



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, Mayo 12 de 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Miguel Mauricio Castañeda Castañeda, con C.C. No. 7724904,
_____, con C.C. No. _____,
_____, con C.C. No. _____,
_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o Miguel Mauricio Castañeda Castañeda
titulado Evaluación agroambiental de vinazas de la industria azucarera
aplicadas como acondicionador del suelo en un cultivo de melón (Cucumis melo L.)

presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de
Magister en ingeniería y gestión ambiental;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EVALUACIÓN AGROAMBIENTAL DE VINAZAS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA APLICADAS COMO ACONDICIONADOR DEL SUELO EN UN CULTIVO DE MELÓN (CUCUMIS MELO L.)

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CASTAÑEDA CASTAÑEDA	MIGUEL MAURICIO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
TORRENTE TRUJILLO	ARMANDO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: MAGISTER EN INGENIERIA Y GESTION AMBIENTAL

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: MAESTRIA EN INGENIERIA Y GESTION AMBIENTAL

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022

NÚMERO DE PÁGINAS: 73

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Diagramas ___ Fotografías X Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general X Grabados ___
Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas
o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO: ANEXO A. Resultados física y química de suelos, ANEXO B. Microbiología de suelos, ANEXO C. Análisis tejido foliar, ANEXO D. Resultados parámetros físico-químicos vinazas con y sin aireación, ANEXO E. Resultados laboratorio agua de riego.

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Acondicionador suelo	Soil conditioner	6. Microorganismos eficientes	efficient microorganisms
2. Vinaza de caña	cane stillage	7. _____	_____
3. Abono orgánico	organic fertilizer	8. _____	_____
4. Cultivo melón	melon cultivation	9. _____	_____
5. Suelo	Soil	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Se estableció un cultivo de melón variedad Cantalupe disto 47 en el norte del municipio de Palermo – Huila, en clima cálido seco y suelo franco arenoso con el propósito de evaluar la efectividad de la vinaza de caña de azúcar como acondicionador del suelo. La vinaza es un residuo de la agroindustria en el proceso de obtención del alcohol carburante, la cual se somete a neutralización con dilución en agua, oxigenación, enriquecimiento con adición de sustancias orgánicas y minerales, microorganismos eficientes e inóculos entomopatógenos para su aplicación al suelo como mejorador de las características del suelo y el cultivo. Para tal efecto, se adecuó un área experimental de 40 m x 12 m con adición de cascarilla de arroz, 16 caballones de 10 m de longitud y espaciados 0,9 m, instalación de cinta de riego 14 mm y emisores cada 0.20 m. Se hizo un arreglo experimental completamente al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones, así: Testigo (T₁), Vinaza tratada validación (T₂), Vinaza tratada modificada (T₃) y Vinaza comercial deshidratada (T₄). Se interpretaron los resultados a través de estadística inferencial paramétrica a variables como índice de área foliar, biomasa, peso de frutos y rendimiento. También se determinaron características físico-químicas y microbiológicas del suelo. Finalmente se observaron mejores características físicas, químicas y microbiológicas del suelo en los tratamientos con vinaza, siendo el mayor rendimiento el T₃ con 15.7 ton/ha, seguido del T₂ con 13.4 ton/ha, luego el T₄ con 10.0 ton/ha y por último el testigo T₁ con 8.6 ton/ha.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Cultivation of melon variety Cantalupe disto 47 was established in the north of the municipality of Palermo - Huila, in a warm dry climate and sandy loam soil for the purpose of evaluating the effectiveness of sugar cane stillage as a soil conditioner. Stillage is a residue of the agro-industry in the process of obtaining fuel alcohol, which is subjected to neutralization with dilution in water, oxygenation, enrichment with the addition of organic and mineral substances, efficient microorganisms and entomopathogenic inocula for its application to the soil as Improver of soil and crop characteristics. For this purpose, an experimental area of 40 m x 12 m was adapted with the addition of rice husk, 16 ridges of 10 m in length and 0.9 m spaced, installation of 14 mm irrigation tape and emitters every 0.20 m. A completely randomized experimental arrangement was made with 4 treatments and 4 repetitions, as follows: Control (T1), Validation treated vinasse (T2), modified treated vinasse (T3) and commercial dehydrated vinasse (T4). The results were interpreted through parametric inferential statistics to variables such as leaf area index, biomass, fruit weight and yield. Physicochemical and microbiological characteristics of the soil were also determined. Finally, better physical, chemical and microbiological characteristics of the soil were observed in the vinasse treatments, the highest yield being T3 with 15.7 ton / ha, followed by T2 with 13.4 ton / ha, then T4 with 10.0 ton / ha and finally the control T1 with 8.6 ton / ha.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Néstor Enrique Cerquera Peña

Firma:

Nombre Jurado: Jennifer Katiusca Castro Camacho

Firma: Jennifer Katiusca Castro Camacho

**EVALUACIÓN AGROAMBIENTAL DE VINAZAS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA
APLICADAS COMO ACONDICIONADOR DEL SUELO EN UN CULTIVO DE
MELÓN (*CUCUMIS MELO L.*)**

MIGUEL MAURICIO CASTAÑEDA CASTAÑEDA
Ingeniero Agrícola
Especialista en Ingeniería Ambiental

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
NEIVA – HUILA
2022**

**EVALUACIÓN AGROAMBIENTAL DE VINAZAS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA
APLICADAS COMO ACONDICIONADOR DEL SUELO EN UN CULTIVO DE
MELÓN (*CUCUMIS MELO L.*)**

MIGUEL MAURICIO CASTAÑEDA CASTAÑEDA
Ingeniero Agrícola
Especialista en Ingeniería Ambiental

Proyecto de grado para optar el título de
MAGISTER EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

Director
ARMANDO TORRENTE TRUJILLO
Ingeniero Agrícola
Doctor en Ciencias Agrarias

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
NEIVA – HUILA
2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

DIRECTOR DE TESIS

Armando Torrente Trujillo
Doctor en Ciencias Agrarias

JURADOS:

Néstor Enrique Cerquera Peña
Ing Agrícola. M.Sc

Jennifer Katusca Castro Camacho
Ing Agrícola. M.Sc.

Fecha: Mayo 18 de 2022

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo a Dios TODO PODEROSO, quien que me ha dado la oportunidad de vivir y disfrutar este mundo de una manera sana, responsable y feliz, Sin Él, no podría culminar todo lo que me he propuesto en la vida.

A Sandy Cuellar Esquivel, mi esposa a quien amo con todo el corazón y se convirtió en el motor de mi vida.

