

Antonio Manuel Otoyá Zelada, Elías Fernando Haro Aro,
Laura Isabel Gutiérrez Escarcena, Haniel Solís Muñoz

Vinaza

Evaluación de su impacto en un
campo de cultivo



Religación
Press

| Colección Química Ambiental |

Vinaza

Evaluación de su impacto en un campo de cultivo

Antonio Manuel Otoy Zelada, Elias Fernando Haro Aro, Laura
Isabel Gutierrez Escarcena, Haniel Solís Muñoz

RELIGACION PRESS
QUITO · 2023



Equipo Editorial

Roberto Simbaña Q. Director Editorial
Felipe Carrión. Director de Comunicación
Ana Benalcázar. Coordinadora Editorial
Ana Wagner. Asistente Editorial

Consejo Editorial

Jean-Arsène Yao | Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova | Fabiana Parra |
Mateus Gamba Torres | Siti Mistima Maat | Nikoleta Zampaki | Silvina
Sosa



Religación Press, es una iniciativa del Centro de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades desde América Latina (CICSHAL)
Diseño, diagramación y portada: Religación Press.
CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.
Correo electrónico: press@religacion.com
www.religacion.com

Vinaza. Evaluación de su impacto en un campo de cultivo

Vinasse. Evaluation of its impact on a crop field

Vinhaça. Avaliação de seu impacto em um campo de cultivo

Primera Edición: 2023 Antonio Manuel Otoya Zelada©, Elías Fernando Haro Aro©, Laura Isabel Gutierrez Escarcena©, Haniel Solís Muñoz©, Religación Press©

Editorial: Religación Press

Materia Dewey: 660 - Ingeniería Química

Clasificación Thema: TDCA - Agroquímica

TVK - Agronomía y producción agrícola

Público objetivo: Profesional/Académico

Colección: Ciencias Ambientales

Serie: Ingeniería Química

Soporte: Digital

Formato: Epub (.epub)/PDF (.pdf)

Publicado: 2023-10-17

ISBN: 978-9942-642-17-2

Disponible para su descarga gratuita en <https://press.religacion.com>

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)



Citar como (APA 7)

Otoya Zelada, A.M., Haro Aro, E.F., Gutierrez Escarcena, L.I., & Solís Muñoz, H. (2023). *Vinaza. Evaluación de su impacto en un campo de cultivo*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.69>

Revisión por pares / Peer Review

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por académicos externos. Por lo tanto, la investigación contenida en este libro cuenta con el aval de expertos en el tema, quienes han emitido un juicio objetivo del mismo, siguiendo criterios de índole científica para valorar la solidez académica del trabajo.

This book was reviewed by an independent external reviewers. Therefore, the research contained in this book has the endorsement of experts on the subject, who have issued an objective judgment of it, following scientific criteria to assess the academic soundness of the work.

Sobre los autores



Antonio Manuel Otoya Zelada

Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), ciencias básicas y en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Ingeniería Química.

Universidad Nacional de Trujillo – Perú
amtoyaz@unitru.edu.pe
<http://orcid.org/0000-0001-6460-969x>
antonio_otoya@hotmail.com

Elias Fernando Haro Aro

Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente en la Universidad Cesar Vallejo (UCV), ciencias básicas y en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Ingeniería Ambiental.

Universidad Nacional de Trujillo – Perú
eharoa@unitru.edu.pe
<http://orcid.org/0000-0002-7989-6668>
Eliasha2017@gmail.com



Laura Isabel Gutierrez Escarcena

Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Ingeniería Ambiental.

Universidad Nacional de Trujillo – Perú

lgutierreze@unitru.edu.pe

<http://orcid.org/0000-0001-7705-2106>

lauraisage@gmail.com

Haniel Solís Muñoz

Ingeniero Químico con títulos de pregrado, maestría y doctorado de la Universidad Nacional de Trujillo. Experto en Ingeniería Química Ambiental, asesor y jurado de tesis. Docente en Química, Cultura Ambiental, Termodinámica, Diseño de Plantas de Tratamiento y más. Apasionado por la música andina y natación.

Universidad Nacional de Trujillo – Perú

hsolism@unitru.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-9482-9818>

hanielsois1979@gmail.com



Resumen

La aplicación de vinaza en suelos arcillosos puede ser altamente beneficiosa para el contenido de potasio, como se demostró en esta investigación. Dos dosis diferentes de vinaza (0, 100, 200 y 300 m³/ha/año) se evaluaron, y se encontró que el contenido de potasio aumentó, sobre todo en las capas superficiales de 0-250 mm y 250-500 mm de profundidad. Además, la aplicación de vinaza en dosis crecientes de 30, 60, 90, 120 y 220 m³/ha aumentó el potasio y el manganeso disponible del suelo en una profundidad de 0-30 cm. El uso de vinaza como fuente de nutrientes en el cultivo de la caña de azúcar es una alternativa viable en sistemas de producción de alcohol y azúcar, lo que reduce los problemas de contaminación de los cuerpos de agua, reemplaza la fertilización mineral como fuente de K para la caña de azúcar y disminuye el costo de producción por tonelada de caña. Sin embargo, es importante tener en cuenta que una sobredosis en suelos muy arenosos o con napas cercanas a la superficie puede provocar lixiviación de nitratos y cloruros junto con potasio hacia el agua subterránea. La fertiirrigación con vinaza puede aumentar la productividad de los cañaverales y contribuye al reciclaje esencial de los nutrientes.

Palabras clave: Vinaza; fertilización; fertiirrigación; suelos.

Abstract

The application of vinasse on clay soils can be highly beneficial for potassium content, as demonstrated in this research. Two different doses of vinasse (0, 100, 200 and 300 m³/ha/year) were evaluated, and it was found that potassium content increased, especially in the surface layers of 0-250 mm and 250-500 mm depth. In addition, the application of vinasse at increasing doses of 30, 60, 90, 120 and 220 m³/ha increased the available potassium and manganese of the soil at a depth of 0-30 cm. The use of vinasse as a source of nutrients in sugarcane cultivation is a viable alternative in alcohol and sugar production systems, which reduces problems of contamination of water bodies, replaces mineral fertilization as a source of K for sugarcane and reduces the cost of production per ton of sugarcane. However, it is important to keep in mind that overdosing in very sandy soils or soils with near-surface nappes can cause leaching of nitrates and chlorides along with potassium into the groundwater. Fertigation with vinasse can increase the productivity of sugarcane fields and contributes to essential nutrient recycling.

Keywords: Stillage; fertilization; fertigation; floors.

Contenido

Revisión por pares / Peer Review	7
Sobre los autores	8
Prólogo	19
Capítulo 1	20
Situación actual de los cultivos de caña de azúcar	20
Cultivo de caña de azúcar	21
Saccharum Officinarum: una realidad problemática en Perú	22
Vinaza como fertilizante	24
Características químicas del suelo y su importancia	25
Efectos de la vinaza en las características químicas del suelo	26
Caña de azúcar–nutrición	28
Efectos de la vinaza sobre la nutrición del cultivo de caña de azúcar	31
Aproximación al estudio local	32
Selección del suelo. Toma de muestras de vinaza, suelo y foliares	33
Toma de muestras	35
Parámetros analizados	38
Diseño experimental	40
Descripción de los tratamientos en estudio	41
Características del área de estudio	42
Cantidad de Vinaza utilizada	43
Numero de tanques cisterna	43
Análisis Estadístico	43
Capítulo 2	46
Propiedades químicas del suelo	46
pH del Suelo	47
Conductividad Eléctrica (dS. m^{-1})	48
Capacidad de Intercambio Catiónico	51

Cationes cambiabales	52
Calcio cambiabale	52
Potasio cambiabale	54
Magnesio cambiabale	55
Sodio cambiabale	56
Nitrógeno total del suelo	57
Materia Orgánica	59
Carbonatos	60
Fósforo Disponible	61
Potasio disponible	62
Micronutrientes	64
Boro disponible	64
Cobre disponible	66
Capítulo 3	69
Aplicación de vinaza y pH del suelo	69
Valores originales de pH del suelo y el uso de vinaza	70
Concentraciones de vinaza evaluadas	71
Capacidad de intercambio catiónico	71
Ca cambiabale	72
K cambiabale	73
Mg cambiabale	74
N–Total del suelo	75
P disponible	76
B disponible	78
Conclusiones	78
Referencias	80

Tablas

Tabla 1. Estado Nutricional de <i>Saccharum officinarum</i> L., según concentraciones de los elementos macro y micronutrientes.	31
Tabla 2. Resultados del análisis químico del suelo del área experimental, previa a la aplicación de los tratamientos.	34
Tabla 3. Resultados del análisis químico de la vinaza producida en el ingenio Casa Grande, utilizada en el ensayo.	35
Tabla 4. Propiedades determinadas en el análisis de suelo del área experimental y métodos empleados en laboratorio	38
Tabla 5. Elementos determinados y métodos empleados en el análisis químico de la vinaza producida en el ingenio Casa Grande	39
Tabla 6. Elementos determinados y métodos empleados en el diagnóstico nutricional de <i>Saccharum officinarum</i> L. a los cuatro meses de edad.	39
Tabla 7. Valores de pH en agua, considerando los niveles de concentración días después de la aplicación con vinaza.	47
Tabla 8. Valores de C.E. ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$), considerando niveles de concentración de vinaza a días de su aplicación.	49
Tabla 9. Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en $\text{meq} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	51
Tabla 10. Valores de Calcio cambiabile ($\text{meq} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	53
Tabla 11. Valores de Potasio cambiabile ($\text{meq} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	54
Tabla 12. Valores de Magnesio cambiabile ($\text{meq} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) considerando niveles de concentración de vinaza a días después de su aplicación.	56
Tabla 13. Valores de Sodio cambiabile ($\text{meq} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	57
Tabla 14. Valores de Nitrógeno total (%) considerando niveles de concentra-	

ción de vinaza y días después de la aplicación.	58
Tabla 15. Valores de Materia orgánica (%) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	59
Tabla 16. Valores de Carbonatos (%) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	61
Tabla 17. Valores de Fósforo disponible (mg. Kg^{-1}) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	62
Tabla 18. Valores de Potasio disponible (mkg^{-1}) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	63
Tabla 19. Valores de Boro disponible (mg. Kg^{-1}) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	65
Tabla 20. Valores de Cobre disponible (mg. Kg^{-1}) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.	66

Figuras

Figura 1. Mapa de Casa Grande	33
Figura 2. Resultados de Ensayos de Pruebas de infiltración de suelos y su clasificación de permeabilidad y textura en zona evaluada.	36
Figura 3. Metodología de Prueba de Infiltración	37
Figura 4. Condiciones del suelo arenoso con presencia de grava	40
Figura 5. Paso de Rastra	41
Figura 6. Valores de pH, según días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración.	48
Figura 7. Valores de C.E. (dS. m^{-1}), considerando los niveles de concentración de vinaza y días posteriores a su aplicación	50
Figura 8. Valores de C.E. (dS. m^{-1}), considerando días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración.	50

- Figura 9. Valores de C.I.C. (meq.100 g^{-1}), considerando días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración. 52
- Figura 10. Valores de Ca cambiante (meq.100 g^{-1}) considerando días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración. 53
- Figura 11. Valores de K cambiante (meq.100g^{-1}), considerando los niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación. 55
- Figura 12. Valores de N total (%), considerando días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración. 58
- Figura 13. Valores de Materia orgánica (%) considerando los días después de la aplicación de vinaza a diferentes niveles de concentraciones. 60
- Figura 14. Valores de K disponible (mg. Kg^{-1}) considerando las diferentes concentraciones de vinaza y días después de la aplicación. 64
- Figura 15. Valores del Boro disponible (mg. Kg^{-1}) considerando los días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración. 65
- Figura 16. Valores de Cu disponible (mg. Kg^{-1}), considerando los días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración. 67

| Colección Química Ambiental |

Vinaza

Evaluación de su impacto en un campo de cultivo

· Serie ·

Ingeniería Química

Prólogo

La vinaza es un derivado de la destilería del alcohol a partir de la miel de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), su composición química (altos contenidos de potasio) le confiere atributos que progresivamente la han llevado a ser considerada como un fertilizante no tradicional de uso potencial y al igual que la mayoría de los residuos orgánicos pecuarios e industriales. Este residuo es un líquido de color oscuro. Está compuesta por un 93% de agua, 2% de compuestos inorgánicos (potasio, calcio, sulfatos, cloruros, nitrógeno, fosforo, entre los principales) y un 5% de compuestos orgánicos que volatilizan al ser calentados a 65°C.

En general, existe un consenso en el que el uso de las vinazas puede modificar las propiedades del suelo. Sus efectos dependen de varios factores, como la cantidad aplicada, el tipo de suelo y su composición química y el tipo de cultivo.

Algunos trabajos conducidos por Camargo et al. (1983), Laimé et al. (2011) y Jiang et al. (2012) han reportado efectos benéficos de la aplicación de vinazas sobre los cultivos y las propiedades físicas de los suelos, ya que incrementa la retención de humedad, la porosidad, los niveles de potasio y la actividad biológica.

