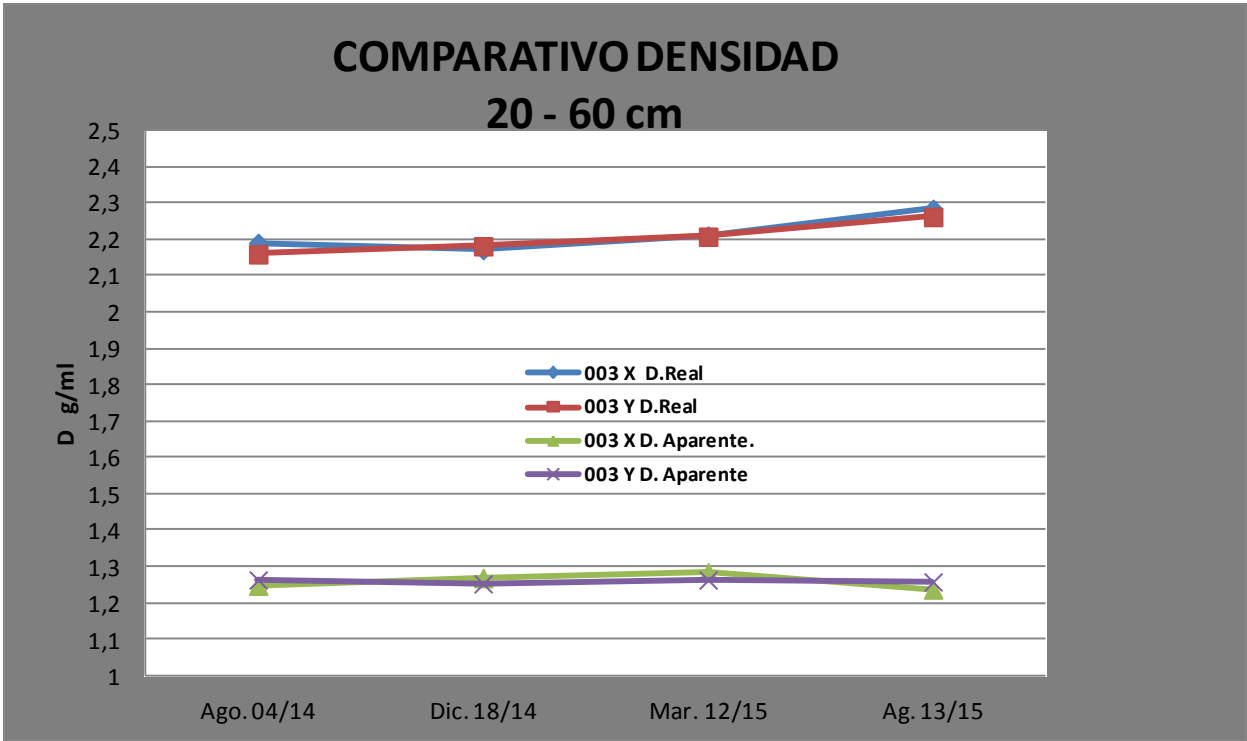


Figura No 24. Comparativo Densidad real vs Densidad Ap. Tratamiento 003X y 003Y

### 8.2.9. COEFICIENTE DE DISPERSION DE ARCILLA.

La cantidad relativa de arcilla que se encuentre dispersa, es decir, sin unirse a otras partículas del suelo, da una idea del grado de agregación y de la estabilidad de los agregados que tiene el suelo; si se mide este contenido en suelos que están siendo sometidos a laboreo intenso, en diferentes épocas, el incremento de su valor puede ser un indicador de degradación física de aquellos y de aumento de su susceptibilidad a la erosión. (Jaramillo.; 2002)

Los valores de coeficiente de dispersión obtenidos en las dos suertes contrastadas permite afirmar que existe una correlación positiva entre el contenido de materia orgánica y estabilidad de los agregados; la dispersión de arcillas puede ser un buen indicador de la inestabilidad de los suelos permitiendo evaluar varios aspectos que se tienen en cuenta como son porosidad, el carbono orgánico y la actividad biológica. (Sociedad Colombiana del Suelo.; 2013)

Los resultados obtenidos en el % de Coeficiente de Dispersión (C.D), no presentaron diferencias significativas en los dos tratamientos, y sus valores estuvieron por debajo del 5%; resultados similares en ambas profundidades evaluadas; Gonzales.; (1990) citado por Jaramillo.; (2002) menciona que el nivel crítico para el C.D corresponde a un valor de 25%, es decir que los suelos evaluados en ambos tratamientos no presentan degradación física actualmente.

En la Fig. No25. Se observa que el perfil de 0 – 20 cm el coeficiente de dispersión de arcilla es menor para la suerte 003Y (Vinaza) en comparación con la suerte 003X; también es importante resaltar que los contenidos de materia orgánica son mayores en el tratamiento 003Y (Vinaza), esto permite concluir que los compuestos orgánicos y cationes intercambiables presentes en la vinaza dan una mayor estabilidad a los agregados disminuyendo las pérdidas de arcilla, e incrementando los contenidos de calcio y magnesio que son iones cohesivos, y están presentes en concentraciones significativas.

Resultados similares son reportados por Camargo *et al.*; (1988) ellos verificaron una reducción en los tenores de arcilla dispersa en suelos que recibieron vinaza comentando que el aumento de la concentración de sales en suelo promovida por la vinaza reduce la doble capa difusa, conllevando a una aproximación de las partículas del suelo; un estudio similar reportado por Silva *et al.*; (2006) evaluó los efectos de la vinaza en las características químicas, dispersión de arcillas, agregación de un suelo tipo Ultisol, encontrando valores menores de arcilla dispersa en agua, afirmando que



probablemente esto estuvo relacionado con los mayores tenores de calcio y magnesio, en ese suelo.