A Edelmira Castañeda T., mi Madre, quien con su ejemplo, comprensión y sacrificio hicieron la persona que soy ahora.

A Olga Castañeda T. y María Edith Castañeda T. (Q.E.P.D), mis tías, quienes con su ejemplo de tenacidad, respeto, responsabilidad, gratitud, amor, desinterés y compromiso lograron enseñarme lo mejor que puede ofrecer un ser humano y que con orgullo transmitiré a mis hijos.

A Armando Torrente Trujillo, Doctor y Tutor, por su paciencia, dirección y asesoría en el desarrollo de esta investigación.

A la Ingeniera Laura Viviana Torrente Trujillo por el préstamo de las instalaciones y equipos del Laboratorio LAGSA para el montaje del experimento inicial y muestras finales de esta investigación.

A la Profesora Luz Elena Vargas Ortiz, M.Sc. en estadística y candidata a Doctorado en Ingeniería de la Universidad de Cartagena por sus valiosas orientaciones y aportes al tratamiento estadístico de la base de datos obtenidos en la presente investigación.

A la Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social de la Universidad Surcolombiana en cabeza de su Vicerrector (e) Hernando Gil por permitir que esta investigación sea un éxito.

A los amigos y resto de familiares que de una u otra manera contribuyeron al logro de tan importante propósito.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
SUMMARY	2
1. INTRODUCCION	3
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3. OBJETIVOS	8
4. MARCO TEORICO.....	9
4.1. El Cultivo de Melón.....	9
4.1.1. Descripción botánica del melón.....	9
4.1.2. Ciclo del cultivo de melón	11
4.1.3. Descripción de la vinaza comercial deshidratada	12
5. ESTADO DEL ARTE.....	14
6. METODOLOGIA	19
6.1. Localización.....	19
7. SELECCIÓN DEL CULTIVO	21
7.1. Preparación del Suelo.....	21
7.2. Establecimiento del Semillero	22
7.3. Estación Climatológica	23
7.4. Diseño Estadístico.....	24
7.5. Fertilizantes Utilizados.	27
7.6. Variables de Medición	28
7.6.1. Suelo.	28
7.6.2. Cultivo.....	29
7.6.3. Clima.....	29
7.6.4. Agua.....	29
8. RESULTADOS Y ANALISIS.....	30
8.1. Determinación de parámetros físico-químicos de la vinaza cruda.....	30
8.2. Determinación de parámetros físico-químicas de las vinazas de caña.....	33
8.3. Análisis ambiental.....	34
8.4. Caracterización del suelo	35
8.4.1. Física del suelo.....	35
8.4.2. Química del suelo.....	36
8.4.3. Microbiología de suelo.....	40
8.5. Análisis Estadístico de variables Peso de frutos, Biomasa, Área foliar y Rendimiento.	41

8.5.1.	Variable Peso.....	41
8.5.2.	Variable Biomasa.....	43
8.5.3.	Variable Índice de Área foliar.....	46
8.5.4.	Variable Rendimiento.....	47
8.5.5.	Efectos de la vinaza de caña en la planta de melón.....	49
8.6.	Producción de Biomasa.....	50
8.7.	Análisis Tejido Foliar.....	51
8.8.	Rendimientos y Producción.....	53
8.9.	Condiciones ambientales y manejo del agua.....	54
9.	CONCLUSIONES.....	55
10.	BIBLIOGRAFIA.....	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Características básicas fenotípicas de la planta de melón	10
Figura 2 Ciclo fenológico del cultivo de melón.....	12
Figura 3. Ubicación espacial e imagen satelital del área experimental en Palermo	20
Figura 4. Fruto del melón variedad Cantaloupe hibrido Edisto 47.....	21
Figura 5. Conformación del suelo para el cultivo de melón.....	22
Figura 6. Proceso germinativo de semilla de melón.....	23
Figura 7. Estación climatológica no convencional, garita meteorológica con instrumentación...	23
Figura 8. Área experimental caballoneada para la siembra de cultivo de melón	24
Figura 9. Estructura experimental aplicada a la investigación	25
Figura 10. Montaje y preparación de ensayos preliminares con vinaza de caña de azúcar	32
Figura 11. Nata de vinaza de caña de azúcar en probeta al 12.5 y 25% de dilución respectivamente.....	32
Figura 12. Estado del cultivo de melón en fase inicial de floración	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas del cultivo de melón en la investigación	12
Tabla 2. Composición de la vinaza comercial “Biorganik Manuelita”	13
Tabla 3. Tratamientos en el experimento con vinazas de caña.....	25
Tabla 4. Proceso para preparación de la Vinaza tratada validación (T ₂)	26
Tabla 5. Proceso para preparación de la Vinaza tratada modificada (T ₃).....	26
Tabla 6. Fuente y composición de fertilizantes aplicados	28
Tabla 7. Composición físico-química vinaza cruda de caña de azúcar	30
Tabla 8. Valores de pH de vinaza pura de caña de azúcar a diferentes concentraciones	32
Tabla 9. Parámetros físico-químicos de vinazas de caña tratadas con aireación y sin aireación .	33
Tabla 10. Comparativa de cumplimiento ambiental de parámetros de las vinazas de caña	34
Tabla 11. Caracterización física del suelo en el área experimental	35
Tabla 12. Análisis microbiológico del suelo, tratamiento de validación T ₂	40
Tabla 13. ANOVA para PESO	42

Tabla 14. Múltiples rangos Alfa del 90% LSD.....	43
Tabla 15. Prueba de Kruskal-Wallis para los tratamientos de vinazas	43
Tabla 16. Comparativo de las desviaciones estándar en Biomasa por Tratamiento	44
Tabla 17. ANOVA para BIOMASA por TRATAMIENTO	45
Tabla 18. Prueba de múltiples rangos para biomasa Alfa del 90% LSD	45
Tabla 19. ANOVA para Área Foliar en cultivo de melón por Tratamiento de vinaza	46
Tabla 20. Prueba Kruskal-Wallis para Índice de Área foliar por Tratamiento	47
Tabla 21. ANOVA para Rendimiento de melón por Tratamiento con vinaza de caña	48
Tabla 22. Prueba de múltiples rangos Alfa del 90% LSD	48
Tabla 23. Correlaciones entre variables evaluadas en cultivo de melón	49
Tabla 24. Contenido de elementos nutricionales en tejido foliar.....	51
Tabla 25. Concentración de elementos en las hojas consideradas adecuadas en varios países	52
Tabla 26. Evaluación cualitativa de elementos nutricionales en tejidos foliares de melón	53