Sin embargo, otros estudios han abordado el potencial real de contaminación de la vinaza en el suelo y las aguas subterráneas dado que cuando se aplica al suelo, puede mejorar la fertilidad, pero no debe superar su capacidad de retención de iones (Lyra et al., 2003).

Capítulo 1

Situación actual de los cultivos de caña de azúcar

Cultivo de caña de azúcar

La producción anual de caña de azúcar, a nivel mundial, es de casi 1,700 millones de toneladas y abarca un área de 24 millones de hectáreas, siendo Brasil el mayor productor que, con 720 millones de toneladas, genera el 40% de la producción mundial. Si a esto se suma las cifras de la India y China da como resultado que los tres países son responsables de dos tercios de la producción mundial de caña de azúcar en un área de casi 15 millones de hectáreas. Los factores climáticos, en particular el abastecimiento de agua, son los que más influyen en su producción (MINAG, 2013).

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) constituye el cultivo sacarífero más importante del mundo, responsable del 70% de la producción total de azúcar. Este cultivo se extiende a lo largo de los trópicos y subtropicales, entre los 36, 5° latitud Norte (España) hasta los 31° latitud Sur (Uruguay, Australia).

Su capacidad productiva varía, entre las zonas cañeras tropicales y subtropicales, de 40 a 150 t/ha de caña y de 3,5 a 15 t/ha de azúcar (EEAOC, 2009).

En el caso del Perú, en algún momento ocupó el décimo octavo lugar, ya que es poseedor de uno de los mejores climas para el cultivo de la caña de azúcar, razón por la cual alcanza el rendimiento más alto del mundo (134 toneladas por hectárea en promedio), superando claramente a los países que le siguen en este aspecto, entre ellos un buen número de africanos y Guatemala, y

duplicando las cifras de Brasil, India y China. Gracias a esa alta productividad, y pese a la escasa extensión de las áreas de cultivo, en los últimos cincuenta años, el Perú se ha ubicado entre los veinte principales productores. Su cosecha récord la acaba de alcanzar precisamente en el 2013, con un volumen de casi 11 millones de toneladas, superior en 6% al del año 2012 (MINAG, 2013).

***Saccharum Officinarum*: una realidad problemática en Perú**

Saccharum Officinarum o caña de azúcar, se produce en 5 regiones del país y el 77 % de su producción se encuentra en la costa norte. La región La Libertad destaca como primer productor de caña de azúcar a nivel nacional con un 50.5 % de la producción, Lambayeque con un 26.7 %, Lima con 15.3%, Ancash con 7.0% y Arequipa con 0.6% respectivamente.

La superficie cosechada a nivel de empresas al año 2012, fue de unas 81,149 hectáreas cosechadas aproximadamente. Las empresas Casa Grande, Cartavio, Laredo, Paramonga, Tután y Pomalca tuvieron en conjunto una participación del 80.0% de la superficie cosechada a nivel nacional. El resto de las empresas participaron con el 20.0%.

Aquí también se encuentran productores independientes que tienen áreas sembradas de caña de azúcar que al momento de cosechar realizan la molienda en las empresas azucareras que les brindan tal servicio. La producción de caña de azúcar viene creciendo a una tasa promedio de 1.8% en los últimos diez años entre el periodo 2002–2011.

La mayor producción histórica de caña de azúcar se dio en el año 2012 con 10'368,866 toneladas producidas (MINAG, 2013). La empresa Casa Grande SAA., está situado en la localidad del mismo nombre en la Provincia de Ascope, La Libertad, Perú, tiene un área de 30,000 hectáreas de terreno de las cuales un poco más de 22,000 hectáreas son cultivados con caña de azúcar del cual se extrae azúcar rubia y alcohol.

La empresa, produce en promedio 93,000 L de alcohol y 1'302,000 L de vinaza por día, que es un subproducto de la fermentación del alcohol. La constitución de la caña de azúcar está compuesta de los siguientes elementos: hidrógeno, oxígeno y carbono, los cuales representan el 90% de su peso en base húmeda, el resto lo ocupan elementos esenciales que son dotados por fertilizantes externos y los propios que el suelo tiene (Vidal, 1990; citado por Guardia, y Ruiz, 2010) y por ser una gramínea con mecanismo fisiológico C4 es sumamente eficiente en la utilización del agua y la luz en la asimilación del CO₂ para la producción de azúcares, proceso en el cual absorbe cantidades considerables de potasio, elemento más abundante en la composición de la vinaza (García y Rojas, 2005).

Por tal motivo se aplica la vinaza como fuente de potasio a las plantaciones de caña de azúcar como fertilizante orgánico juntamente con el agua de riego de campos aledaños al ingenio, su transporte es mediante tanques cisterna. Su aplicación se realiza sin considerar dosis, época y el posible impacto al suelo. Sin embargo, el uso indiscriminado de la vinaza puede generar procesos de contaminación, por lo tanto, es de gran importancia

que a futuro se implemente una “Regulación” el cual se hace necesario para disponer de información confiable que contribuya a la interpretación de los fenómenos químicos que ocurren en el suelo por efectos de su aplicación.

Pese a esto, en el Perú se han desarrollado muy pocas investigaciones sobre los efectos de este sub-producto en el suelo, los cuales son imprescindibles para resolver algunos interrogantes que se vienen planteando en cuanto a los cambios en la física, química y biología del suelo, además del impacto ambiental que se genera. Ante este panorama y considerando los antecedentes experimentales de la vinaza se planteó el presente trabajo en busca de alternativas que permitan a la empresa Casa Grande SAA., aprovechar de manera adecuada este residuo, minimizando impactos negativos al medio ambiente.

Vinaza como fertilizante

La vinaza es un residuo más común en el ámbito agrícola y utilizado para mantener la fertilidad de los suelos según estudios realizados en países como Argentina, Brasil, Colombia, México y Costa Rica. Este es residuo de la industria azucarera, específicamente del proceso de destilación del alcohol. Se estima que el volumen producido por cada litro de alcohol obtenido a partir de la melaza, se generan alrededor de trece litros de vinaza (Gloria, 1985; Citado por Gómez, 1996).

El uso de este residuo como fertilizante en el cultivo de caña de azúcar se convirtió en un factor económico importante debi-

do a los resultados positivos en el aumento de la producción del *Saccarum - Officinarum*, Caña de Azúcar esto sin afectar su calidad (COPERSUCAR, 1978; Orlando, 1983; Silva y Gurgel, 1981; citados por Korndörfer et al., 2010), asimismo estudios de Gómez (1996) indican que la aplicación de vinaza puede sustituir el 55 % de nitrógeno, 72 % de fósforo (P_2O_5) y 100 % de potasio (K_2O), provenientes de la fertilización mineral, cuando se aplicaron $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de vinaza en planta y $100 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en soca 1 y soca 2 en Venezuela.

Características químicas del suelo y su importancia

Los suelos arcillosos se presentan con las siguientes características: Caolinita, Montmorillonita, Vermiculita e Illita. Todos presentan iones aniones, es decir cargas negativas, las cuales se producen como consecuencia de la sustitución isomorfa, esta característica le confiere propiedades de atraer cierta cantidad de cationes, constituyendo la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que se expresa en miliequivalentes (meq) por 100 gramos.

La CIC varía de acuerdo con el tipo de suelo arcilloso (Hellfgot, 1997). La materia orgánica desempeña diversas funciones: suministra elementos nutritivos, constituye fuente de energía y nutrientes para los microorganismos del suelo, contribuye a conservar la humedad, mejora la estructura y propiedades químicas (Hellfgot, 1997).

El pH constituye una de las características químicas más significativas del suelo, debido a que permite inferir un conjunto

de condiciones relacionadas directa o indirectamente con el crecimiento de las plantas. El valor de pH se refiere a la concentración o actividad de los iones hidrogeno en la solución del suelo, se establece el grado de acidez o alcalinidad de un suelo.

La actividad bioquímica de los sistemas radiculares y descomposición de residuos orgánicos en el suelo constituyen importantes factores de acidificación, al liberar CO₂ que luego forma ácido carbónico. Otro mecanismo el cual se puede provocar una acidificación del suelo es el que resulta de la aplicación de fertilizantes de reacción acida como el sulfato de amonio o enmiendas orgánicas acidas que luego de cierto tiempo logran hacer disminuir el pH del suelo (Hellfgot, 1997).

Efectos de la vinaza en las características químicas del suelo

Dado que la producción del residuo vinaza es difícil de evitar, se trata en la actualidad, de minimizar o reutilizarlo, empleándolos de manera racional, reciclándolos o dándoles aplicaciones de carácter secundario que favorezcan el proceso de asimilación o destrucción de estos, evitando sus efectos negativos sobre el medio ambiente y de forma que se mantengan los equilibrios ecológicos naturales (Ros, 2000; citado por Álvarez et al., 2007).

La degradación de un suelo supone ante todo una disminución de su capacidad productiva, debido a ciertos cambios en las propiedades físicas, físico-químicas, químicas, bioquímicas o biológicas que conducen a la pérdida o disminución de la producción es decir su fertilidad (García et al., 1994; Pascual, 1995;

citados por Álvarez et al., 2007). Los efectos de la vinaza obtenida a partir de la melaza, aporta el doble de nutrimentos que la obtenida directamente de jugo de caña de azúcar, aunque éstas tienen un bajo contenido de P y nitrógeno (N); al aplicar vinazas y agregar un complemento de 60 Kg. ha⁻¹ de N éstas aumentan el nivel de Potasio (K), Hierro (Fe) y Fósforo (Subiros y Molina, 1992), así como el pH (Bautista et al, 2000).

Sin embargo, la aplicación de vinaza recién salida de la destilería aplicadas en suelos arcillosos tipo acrisoles y fluvisoles constituye un riesgo de salinización y de contaminación por Zinc (Zn) y manganeso (Mn) (Bautista et al., 2000).

La vinaza definitivamente es un mejorador de suelos, tanto en la parte física y química, lo que hace factible su uso como fertilizante orgánico en suelos vertisoles. Entre los macronutrientes más favorecidos y aportados por la vinaza se encuentran el potasio (Alfaro y Ocampo, 2013).

Hernández et al. (2008) con aplicaciones de 150 m³ .ha⁻¹ de vinaza en mezcla con 15 ton.ha⁻¹ de cachaza demostraron que no afecta el pH, C.E. y CIC, mientras que al aplicar la dosis de 250 m³ .ha⁻¹ incrementa los niveles de O, K y P en el suelo; anteriormente un estudio realizado por Alfaro (2000) sobre el efecto de la aplicación de vinaza en la variedad SP71-5514, cuyas dosis fueron 20, 37 y 62 m³ vinaza por hectárea en forma pura y diluida al 25%, muestran después de tres cosechas resultados similares en TCH, los análisis de suelo también demostraron que la vinaza aumentó el pH del suelo, disminuyó el aluminio intercambiable e incrementó la concentración de potasio, además se mejoraron las

relaciones catiónicas principalmente entre los elementos Calcio y Magnesio; sin embargo Chaves (1985) indicó que la vinaza incrementa los rendimientos agroindustriales sólo si las características físico-químicas de los suelos son favorables para su incorporación, sobre todo la presencia de un buen drenaje superficial e interno y que este sea deficiente o no disponible a las plantas en elementos como potasio, calcio y materia orgánica principalmente.

Caña de azúcar-nutrición

El *Saccharum Officinarum* – caña de azúcar, requiere de 17 elementos (nutrientes) para crecer y desarrollarse. El carbono, hidrogeno y oxígeno provienen del agua y el aire, esos elementos abarcan más del 90% del peso seco de la planta. Los otros 14 elementos son minerales que provienen del suelo y de la adición de fertilizantes. El Silicio es reconocido como un elemento benéfico, sin embargo, no está considerado como un elemento esencial. (Hogarth y Allsopp, 2000).

La cantidad de nutrientes que necesita el *Saccharum Officinarum*–caña de azúcar, depende del tipo de suelo, condiciones climáticas, manejo del cultivo y edad de la planta. Humbert (1968) reporto sobre la extracción de nutrientes en la variedad H38-2915, H44-3098 y H37-1933, para las condiciones de Hawái. Los valores oscilaban entre 0.64-1.12 Kg N/T caña, 1.45-2.22 Kg K/T caña y 0.03-0.13 Kg P/T caña.

La fertilización nitrogenada se destaca como una de las prácticas más estudiada, visto que todos los reportes sobre N presentan resultados muy variables y muchas veces hasta contradictorios (Korndörfer et al.,2002; citados por Pessoa, 2009). Filho (1983), citado por Pessoa (2009), indica que el N asume el principal papel en el aumento de la longitud del tallo, haciendo que la pared celular sea más delgada, disminuyendo así el porcentaje de fibra en la planta.

El N es el nutriente que mayor cuidado y atención requiere para su empleo, puesto que la adición de dosis excesivas o tardías, afectaran la fase de maduración y con ello la concentración de sacarosa en los tallos (Chaves, 1999).

El Fosforo (P) por su parte debe incorporarse al fondo del surco durante la siembra como lo han demostrado resultados de estudios experimentales. Se han encontrado diferencias al adiccionarlo superficialmente, incorporado, al voleo o en el entre surco de la plantación (Chaves, 1999). El P desempeña un papel determinante en el cultivo de caña de azúcar por la importante e insustituible función que mantiene en la fisiología de la planta, haciendo por ello cuestionable cualquier plan serio de fertilización y producción de caña en el cual no esté incluido (Chaves, 1999).