Evaluando el coeficiente de dispersión en el horizonte de 20 -60 cm, se observa la misma correlación, aunque a esa profundidad puede que otros factores adicionales contribuyan a que el tratamiento 003Y (Vinaza) presente menor arcilla dispersa que el 003X. (Ver Fig. No26)

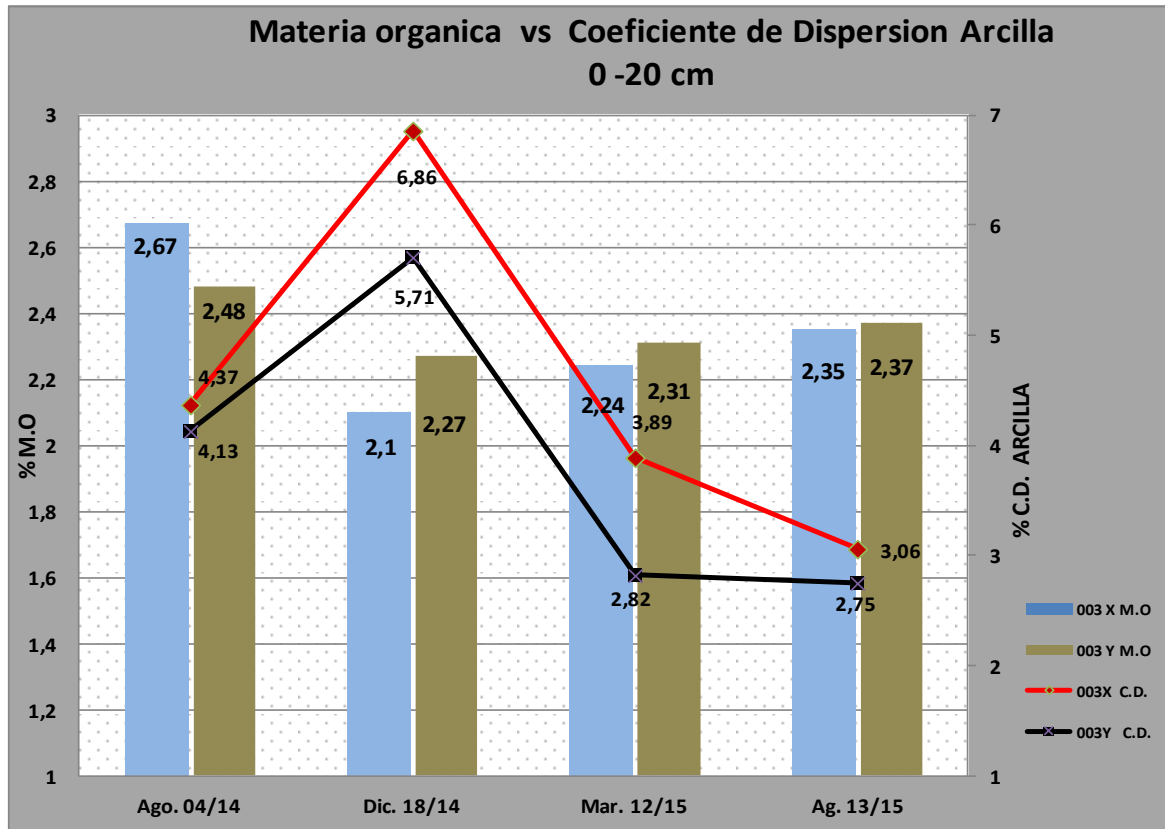


Figura No 25. Comparativo Materia Orgánica vs Coeficiente de Dispersión. Tratamiento 003X y 003Y

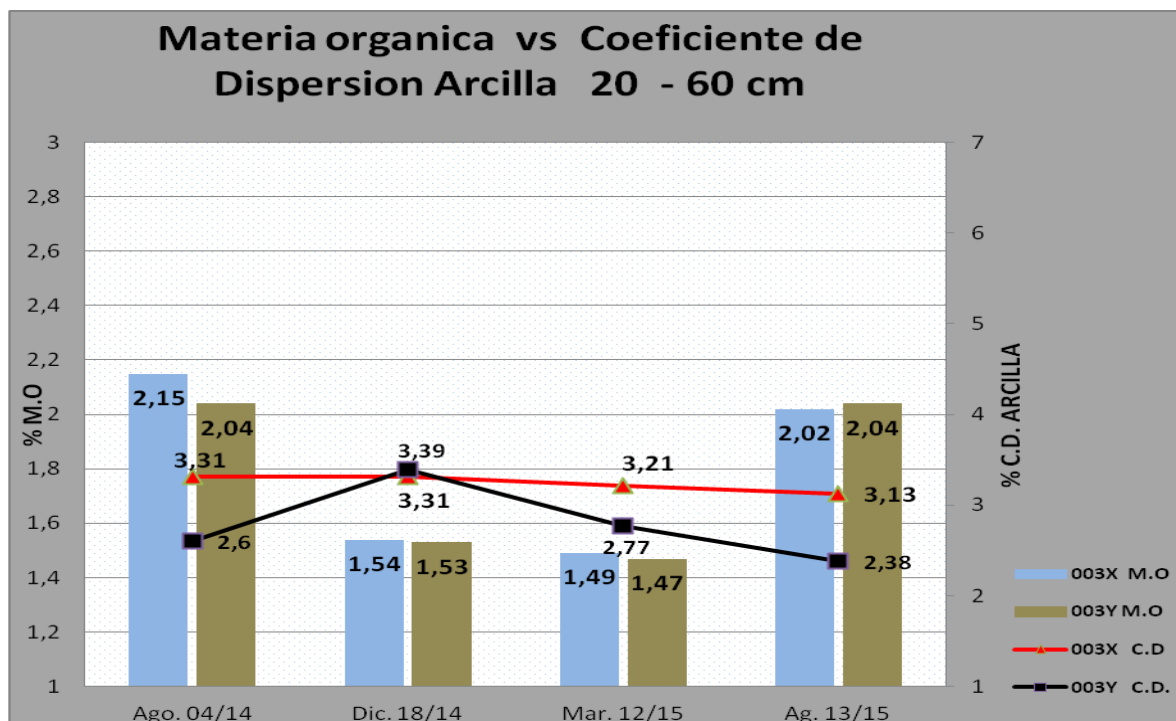
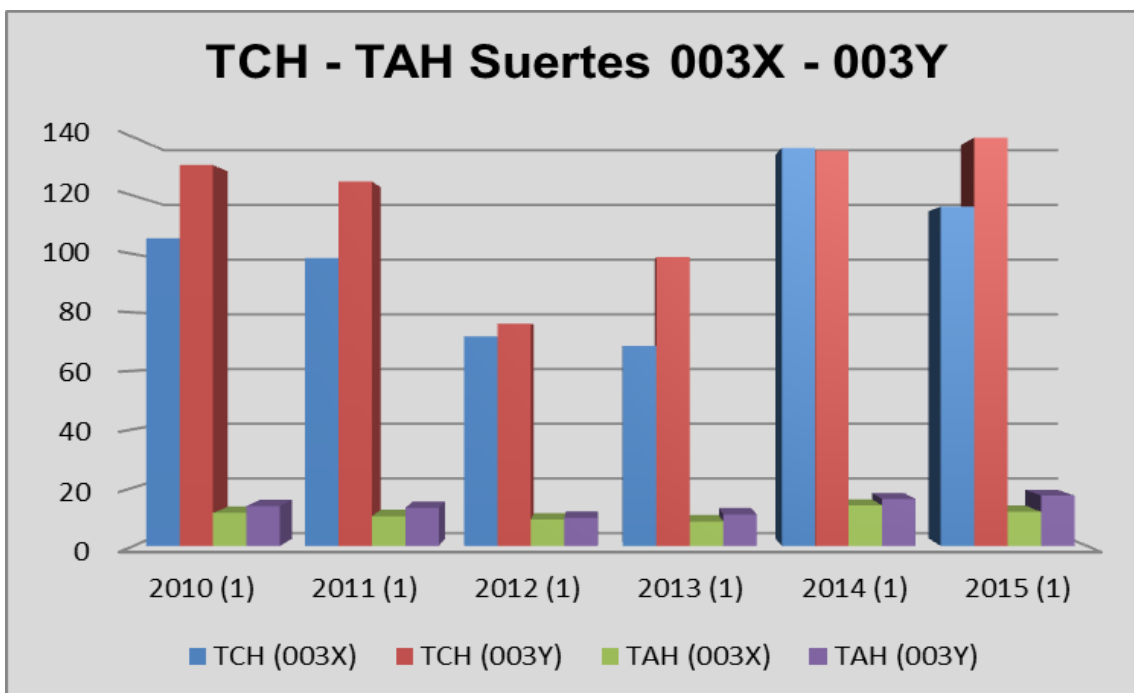