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Variación del pH y la CE en el tratamiento de la vinaza cruda	31
Gráfica 2. pH y CE en el suelo con los tratamientos de vinaza de caña en cultivo de melón	37
Gráfica 3. Potasio y fósforo en el suelo con los tratamientos de vinaza de caña de azúcar en cultivo de melón.....	38
Gráfica 4. Materia orgánica y CIC en el suelo con tratamientos de vinaza de caña de azúcar en cultivo de melón.....	39
Gráfica 5. Distribución de los datos de la variable peso de fruto de melón.	42
Gráfica 6. Peso seco biomasa de melón por tratamientos con vinaza de caña	50
Gráfica 7. Rendimiento de melón bajo tratamientos con vinazas de caña.....	54

RESUMEN

Se estableció un cultivo de melón variedad Cantalupe disto 47 en el norte del municipio de Palermo – Huila, en clima cálido seco y suelo franco arenoso con el propósito de evaluar la efectividad de la vinaza de caña de azúcar como acondicionador del suelo. La vinaza es un residuo de la agroindustria en el proceso de obtención del alcohol carburante, la cual se somete a neutralización con dilución en agua, oxigenación, enriquecimiento con adición de sustancias orgánicas y minerales, microorganismos eficientes e inóculos entomopatógenos para su aplicación al suelo como mejorador de las características del suelo y el cultivo. Para tal efecto, se adecuó un área experimental de 40 m x 12 m con adición de cascarilla de arroz, 16 caballones de 10 m de longitud y espaciados 0,9 m, instalación de cinta de riego 14 mm y emisores cada 0.20 m. Se hizo un arreglo experimental completamente al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones, así: Testigo (T₁), Vinaza tratada validación (T₂), Vinaza tratada modificada (T₃) y Vinaza comercial deshidratada (T₄). Se interpretaron los resultados a través de estadística inferencial paramétrica a variables como índice de área foliar, biomasa, peso de frutos y rendimiento. También se determinaron características físico-químicas y microbiológicas del suelo. Finalmente se observaron mejores características físicas, químicas y microbiológicas del suelo en los tratamientos con vinaza, siendo el mayor rendimiento el T₃ con 15.7 ton/ha, seguido del T₂ con 13.4 ton/ha, luego el T₄ con 10.0 ton/ha y por último el testigo T₁ con 8.6 ton/ha.

Palabras Clave: Acondicionador suelo, vinaza caña, abono orgánico, cultivo melón, suelo, microorganismos eficientes.

SUMMARY

Cultivation of melon variety Cantalupe disto 47 was established in the north of the municipality of Palermo - Huila, in a warm dry climate and sandy loam soil for the purpose of evaluating the effectiveness of sugar cane stillage as a soil conditioner. Stillage is a residue of the agro-industry in the process of obtaining fuel alcohol, which is subjected to neutralization with dilution in water, oxygenation, enrichment with the addition of organic and mineral substances, efficient microorganisms and entomopathogenic inocula for its application to the soil as Improver of soil and crop characteristics. For this purpose, an experimental area of 40 m x 12 m was adapted with the addition of rice husk, 16 ridges of 10 m in length and 0.9 m spaced, installation of 14 mm irrigation tape and emitters every 0.20 m. A completely randomized experimental arrangement was made with 4 treatments and 4 repetitions, as follows: Control (T1), Validation treated vinasse (T2), modified treated vinasse (T3) and commercial dehydrated vinasse (T4). The results were interpreted through parametric inferential statistics to variables such as leaf area index, biomass, fruit weight and yield. Physicochemical and microbiological characteristics of the soil were also determined. Finally, better physical, chemical and microbiological characteristics of the soil were observed in the vinasse treatments, the highest yield being T3 with 15.7 ton / ha, followed by T2 with 13.4 ton / ha, then T4 with 10.0 ton / ha and finally the control T1 with 8.6 ton / ha.

Key Words: Soil conditioner, cane stillage, organic fertilizer, melon cultivation, soil, efficient microorganisms.

1. INTRODUCCION

La agricultura en el siglo XXI se enfrenta a múltiples retos: producir más alimentos y fibras a fin de alimentar a una población creciente con una mano de obra menor, así como más materias primas para un mercado de la bioenergía potencialmente enorme, y ha de contribuir al desarrollo global de los numerosos países en desarrollo dependientes de la agricultura, adoptar métodos de producción más eficaces y sostenibles y adaptarse al cambio climático (FAO, 2009).

En los sistemas de producción agrícola eficaces y sostenibles hoy, se insiste en el uso de insumos orgánicos limpios que promuevan la actividad biológica del suelo y contribuyan a mejorar la calidad del suelo, determinantes en la vida y salud del mismo. De la gama y gran diversidad de insumos agrícolas orgánicos conocidos y que son posibles utilizar bajo tratamientos previos, se tienen aquellos residuos líquidos que provienen de procesos agroindustriales de distintas especies vegetales, como son los llamados vinazas: vinaza de remolacha, vinaza de maíz, vinaza de café, vinaza de caña, etc.

En la producción del alcohol carburante o bioetanol se genera un residuo líquido final llamado vinaza de caña de azúcar; el cual ha constituido desde hace mucho tiempo, un grave problema debido a su elevado poder de contaminación ocasionado principalmente por su gran contenido orgánico; sin embargo, con la aplicación de tecnologías adecuadas se puede aprovechar su uso, reduciendo su afectación al medio ambiente (Conadesuca, 2016).

En este sentido, el grupo de investigación GHIDA adscrito a la Universidad Surcolombiana, acomete el proceso de validación de una patente de invención que se denomina: “Proceso de tratamiento de vinaza para generación de producto no contaminante con propiedades nutritivas y desinfectantes de suelo y planta, la cual pretende aplicarse como acondicionador de suelos agrícolas por sus ventajas comparativas como son, el mejoramiento en el rendimiento de cosecha, protección fitosanitaria en suelo y planta, la producción limpia y la sanidad vegetal. Esta invención pretende formular una composición de un fertilizante orgánico líquido, a partir de una novedosa mezcla de elementos microbiológicos, este último se encuentra dividida en dos inóculos. Por un lado, se incluye un inóculo de elementos microbiológicos que faciliten la asimilación de los nutrientes y la reducción de las pérdidas de dichos nutrientes esenciales llamados microorganismos eficientes (EM), y por otro lado se incluye un inóculo de elementos microbiológicos que incrementa la resistencia celular de la planta impidiendo el daño por plagas y enfermedades, y consecuentemente aumenta la cantidad y calidad de las cosechas. Por consiguiente, resulta necesaria la obtención de fertilizantes que integren en una sola composición, un conjunto de elementos que permitan mejorar las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo, que asegure además la nutrición edáfica y vegetal, y que adicionalmente reduzca las enfermedades recurrentes en el suelo y en la planta (tomado de Muñoz Asociados, 2019).