El potasio (K), es el mayor elemento extraído en la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L). se hace la salvedad, a diferencia del N y P, el K rara vez provoca incrementos sustanciales en el tonelaje de materia prima, aunque si se nota una mejora significativa en la calidad de los jugos. Se asegura que el K afecta

directa o indirectamente muchas, si no todas, las funciones bioquímicas y fisiológicas, siendo considerado uno de los factores que más contribuye para el logro de un mejor crecimiento y una mayor producción de caña de azúcar (Chaves, 1998; citado por Chaves, 1999).

El K ha mantenido polémica en cuanto a su necesidad, lo cual ha llevado muchas veces a cuestionar la necesidad de su aplicación a través de la fertilización. Lo cierto, es que su función reguladora de la acción enzimática, balance iónico y potencial osmótico, hacen esencial como elemento complementario para favorecer la actividad del resto de nutrimentos, en especial el N (Chaves, 1998; citado por Chaves, 1999). Por lo tanto, el empleo del K responde más a una razón estratégica y de balance nutricional general, que al incremento directo.

El Calcio (Ca) es esencial para el crecimiento de los meristemos y, particularmente, para el desarrollo y funcionamiento adecuados de los ápices de las raíces. Se encuentra en la planta como péctate de calcio, el cual es un constituyente de la lámina media de la pared celular (Russell y Russell, 1968; citados por Quintero, 1995).

Para determinar si la nutrición en el cultivo se está dando de una manera adecuada se realiza de forma práctica un análisis de tejido foliar para realizar el Diagnostico Nutricional, cuyas finalidades básicas son diagnosticar deficiencias minerales o desordenes nutricionales de la planta, levantamiento del estado nutricional y recomendación de un programa de fertilización acorde con las necesidades reales (Chaves, 1999).

Sin embargo, el presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar si existe alguna variación nutricional del cultivo por motivo de la aplicación de vinaza.

Para realizar el diagnóstico foliar se tomó como referencia los valores encontrados por McCray and Mylavarapu en el 2010 (Tabla 1), que evaluaron en la hoja TVD (Top Visual Develop), o primera hoja de lígula visible a los 4 meses de edad, igual como se realizó en el presente estudio.

Tabla 1. Estado Nutricional de *Saccharum officinarum L.*, según concentraciones de los elementos macro y micronutrientes.

Categoría de Suficiencia	N	P	K	Mg	S	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	%				mg.Kg ⁻¹						
Muy Deficiente	<1.6	<0.17	<0.80	<0.11			<40	<12	<13	<2.0	
Deficiente	1.60 - 1.79	0.17 - 0.18	0.80 - 0.89	0.11 - 0.12			40 - 49	12 a 115	13 - 14	2.0 - 2.9	4
Marginal	1.80 - 1.99	0.19 - 0.21	0.90 - 0.99	0.13 - 0.14	<0.13	<0.20	50 - 54	16 - 19	15 - 16	3.0 - 3.9	<15
Suficiente	2.00 - 2.30	0.22 - 0.26	1.00 - 1.30	0.15 - 0.24	0.13-0.18	0.20-0.45	55 - 80	20 - 60	17 - 25	4.0 - 6.0	15-20
Suficiente mas	2.31 - 2.60	0.27 - 0.30	1.31 - 1.60	0.25 - 0.32			81 - 105	61 - 100	26 - 32	6.1 - 8.0	
Alto	> 2.60	> 0.30	> 1.60	> 0.32	>0.18	>0.45	> 105	> 100	> 32	> 8.0	>20

Fuente: McCray and Mylavarapu (2010) excepto los valores de Ca, S y B (tomados de Anderson y Bowen (1990))

Efectos de la vinaza sobre la nutrición del cultivo de caña de azúcar

El uso de la vinaza como fuente de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar es una alternativa altamente viable en sistemas de producción de alcohol y azúcar, permitiendo una reducción a

los problemas de contaminación en cuerpos de agua próximos a los ingenios, sustituyendo la fertilización mineral como fuente de potasio y bajando los costos de producción por tonelada de caña de azúcar (Leite, 1999; citado por Ribeiro, 2010). Pérez et al. (2008) obtuvieron resultados positivos con aplicaciones de vinaza en un periodo de tiempo de dos años consecutivos en un suelo tipo Andisol, las dosis estudiadas fueron de 75 y 150 m³ .ha⁻¹ en mezcla con fertilización nitrogenada y potásica, en el cual lograron incrementos en el rendimiento de 8.2 toneladas más de caña por hectárea (TCH) con relación al testigo el cual no tuvo ninguna aplicación del insumo estudiado, también se encontró que la mezcla de vinaza más fertilización nitrogenada ayudaba a potenciar el efecto del Nitrógeno, lo que no ocurrió cuando se realizaron aplicaciones de vinaza juntamente con fertilización potásica, donde el efecto fue muy leve; esto debido a que la vinaza aporta cantidades importantes de potasio al suelo

Aproximación al estudio local

El campo experimental se encuentra ubicado en el distrito de Casa Grande, provincia de Ascope, Departamento de La Libertad, ubicación geográfica: Latitud Sur 7° 45' 5.86" y Longitud Oeste 79°11'5.65", elevación de 145 m.

Figura 1. Mapa de Casa Grande



El Valle Chicama por su clima forma parte de la costa desértica del país, predominando formaciones como el desierto subtropical y maleza desértica subtropical. La temperatura oscila entre 13.6 – 30 °C, con una precipitación pluviométrica promedio anual de 19,1 mm.

El mayor porcentaje de humedad relativa se produce en los meses de Junio – Agosto, con un promedio de 95% y la más baja en Enero – Febrero con un promedio de 56% (Vásquez, 2007).

Selección del suelo. Toma de muestras de vinaza, suelo y foliares

Para el presente estudio se utilizó el tipo de suelo del orden Aridisol, Sub-Grupo Typic Anthracambids (Setemin Ingenieros

S.A.C., 2012); de textura franco limoso y sembrado con cultivo de caña de azúcar.

Para la obtención de las características físico-químicas del suelo previo a la aplicación de los tratamientos se tomó una muestra compuesta del área de estudio, el cual se presenta en la Tabla 2.

En cuanto al insumo (vinaza), se utilizó la proveniente de la Destilería de la empresa Casa Grande SAA., cuyas características químicas se presentan en la Tabla 3, también analizada para el presente estudio.

Se realizaron 2 tipos de Clasificaciones siendo uno, por Permeabilidad según la Conductividad hidráulica, en la cual se obtienen suelos de Permeabilidad Moderadamente Lenta (Pruebas de Infiltración 4, 6, 8-9, 11-13, 15-21, 24-27 y 30-41) y Moderada (Pruebas de Infiltración del 1-3, 5,7,10,14, 22-23 y 28-29) y según la Clasificación por Infiltración tenemos Suelos Arenosos (Pruebas de Infiltración de 1-23 y 25-41) y Franco Arenoso, debiendo considerarse la variación que ocasiona la presencia de grava en la clasificación presente.

Tabla 2. Resultados del análisis químico del suelo del área experimental, previa a la aplicación de los tratamientos.

Cationes cambiables					C.E. ds.m ⁻¹	pH	CaCO ₃ %	M.O. %	N total %	Disponibles					Textura
Ca ⁺²	ClC	K ⁺	Mg ⁺²	Na ⁺						P	K	B	Cu	Fe	
me/100 g					ppm										
40.79	46.14	0.57	4.04	0.74	1.45	7.8	4.83	2.6	0.13	13	209.77	1	6.3	30.7	Franco Limoso

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

Tabla 3. Resultados del análisis químico de la vinaza producida en el ingenio Casa Grande, utilizada en el ensayo.

pH	C.E.	N	K	Ca	Mg	SO4	Na	RAS	B	Cu	Fe	Mn	Zn	CaCO ₃	H2PO4	NO3	Cloruros
(H ₂ O)	ds.m ⁻¹	%	meq.L ⁻¹					mg.L ⁻¹					meq.L ⁻¹				
4.2	29.8	0.2	249.83	77.79	59.4	159	12.3	1.48	1.1	0.309	25.50	1.66	1.456	6481.2	332.98	2.95	238.65

Fuente: Datos obtenidos por el investigador

Toma de muestras

Caracterización de vinaza: La muestra fue extraída durante la descarga del tanque cisterna al momento del riego; se tomaron sub-muestras en diferentes momentos del descargue las cuales se mezclaron para obtener 1 litro solución vinaza, que se guardó en un frasco de vidrio oscuro y debidamente identificado para su caracterización en el laboratorio de la empresa SGS del Perú S.A para su análisis respectivo.

Análisis del suelo: Las muestras del suelo fueron extraídas con barrenas a los 15, 30, 60, 90, 120 y 270 días después de la aplicación de vinaza (Figura 1), previamente se realizó un muestreo general del área de estudio antes de los tratamientos por aplicación. La profundidad de muestreo estuvo entre los 0.0 cm–30.0 cm. Se tomaron tres submuestras en el surco central y tres en el entresurco de cada parcela experimental (Salgado et al., 2006), se mezclaron en un balde para homogenizar y de ahí se tomó 1,0 Kg de muestra de suelo, el cual fue enviado al laboratorio de suelos de la empresa SGS del Perú S.A para su respectivo análisis.

Figura 2. Resultados de Ensayos de Pruebas de infiltración de suelos y su clasificación de permeabilidad y textura en zona evaluada.

Prueba	Campo	Tratam	Ensayo	Velocidad de Infiltración Basica (cm/hora)	Lamina Acumulada 150 min (cm)	Conductividad Hidraulica (cm/hora)	Clasificacion Permeabilidad	Clasificacion por Infiltracion
1	Pasconall	T0	Prueba Inicial	9.6	23.9	2.02	Moderada	Arenoso
2	Pasconall	T1	1 Rastra	12.7	31.9	2.67	Moderada	Arenoso
3	Pasconall	T1	1 Rastra	12.1	30.3	2.55	Moderada	Arenoso
4	Pasconall	T2	1 Rastra + 2 Killifer	9.2	22.9	1.94	Moderadamente Lenta	Arenoso
5	Pasconall	T2	1 Rastra + 2 Killifer	10.3	25.8	2.17	Moderada	Arenoso
6	Pasconall	T3	2 Rastras	6.4	16.1	1.35	Moderadamente Lenta	Arenoso
7	Pasconall	T3	2 Rastras	14.5	36.2	3.05	Moderada	Arenoso
8	Pasconall	T1	Rastra(2)-60t Compost-Sur	7.4	18.4	1.56	Moderadamente Lenta	Arenoso
9	Pasconall	T2	Rastra(2)-30t Compost-Sur	6.9	17.2	1.45	Moderadamente Lenta	Arenoso
10	Pasconall	T3	Rastra(2)-60t MOF-Surcado	9.7	24.3	2.04	Moderada	Arenoso
11	Pasconall	T4	Rastra(2)-30t MOF-Surcado	6.1	15.3	1.28	Moderadamente Lenta	Arenoso
12	Pasconall	T5	Rastra(2)-60t Compost-Pal	7.5	18.7	1.58	Moderadamente Lenta	Arenoso
13	Pasconall	T6	Rastra(2)-30t Compost-Pal	7.1	17.7	1.49	Moderadamente Lenta	Arenoso
14	Pasconall	T7	Rastra(2)-60t MOF-Palana	9.7	24.2	2.04	Moderada	Arenoso
15	Pasconall	T8	Rastra(2)-30t MOF-Palana	8.2	20.6	1.73	Moderadamente Lenta	Arenoso
16	Pasconall	T1	Rast(1)Kill(2)-60t Compost-Sur	6.6	16.5	1.39	Moderadamente Lenta	Arenoso
17	Pasconall	T2	Rast(1)Kill(2)-30t Compost-Sur	5.7	14.3	1.20	Moderadamente Lenta	Arenoso
18	Pasconall	T3	Rast(1)Kill(2)-60t MOD-Sur	8.5	21.2	1.79	Moderadamente Lenta	Arenoso
19	Pasconall	T4	Rast(1)Kill(2)-30t MOD-Sur	7.4	18.6	1.56	Moderadamente Lenta	Arenoso
20	Pasconall	T5	Rast(1)Kill(2)-60t Compost-Pal	8.7	21.8	1.83	Moderadamente Lenta	Arenoso
21	Pasconall	T6	Rast(1)Kill(2)-30t Compost-Pal	6.6	16.5	1.39	Moderadamente Lenta	Arenoso
22	Pasconall	T7	Rast(1)Kill(2)-60t MOd-Pal	12.6	31.4	2.65	Moderada	Arenoso
23	Pasconall	T8	Rast(1)Kill(2)-30t MOD-Pal	11.8	29.6	2.48	Moderada	Arenoso
24	Pasconall	T1	R(1)K(2)-60t Comp-Sur-Hil	4.3	10.8	0.91	Moderadamente Lenta	Fco Arenoso
25	Pasconall	T1	R(1)K(2)-60t Comp-Sur-EntHil	4.8	11.9	1.01	Moderadamente Lenta	Arenoso
26	Pasconall	T2	R(1)K(2)-30t Comp-Sur-Hil	6.1	15.2	1.28	Moderadamente Lenta	Arenoso
27	Pasconall	T2	R(1)K(2)-30t Comp-Sur-EntHil	4.7	11.7	0.99	Moderadamente Lenta	Arenoso
28	Pasconall	T3	R(1)K(2)-60t Comp-Pal-Hil	11.4	28.5	2.40	Moderada	Arenoso
29	Pasconall	T3	R(1)K(2)-60t Comp-Pal-EntHil	10.1	25.2	2.13	Moderada	Arenoso
30	Pasconall	T4	R(1)K(2)-30t Comp-Pal-Hil	6.0	15.0	1.26	Moderadamente Lenta	Arenoso
31	Pasconall	T4	R(1)K(2)-30t Comp-Pal-EntHil	7.4	18.4	1.56	Moderadamente Lenta	Arenoso
32	Pasconall	T5	R(1)K(2)-60t MO-Sur-Hil	5.9	14.7	1.24	Moderadamente Lenta	Arenoso
33	Pasconall	T5	R(1)K(2)-60t MO-Sur-EntHil	7.4	18.4	1.56	Moderadamente Lenta	Arenoso
34	Pasconall	T6	R(1)K(2)-30t MO-Sur-Hil	7.2	17.9	1.52	Moderadamente Lenta	Arenoso
35	Pasconall	T6	R(1)K(2)-30t MO-Sur-EntHil	9.0	22.5	1.89	Moderadamente Lenta	Arenoso
36	Pasconall	T7	R(1)K(2)-60t MO-Pal-Hil	7.0	17.5	1.47	Moderadamente Lenta	Arenoso
37	Pasconall	T7	R(1)K(2)-60t MO-Pal-EntHil	6.4	15.9	1.35	Moderadamente Lenta	Arenoso
38	Pasconall	T8	R(1)K(2)-30t MO-Pal-Hil	7.0	17.5	1.47	Moderadamente Lenta	Arenoso
39	Pasconall	T8	R(1)K(2)-30t MO-Pal-EntHil	6.0	14.9	1.26	Moderadamente Lenta	Arenoso
40	Pasconall	T9	R(1)K(2)-60t CCartav-Sur-Hil	5.4	13.4	1.14	Moderadamente Lenta	Arenoso
41	Pasconall	T9	R(1)K(2)-30t CCartav-Sur-Hil	8.7	21.8	1.83	Moderadamente Lenta	Arenoso