Figura No 26. Comparativo Materia Orgánica vs Coeficiente de Dispersión. Tratamiento 003X y 003Y

### 8.2.10. PRODUCTIVIDAD CAÑA Y AZUCAR.

Evaluando las productividades de las dos suertes contrastadas a lo largo de 6 cortes que corresponden a 6 años de productividad anual, se observa en la figura No27. Que el valor de TCH (Tonelada Caña / Hectárea) es mayor en la suerte 003Y (Tratamiento con Vinaza) en comparación con la suerte 003X (Control); de igual manera el TAH (Tonelada Azúcar/Hectárea) es mayor en la suerte que ha sido fertirrigada con vinaza.



**Figura No 27. Comparativo TCH (Tonelada Caña Hectárea) – TAH (Tonelada Azúcar Hectárea) Tratamiento 003X y 003Y**

Los resultados fueron obtenidos de la base de datos disponible en Cenicaña (Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar), y que se presentan en las tablas No10 y No11, en ellas se puede visualizar los datos de TCH y TAH, como también el número de cortes de las suertes que por ser una hacienda experimental son los mismos, siendo relevante el cambio de plantilla en el año 2014, razón por la cual en ese año no se observa un mayor valor en el TCH para la suerte 003Y(Vinaza), para luego ser significativa al siguiente año.

Los resultados que se observan de TCH y TAH en la tabla No 10 correspondientes a la suerte 003X (Control) son menores comparados con los que se observan en la tabla No 11 que corresponde al tratamiento 003Y (Vinaza); exceptuando el año 2014, cuando se realizó el cambio de plantilla o soca que se evidencia por ser el primer corte para ambas suertes donde la diferencia es de una tonelada siendo mayor para el control, en los demás años se observa que la suerte 003Y que es fertilizada con vinaza presenta productividades expresadas en TCH con un promedio de 26 toneladas de caña cosechadas más que la suerte 003X (Control). En términos de TAH se visualiza en las tablas No 10 y No 11 la misma tendencia, aunque en una magnitud menor exceptuando el año 2013; se observa que en la suerte 003X se produjo un promedio de tres toneladas menos de azúcar en comparación con la suerte 003Y (Vinaza), con

excepción del año 2013 donde la suerte 003X (Control) produjo una tonelada más de azúcar, esto puede estar asociado que la soca o plantilla ya llevaba 11 años de productividad y su envejecimiento contribuye a disminuir la eficiencia de sus procesos fotosintéticos y de producción de carbohidratos, es por esa razón que se renovó la plantilla cambiando la variedad de la CC 84 -75 a la CC 01 – 1940, ya en el primer corte (año 2014) se observan que las tendencias vuelven a ser las mismas.

Tabla No 10. Datos de Productividad TCH (Tonelada Caña Hectárea) – TAH (Tonelada Azúcar Hectárea).  
Suerte 0003X Control.

Hacienda                    \_010116 [010116] -

**Suerte 00003X**

**Productividad de caña y azúcar por hectárea** 🌱


Año	Número de cortes año	Área cosechada (ha)	TCH	TAH	Edad (meses)	Número de corte	Rendimiento (%)	Variedad
2010	1	1.1	105.4	11.3	13.9	8	10.8	CC 84-75
2011	1	1.1	98.6	10.2	13.3	9	10.3	CC 84-75
2012	1	1.1	71.8	9	12.4	10	12.6	CC 84-75
2013	1	1.1	68.5	8.3	11.5	11	12.1	CC 84-75
2014	1	1.1	136.4	13.9	13.7	1	10.2	CC 01-1940
2015	1	1.1	116.3	11.7	12.3	2	10.1	CC 01-1940

Fuente: CENICAÑA (2016) <http://www.cenicana.org/mapas/mapas/hdasv2/php/mapas.php>

Tabla No 11. Datos de Productividad TCH (Tonelada Caña Hectárea) – TAH (Tonelada Azúcar Hectárea).  
Suerte 0003Y Vinaza.

Hacienda                      \_010116 [010116] -

Suerte 00003Y

Productividad de caña y azúcar por hectárea 

Año	Número de cortes año	Área cosechada (ha)	TCH	TAH	Edad (meses)	Número de corte	Rendimiento (%)	Variedad
2010	1	0.9	130.5	13.7	13.9	8	10.5	CC 84-75
2011	1	0.9	124.9	13.1	13.3	9	10.5	CC 84-75
2012	1	0.9	76.1	9.6	12.4	10	12.6	CC 84-75
2013	1	0.9	99	10.8	11.5	11	10.9	CC 84-75
2014	1	0.9	135.5	16.1	13.7	1	11.9	CC 01-1940
2015	1	0.9	139.9	17.3	12.3	2	12.3	CC 01-1940

Fuente: CENICAÑA (2016) <http://www.cenicana.org/mapas/mapas/hdasv2/php/mapas.php>

Resultados similares, son reportados por Silva et al.; (2014), estos autores concluyen que el uso de la vinaza en el cultivo de la caña de azúcar genera un aumento potencial en la productividad de los tallos en torno a 10.5 t ha<sup>-1</sup> en suelos arenosos. Gómez (1996) evaluando durante tres años consecutivos (plantilla, soca I y soca II) el efecto de aplicación de diferentes dosis de vinaza en la producción y calidad de la caña de azúcar concluyo que la aplicación de este fertilizante aumento en forma significativa la producción de caña y de azúcar por hectárea.