Esta investigación detalla las actividades y los aspectos relacionados con los tratamientos aplicados al suelo, el manejo de insumos y su control sanitario aplicados al cultivo de melón, como también las variables medidas del suelo y la plantación para evaluar sus respuestas. El enfoque apunta al manejo agroambiental favorable de las vinazas como producto acondicionador del suelo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien, el desarrollo industrial de un territorio puede inducir una fuerte reactivación socioeconómica y mejoras en la calidad de vida de la población, también es capaz de ocasionar importantes modificaciones del entorno y diversas formas de contaminación del aire, las aguas y los suelos, agotamiento de recursos naturales y su degradación.

Lo ya mencionado, influirá negativamente, de forma directa o indirecta sobre el bienestar, la calidad de vida y la salud de la población. Es así que debe realizarse un riguroso análisis científico dirigido a identificar y ponderar la magnitud y severidad de los posibles impactos ambientales y en la salud derivados de un proyecto de desarrollo y en consecuencia, la adopción de las medidas de prevención y control pertinentes, así los efectos negativos serán minimizados, en tanto sean maximizados los positivos, proceder denominado “evaluación de impacto ambiental (Suárez Tamayo & Molina Esquivel, 2014).

La presente investigación pretende determinar los efectos ambientales de un producto agroindustrial y sus posibles beneficios en los componentes suelo - planta, y responde a la siguiente pregunta de investigación: ¿Las vinazas diluidas enriquecidas y dosificadas mejorarán el rendimiento del cultivo y la calidad del suelo, sin afectar negativamente las características físicas y químicas del suelo?

La agricultura en el siglo XXI se enfrenta a múltiples retos: tiene que producir más alimentos y fibras a fin de alimentar a una población creciente con una mano de obra menor, así como más materias primas para un mercado de la bioenergía potencialmente enorme, y ha de contribuir a adoptar métodos de producción más eficaces y sostenibles, y adaptarse al cambio climático (FAO, 2009).

Es de esta manera que cuanto más se consume, más se contamina y el ser humano no se concientiza aun de los terribles perjuicios ambientales que acarrearán los malos hábitos de consumo y la poca conservación de los recursos naturales. De ahí que el ser humano dependa en cierta medida de los hidrocarburos y sus derivados, sin olvidar que en la combustión de los vehículos y en otras actividades, se liberan gases de efecto invernadero. Existe normatividad como la resolución 40437 de 2016 del Ministerio de Minas y Energía que busca mitigar dichos efectos a partir de la mezcla de la gasolina de motor (92%) y el alcohol carburante al (8%). Por consiguiente, se puede observar la importancia de la utilización del alcohol carburante como un producto que ayuda a la disminución de gases de efecto invernadero.

No obstante, en la producción del alcohol carburante o etanol se genera un residuo líquido final llamado vinaza; el cual, ha constituido desde hace mucho tiempo un grave problema debido a su elevado poder de contaminación, ocasionado principalmente por su gran contenido orgánico; sin embargo, con la aplicación de tecnologías adecuadas se puede aprovechar su uso reduciendo su afectación al medio ambiente (Conadesuca, 2016). La vinaza de caña de azúcar es un desecho extremadamente ácido, con un elevado contenido de materia orgánica disuelta y con un nivel de materia inorgánica superior al de otras vinazas procedentes de cereales o levaduras; razón por la cual, la vinaza de caña de azúcar es considerado un gran contaminante, el cual se está convirtiendo progresivamente en un problema determinante en las industrias procesadoras de alcohol (PyC Reina Ltda, 2018).

El problema con la vinaza como residuo de los procesos de obtención de etanol, se da por los altos niveles de contaminación del suelo, agua y medio ambiente, pues sus características impiden su vertimiento directo a las fuentes de agua, dada su elevada carga orgánica, sales minerales, altos valores en demanda química y biológica de oxígeno. La vinaza se destaca por su acción reductora que, por ser elevada, exige gran cantidad de oxígeno para descomposición de su materia orgánica, condición de alta nocividad cuando las vinazas son depositadas directamente en los cursos de agua (PyC Reina Ltda, 2018).

Son escasos los estudios 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 (Ortiz, 2017,pag 2).

La presente investigación representa un aporte al conocimiento y un avance científico en el sector agroindustrial y ambiental, y además se constituye en un soporte del proceso de validación de una patente institucional con múltiples beneficios hacia la regulación y aprovechamiento de un residuo líquido, denominado vinaza de caña de azúcar.

3. OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar la respuesta de las vinazas procesadas de la industria azucarera aplicadas al suelo con siembra de cultivo de melón (*cucumis melo L.*)

Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo en un cultivo de melón por la aplicación de vinazas procesadas.
- Determinar la relación entre la acumulación de biomasa y el rendimiento del cultivo de melón mediante el índice de área foliar.
- Analizar el efecto de la aplicación de vinazas procesadas en el suelo y en tejido foliar del cultivo de melón.

4. MARCO TEORICO

4.1. El Cultivo de Melón

4.1.1. *Descripción botánica del melón*

Es una hortaliza perteneciente a la familia de las cucurbitáceas, tipo fanerógamas por reproducirse por medio de semillas, subtipo angiospermas cuyo gineceo posee ovario y estigma y las semillas están encerradas en el fruto, clase Dicotiledóneas por disponer sus semillas de dos cotiledones, subclase Metaclamídeas o dicotiledóneas gamopétalas por tener periantio (corola) con las piezas soldadas por lo menos en la base, con flores pentámeras y de estambres insertos en ella. Su fruto en pepónide (baya grande) con fuerte pericarpio y placenta carnosa.

El melón es una planta herbácea, anual, rastrera o trepadora con zarcillos sencillos de 20-30 cm de longitud que nacen en las axilas de las hojas, junto a los brotes en formación. La raíz adulta de la planta de melón es pivotante con un sistema radicular secundario extenso que puede alcanzar hasta 1,5 m de profundidad, pero superficial en cultivos enarenados donde el agua y fertilizantes están muy próximos, no sobrepasando, generalmente los 50 cm de profundidad (Reche, 2008) (Figura 1).

Los tallos son sarmentosos, de colores verdes, flexibles y ramificados, de sección pentagonal, cuadrangular o cilíndrica en plantas jóvenes, blandas y recubiertas de débiles formaciones pelosas, (figura 1a). Por su crecimiento rastrero se desarrolla a ras del suelo, pero también trepador y con zarcillos caulinares que se aprovecha en algunas variedades para el cultivo en tutorado.