Análisis foliar: Para la obtención de muestras foliares el cual se realizó a los 4 meses de edad del cultivo. Para realizar el diagnostico foliar, se tiene que a nivel internacional la hoja + 1, conocida también como TVD (Top Visible Dewlap) es la más utilizada; se seleccionó utilizando el tercio media de la lámina (aproximadamente 20 cm centrales), excluyendo la nervadura central (Figura 2), las muestras fueron secadas a 70 °C durante 48 horas, después fueron molidas y tamizadas (2 mm) para luego ser enviadas al laboratorio de la empresa SGS del Perú S.A para su respectivo análisis.

Figura 3. Metodología de Prueba de Infiltración



Parámetros analizados

Para evaluar el efecto de la vinaza en el suelo y planta se tomaron en cuenta parámetros químicos del suelo, composición química de la vinaza aplicada y parámetros nutricionales del cultivo (Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6), también parámetros de biometría del cultivo (altura de tallos, diámetro de tallos y número de tallos por metro lineal).

Tabla 4. Propiedades determinadas en el análisis de suelo del área experimental y métodos empleados en laboratorio *

Análisis	Métodos	Lectura
pH	Relación 1:2 suelo: agua destilada	Potenciómetro con electrodo de vidrio.
Materia orgánica (MO)	Walkley y Black	Titulación con FeSO ₄
CIC	Tiurea de plata 0.01 M	EAA a 328,1 nm
N Total	Método de Kjeldahl	Titulación con H ₂ SO ₄
P asimilable	Olsen	Cuantificación colorimétrica a 882 nm
K	Tiurea de plata 0.01 M	EAA a 328,1 nm
Ca, Mg, Na	Espectrometría de Absorción Atómica	Espectrofotómetro a la llama
Mn, Cu, Zn	Espectrometría de Absorción Atómica	Espectrofotómetro a la llama
Fe	Espectrometría de Absorción Atómica	Espectrofotómetro a la llama

CIC: Capacidad de intercambio catiónico, EAA: Espectrofotometría de absorción atómica.

* D.S. N° 013-2010-AG.

Tabla 5. Elementos determinados y métodos empleados en el análisis químico de la vinaza producida en el ingenio Casa Grande

Análisis	Métodos	Lectura
pH	Método Potenciométrico	Potenciómetro
Conductividad eléctrica	Método Potenciométrico	Potenciómetro
Materia Orgánica	Walkley y Black	Titulación con FeSO_4
Nitrógeno Total	Método Kjeldahl	Titulación con H_2SO_4
Fósforo	Digestión con HNO_3 HClO_4	Cuantificación colorimétrica a 470 nm
Potasio, Cobre, Azufre, Manganeso, Hierro y Zinc	Espectrometría de Absorción Atómica	Espectrofotómetro a la llama
Boro	Método EPA 200.7:1994	Análisis de elementos traza en espectrofotómetro de plasma.

Tabla 6. Elementos determinados y métodos empleados en el diagnóstico nutricional de *Saccharum officinarum* L. a los cuatro meses de edad.

Análisis	Método	Lectura
Nitrógeno total	Kjeldahl	Titulación con H_2SO_4
K, Ca, Mg, Fe, Zn y Cu	Digestión con HNO_3 HClO_4	Cuantificación por EAA(*)
P total	Digestión con HNO_3 HClO_4	Cuantificación colorimétrica a 470 nm
B	Azometina-H	Cuantificación con espectrofotómetro a 420 nm

(*) EAA: Espectrofotometría de absorción atómica

Las evaluaciones biométricas se realizaron al año, es decir a los 12 meses de edad del cultivo, se evaluó longitud, diámetro y número de tallos por metro lineal; midiendo en el primer caso, desde el ras del suelo hasta la primera hoja con lígula visible, en tallos primarios por parcela experimental.

Para la medición del diámetro de los tallos se utilizó el vernier o pie de rey, para el conteo de número de tallos, se midieron

10 metros lineales en tres puntos de muestreo por cada parcela experimental y se contó el total de tallos encontrados, luego se obtuvo un promedio que posteriormente se dividió entre 10 para obtener el número de tallos por metro lineal.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 3 repeticiones. La fertilización nitrogenada inicio a los 60 días (Figura 4) cuya dosis fue de 180 Kg de Nitrógeno por hectárea en todos los bloques de tratamiento.

Figura 4. Condiciones del suelo arenoso con presencia de grava



Fuente: elaborado por los autores

La aplicación de las diferentes concentraciones de vinaza se realizó inmediatamente después de la fertilización nitrogenada con el agua de riego de entable (Figura 5).

Figura 5. Paso de Rastra



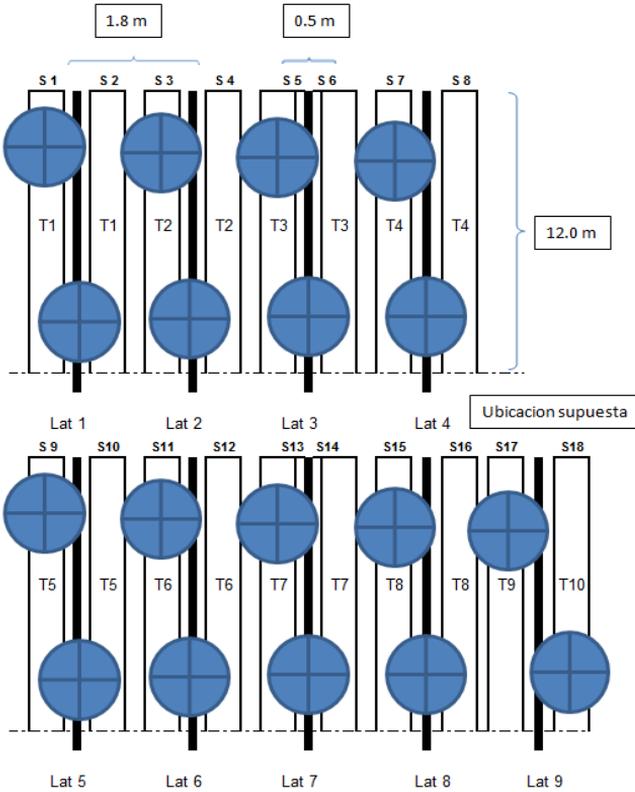
Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamientos	Concentración de vinaza (m ³ .ha ⁻¹)
T1	0
T2	30
T3	60
T4	110
T5	220

Características del área de estudio

- Área de parcela: 0.06 Ha.
- Área de Tratamiento: 0.18 Ha.
- Área total: 0.90 Ha

ESQUEMA DE AREA EXPERIMENTAL - Ubicación de Pruebas de Infiltración



Cantidad de Vinaza utilizada

Tratamiento		Cantidad de vinaza
T1 = 0 m ³ . ha ⁻¹	*	0.18 ha = 0 m ³
T2 = 30 m ³ . ha ⁻¹	*	0.18 ha = 5.4 m ³
T3 = 60 m ³ . ha ⁻¹	*	0.18 ha = 10.8 m ³
T4 = 110 m ³ . ha ⁻¹	*	0.18 ha = 19.8 m ³
T5 = 220 m ³ . ha ⁻¹	*	0.18 ha = 39.6 m ³
Volumen total de vinaza utilizada =		75.6 m³

Numero de tanques cisterna

N.º de tanques cisterna = volumen total de vinaza / capacidad de tanque

$$N.º \text{ de tanques cisterna} = (75.6 \text{ m}^3) / (30 \text{ m}^3) = 2.52$$

N.º de tanques cisterna aproximadas = 3.0

Análisis Estadístico

Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza y comparación de medias de TUKEY (Miller, 1966) en un nivel de significancia de 5%, usándose el software SPSS 22.

Los análisis estadísticos fueron hechos en cada momento del muestreo en el suelo y por tratamiento foliar; además se determinó el coeficiente de variación (CV%) para cada parámetro y etapa analizado.

Capítulo 2

Propiedades químicas del suelo

pH del Suelo

En relación con los valores obtenidos de pH del suelo, no se tuvo efectos significativos a 5% de probabilidad entre las concentraciones de vinaza evaluados (Tabla 7).

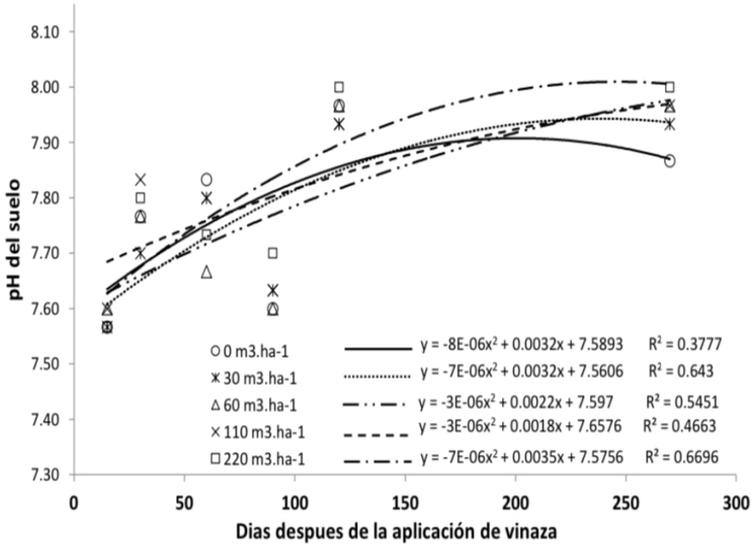
Tabla 7. Valores de pH en agua, considerando los niveles de concentración días después de la aplicación con vinaza.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza					
	15	30	60	90	120	270
0 m ³ .ha ⁻¹	7.57 a	7.77 a	7.83 a	7.60 a	7.97 a	7.87 a
30 m ³ .ha ⁻¹	7.57 a	7.70 a	7.80 a	7.63 a	7.93 a	7.93 a
60 m ³ .ha ⁻¹	7.60 a	7.77 a	7.67 a	7.60 a	7.97 a	7.97 a
110 m ³ .ha ⁻¹	7.60 a	7.83 a	7.80 a	7.63 a	7.93 a	7.97 a
220 m ³ .ha ⁻¹	7.57 a	7.80 a	7.73 a	7.70 a	8.00 a	8.00 a
<i>Prueba de F</i>	0.92 NS	0.46 NS	0.56 NS	0.75 NS	0.92 NS	0.62 NS
<i>Media</i>	7.58	7.77	7.77	7.63	7.96	7.95
<i>CV%</i>	0.24	0.64	0.86	0.53	0.35	0.64

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

De los resultados obtenidos se determina un ligero incremento del nivel de pH en el suelo (Figura 2), sin embargo, estos tampoco son significativos.

Figura 6. Valores de pH, según días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración.