Korndorfer, en su aportación en las Memorias del Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar realizado en Cali (Colombia), afirma que los efectos de la aplicación de vinaza se traducen en aumentos de producción (biomasa), y su utilización hasta veinte días después del corte da como resultado una adecuada brotación de la soca e incrementos en la longevidad de los cañaverales. (Tecnicaña, 2009)

Esto permite concluir que la aplicación actual de vinaza si contribuye a mejorar la productividad al aumentar la biomasa del cultivo (Tamaño de tallos), e incrementado los contenidos de sacarosa, en este tipo de suelo de orden Inceptisol de la familia Fluvaquentic Endoaquepts en la hacienda ubicada en la Vereda La Primavera jurisdicción del municipio de Villarrica - Norte del Cauca.

## 9. CONCLUSIONES

- Para el tipo de suelo evaluado de textura arcillosa denominado Inceptisol, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en las propiedades físico químicas por la utilización de la vinaza como fertilizante, y si se observó que su uso contribuyo a incrementar levemente el pH, el contenido de materia orgánica y los macronutrientes Calcio, Magnesio, lo que conlleva a disminuir la densidad del suelo, y el coeficiente de dispersión de arcillas dando una mejor estabilidad y agregación a la matriz del suelo.
- El uso de la vinaza si contribuyo significativamente a incrementar en un 27,7 % (57.31 a 73.18 % C – CO<sub>2</sub>) la actividad biológica de la biota presente en el suelo en el horizonte 0 -20 cm, esto es un aspecto positivo que está asociado a que el stock de materia orgánica es de buena calidad y no inhibe los procesos metabólicos de los microorganismos.
- Los indicadores de TCH (tonelada Caña Hectárea) y TAH (Tonelada Azúcar Hectárea) fueron mayores para la suerte que recibió vinaza en contraste con el control; esto permite concluir que su uso si contribuye a mejorar la fertilidad de un suelo tipo arcilloso como el que se utilizó en la presente investigación.
- Aunque no se presentaron diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas y de actividad biológica en el perfil del suelo comprendido entre 20 – 60 cm de los tratamientos contrastados; si es importante tener en cuenta los riesgos de lixiviación que pueden presentarse por la presencia de los iones sulfato que se encuentran en concentraciones relevantes en la vinaza y aunque no es crítico también del sodio intercambiable que tiende a migrar a mayores profundidades, esto pensado en la vulnerabilidad que presentan los acuíferos por procesos de salinización.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Asocaña (2014). El Sector Azucarero Colombiano en la Actualidad. Recuperado de [http:// www.Asocaña.org/Publico/info](http://www.Asocaña.org/Publico/info).
- Ángel, R. M.; (2008). Modulo V: Caña de Azúcar. Cultivos para la producción sostenible: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV. Honduras.
- Brito, F.; Rolim, M.; Pedrosa, E. (2009) Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de três solos da zona da mata canavieira de Pernambuco - DOI:10.5039/agraria.v4i4a14. Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) Brazilian Journal of Agricultural Sciences, América do Norte, 429 09 2009.
- Camargo, O. A.; Valadares, J. M. A. S.; Berton, R. S.; Teófilo Sobrinho, J. Características físicas de solo que recebeu vinhaça. Boletim Científico do Instituto Agronômico, Campinas, v.14, n.1, 12p. 1988.
- CEPAL; 2002; *El conglomerado del azúcar del valle del cauca; CNP Colombia. Recuperado de: [www.eclac.cl/publicaciones/xml/9/11639/LCL1815.pdf](http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/9/11639/LCL1815.pdf)*
- Cheng F.; Peng X.; Zhao P.; et al; 2013. Soil Microbial Biomass, Basal Respiration and Enzyme Activity of Main Forest Types in Qinling Mountains. Plos ONE 8(6): e67353. Doi: 10.1371/ Journal pone.0067353
- Chistofolletti, C.A., Escher, J.P., Correia, J.E., Urbano, J.F., & Fontanetti, C.S. (2013). Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use: a review. *Waste Management* 33 (2013) 2752 – 2761.



- Comunidad Andina; mayo, 2008; *El cambio climático no tiene fronteras*; Lima, Perú. Recuperado de [http:// www.comunidadandina.org](http://www.comunidadandina.org)
- da Silva, A. J., Cabeda, M. S., de Carvalho, F. G., & Lima, J. F. (2006). Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 10(1), 76-83.
- Evangelista, da S, E.; Sabin de A,P.; De-Polli,H.; (2007) .Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>). Comunicado Técnico 99. Embrapa. Agosto. ISSN 1517-8862
- Fassbender H. W. (1982). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. IICA. San José de Costa Rica. 398p.
- Flores, A.; Izquierdo, M.; Manzanares, P; (2004). Efectos de la combinación de abonos orgánicos y fertilizante químico sobre la densidad aparente y el espacio poroso total de un suelo volcánico nicaragüense. *La Calera*. Vol. 4. núm. 4 Recuperado de: <http://lcalera.una.edu.ni/index.php/lcalera/article/view/56>
- Fuess LT, Garcia ML (2014) Implications of stillage land disposal: a critical review on the impacts of fertirrigation. *J Environmental Management* 145(1):210–229
- García, A., Rojas, C.A.(2006) Posibilidades del uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. Nota técnica. *Tecnicaña*. Recuperado de: [www.tecnicana.org/pdf/2006/tec\\_v10\\_no17\\_2006\\_p3-13.p](http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p3-13.p)
- García, A. (2010). Manejo de la degradación del suelo. En: *Ciencia del suelo. Principios básicos*. Sociedad Colombina de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. Págs.: 305 – 360.

- Gasca, C. A.; Menjivar, J.C; Torrente T.A. (2011) Cambios en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de absorción de sodio (RAS) de un suelo y su influencia en la actividad y biomasa microbiana. **Acta Agronómica**, [S.l.], v. 60, n. 1, p. 27-38, June 2011. ISSN 2323-0118. Disponible en: [http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/21155](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/21155)
- Gómez, J.F. (2009) Nutrición Líquida de la caña de azúcar con Vinurea. Técnicaña. Recuperado de [http:// www.tecnicaña.org/pdf/2009/tec\\_21\\_2009.p.33-34.pdf](http://www.tecnicaña.org/pdf/2009/tec_21_2009.p.33-34.pdf)
- Gómez, T.M.J.;(1996). Efecto de la Aplicación de Vinaza en la Producción y Calidad de la Caña de Azúcar. Caña de Azúcar, Vol. 14 (1): 15 – 34.
- Goncalves, B.; Nunes, J.L.; Pellegrino, C.E.; Cerri, C.C. & Feigl B.J.(2013). Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. *Geoderma* 200 – 201 (2013) 77 – 84.
- Jaramillo, J. D; 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia; Facultad de Ciencias; Medellín. Recuperado de : [www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf)
- Korndorfer; Nolla A; Waldo A. Lara C. (2004). Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible, Palmira, Colombia, 14 y 15 de mayo de 2004, Corpoica, 2004. 233 p.
- Montenegro G. S.; 2008. Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en el cultivo de maíz dulce (*Zea Mays*). Departamento de Ciencias Agrícolas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia.