En el tallo principal se insertan las hojas de cuyas axilas brotarán las ramificaciones secundarias o hijos, y de estas surgen otras ramificaciones terciarias o nietos donde nacerán las flores femeninas, principalmente, portadoras de los frutos. Por su débil consistencia las plantas sin ayuda de tutores se tumban en el suelo, pudiendo alcanzar hasta los 2,5 m (Reche, 2008).

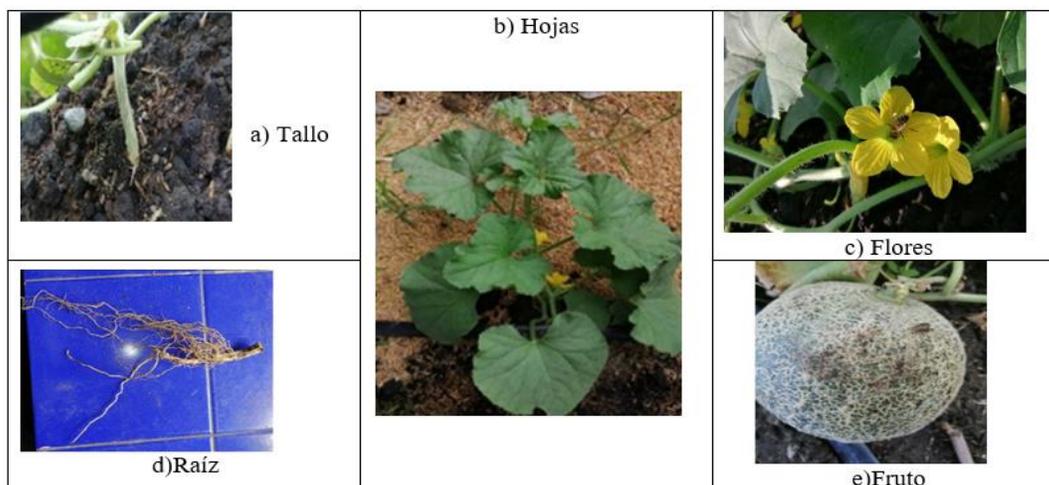


Figura 1 Características básicas fenotípicas de la planta de melón
Fuente: autor

Las hojas son pecioladas, palminervias, alternas, más o menos reniformes, redondeadas en plantas jóvenes y lobuladas, divididos en 3-5 lóbulos, con los bordes dentados pero no pronunciados, cubiertas de pelosidad y de tacto áspero. Las hojas se desarrollan en cada nudo del tallo junto a los zarcillos, pudiendo variar de color y tamaño dependiendo de unas variedades a otras. En las axilas de cada hoja con el tallo principal nacen los brotes de segundo orden (figura 1b).

En las axilas de las hojas nacen unas yemas que están protegidas por hojitas colocadas en forma imbricada. Estas yemas son floríferas y dan lugar a flores gamopétalas con periantio doble, (diploclamídeas), masculinas y femeninas, principalmente, dependiendo su aparición del ambiente y de la variedad cultivada.

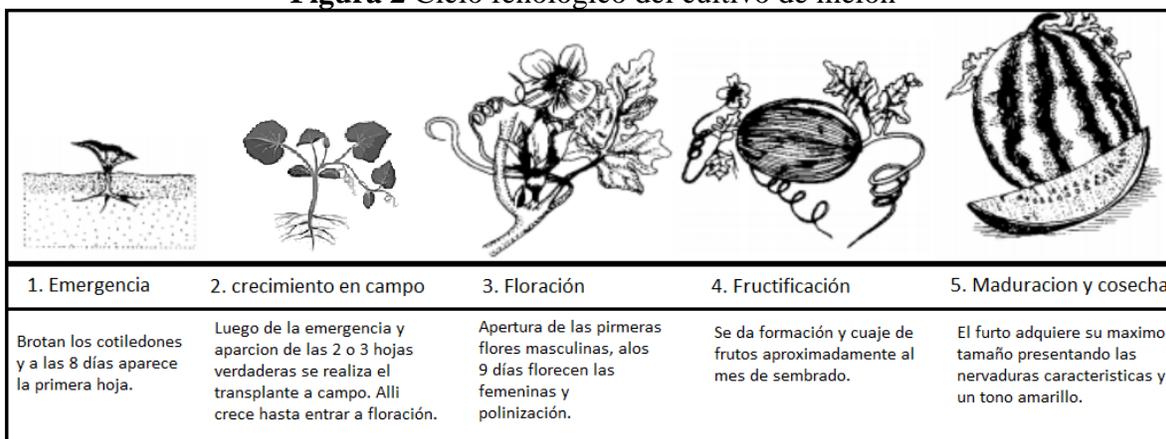
Estas últimas son las que, una vez polinizadas, darán origen al fruto, diferenciándose fácilmente, unas de otras, porque las femeninas poseen un ovario ínfero que se aprecia notablemente. Las flores del melón son de color amarillo, pedunculado y axilar. Todos los verticilos son concrecentes en su parte inferior donde están soldados con el ovario, apareciendo estos verticilos insertados por encima del ovario, es decir ovario ínfero tricarpelar y trilocular, adherente al cáliz o flores ínferovarieas (Reche, 2008).

La corola tiene forma de embudo con estambres muy cortos. Las flores femeninas, al igual que en la sandía, está formado el rudimento del futuro fruto (figura 1c). El fruto es una pepónide polimórfico, procedente de un ovario ínfero, cuya placenta muy desarrollada llega desde el eje hasta la pared carpelar, en cuyo interior se encuentran las semillas. La planta de melón se caracteriza por producir frutos de forma, tamaño y color de la piel y de la pulpa diversa. El fruto del melón (figura 1e) es una baya grande con placenta carnosa y epicarpio quebradizo, con rasgos muy diversos dependiendo de la variedad cultivada (Reche, 2008).

4.1.2. *Ciclo del cultivo de melón*

El ciclo del cultivo de melón está determinado por las condiciones climáticas de la zona y su periodo vegetativo comprende tres meses aproximadamente, dependiendo de la variedad de melón, en este caso la variedad Cantalupe ofrece cosechas en esos tiempos, que se inicia con la siembra en semillero, seguida de la germinación; posteriormente la formación de tres a cuatro hojas verdaderas y el trasplante a campo, con una duración aproximada de 15 días. El desarrollo de follaje y la fase reproductiva que incluye la etapa de floración (que se inicia a los 25 a 28 días después del trasplante), la formación y llenado de fruto hasta la madurez entre los 80 a 90 días para su cosecha (figura 2).