Conductividad Eléctrica (dS. m⁻¹)

Los resultados obtenidos muestran que los cambios de Conductividad Eléctrica (C.E.) en el suelo a los 15 días después de la aplicación si fueron significativos, es decir a mayor concentración de vinaza mayor es el incremento de C.E., sin embargo, después de los 30 DDA no se encontró incrementos significativos por la adición de vinaza (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de C.E. ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$), considerando niveles de concentración de vinaza a días de su aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza											
	15		30		60		90		120		270	
0 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	2.23	ab	2.78	a	2.08	a	2.69	a	2.58	a	0.52	a
30 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	2.08	a	2.96	a	2.33	a	1.98	a	1.52	a	0.54	a
60 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	2.50	ab	3.64	a	2.86	a	2.22	a	1.65	a	0.55	a
110 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	2.21	ab	2.87	a	1.90	a	2.25	a	1.95	a	0.58	a
220 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	3.93	b	4.02	a	3.12	a	2.42	a	1.65	a	0.55	a
<i>Prueba de F</i>	<i>0.03</i>	<i>*</i>	<i>0.22</i>	<i>NS</i>	<i>0.23</i>	<i>NS</i>	<i>0.90</i>	<i>NS</i>	<i>0.44</i>	<i>NS</i>	<i>0.83</i>	<i>NS</i>
<i>Media</i>	<i>2.59</i>		<i>3.25</i>		<i>2.46</i>		<i>2.31</i>		<i>1.87</i>		<i>0.55</i>	
<i>CV%</i>	<i>29.61</i>		<i>16.80</i>		<i>21.11</i>		<i>11.38</i>		<i>22.86</i>		<i>4.14</i>	

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

En la Figura 6, se observa el incremento de la Conductividad eléctrica a los 15 días después de la aplicación de vinaza, sin embargo, a los 30, 60, 90, 120 y 270 días, después de la aplicación se tiene un ligero incremento, pero no es significativo.

Por otro lado, se muestra que con el paso de los días la Conductividad Eléctrica disminuye de su valor inicial indistintamente de la concentración de vinaza aplicada (Figura 7).

Figura 7. Valores de C.E. (dS. m^{-1}), considerando los niveles de concentración de vinaza y días posteriores a su aplicación

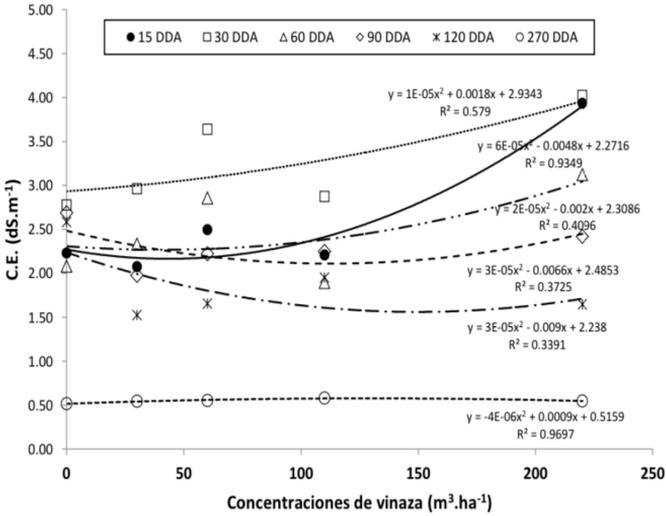
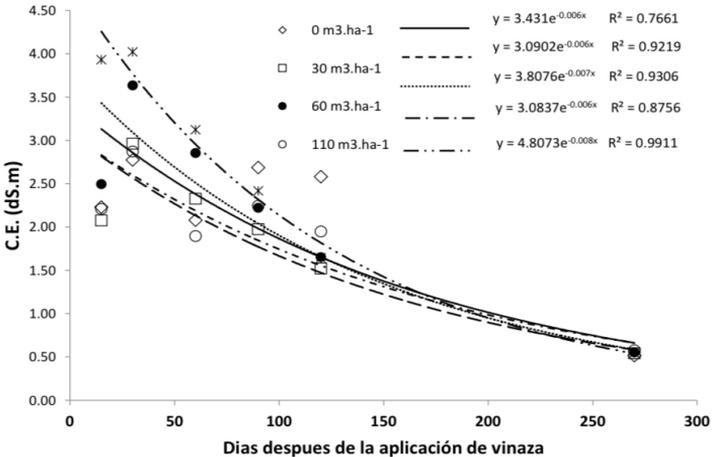


Figura 8. Valores de C.E. (dS. m^{-1}), considerando días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración.



Capacidad de Intercambio Catiónico

En la Tabla 9 se muestra que la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) no incremento por la adición de vinaza en distintas concentraciones crecientes, esto indica que el aporte de cationes por la vinaza utilizada en el ensayo han sido mínimo.

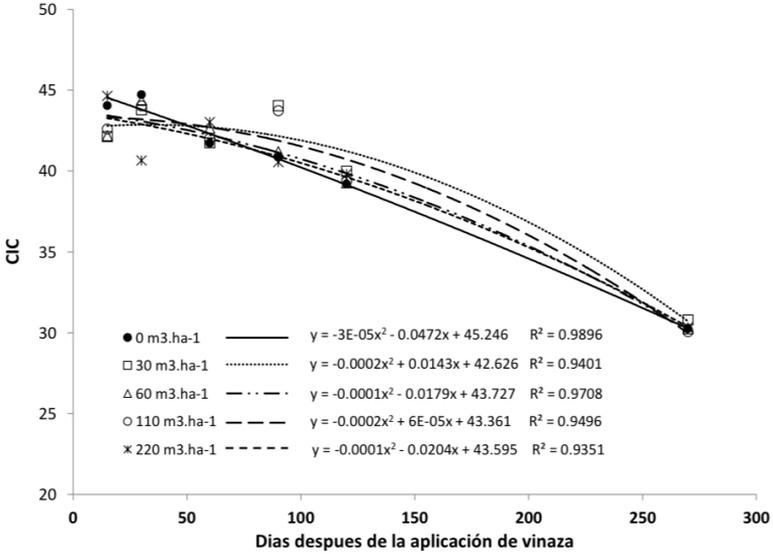
Sin embargo, observamos que con el transcurso de los días del ciclo de cultivo la capacidad de intercambio catiónico disminuye llegando a valores de $30 \text{ meq.}100\text{g}^{-1}$ en promedio (Figura 9), esto debido a la absorción de nutrientes por parte del cultivo.

Tabla 9. Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en $\text{meq.}100 \text{ g}^{-1}$ considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza					
	15	30	60	90	120	270
$0 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$	44.05 a	44.72 a	41.72 a	40.87 a	39.19 a	30.26 a
$30 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$	42.12 a	43.79 a	41.74 a	44.04 a	39.99 a	30.79 a
$60 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$	42.19 a	44.37 a	42.65 a	41.20 a	39.27 a	30.24 a
$110 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$	42.6 a	44.0 a	42.01 a	43.74 a	39.36 a	30.07 a
$220 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$	44.65 a	40.66 a	43.02 a	40.55 a	39.81 a	30.34 a
<i>Prueba de F</i>	<i>0.59 NS</i>	<i>0.19 NS</i>	<i>0.94 NS</i>	<i>0.8 NS</i>	<i>0.91 NS</i>	<i>0.86 NS</i>
<i>Media</i>	<i>43.12</i>	<i>43.51</i>	<i>42.23</i>	<i>42.08</i>	<i>39.52</i>	<i>30.34</i>
<i>CV%</i>	<i>2.68</i>	<i>3.75</i>	<i>1.38</i>	<i>3.97</i>	<i>0.90</i>	<i>0.89</i>

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Figura 9. Valores de C.I.C. (meq.100 g⁻¹), considerando días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración.



Cationes cambiables

Calcio cambiabile

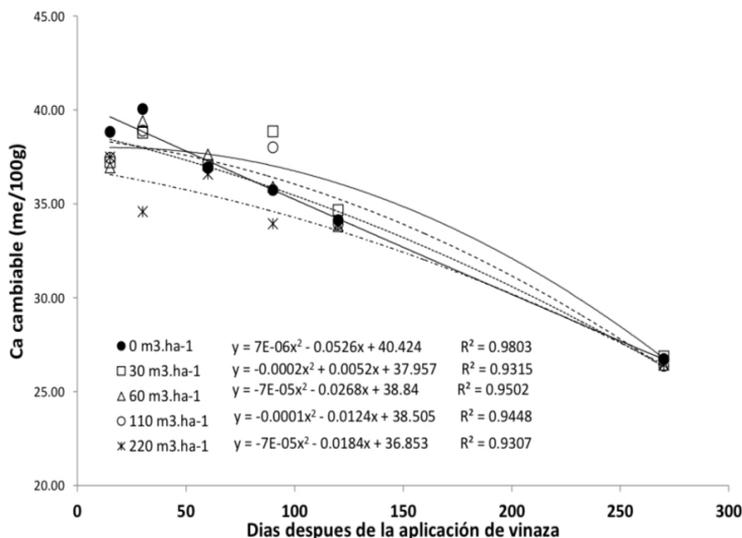
En la Tabla 10, se muestran los resultados del calcio cambiabile, donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y los días transcurridos después de la aplicación de vinaza, sin embargo, existe una tendencia a disminuir el Ca (Figura 10), debido al consumo del nutriente por la planta según sus etapas de desarrollo.

Tabla 10. Valores de Calcio cambiante ($\text{meq} \cdot 100\text{g}^{-1}$) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza					
	15	30	60	90	120	270
0 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	38.83 a	40.05 a	36.95 a	35.74 a	34.14 a	26.74 a
30 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	37.22 a	38.79 a	37.08 a	38.86 a	34.67 a	26.88 a
60 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	36.95 a	39.41 a	37.63 a	35.91 a	33.82 a	26.44 a
110 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	37.45 a	38.90 a	36.92 a	38.01 a	33.93 a	26.39 a
220 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	37.49 a	34.60 b	36.59 a	33.94 a	33.85 a	26.44 a
<i>Prueba de F</i>	0.82 NS	0.007 **	0.98 NS	0.58 NS	0.98 NS	0.86 NS
<i>Media</i>	37.59	38.35	37.03	36.49	34.08	26.58
<i>CV%</i>	1.93	5.62	1.02	5.37	1.04	0.82

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Figura 10. Valores de Ca cambiante ($\text{meq} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) considerando días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración.



Potasio cambiabile

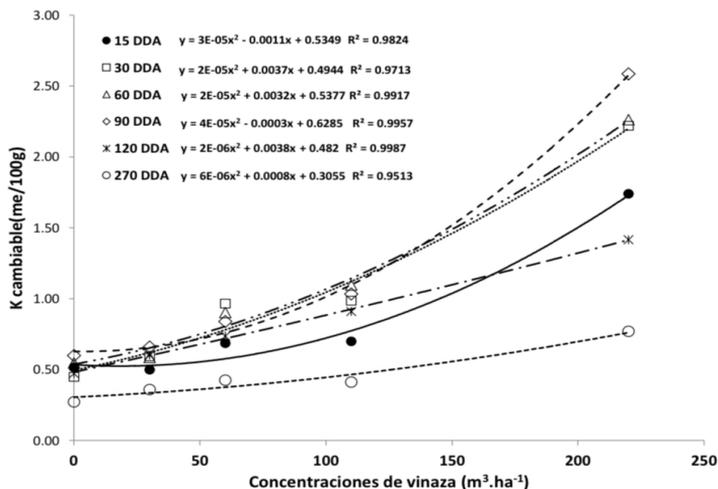
En la Tabla No 11, se muestran los resultados de Potasio cambiabile donde sí se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y entre los días transcurridos después de la aplicación de vinaza, es decir a mayor concentración de vinaza aplicada tenemos mayor incremento de potasio cambiabile, esto se observa con mayor claridad en la Figura 10.

Tabla 11. Valores de Potasio cambiabile (meq.100g^{-1}) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza					
	15	30	60	90	120	270
0 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	0.52 b	0.45 b	0.547 b	0.60 b	0.47 b	0.27 b
30 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	0.50 b	0.59 b	0.587 b	0.66 b	0.60 b	0.36 b
60 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	0.69 ab	0.97 ab	0.903 b	0.84 b	0.74 b	0.43 b
110 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	0.70 ab	0.99 ab	1.097 b	1.03 ab	0.91 ab	0.41 b
220 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	1.74 a	2.22 a	2.263 a	2.59 a	1.42 a	0.77 a
<i>Prueba de F</i>	0.03 *	0.06 *	0.01 **	0.01 **	0.002 **	0.001 **
<i>Media</i>	0.83	1.04	1.08	1.14	0.83	0.45
<i>CV%</i>	2.49	66.89	64.85	72.03	44.29	42.23

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Figura 11. Valores de K cambiable ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$), considerando los niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.



Magnesio cambiable

En la Tabla 12, se muestran los resultados de Magnesio cambiable donde no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos y los días transcurridos después de la aplicación de vinaza (15, 30, 60, 90 y 120), sin embargo, a los 270 días después de la aplicación de vinaza si se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos siendo el tratamiento con más alto contenido la aplicación de $30 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ de vinaza y el de menor valor fue el tratamiento con $220 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$.