- Lau, C.; Jarvis, A.; Ramirez, J. (2011). Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático. CIAT Políticas en Síntesis no. 1. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 4 p.
- Lazcano – Ferrat, I.; (1999). El potasio... esencial para un buen rendimiento en la caña de azúcar. *Informaciones Agronómicas* 35: 1 -4.
- Luna, C. (2006). Aumento de la Productividad de Caña de Azúcar por Unidad de Área Cultivada. TECNICAÑA – Asociación de Técnicos Cultivadores de Caña. 19 Págs.
- Paula, M. B., Holanda, F. S. R; Mesquita, H. A., e Carvalho, V. D; (1999) Uso da vinhaça no abacaxizeiro em solo de baixo potencial de produção. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 1999, vol.34, n.7, pp.1217-1222. ISSN 0100-204X. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999000700014>.
- Pérez, M.A., Peña, M.R., Álvarez P., (2011) Agroindustria Cañera y Uso del Agua: Análisis Crítico en el contexto de la Política de Agro combustibles en Colombia. *Ambiente y Sociedad. Campinas* V. XIV, n.2 p153-178.Jul-Dic.2011.
- Quintero Duran, R, 1995. Fertilización y Nutrición. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali; CENICAÑA. P.153 - 177 *Recuperado de:* [www.cenicana.org/pdf/documentos\\_no...cana/libro\\_p153-177.pdf](http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no...cana/libro_p153-177.pdf)
- Ramana, A., Biswas, A.K., Kundu, S., Saha, J.K. Yadava, R.B.R., (2002). Effect of distillery effluent on seed germination in some vegetable crops. *Bioresour. Technol.*82, 273 – 275.
- Reginnato K. L.; 2003. Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil Ecuador.
- Sociedad Colombiana del Suelo. (2013). Ciencia del Suelo. Principios Básicos. 2da. Edición. Bogotá. ISBN: 9588598-06-2.

- *Silva APM, Bono JAM, Pereira FAR (2014) Fertirrigation with vinasse in sugarcane crop: effect on the soil and on productivity. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 18, 38–43.*
- *Silva, M.A.S., Griebeler, N.P., Borges, L.C., (2007). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Ver. Bras. Eng. Agríc. Ambient. 11, 108– 114.*
- *SILVA, D. T.; MARTINS, M. D. (2011) Qualidade microbiológica do solo fertirrigado com vinhaça. Revista de Ciências Agro-Ambientais, v.9, n.2, p.273 – 282.*
- 
- *SILVA, Apolino J. N. da; CABEDA, Mário S. V.; CARVALHO, Fabíola G. de and LIMA, José F. W. F. (2006) Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.10, n.1, pp.76-83. ISSN 1415-4366.*
- *Solera M. J.; (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.*
- *Tecnicaña. (2005). Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los suelos. Revista No17. Volumen 9. SIN 0123 – 0409. Cali, Colombia.*
- *Tecnicaña. (2009). Memorias Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar. Cali. Sena – Asocaña.*
- *Tejada, M., González, J.L., (2006). Effects of two beet forms on soil physical properties and soil loss. Catena No 68 41- 50 p*

- Torriente, Doris. (2010). Aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de la caña de azúcar. Perspectivas de su uso en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 31(1)
- VARGAS, M. (1987). Evaluación de vinaza aplicada al suelo a la siembra y escalonada, en comparación con la fertilización recomendada en viveros de Café en bolsa. Heredia. Universidad Nacional C.R. Data Sets. Costa Rica.
- ZOLIN, C.A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P.S.L.; FOLEGATTI, M.F. (2011). Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15 (1): 22–28.

## **CIBERGRAFIA**

- [www.fao.org/ag/ca/training\\_materials/cd27-spanish/.../soil\\_fertility.pdf](http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/.../soil_fertility.pdf)
- <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>
- [www.ccc.org.co/148/12691/biocombustibles-la-energia-del-futuro.html](http://www.ccc.org.co/148/12691/biocombustibles-la-energia-del-futuro.html)
- [www.corpoica.org.co/bacdigital/contenidos/catalogo.asp?ca=11785](http://www.corpoica.org.co/bacdigital/contenidos/catalogo.asp?ca=11785)
- [www.greenfacts.org/en/climate-change-ar5-science-basis/climate-change-2013-level-1.pdf](http://www.greenfacts.org/en/climate-change-ar5-science-basis/climate-change-2013-level-1.pdf).

- [www.snvworld.org/files/publications/modulo\\_v-cana de azucar.pdf](http://www.snvworld.org/files/publications/modulo_v-cana_de_azucar.pdf)
- [www.sugarcane crops.com/s/soil requirement](http://www.sugarcane crops.com/s/soil_requirement)
- <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Fosforo%20del%20Suelo.pdf>
- [http://www.nutricao desaf ras.com.br/fosforo.](http://www.nutricao desaf ras.com.br/fosforo)
- <http://www.cenicana.org/>
- [www.asocana.org/publico/historia.aspx](http://www.asocana.org/publico/historia.aspx)

## 11. ANEXOS

### ANEXO1.

PRUEBA F VARIANZA DE DOS MUESTRAS: pH - MO - FOSFORO - RESPIRACION BASAL (0 – 20 cm)

PROFUNDIDAD 0 -20 cm	pH		MO		FOSFORO		FOSFORO FIJO		RESPIRACION BASAL	
	003X	003 Y	003X	003 Y	003X	003 Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	6,18	6,43	2,34	2,36	4,81	5,36	23,16	20,69	57,31	73,18
		0,04		0,00		2,06		25,12		101,4
Varianza	0,029	9	0,059	8	3,419	1	16,813	8	36,854	94
Observaciones	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Grados de libertad	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	0,5932		7,0428		1,6590		0,6690		0,3631	
	2		7		5		9		2	
	<b>0,3392</b>		<b>0,0715</b>		<b>0,3438</b>		<b>0,3746</b>		<b>0,2137</b>	
P(F<=f) una cola	4	<b>N.S</b>	9	<b>N.S</b>	4	<b>N.S</b>	2	<b>N.S</b>	6	<b>N.S</b>
	0,1078		9,2766		9,2766					
Valor crítico para F (una cola)	0		3		3		0,1078		0,1078	