Figura 2 Ciclo fenológico del cultivo de melón



Fuente: (Yzarra Tito & López Ríos, 2011), modificado por el autor

En la tabla 1, se presentan las fases del cultivo de melón observadas en la presente investigación.

Tabla 1. Etapas del cultivo de melón en la investigación

Edad planta (días)	Características del cultivo
1-14 (1 y 2)	Crecimiento vegetativo en semillero
15-28 (3)	Crecimiento en campo y floración
29-63 (4)	Cuaje, llenado de fruto
64-80 (5)	Maduración y cosecha

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Descripción de la vinaza comercial deshidratada

Se utilizó como insumo de comparación, la vinaza comercial deshidratada “Manuelita Biorganik”, que es un producto de la caña de azúcar. Se recomienda como acondicionador de suelos y para la producción de diferentes tipos de fertilizantes orgánicos, que permiten mejorar la productividad de los cultivos mediante el aporte de nutrientes y mejoramiento de la carga orgánica en el suelo, es ideal para cultivos que requieran potasio (Manuelita S.A, 2017).

Se muestra la ficha técnica del producto elaborado por Ingenio Manuelita, el cual se utiliza como patrón de comparación (tabla 2).

Tabla 2. Composición de la vinaza comercial “Biorganik Manuelita”

Nitrógeno Total (N)	1.9%
Potasio Total (K ₂ O)	14.50%
Carbono orgánico oxidable	28.40%
Silicio Total (SiO ₂)	1.7%
Humedad	1.20%
pH en solución al 10%	5.54
Densidad real máxima	0.522g/cm ³
Capacidad de inter. Cationico CIC	273.35 meq/100
Salmonella spp ausencia /25 g	
Coliformes totales < 1.8 NMP/g	
Huevos de helmintos viables < 1 huevo/4g	
Metales pesados por debajo de límites establecidos en la norma	



Fuente: www.manuelita.com

5. ESTADO DEL ARTE

Son diversos los productos orgánicos utilizados como acondicionadores al suelo. La vinaza producida como un subproducto de la actividad agrícola, tiene diferentes alternativas para su reutilización, principalmente en la fertiirrigación, sin embargo su uso como fertilizante ha causado gran preocupación. En la actualidad, se aplica la vinaza en dosis bajas controladas en el sector agrícola como fertilizante para los cultivos, evitando problemas de contaminación al suelo, la planta y el agua, siguiendo el control y la regulación de las Corporaciones Ambientales.

En la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, se han adelantado algunas investigaciones sobre el transporte de solutos o desplazamiento miscible de la vinaza en el suelo realizados por (Becerra et al., 2009) , los cuales son imprescindibles para resolver algunos interrogantes en cuanto al tiempo de avance de ésta hacia las aguas subterráneas y el impacto ambiental que se genera. La investigación se constituye en un aporte importante hacia la comprensión de elementos conceptuales y metodológicos sobre el movimiento de la vinaza en el suelo, que permitan aportar al proceso y pautas para su adecuado uso y manejo. Se hizo una búsqueda en las bases de datos sobre el tema de la aplicación de las vinazas en la agricultura, para conocer los avances. También trabajos como los de Rosero et al., (2013) donde se estudió el efecto de la aplicación de vinazas sobre bacterias rizosféricas promotoras de crecimiento en un suelo y en relación con el rendimiento de habichuela (*Phaseolous vulgaris L.*).

(Narváez et al., 2010) evaluaron el efecto de la aplicación de vinaza en las propiedades químicas y la actividad de las fosfatasas ácidas y alcalinas de dos suelos del Valle del Cauca, Colombia (Typic Argiudoll y Fluventic Haplustoll) en condiciones controladas estableciendo 6 tratamientos y cinco repeticiones distribuidas completamente al azar en un cultivo de maíz.

Este estudio sirvió como base para el establecimiento del diseño experimental de la presente investigación.

Una investigación interesante fue la desarrollada por (Bohórquez et al., 2015) en ingenio Río Paila -Castilla Valle del Cauca , Colombia , ya que tuvo como objetivo evaluar la calidad del compost elaborado con diferentes combinaciones de subproductos del proceso de molienda de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*). Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Esta investigación logró demostrar que la relación carbono nitrógeno inicial de las mezclas es fundamental para obtener la mejor calidad del compost.

Las vinazas siguen teniendo muchas aplicaciones en el campo agrícola, es así como un estudio de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira desarrollado por (Montenegro Gómez et al., 2014) evaluaron la aplicación de vinaza y potasio sobre la estructura de comunidades bacterianas de maíz dulce (*Zea mays*) en un Entic dystropept y en un Fluventic haplustoll del Valle de Cauca, Colombia, siguiendo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, concluyendo que existe similaridad de comunidades bacterianas en estos tratamientos donde la vinaza como el KCl fueron aplicados para suplir el 100% de la fuente de potasio.

En la Universidad de Almería en España se evaluó el efecto biosida de tres vinazas agroindustriales: vinaza de remolacha azucarera, vinaza de caña de azúcar y vinaza de uva; además se estudió su incidencia en las poblaciones de *Fusarium* de varios suelos. Los resultados muestran que la vinaza procedente de la caña de azúcar no logró inhibir el desarrollo total de micelios de los hongos fitopatógenos. Así mismo, no se logró demostrar el efecto sobre el crecimiento de *Pythium*, donde hubo un crecimiento máximo de hongos para todas las concentraciones probadas (Santos *et al.*, 2008).

La evaluación ecotoxicológica de la vinaza es extremadamente importante para estudiar los posibles efectos sobre el medio ambiente. La toxicidad potencial de la vinaza de la caña de azúcar y la naranja fue evaluada mediante bioensayos con *Allium cepa* como organismo de prueba con dos diluciones de vinaza (2.5 y 5%). Los resultados mostraron que ambos tipos de vinaza son capaces de inducir aberraciones cromosómicas en células meristemáticas, principalmente puentes nucleares y anafásicos, lo que sugiere un potencial genotóxico. La inducción de micronúcleos en células de la región F1, sugiere que los dos residuos tienen potencial mutagénico. Por lo tanto, se recomienda precaución al aplicar estos efluentes al medio ambiente (García et al., 2017).