Tabla 12. Valores de Magnesio cambiabile (meq.100g⁻¹) considerando niveles de concentración de vinaza a días después de su aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza											
	15		30		60		90		120		270	
0 m ³ .ha ⁻¹	3.95	a	4.04	a	3.50	a	3.74	a	4.46	a	3.19	ab
30 m ³ .ha ⁻¹	3.73	a	3.92	a	3.48	a	3.82	a	4.63	a	3.47	a
60 m ³ .ha ⁻¹	3.85	a	3.86	a	3.50	a	3.74	a	4.63	a	3.32	ab
110 m ³ .ha ⁻¹	3.78	a	4.03	a	3.41	a	3.96	a	4.43	a	3.21	ab
220 m ³ .ha ⁻¹	4.52	a	3.71	a	3.56	a	3.43	a	4.47	a	3.07	b
<i>Prueba de F</i>	0.07	NS	0.25	NS	0.97	NS	0.35	NS	0.43	NS	0.01	*
<i>Media</i>	3.97		3.91		3.49		3.74		4.52		3.25	
<i>CV%</i>	8.05		3.45		1.51		5.27		2.16		4.65	

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Sodio cambiabile

En la Tabla 13, se encontró que la aplicación en distintas concentraciones de vinaza no incrementó los valores del sodio cambiabile a los 15, 30, 60, 90 y 120 días después de la aplicación, sin embargo, a los 270 días encontramos diferencias significativas entre los tratamientos encontrando que al tener una concentración de 220 m³. ha⁻¹ fue cuando más disminuyó la concentración de sodio cambiabile en el suelo.

Tabla 13. Valores de Sodio cambiante ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza					
	15	30	60	90	120	270
0 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$	0.75 a	0.177 a	0.723 a	0.78 a	0.113 a	0.063 ab
30 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$	0.68 a	0.143 a	0.593 a	0.7 a	0.083 a	0.073 a
60 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$	0.70 a	0.13 a	0.617 a	0.707 a	0.083 a	0.057 ab
110 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$	0.67 a	0.123 a	0.58 a	0.727 a	0.087 a	0.063 ab
220 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$	0.90 a	0.133 a	0.61 a	0.603 a	0.077 a	0.05 b
<i>Prueba de F</i>	0.44 NS	0.50 NS	0.47 NS	0.57 NS	0.52 NS	0.04 *
<i>Media</i>	0.74	0.14	0.62	0.70	0.09	0.06
<i>CV%</i>	12.69	14.88	9.12	9.12	16.08	14.17

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Nitrógeno total del suelo

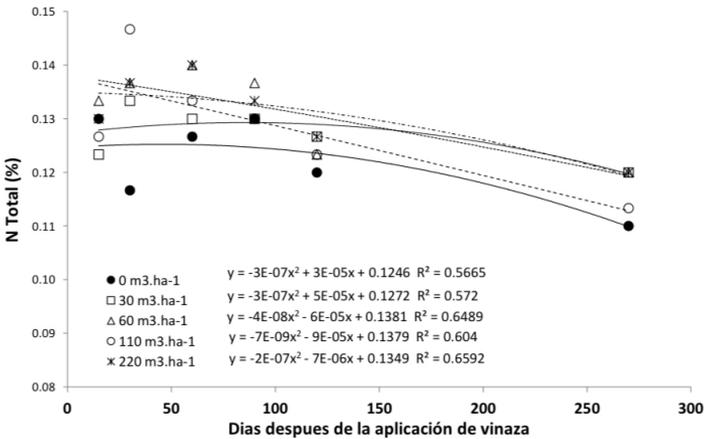
En la Tabla 14, se muestran los resultados de Nitrógeno Total (%) determinando que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y los días transcurridos después de la aplicación de vinaza (15, 30, 60, 90, 120 y 270), lo que se muestra es un ligero decremento, pero igual no llega a tener diferencia estadística significativa (Figura 11).

Tabla 14. Valores de Nitrógeno total (%) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza					
	15	30	60	90	120	270
0 m ³ .ha ⁻¹	0.13 a	0.12 a	0.13 a	0.13 a	0.12 a	0.11 a
30 m ³ .ha ⁻¹	0.12 a	0.13 a	0.13 a	0.13 a	0.13 a	0.12 a
60 m ³ .ha ⁻¹	0.13 a	0.14 a	0.14 a	0.14 a	0.12 a	0.12 a
110 m ³ .ha ⁻¹	0.13 a	0.15 a	0.13 a	0.13 a	0.12 a	0.11 a
220 m ³ .ha ⁻¹	0.13 a	0.14 a	0.14 a	0.13 a	0.13 a	0.12 a
Prueba de F	0.68 NS	0.21 NS	0.57 NS	0.89 NS	0.86 NS	0.79 NS
Media	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
CV%	2.95	8.14	4.45	2.26	2.25	4.04

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Figura 12. Valores de N total (%), considerando días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración.



Materia Orgánica

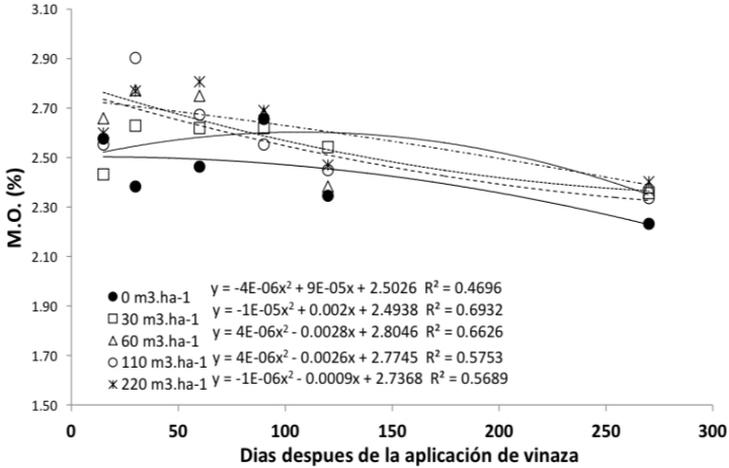
En la Tabla 15 se muestra que las adiciones de vinaza no incrementaron de manera significativa la concentración de materia orgánica en el suelo, al contrario, fue disminuyendo con el paso de los días (Figura 13).

Tabla No 15. Valores de Materia orgánica (%) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza											
	15		30		60		90		120		270	
0 m ³ .ha ⁻¹	2.58	a	2.38	a	2.46	a	2.66	a	2.35	a	2.23	a
30 m ³ .ha ⁻¹	2.43	a	2.63	a	2.62	a	2.62	a	2.54	a	2.36	a
60 m ³ .ha ⁻¹	2.66	a	2.77	a	2.75	a	2.68	a	2.38	a	2.38	a
110 m ³ .ha ⁻¹	2.55	a	2.90	a	2.67	a	2.55	a	2.45	a	2.34	a
220 m ³ .ha ⁻¹	2.60	a	2.77	a	2.81	a	2.69	a	2.47	a	2.40	a
<i>Prueba de F</i>	<i>0.62</i>	<i>NS</i>	<i>0.34</i>	<i>NS</i>	<i>0.37</i>	<i>NS</i>	<i>0.90</i>	<i>NS</i>	<i>0.65</i>	<i>NS</i>	<i>0.90</i>	<i>NS</i>
<i>Media</i>	<i>2.56</i>		<i>2.69</i>		<i>2.66</i>		<i>2.64</i>		<i>2.44</i>		<i>2.34</i>	
<i>CV%</i>	<i>3.25</i>		<i>7.35</i>		<i>4.97</i>		<i>2.10</i>		<i>3.15</i>		<i>2.80</i>	

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Figura 13. Valores de Materia orgánica (%) considerando los días después de la aplicación de vinaza a diferentes niveles de concentraciones.



Carbonatos

Los resultados mostrados en la Tabla 16 indican que el contenido de carbonatos en el suelo no está influenciado por las concentraciones de vinaza.

Tabla 16. Valores de Carbonatos (%) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza											
	15		30		60		90		120		270	
0 m ³ .ha ⁻¹	5.06	a	5.26	a	5.68	a	5.15	a	4.17	a	5.52	a
30 m ³ .ha ⁻¹	5.04	a	5.38	a	6.11	a	5.02	a	4.30	a	5.86	a
60 m ³ .ha ⁻¹	4.73	a	5.27	a	5.28	a	4.42	a	4.11	a	5.11	a
110 m ³ .ha ⁻¹	5.07	a	5.12	a	5.58	a	4.67	a	4.10	a	5.24	a
220 m ³ .ha ⁻¹	4.78	a	5.20	a	5.62	a	4.88	a	4.25	a	5.18	a
<i>Prueba de F</i>	<i>0.57</i>	<i>NS</i>	<i>0.89</i>	<i>NS</i>	<i>0.13</i>	<i>NS</i>	<i>0.06</i>	<i>NS</i>	<i>0.96</i>	<i>NS</i>	<i>0.02</i>	<i>*</i>
<i>Media</i>	<i>4.94</i>		<i>5.24</i>		<i>5.66</i>		<i>4.83</i>		<i>4.18</i>		<i>5.38</i>	
<i>CV%</i>	<i>3.39</i>		<i>1.83</i>		<i>5.28</i>		<i>6.04</i>		<i>2.11</i>		<i>2.11</i>	

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Fósforo Disponible

Los resultados del fósforo disponible indican que no existe diferencia significativa entre los tratamientos con o sin vinaza, a pesar de presentar una ligera tendencia al aumento según las concentraciones de vinaza, estos no son estadísticamente significativos, dichos valores se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Valores de Fósforo disponible (mg. Kg⁻¹) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza					
	15	30	60	90	120	270
0 m ³ .ha ⁻¹	13.27 a	8.73 a	10.57 a	12.30 a	7.63 a	10.47 a
30 m ³ .ha ⁻¹	15.30 a	9.50 a	10.83 a	12.97 a	9.73 a	11.80 a
60 m ³ .ha ⁻¹	14.73 a	10.43 a	11.90 a	11.83 a	7.93 a	11.10 a
110 m ³ .ha ⁻¹	13.57 a	9.70 a	11.83 a	12.70 a	7.93 a	10.63 a
220 m ³ .ha ⁻¹	14.20 a	11.30 a	12.37 a	14.00 a	7.37 a	11.60 a
<i>Prueba de F</i>	0.55 NS	0.22 NS	0.51 NS	0.37 NS	0.38 NS	0.96 NS
<i>Media</i>	14.21	9.93	11.50	12.76	8.12	11.12
<i>CV%</i>	6.97	9.81	6.65	6.38	11.48	5.24

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Potasio disponible

En la Tabla 18, se muestran los resultados donde se encontraron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos de 15, 30, 60, 90, 120 y 270 días después de su aplicación.

Los tratamientos con vinaza registraron valores de 181.23 a 652.18 mg. Kg⁻¹ a los 15 días después de la aplicación de vinaza, lo que representa un incremento de 2.47 a 268.75% de K disponible con respecto al tratamiento sin vinaza, lo mismo sucedió en los siguientes días de evaluación.

Se manifiesta además que a mayor concentración de vinaza aplicada tenemos mayor incremento de K disponible en el suelo, esto se observa con mayor claridad en la Figura 14.

De igual manera, no existe una tendencia clara de lo que sucede con el Potasio disponible en el suelo durante los días transcurridos después de la aplicación de vinaza, sólo la concentración a 220 m³. ha⁻¹ mostró un incremento considerable a los 90 DDA, para luego disminuir en los días subsiguientes (Figura 13).