## ANEXO2.

**PRUEBA F VARIANZA DE DOS MUESTRAS: AZUFRE - POTASIO - CALCIO - MAGNESIO – SODIO (0 – 20 cm)**

PROFUNDIDAD 0 - 20 cm	AZUFRE		POTASIO		CALCIO		MAGNESIO		SODIO	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	26,80	38,90	0,35	0,34	13,87	14,04	14,70	15,89	0,55	0,53
	156,95	319,24		0,013	34,439	29,435	14,292	8,078		0,008
Varianza	3	7	0,0083	0	2	6	4	3	0,0068	2
Observaciones	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Grados de libertad	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	0,4916		0,6405		1,1699		1,7692		0,8297	
	4		1		8		4		9	
	<b>0,2873</b>		<b>0,3616</b>		<b>0,4501</b>		<b>0,3254</b>		<b>0,4408</b>	
P(F<=f) una cola	<b>1</b>	<b>N.S</b>	<b>2</b>	<b>N.S</b>	<b>8</b>	<b>N.S</b>	<b>6</b>	<b>N.S</b>	<b>7</b>	<b>N.S</b>
Valor crítico para F (una cola)	0,1078		0,1078		9,2766		9,2766		0,1078	
	0		0		3		3		0	

## ANEXO3.

**PRUEBA F VARIANZA DE DOS MUESTRAS: DENSIDAD REAL – APARENTE - C.D (0 – 20 cm)**

PROFUNDIDAD 0 - 20 cm	Densidad Aparente		Densidad Real		C.D. Arcilla	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	1,27958	1,26445	2,16185	2,07205	4,545	3,8525
Varianza	0,0002	0,0002	0,0021	0,0008	2,6747	1,9363
Observaciones	4	4	4	4	4	4
Grados de libertad	3	3	3	3	3	3
F	0,86378		2,75557		1,38135	
P(F<=f) una cola	<b>0,45351</b>	<b>N.S</b>	<b>0,21363</b>	<b>N.S</b>	<b>0,39849</b>	<b>N.S</b>
Valor crítico para F (una cola)	0,10780		9,27663		9,27663	



### ANEXO4.

PRUEBA F VARIANZA DE DOS MUESTRAS: pH - MO - FOSFORO - FOSFORO FIJO - RESPIRACION BASAL( 20 - 60 cm)

PROFUNDIDAD 20 -60 cm	pH		MO		FOSFORO		FOSFORO FIJO		RESPIRACION BASAL	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	6,55	6,78 0,08	1,8	1,77 0,09	3,64	3,21 1,54	21,99	20,79 22,37	44,82	38,2 9 1,29
Varianza	0,197	3	0,112	8	2,971	3	23,253	0	18,002	2
Observaciones	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Grados de libertad	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	2,3838		1,1404		1,9254		1,0394			
	4		2		9		6		13,9388	
	<b>0,2471</b>		<b>0,4582</b>		<b>0,3020</b>		<b>0,4876</b>			
P(F<=f) una cola	<b>0</b>	<b>N.S</b>	<b>6</b>	<b>N.S</b>	<b>1</b>	<b>N.S</b>	<b>8</b>	<b>N.S</b>	<b>0,0288</b>	<b>**</b>
Valor crítico para F (una cola)	9,2766		9,2766		9,2766		9,2766		9,2766	
	3		3		3		3		9,27663	

### ANEXO5.

PRUEBA F VARIANZA DE DOS MUESTRAS: AZUFRE - POTASIO - CALCIO - MAGNESIO - SODIO (20 - 60 cm)

PROFUNDIDAD 20 - 60 cm	AZUFRE		POTASIO		CALCIO		MAGNESIO		SODIO	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	17,17	36,40	0,26	0,31	14,65	12,56	13,37	15,56	0,67	0,71
	126,77	521,03		0,027	37,310	25,973	10,805	9,220		0,019
Varianza	8	3	0,0040	3	5	0	1	5	0,0326	5
Observaciones	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Grados de libertad	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	0,2433		0,1467		1,4365		1,1718		1,6730	
	2		0		1		6		8	
	<b>0,1380</b>		<b>0,0746</b>		<b>0,3865</b>		<b>0,4496</b>		<b>0,3414</b>	
P(F<=f) una cola	<b>2</b>	<b>N.S</b>	<b>3</b>	<b>N.S</b>	<b>6</b>	<b>N.S</b>	<b>8</b>	<b>N.S</b>	<b>1</b>	<b>N.S</b>
Valor crítico para F (una cola)	0,1078		0,1078		9,2766		9,2766		9,2766	
	0		0		3		3		3	

### ANEXO 6.

#### PRUEBA F VARIANZA DE DOS MUESTRAS: DENSIDAD APARENTE - REAL - C.D. (20 -60 cm)

PROFUNDIDAD 20 - 60 cm	Densidad Aparente		Densidad Real		C.D. Arcilla	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	1,2592	1,259213	2,2143	2,20263	2,785	3,24
Varianza	0,0004	0,0000	0,0025	0,0020	0,1882	0,0076
Observaciones	4	4	4	4	4	4
Grados de libertad	3	3	3	3	3	3
F	17,6932		1,25541		24,759	
P(F<=f) una cola	<b>0,02066</b>	<b>**</b>	<b>0,42806</b>	<b>N.S</b>	<b>0,01283</b>	<b>**</b>
Valor crítico para F (una cola)	9,27663		9,27663		9,27663	

### ANEXO7.

#### PRUEBA t PARA MEDIA DE DOS MUESTRAS : pH - MO - FOSFORO - RESPIRACION BASAL (0 - 20cm)

PROFUNDIDAD 0 -20 cm	pH		MO		FOSFORO		FOSFORO FIJO		RESPIRACION BASAL	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	6,18	6,43	2,34	2,36	4,81	5,36	23,16	20,69	57,31	73,18
		0,04		0,00		2,06		25,12		101,49
Varianza	0,029	9	0,059	8	3,419	1	16,813	8	36,854	4
Observaciones	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0,0391		0,0336		2,7399		20,970		69,173	
Varianza agrupada	7		1		3		3		9	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000		0,0000		0,0000		0		0	
Grados de libertad	6		6		6		6		6	
	1,7864		0,1349		0,4677		0,7635		2,6979	
Estadístico t	7		9		7		7		9	
	<b>0,1242</b>		<b>0,8970</b>		<b>0,6564</b>		<b>0,4740</b>		<b>0,0428</b>	
P(T<=t) dos colas	<b>6</b>	<b>N.S</b>	<b>3</b>	<b>N.S</b>	<b>6</b>	<b>N.S</b>	<b>7</b>	<b>N.S</b>	<b>9</b>	<b>**</b>
	2,4469		2,4469		2,4469		2,4469		2,5705	
Valor crítico de t (dos colas)	1		1		1		1		8	