En la Universidad de Carabobo en Venezuela, se evaluó el efecto de la vinaza de caña sobre algunos parámetros fisicoquímicos del suelo y algunas variables biométricas del cilantro (*Coriandrum sativum*). Para ello, se caracterizó la vinaza al 20% v/v y se evaluó su efecto a diferentes dosis de aplicación en suelo de textura franco arenosa, pH ligeramente ácido (6,05), baja CE (60 μ S/cm) y baja CIC. La adición de vinaza al suelo disminuyó el pH, aumentó el contenido de MO, la CIC y la CE. El nitrógeno, calcio y magnesio disponibles en el suelo aumentaron después de la aplicación de vinaza al 20% v/v. La germinación de *C. sativum* disminuyó con la aplicación de vinaza, y las concentraciones superiores a 50% v/v, la inhibieron. La biomasa aérea y radical aumentó en todos los tratamientos con vinaza. Se concluye que a excepción de la germinación, las dosis de vinaza evaluadas poseen un efecto favorable en el desarrollo vegetativo del cilantro, pero dosis mayores pueden salinizar y acidificar el sustrato generando un impacto negativo en el suelo (Anelisa, 2017).

La composición de vinaza líquida se caracteriza por una alta variabilidad de compuestos orgánicos, pH ácido (4.7), alta concentración de TDS (117,416–599,400 mg L⁻¹) y CE elevada (14,35–64,09 μS.cm⁻¹) (Ortegón *et al.*, 2016), y quienes manifiestan que el fuerte efecto de La Niña sobre la recarga de los acuíferos podría diluir el agua infiltrada durante el período de monitoreo y, producir la disolución de las posibles sales precipitadas, así mismo observaron un ligero aumento en la concentración de iones principales en el agua subterránea (5% de TDS), atribuida a una combinación de factores como la dilución de la vinaza producida por el aporte de agua y los procesos hidroquímicos junto con la eliminación de nutrientes producida por la absorción de la caña de azúcar.

La composición de la vinaza está caracterizada por contenidos de sólidos totales que oscilan entre el 10 y 55%, y exhibe altos contenidos de materia orgánica, potasio, calcio y cantidades moderadas de fósforo y nitrógeno (Sarria & Preston, 1992), por lo tanto, pueden ser empleada como fertilizante orgánico complementando las necesidades de los cultivos o como enmienda química en suelos afectados por sales y/o sodio. 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”, lo cual hace necesario disponer de información confiable que contribuya a la interpretación de los fenómenos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo por efectos de su aplicación. Tomado de (Becerra *et al.*, 2009).

En el Valle del Cauca, (Ortiz, 2017a) evaluó en un suelo Inceptisol, la vinaza como fertilizante líquido en la productividad del cultivo de caña de azúcar durante seis años y las variables evaluadas fueron TCH (tonelada caña-hectárea) y TAH (tonelada azúcar-hectárea).

Se concluyó que el uso de la vinaza contribuye significativamente a incrementar en un 27,7% la actividad biológica (CO₂) en el suelo, además la productividad en la parcela fertilizada con vinaza resultó mayor que la parcela control.

Las investigaciones sobre vinaza de entidades como el ICA, la Universidad Nacional de Colombia y Sucromiles han demostrado la utilidad del uso de las vinazas en la recuperación de suelos salinos especialmente afectados por alta saturación de sodio, destacándose la rapidez y eficiencia del proceso (García Carlos A Rojas C, 2002).

Según estudios realizados en la década de 1980, una refinería de tamaño medio producía 106L etanol/año. Simultáneamente al aumento de la producción de vinaza, se han propuesto usos alternativos. En el pasado, se vertían cantidades considerables de vinaza en los cuerpos de agua, lo que provocaba graves problemas de contaminación (Santos et al., 1981; Demattê et al., 2004). Los investigadores han centrado la atención en encontrar usos y tratamientos adecuados para la vinaza. Como resultado se han propuesto algunas alternativas, como el reciclaje de vinaza en fermentación, fertirrigación, concentración por evaporación, producción de levadura, producción de energía y materia prima para la elaboración de alimentos para ganado y aves (Robertiello, 1982). Citado por (Urbano, Fontanetti, Christofolletti, Escher, & Correia, 2013)

La vinaza ha demostrado interesantes posibilidades en la agricultura campo como promotor del crecimiento. Los experimentos de campo en el cultivo de maíz revelaron que la aplicación de efluentes de destilería resultó en un aumento del área foliar, un mayor contenido de clorofila, actividad de nitrato reductasa, peso seco total y rendimiento de grano (Hoarau, Caro, Grondin, & Petit, 2018).

6. METODOLOGIA

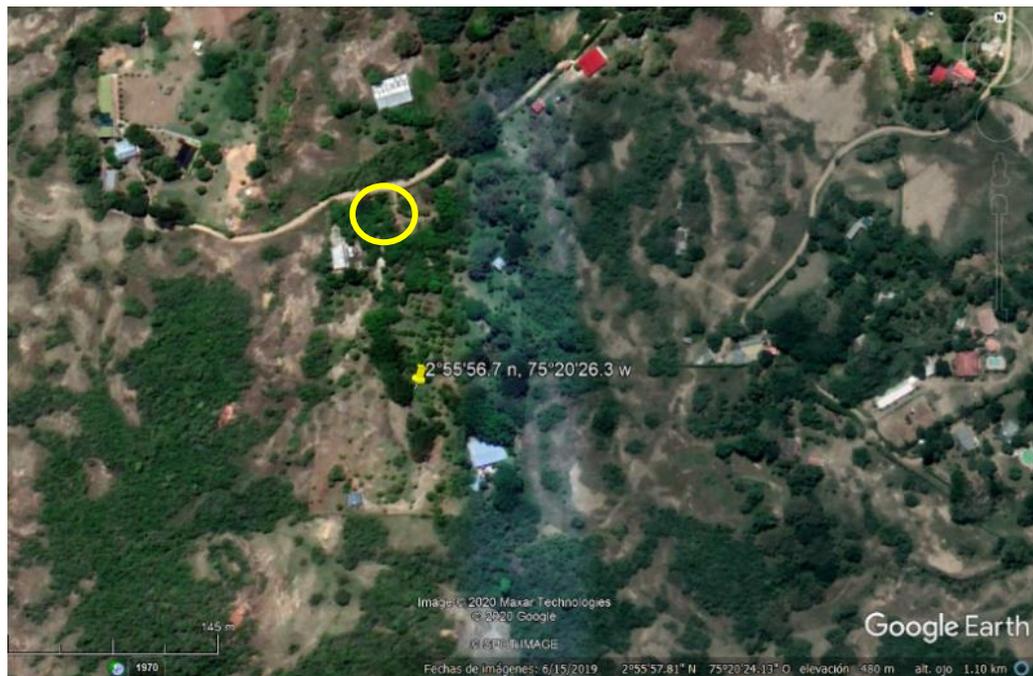
6.1. Localización

El área experimental se localiza al norte del municipio de Palermo a 6 km de la ciudad de Neiva, capital del departamento del Huila – Colombia, cuyas coordenadas y elevación son: 02° 55'58.2" N, 75° 20' 24.8" W y 496 msnm. La zona de vida es bosque seco tropical, el clima es cálido seco con lluvias de carácter bimodal y dos periodos secos precedidos por periodos de lluvia, coincidiendo el tiempo de la investigación a una fase de transición hacia el primer periodo de lluvias del año.