Tabla 18. Valores de Potasio disponible (mkg ⁻¹) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza											
	15	30	60	90	120	270						
0 m ³ .ha ⁻¹	176.86 b	210.95 b	155.89 b	261.17 b	208.80 b	123.28 b						
30 m ³ .ha ⁻¹	181.23 b	247.67 b	176.72 b	276.02 b	260.82 b	156.67 b						
60 m ³ .ha ⁻¹	237.45 ab	425.93 ab	261.22 b	354.84 b	321.79 b	197.17 b						
110 m ³ .ha ⁻¹	251.59 ab	423.43 ab	323.47 ab	418.47 b	428.38 b	190.55 b						
220 m ³ .ha ⁻¹	652.18 a	891.82 a	744.40 a	1062.55 a	732.93 a	376.80 a						
<i>Prueba de F</i>	0.03	*	0.08	*	0.01	**	0.01	**	0.001	**	0.002	**
<i>Media</i>	299.86	439.96	332.34	474.61	390.54	208.89						
<i>CV%</i>	66.61	61.63	72.20	70.53	53.29	47.10						

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

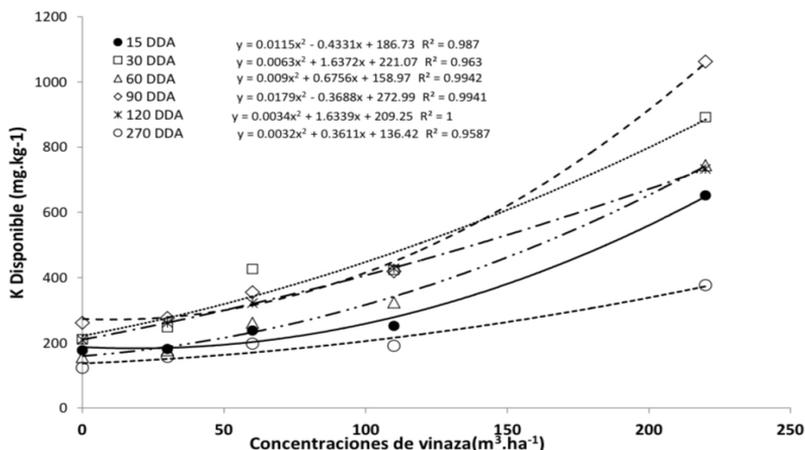
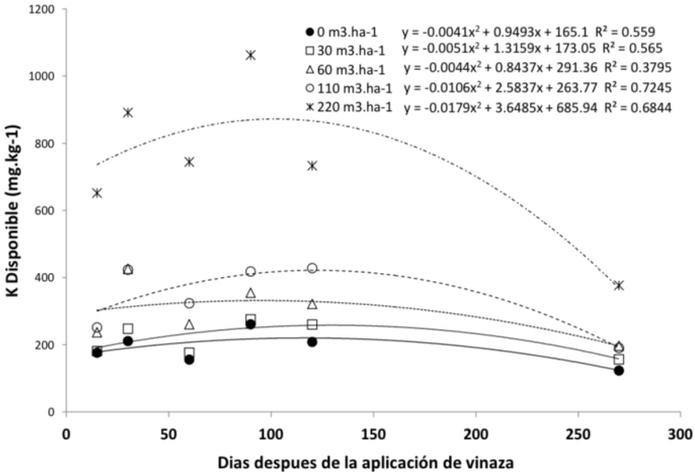


Figura 14. Valores de K disponible (mg. Kg⁻¹) considerando las diferentes concentraciones de vinaza y días después de la aplicación.



Micronutrientes

Boro disponible

En la Tabla 19, se muestra los valores del Boro disponible en sus diferentes concentraciones de vinaza aplicada y los días de muestreo después de la aplicación, donde no se encontró diferencias estadísticas significativas.

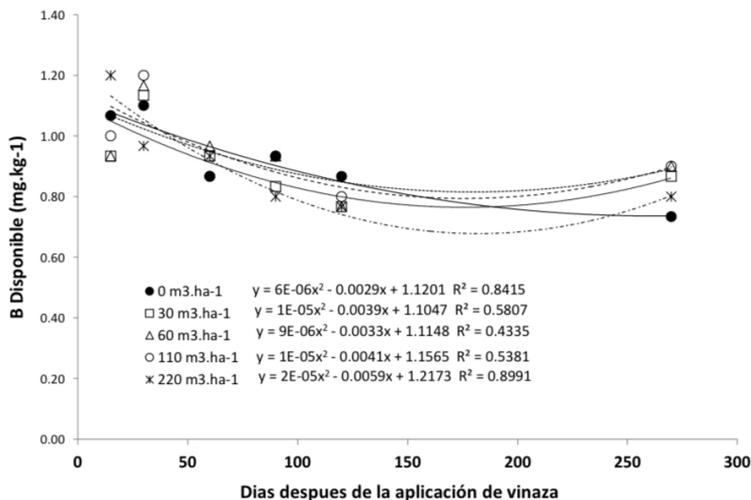
Por otro lado, la concentración de Boro disponible en el suelo disminuyó durante el ciclo del cultivo hasta los 270 días después de la aplicación de vinaza en todos los tratamientos (Figura 15).

Tabla 19. Valores de Boro disponible (mg. Kg^{-1}) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza					
	15	30	60	90	120	270
0 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	1.07 a	1.10 a	0.87 a	0.93 a	0.87 a	0.73 a
30 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	0.93 a	1.13 a	0.93 a	0.83 a	0.77 a	0.87 a
60 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	0.93 a	1.17 a	0.97 a	0.93 a	0.77 a	0.90 a
110 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	1.00 a	1.20 a	0.87 a	0.93 a	0.80 a	0.90 a
220 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	1.20 a	0.97 a	0.93 a	0.80 a	0.77 a	0.80 a
<i>Prueba de F</i>	0.16 NS	0.19 NS	0.46 NS	0.55 NS	0.760 NS	0.664 NS
<i>Media</i>	1.03	1.11	0.91	0.89	0.79	0.84
<i>CV%</i>	10.87	8.09	4.90	7.33	5.48	8.60

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Figura 15. Valores del Boro disponible (mg. Kg^{-1}) considerando los días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración.



Cobre disponible

En la Tabla 20, se muestran los valores del Cobre disponible en las diferentes concentraciones y los días de muestreo después de la aplicación de vinaza donde no se encontró diferencias estadísticas significativas.

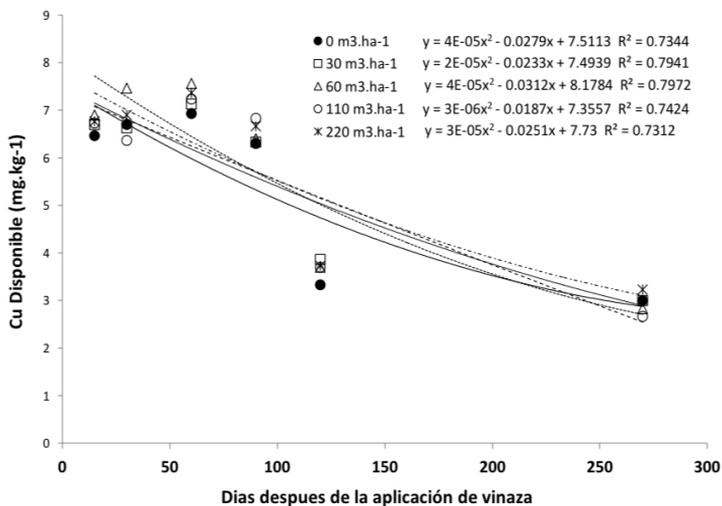
La concentración de cobre (Cu) en el suelo disminuyó durante el ciclo del cultivo hasta los 270 días después de la aplicación en todos los tratamientos aplicados con vinaza e incluso en el sin aplicación de vinaza (Figura 16).

Tabla 20. Valores de Cobre disponible (mg. Kg⁻¹) considerando niveles de concentración de vinaza y días después de la aplicación.

Concentraciones de vinaza	Días después de la aplicación de vinaza						
	15	30	60	90	120	270	
0 m ³ .ha ⁻¹	6.47 a	6.70 a	6.93 a	6.30 a	3.33 a	3.00 a	
30 m ³ .ha ⁻¹	6.70 a	6.63 a	7.13 a	6.33 a	3.87 a	3.00 a	
60 m ³ .ha ⁻¹	6.90 a	7.47 a	7.57 a	6.40 a	3.70 a	2.83 a	
110 m ³ .ha ⁻¹	6.73 a	6.37 a	7.23 a	6.83 a	3.70 a	2.67 a	
220 m ³ .ha ⁻¹	6.77 a	6.90 a	7.37 a	6.67 a	3.73 a	3.23 a	
<i>Prueba de F</i>	<i>0.91 NS</i>	<i>0.66 NS</i>	<i>0.87 NS</i>	<i>0.60 NS</i>	<i>0.490 NS</i>	<i>0.331 NS</i>	
<i>Media</i>	<i>6.71</i>	<i>6.81</i>	<i>7.25</i>	<i>6.51</i>	<i>3.67</i>	<i>2.95</i>	
<i>CV%</i>	<i>2.34</i>	<i>6.05</i>	<i>3.29</i>	<i>3.58</i>	<i>5.42</i>	<i>7.18</i>	

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente según Tukey con nivel de significancia de 5%.

Figura 16. Valores de Cu disponible ($\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$), considerando los días después de la aplicación de vinaza con diferentes niveles de concentración.



Capítulo 3

Aplicación de vinaza y pH del suelo

Valores originales de pH del suelo y el uso de vinaza

En las distintas concentraciones de vinaza evaluadas en el presente ensayo se determinó que no hubo algún efecto sobre el pH del suelo tal como se muestra en la Tabla 7, estos resultados confirman lo encontrado por López et al. (2012), en aplicaciones sucesivas donde no modificaron los valores originales de pH del suelo.

Sin embargo, diferentes autores como Cuervo (2015), encontró que la aplicación de vinaza sí incrementaba el pH en suelos ácidos, esta diferencia nos da a entender que el suelo arenoso en estudio era ligeramente alcalino por lo que, con la aplicación de vinaza no hubo algún efecto, adicionalmente la posibilidad de que el pH del suelo aumente a lo largo de los días, puede deberse al agua de riego que es alcalino y está dentro de las posibilidades provocar este ligero incremento.

Zérega et al. (2006) encontró que el pH del suelo disminuyó ligeramente su concentración con un pico de 1,3 décimas con respecto al testigo absoluto, esto debido al efecto amortiguador del suelo. Gallego et al. (2012), determino que el pH evaluado en el periodo de un año no presenta cambios significativos con la aplicación de dos dosis de vinaza y Pessoa et al. (2010) no encontró cambios en el pH del suelo cuando se aplicó $150 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de vinaza a lo largo de 10 años consecutivos. Caso contrario muestran Da Silva et al. (2014); dónde encontraron que el pH sí tuvo efectos significativos cuando se aplicó dosis crecientes de vinaza ($100 - 200 - 400$ y $800 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) por tres años consecutivos; así mismo

Ribeiro (2010) encontró que al adicionar vinaza, este incremento los niveles de pH en el suelo, conforme aumento la dosis (0, 120, 240, 420 m³.ha⁻¹), Teixeira (2009) con aplicaciones de 200 m³.ha⁻¹ y Brito et al. (2009), evaluaron en tres tipos de suelos con dosis de 0–350 y 700 m³ .ha⁻¹.

Concentraciones de vinaza evaluadas

En la Tabla 8 se observa que las diferentes concentraciones de vinaza evaluadas en el ensayo y los muestreos realizados a lo largo del desarrollo del mismo en los cultivos, no mostraron cambios significativos en lo que refiere al C.E. del suelo, esto coincide con Zérega et al. (2006), el cual no encontró cambios en la adición de vinaza a la profundidad de 0–20 cm pero en la profundidad de 20–40 cm si tuvieron incrementos de C.E., de 17 y 25% con respecto al bloque testigo, pero sin importancia agronómica.

Sin embargo, en un ensayo evaluado por Lelis (2008), se encontró incrementos de la C.E. en un rango de 0,3 a 2,3 dS. m⁻¹ para un suelo arenoso y de 0,23 a 0.75 dS. m⁻¹ en un suelo arcilloso.

Capacidad de intercambio catiónico

En lo que refiere a la Capacidad de intercambio catiónico Tabla 9, no se encontró cambios en el suelo cuando se adiciono vinaza y a su vez no hubo efectos a lo largo del ciclo del cultivo,

esto demuestra que el suelo en estudio por ser de tipo aluvial y textura franco limoso mantiene su CIC con o sin adición de vinaza debido a que la adsorción y liberación de cationes por el complejo arcillo–húmico hacia la solución suelo y viceversa está gobernada por la arcilla (coloide mineral) y el humus (coloide orgánico) presentes en este tipo de suelos. Noriega, (2011) desarrolló que cuanto mayor sea la CIC, más cationes potencialmente podrá retener e intercambiarse en el suelo (Chaves, 2012); ante este concepto se debe la importancia de evaluar este parámetro.

Un estudio realizado por Tejada (2010) demostró que la vinaza si influenciaba el incremento del CIC, esto debido a que se realizó en suelos sódicos cuyo CIC es bajo y al aplicar vinaza pudo mejorar la disponibilidad de los cationes. Así mismo Pessoa et al. (2010) encontró una mejora en la CIC con aplicaciones consecutivas por 10 años de $150 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de vinaza en fertiirrigación.

Pero, Nogueira (2003) concluyó que la aplicación de vinaza proporciona una menor reducción en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), en suelos cultivados con caña de azúcar, cuando evaluó diferentes sistemas de manejo en el tipo de suelo Argisol con y sin aplicación de vinaza.

Ca cambiabile

En lo que refiere al Ca cambiabile mostrado en la Tabla 10, se observa que la aplicación de vinaza a distintas concentraciones no tuvo efecto sobre el contenido de Ca en el suelo.

Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Gallego et al. (2012), donde evaluaron aplicaciones con vinaza en el periodo de un año. Por el contrario, Rodríguez y Chaves (1999), encontraron una relación directa entre la concentración de vinaza y el incremento de Calcio en el suelo, así también Teixeira (2009) y Canellas et al. (2003) cuando aplicaron 120 y 200 m³. ha⁻¹ respectivamente. Esta diferencia se debe a que estos autores evaluaron el efecto de la vinaza por un tiempo más prolongado.

K cambiabile

En la Tabla 11, se muestra que el K cambiabile del suelo tuvo incrementos por efecto de la aplicación de vinaza a diferentes concentraciones. Estos resultados van acordes con lo encontrado por Pérez et al. (2013), cuya conclusión fue, que la vinaza es un excelente fertilizante liquido como fuente de potasio, aumentó el rendimiento de caña, mejoró la fertilidad del suelo y la nutrición del cultivo, lo cual permite una reducción en la aplicación de fertilizante mineral de 50–100%, dependiendo de la dosis requerida.