### ANEXO8.

#### PRUEBA t PARA MEDIA DE DOS MUESTRAS: AZUFRE - POTASIO - CALCIO - MAGNESIO - SODIO (0 - 20 cm)

PROFUNDIDAD 0 - 20 cm	AZUFRE		POTASIO		CALCIO		MAGNESIO		SODIO	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	26,80	38,90	0,35	0,34	13,87	14,04	14,70	15,89	0,55	0,53
	156,95	319,24		0,013	34,439	29,435	14,292	8,078		0,008
Varianza	3	7	0,0083	0	2	6	4	3	0,0068	2
Observaciones	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
			0,0106		31,937		11,185		0,0075	
Varianza agrupada	238,1		3		4		4		3	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	
	0		0		0		0		0	
	6,0000		6,0000		6,0000		6,0000		6,0000	
Grados de libertad	0		0		0		0		0	
	1,1089		0,0342		0,0437		0,5032		0,3260	
Estadístico t	7		9		9		0		6	
	<b>0,3099</b>		<b>0,9737</b>		<b>0,4832</b>		<b>0,6327</b>		<b>0,7554</b>	
P(T<=t) dos colas	<b>0</b>	<b>N.S</b>	<b>6</b>	<b>N.S</b>	<b>5</b>	<b>N.S</b>	<b>6</b>	<b>N.S</b>	<b>5</b>	<b>N.S</b>
	2,4469		2,4469		1,9431		2,4469		2,4469	
Valor crítico de t (dos colas)	1		1		8		1		1	

### ANEXO9.

PRUEBA t PARA MEDIA DE DOS MUESTRAS: DENSIDAD APARENTE - REAL - C.D. (0 -20 cm)

PROFUNDIDAD 0 -20 cm	Densidad Aparente		Densidad Real		C.D. Arcilla	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	1,27958	1,26445	2,16185	2,07205	4,545	3,8525
Varianza	0,0002	0,0002	0,0021	0,0008	2,6747	1,9363
Observaciones	4	4	4	4	4	4
Varianza agrupada	0,00018		0,00142		2,3055	
Diferencia hipotética de las medias	0		0		0	
Grados de libertad	6		6		6	
Estadístico t	1,60608		3,36932		0,64499	
P(T<=t) dos colas	<b>0,15938</b>	<b>N.S</b>	<b>0,01506</b>	<b>**</b>	<b>0,54279</b>	<b>N.S</b>
Valor crítico de t (dos colas)	2,44691		2,44691		2,44691	

### ANEXO10.

PRUEBA t PARA MEDIA DE DOS MUESTRAS : pH - MO - FOSFORO - RESPIRACION BASAL (20 -60cm)

PROFUNDIDAD 20 -60 cm	pH		MO		FOSFORO		FOSFORO FIJO		RESPIRACION BASAL	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	6,55	6,78	1,8	1,77	3,64	3,21	21,99	20,79	44,82	38,29
		0,08		0,09		1,54		22,37		
Varianza	0,197	3	0,112	8	2,971	3	23,253	0	18,002	1,292
Observaciones	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Varianza agrupada	0,1395		0,1046		2,2568		22,811		<b>N.A</b>	
	8		7		6		5			
Diferencia hipotética de las medias	0,0000		0,0000		0,0000		0		0	
Grados de libertad	6		6		6		6		3	
Estadístico t	0,8516		0,1311		0,4000		0,3538			
	9		4		8		4		2,97165	
P(T<=t) dos colas	<b>0,4270</b>	<b>N.S</b>	<b>0,8999</b>	<b>N.S</b>	<b>0,7029</b>	<b>N.S</b>	<b>0,7355</b>	<b>N.S</b>	<b>0,05899</b>	<b>N.S</b>
	2,4469		2,4469		2,4469		2,4469			
Valor crítico de t (dos colas)	1		1		1		1		3,18245	

## ANEXO11.

### PRUEBA t PARA MEDIA DE DOS MUESTRAS: AZUFRE - POTASIO - CALCIO - MAGNESIO - SODIO ( 20 - 60 cm)

PROFUNDIDAD 20 - 60 cm	AZUFRE		POTASIO		CALCIO		MAGNESIO		SODIO	
	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y	003X	003Y
Media	17,17	36,40	0,26	0,31	12,56	14,65	13,37	15,56	0,67	0,71
	126,77	521,03		0,027	25,973	37,310	10,805	9,220		0,019
Varianza	8	3	0,0040	3	0	5	1	5	0,0326	5
Observaciones	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	323,90		0,0156		31,641		10,012		0,0260	
Varianza agrupada	6		3		7		8		6	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	
	0		0		0		0		0	
Grados de libertad	6,0000		6,0000		6,0000		6,0000		6,0000	
	0		0		0		0		0	
Estadístico t	1,5110		0,5655		0,5254		0,9776		0,2847	
	7		3		5		5		0	
	<b>0,1815</b>		<b>0,5922</b>		<b>0,6181</b>		<b>0,3660</b>		<b>0,7854</b>	
P(T<=t) dos colas	<b>2</b>	<b>N.S</b>	<b>1</b>	<b>N.S</b>	<b>1</b>	<b>N.S</b>	<b>0</b>	<b>N.S</b>	<b>4</b>	<b>N.S</b>
	2,4469		2,4469		2,4469		2,4469		2,4469	
Valor crítico de t (dos colas)	1		1		1		1		1	

## ANEXO12.

**PRUEBA t PARA MEDIA DE DOS MUESTRAS: DENSIDAD APARENTE - REAL - C.D. ( 20 -60 cm)**

<b>PROFUNDIDAD 20 -60 cm</b>	<b>Densidad Aparente</b>		<b>Densidad Real</b>		<b>C.D. Arcilla</b>	
	<i>003X</i>	<i>003Y</i>	<i>003X</i>	<i>003Y</i>	<i>003X</i>	<i>003Y</i>
Media	1,2592	1,25921	2,2143	2,20263	3,24	2,785
Varianza	0,0004	0.00003	0,0025	0,0020	0,0076	0,1882
Observaciones	4	4	4	4	4	4
Varianza agrupada	<b>N.A</b>		0,00221		<b>N.A</b>	
Diferencia hipotética de las medias	0		0		0	
Grados de libertad	3		6		3	
Estadístico t	0,00115		0,35136		2,05671	
P(T<=t) dos colas	<b>0,99915</b>	<b>N.S</b>	<b>0,73733</b>	<b>N.S</b>	<b>0,13191</b>	<b>N.S</b>
Valor crítico de t (dos colas)	3,18245		2,44691		3,18245	

**N.S:** Valor p no significativo  $p > 0.05$

**\*\*** : Valor p significativo  $0.01 < p \leq 0.05$

**\*\*\*** : Valor p altamente significativo  $p \leq 0.010$

**N.A.** : No aplica varianza agrupada; prueba t para varianzas desiguales.

**HACIENDA: 10116 Vereda la Primavera**

Fecha: Agosto 4 de 2014

Suerte (Parcela)	Prof. cm	pH	Céa	MO	P	Bray II	Fijación	Cationes intercambiables meq/100 g				Relación Ca/Mg	Ca/K	Saturación de bases (%)				Micronutrientes ppm				Textura Bouyoucos (%)		Clasif. Tex.			
								Ca	Mg	K	Na			Ca	Mg	K	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Arena		Limos	Arcillas	
Mts comp.	0-20	6,5	0,24	2,46	0,23	13,20	31,20	15,04	16,97	0,30	0,42	42,28	0,08	50,13	49,09	51,70	0,92	1,28	0,21	11,92	71,46	3,28	1,14	10,60	22,00	67,40	Ar
001Y	20-40	6,8	0,13	2,04	3,65	16,44	26,30	16,62	16,94	0,23	0,60	30,92	0,88	67,91	48,38	49,37	0,71	1,54	0,16	7,65	69,54	2,48	0,88	10,00	20,00	69,40	Ar
Mts comp.	0-20	6,1	0,52	2,67	6,08	19,71	29,90	16,46	15,69	0,40	0,43	35,78	1,04	41,15	49,81	47,89	1,21	1,30	0,30	11,14	82,21	5,92	2,47	8,60	24,00	67,40	Ar
003X	20-40	6,3	0,11	2,15	3,06	14,16	28,40	15,64	17,20	0,24	0,42	31,98	0,90	64,79	46,51	51,48	0,72	1,28	0,19	11,80	83,17	2,87	1,42	8,00	18,00	73,40	Ar

Nota: Los resultados de los análisis, corresponden sólo a las muestras recibidas en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.

Fecha: Diciembre 18 de 2014

Suerte (Parcela)	Prof. cm	pH	Céa	MO	P	Bray II	Fijación	Cationes intercambiables meq/100 g				Relación Ca/Mg	Ca/K	Saturación de bases (%)				Micronutrientes ppm				Textura Bouyoucos (%)		Clasif. Tex.			
								Ca	Mg	K	Na			Ca	Mg	K	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Arena		Limos	Arcillas	
Mts comp.	0-20	6,7	0,20	2,27	5,23	24,41	64,40	16,07	14,66	0,22	0,62	35,60	1,10	73,05	51,06	49,77	0,70	1,97	0,14	9,31	92,78	2,76	1,11	14,60	20,00	65,40	Ar
001Y	20-40	7,1	0,14	1,53	2,38	23,89	12,80	16,32	15,19	0,16	0,77	25,74	1,07	102,00	50,31	46,92	0,49	2,37	0,80	5,80	68,50	2,48	0,88	5,60	24,00	69,40	Ar
Mts comp.	0-20	6,4	0,22	2,10	6,57	27,41	39,90	14,75	11,27	0,21	0,59	26,24	1,31	70,24	55,00	42,02	0,78	2,20	0,11	9,44	107,57	5,26	1,34	8,60	24,00	67,40	Ar
003X	20-40	7,1	0,20	1,54	3,05	28,12	23,70	16,40	10,11	0,18	0,64	25,98	1,62	91,11	60,91	39,89	0,88	2,34	0,14	4,68	59,92	3,80	0,69	9,60	28,00	65,40	Ar

Fecha: Marzo 12 de 2015

Suerte (Parcela)	Prof. cm	pH	Céa	MO	P	Bray II	Fijación	Cationes intercambiables meq/100 g				Relación Ca/Mg	Ca/K	Saturación de bases (%)				Micronutrientes ppm				Textura Bouyoucos (%)		Clasif. Tex.			
								Ca	Mg	K	Na			Ca	Mg	K	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Arena		Limos	Arcillas	
Mts comp.	0-20	6,2	0,21	2,31	3,38	22,21	38,70	6,26	12,78	0,38	0,59	19,99	0,49	17,39	31,32	63,93	1,88	2,95	0,14	10,71	71,69	3,68	0,88	9,60	20,00	71,40	Ar
001Y	20-40	6,4	0,28	1,47	2,10	24,38	69,00	6,09	11,95	0,31	0,81	19,06	0,51	19,85	31,95	62,17	1,83	4,25	0,08	8,22	41,24	2,65	0,80	9,00	24,00	67,40	Ar
Mts comp.	0-20	6,2	0,16	2,24	2,58	19,69	27,60	5,43	12,12	0,37	0,61	18,63	0,45	14,89	29,30	65,41	2,00	3,39	0,07	12,18	88,28	3,06	1,03	12,60	22,00	65,40	Ar
003X	20-40	6,7	0,13	1,49	1,46	21,33	3,10	5,21	11,22	0,32	0,80	17,65	0,46	16,29	29,69	63,93	1,82	4,58	0,10	9,19	51,70	2,75	0,89	10,60	28,00	61,40	Ar

Fecha: Agosto 13 de 2015

Suerte (Parcela)	Prof. cm	pH	Céa	MO	P	Bray II	Fijación	Cationes intercambiables meq/100 g				Relación Ca/Mg	Ca/K	Saturación de bases (%)				Micronutrientes ppm				Textura Bouyoucos (%)		Clasif. Tex.			
								Ca	Mg	K	Na			Ca	Mg	K	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Arena		Limos	Arcillas	
Mts comp.	0-20	6,3	0,39	2,97	6,58	22,94	23,30	18,00	19,23	0,49	0,50	39,12	0,97	39,97	49,06	49,41	1,25	1,28	0,21	10,42	69,21	5,36	1,20	10,60	18,00	71,40	Ar
001Y	20-40	6,8	0,60	2,04	4,82	20,63	40,70	20,66	19,25	0,54	0,74	41,09	1,07	38,07	50,04	46,85	1,31	1,85	0,26	8,33	68,81	4,55	1,47	10,60	18,00	71,40	Ar
Mts comp.	0-20	6,0	0,22	2,35	4,02	26,94	9,80	18,83	19,50	0,40	0,58	39,31	0,97	47,09	41,90	49,91	1,02	1,48	0,17	9,99	73,96	6,21	1,00	9,60	20,00	71,40	Ar
003X	20-40	6,1	0,49	2,02	4,98	25,05	13,48	13,08	14,95	0,30	0,82	29,15	0,87	43,80	44,97	51,29	1,03	2,81	0,11	8,95	61,22	6,92	2,71	9,80	14,00	77,40	Ar