A su vez López et al. (2012), con aplicaciones de 120 m³. ha⁻¹ a lo largo de tres años consecutivos, donde el K cambiabile pasó de 62 ppm originales a 550 ppm al final del ensayo; Pessoa et al. (2010) encontró un alto incremento de potasio en el suelo cuando aplico 150 m³. ha⁻¹ de vinaza por 10 años consecutivos. Por su parte Nogueira (2003), en su estudio entre los cationes cambia-bles, solo el K⁺ se ve influenciado por la aplicación de vinaza, esto debido a la abundancia de este elemento en la composición química de la vinaza (Tabla 2).

Mg cambiable

En la Tabla 12, los resultados de Mg cambiable mostraron que la aplicación de vinaza no le causó ningún efecto en su contenido del suelo, estos resultados confirman lo encontrado por Gallego et al. (2012) y Brito et al. (2009) donde el Mg no mostró una variación significativa en la concentración de este elemento, es decir la vinaza aplicada mostró contenido de Mg demasiado bajo, para modificar la concentración de este elemento en los suelos. Estos resultados difieren de lo encontrado por Canellas et al. (2003), donde la adición de vinaza por muchos años consecutivos ($120 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) cambió el contenido de Mg a una profundidad de 0–20 cm.

Con respecto al contenido de Na cambiable encontrado en el suelo en diferentes momentos del muestreo y con diferentes concentraciones de vinaza evaluadas, se determinó que no tuvo efectos estadísticos significativos (Tabla 13) estos resultados coincidieron con Gallego et al. (2012), donde tampoco encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para el contenido de Sodio. Sin embargo, Tejada (2010) y Rojas (2005), en suelos sódicos encontraron que disminuía el porcentaje de sodio cambiable a medida que incrementaba la concentración de vinaza, esto indica que a mayor concentración de vinaza aplicada mayor es la disminución de Na cambiable.

Por otro lado, Pessoa et al. (2010) encontró incrementos en el contenido de Na del suelo con aplicaciones de $150 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de vinaza en un periodo de 10 años, esto indica que el Na se acumula

a través de aplicaciones sucesivas, pudiendo considerarse como un efecto negativo. Así mismo Albuquerque et al. (2014), donde utilizaron columnas de PVC rellenas con suelo agrícola y aplicaciones de vinaza propició la elevación del Na en comparación al valor inicial, además observaron incrementos el contenido de Ca, como ambos son cationes, Na y Ca competirían por un lugar en el complejo de cambio, anulándose los efectos adversos de la presencia del Na.

N-Total del suelo

En la Tabla 14 se observó que el contenido de N-Total del suelo no cambió con la aplicación de vinaza, esto debido a la baja concentración del nutriente en la composición química de la vinaza utilizada. Estos resultados afirman lo encontrado por Gallego et al. (2012) donde el N no mostró una variación significativa en aplicaciones de una o dos dosis de vinazas a un suelo Vertisol con y sin microorganismos.

Con respecto a la M.O. del suelo, no hubo incrementos con la aplicación de concentraciones distintas de vinaza (Tabla No 15), sin embargo, López et al. (2012), encontró ligeras variaciones en el porcentaje de materia orgánica, sobre todo en la capa superficial (0-25 cm) con la aplicación de $120 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ por tres años consecutivos. Tejada (2010) por su parte determinó que la M.O sí incrementaba con la adición de vinaza en la capa de suelo de 0-20 cm, considerando que en dicha capa el suelo actuaba como un filtro para la materia orgánica. Así mismo Zérega et al. (2006),

tuvieron incrementos en el porcentaje de materia orgánica de 19–25%, con respecto a su testigo absoluto.

Estas diferencias entre los distintos investigadores están correlacionadas con el tipo de vinaza utilizada, las cuales tienen su diferencia en el material sólido presente en dicho residuo y a la vez en el número de aplicaciones realizadas en sus respectivos estudios. En relación con el contenido de carbonatos (Tabla 16) presentes en el suelo durante el ciclo de cultivo y según los diferentes tratamientos con distintas concentraciones de vinaza, se puede afirmar que los carbonatos no están influenciados por la adición de vinaza. No obstante Rodríguez et al. (1999) sí encontraron relación directa entre el contenido de carbonatos en el suelo y la concentración de vinaza aplicada.

P disponible

En cuanto al P disponible mostrado en la Tabla 17, los resultados concuerdan con lo encontrado por Gallego et al. (2012), donde indican que el fósforo en el suelo antes y después de la aplicación de vinaza no mostraron cambios estadísticos significativos; lo mismo desarrolló Angel y Menjívar (2008) en su trabajo, donde evaluaron cambios en fracciones de fósforo en los suelos Inceptisoles y molisoles, el cual al aplicar vinaza no lograron efectos significativos, esto debido a que los suelos de ensayo 60 mostraron una reserva adecuada en el tiempo de este nutriente. Sin embargo, en el estudio de Teixeira (2009), encuentra incremento de fósforo con la adición de $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en un perfil de

suelo de 0–5 cm, así mismo Pessoa et al. (2010) con aplicaciones de $150 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ por 10 años consecutivos.

Por último, Armengol et al. (2003), lograron prescindir de la fertilización mineral a base de fósforo y mantener los rendimientos agrícolas del cultivo de caña con aplicación de vinaza pura cuando aplicaron $150 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en un suelo Vertisol. Así como sucede con el K cambiante, en los resultados con el K disponible (Tabla 18) también se ve influenciada por la aplicación de vinaza en distintas concentraciones, debido a la alta concentración del nutriente en la composición de la vinaza, estos resultados están acorde con lo encontrado por Z. Jiang et al. (2012), donde después de 3 años de aplicación continua de vinaza en los campos de caña de azúcar aumentó el contenido de K disponible del suelo; así mismo Zérega et al. (2006), encontró resultados similares a pesar de aplicar sólo $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de vinaza, por su parte Quintero y Cadena (2004) sugirieron que la vinaza se podría utilizar a una dosis de $25 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ para el mantenimiento del contenido de potasio en el suelo sin afectar el contenido de sacarosa de los tallos moleaderos. Así también Da Silva et al. (2014) y Bueno et al. (1992) encontraron que la aplicación de vinaza eleva el K disponible del suelo, siendo aumentos proporcionales a las dosis aplicadas; caso contrario a los investigadores anteriormente mencionados, Gallego et al. (2012), no encontró diferencias estadísticas significativas.

El presente estudio no sólo proporciona la base para el uso de la vinaza como fertilizante en los campos agrícolas como fuente de potasio, sino también a reducir la contaminación ambiental impuesta por la eliminación de efluentes de la industria azucarera a la red de alcantarillado.

B disponible

Con respecto al B disponible mostrado en la Tabla 19, la adición de vinaza no causó incrementos en su contenido del suelo, dichos resultados concuerdan con lo encontrado por Silva (2010), donde aplicaciones de $150 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de vinaza no influenció en el aumento de este micronutriente, debido a ser un componente ligado a la estructura celular.

Así mismos estudios realizados por Teixeira (2009) no encontró valores de B superiores estadísticamente con la adición de vinaza al suelo. En la Tabla 20, se presenta los valores en Cu disponible cuyos resultados no evidenciaron una influencia favorable con la aplicación de diferentes concentraciones de vinaza, estos datos se ven sustentados con lo encontrado por Tejada (2010). Sin embargo, Pessoa et al. (2010) encontró efectos sobre el Cu, el cual después de 10 años de aplicación continua disminuía sobre un suelo Alfisol eutrófico. Esta diferencia posiblemente se debe al tiempo de estudio que fue solo un año.

Conclusiones

La concentración de vinaza en los suelos cultivados con *Saccharum officinarum* L. “Caña de azúcar” a partir de $60 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, incremento el contenido de Potasio disponible, Potasio cambiante y Manganeso disponible del suelo en todas las etapas del muestreo.

Entre los parámetros químicos del suelo evaluados en el presente ensayo, como son el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Materia Orgánica, carbonatos, macro y micronutrientes del suelo no tuvieron efectos estadísticos significativos al aplicar Tukey al 5%.

La conductividad eléctrica (C.E.) se ve incrementada a los pocos días de la aplicación (15 días), de vinaza con una concentración de 220 m.ha^{-1} con valor de 3.93 dS. m^{-1} , luego se estandariza el valor llegando a 0.55 dS. m^{-1} a los 270 días después de la aplicación de vinaza.

En el diagnóstico nutricional del cultivo a los 4 meses, se encontró que todos los macros y micro nutrientes a nivel foliar estuvieron dentro del rango SUFICIENTE a ÓPTIMO, demostrando una buena nutrición del cultivo incluso en el tratamiento del testigo el cual no tuvo aplicación de vinaza. Por lo cual se demostró que las diferentes concentraciones de vinaza no influenciaron en estos parámetros, a excepción del Fósforo foliar donde sí se encontró diferencias significativas cuando hubo mayor concentración de vinaza.

Conforme se verificaba las concentraciones, se demostró q a mayor concentración de vinaza aplicada, mayor fue la concentración de cloruros a nivel foliar, sin embargo, el valor más alto de cloruro encontrado fue de 0.35 %, cuyo valor estuvo por debajo de los niveles de toxicidad al cultivo.

Se demostró con la aplicación de vinaza, hubo un ligero efecto positivo en la variable agronómica del número de tallos por metro lineal, sin embargo, estadísticamente este resultado es muy significativo.

Referencias

- Alfaro, R., & Ocampo, R. (2013). Cambios Físico-Químicos provocados por la vinaza en un suelo Vertisol en Costa Rica. *Trabajo publicado por la Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIE-CA)*. <https://acortar.link/P3KrbD>
- Álvarez, A., García, R., Casares, I., & Jiménez, R. (2007). Posibilidades de aplicación de vinazas en suelos rojos de la mancha España. *Rev. Pilquen- Sección Agronomía*, 8(8), 1-16.
- Armegol, J., Lorenzo, R., & Fernández, N. 2003. Utilización de la vinaza como enmienda orgánica y su influencia en las propiedades químicas de vertisoles y en los rendimientos de la caña de azúcar. *Cultivos Tropicales*, 24(3), 67-71.
- Callejas, R., Silva, A., Peppi, C., & Seguel, Ó. (2014). Factibilidad agronómica del uso de vinaza, subproducto de la fabricación del pisco, como biofertilizante en viñedos. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas* 8(2), 230-241
- Da Silva A., Rosseto, R., Thorburn, P., Biggs, J., & Muraoka, T. (2013). Occurrence and simulation of nitrification in sugarcane vinasse applied to soil. *Proceedings International Sugar Cane Technologists*, 28, 1-10.
- Filho, F., Lima, J., Rocha, A. (2013). *Fertirrigación con vinaza: Alteraciones químicas del suelo y contaminaciones de aguas subterráneas*. [Congreso]. XIX Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centro América –ATACA. San José. Costa Rica.
- Gómez, J. (1995). Efecto de la vinaza sobre la producción de caña de azúcar bajo tres regímenes de fertilización mineral. *Bioagro*, 7(1), 22-28.
- González Chavarro, F., Cabezas Gutiérrez, M., Ramírez-Gómez, M., y Ramírez Durán, J. (2018). Curvas de absorción de macronutrientes en tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para panela, en la Hoya del Río Suárez. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 395–404. <https://doi.org/10.31910/ru-dca.v21.n2.2018.995>

- Guardia, L., y Ruiz, M. (2010). *Reutilización de vinazas producidas durante la destilación alcohólica*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Korndörfer, G., Nolla, A., & Gama, A. (2010). Manejo, aplicación y valor fertilizante de la vinaza para caña de azúcar y otros cultivos. *Técnica caña, Nota técnica*, 23-28.
- Leal, G., I., Chirinos, E., Leal, M., Morán, H., & Barrera, W. (2006). Caracterización fisicoquímica de la vinaza del Agave cocui y su posible uso agroindustrial. *Multiciencias*, 3(2). <https://produccioncientifica-luz.org/index.php/multiciencias/article/view/16580>
- Mite, J. (2005). *Curva de Absorción de Nutrientes del Cultivo de Caña de Azúcar en el Valle de Cantarranas, Compañía Azucarera Tres Valles, Francisco Morazán, Honduras*. [Tesis de grado, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5238>
- Quiroz Guerrero, I., & Pérez Vázquez A. (2018). Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, (5), 1069–1075. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i5.1313>
- Rossetto R., Vitti A.C., Dias F.L.F., Piemonte M., Silva A., Chopart J.L. (2013). *Vinasse enhances sugarcane roots in a sandy brazilian soil*. Brazilian Society of Sugar and Ethanol Technologists (STAB); XXVIIIth ISSCT Organising Committee. Proceedings of the XXVIII ISSCT (International Society of Sugar Cane Technologists) Congress, São Paulo, Brazil.



Religación
Press
Ideas desde el Sur Global



RELIGACIÓN
CICSHAL

Centro de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades
desde América Latina



Religación
Press

Vinaza

Evaluación de su impacto en un
campo de cultivo



ISBN: 978-9942-642-17-2



9 789942 642172