El balance hídrico anual es deficitario, ya que la precipitación media anual es de 1380 mm y la evaporación media anual es de 2190 mm, lo que define el clima seco, la temperatura media es de 28°C, la humedad relativa del 70%, los vientos son escasos y con dirección cruzada sur – norte. Son frecuentes las temperaturas superiores a los 37°C entre las 1 y 3 pm, lo que determina la necesidad básica de implementar sistemas de riego localizado de alta frecuencia para el mantenimiento de cultivos en la zona y mantener las coberturas arbóreas para mitigar las altas temperaturas diarias.

Se seleccionó el área experimental en un suelo Entisol arenoso cuya topografía es ligeramente inclinada en dos sentidos (E-W 3% y N-S 2%), presencia de vegetación arbórea con baja densidad perimetral y abastecimiento de agua por gravedad a partir de un tanque de almacenamiento localizado a 50 m del área; se tiene vía de acceso vehicular como cercanía a ciudad de Neiva siendo factores determinantes favorables para la asistencia constante al cultivo (Figura 3).

Figura 3. Ubicación espacial e imagen satelital del área experimental en Palermo



Tomada de Google earth

7. SELECCIÓN DEL CULTIVO

Se determinó por factor tiempo y recursos, escoger una plantación de ciclo corto del grupo de las hortalizas, eligiendo como mejor opción el melón, por las características ya mencionadas, su apetencia actual en el mercado regional y nacional, y la bondad para medir distintas variables, especialmente sus frutos por tamaño y volumen de rendimientos, factores determinantes para el proyecto. Otro factor importante fue la adaptación del cultivo al clima y suelo del área experimental seleccionada para la presente investigación. Se seleccionó melón variedad Cantalupe híbrido Edisto 47 de buen desarrollo foliar, alta adaptación y frutos reticulares, pulpa de color salmón oscuro, frutos de 6 a 7 pulgadas, con alta resistencia a enfermedades, el cual se cosecha aproximadamente a los 95 días de sembrado (figura 4).

Figura 4. Fruto del melón variedad Cantaloupe híbrido Edisto 47



Fuente: Impulsemillas.com

7.1. Preparación del Suelo

Se realizó la labor de preparación del suelo mediante labranza para mejorar las propiedades físicas del suelo, mediante la conformación de una capa arable de aproximadamente 25 cm de profundidad. El suelo arenoso del sitio, se mezcló con tierra negra, se le adicionó cascarilla de arroz y se neutralizó con cal viva. Se levantaron caballones de 30 cm sobre la

superficie del suelo con largo de 10 m, ancho y espaciamentos de 1 m. La siembra se hizo por trasplante del cultivo de melón sobre la cresta del caballón con distancia de 0,5 m (figura 5).

Figura 5. Conformación del suelo para el cultivo de melón



El encalado consistió en incorporar al suelo cal para neutralizar la acidez del mismo, es decir para que el pH alcance un nivel ideal para el desarrollo normal del cultivo y al mismo tiempo reduzca el contenido del aluminio y manganeso tóxico. Se hizo el encerramiento del área experimental y colocación de malla tipo galpón de 1,50 m de altura con el fin de darle protección al cultivo.

7.2. Establecimiento del Semillero

Se estableció un semillero con sustrato a base de turba especial para germinación, se aplicó riego diario para mantener la humedad del semillero a la capacidad de campo, y se fertilizó con una solución de Urea al 5%, hasta obtener plántulas con 3 pares de hojas listas para el trasplante a los 15 días. La semilla de melón Edisto (Cantaloupe) 47 variedad utilizadas presentan especificaciones de buen desarrollo foliar, alta adaptación, con frutos reticulares, pulpa de color salmón oscuro, frutos de 6 a 7 pulgadas, resistencia a enfermedades y cosecha aproximada a los 95 días de sembrado.

La emergencia se dio a los 8 días con presencia de dos cotiledones y 95% de germinación. Las dicotiledóneas son una clase de plantas fanerógamas angiospermas, cuyos embriones salen de las semillas y presentan dos cotiledones u hojitas iniciales (figura 6).

Figura 6. Proceso germinativo de melón: a) siembra de semillas, b) riego del germinador, c) germinación.



Fuente propia

7.3. Estación Climatológica

Se instaló una estación climatológica no convencional adyacente al área experimental con los siguientes instrumentos: Pluviómetro, tanque evaporímetro, geotermómetro, garita meteorológica que contiene termómetro del aire, termómetro de máxima y mínima e higrómetro. Se recolectaron datos diarios de los elementos del clima a las 7 am (Figura 7).

Figura 7. Estación climatológica no convencional y garita meteorológica con instrumentación



Fuente propia

7.4. Diseño Estadístico.

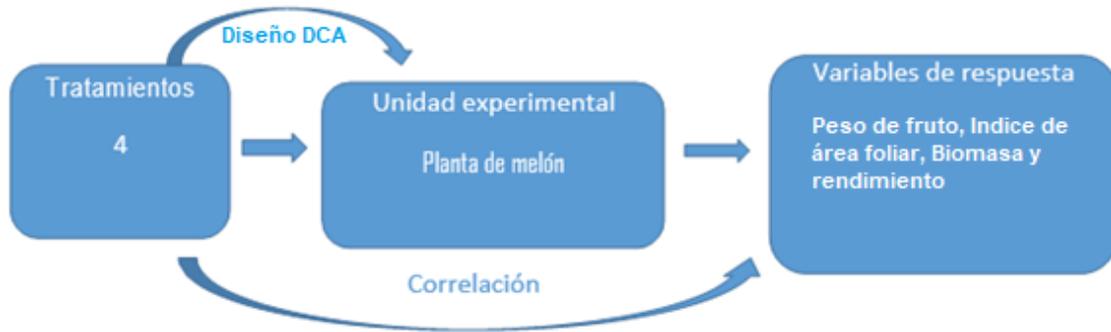
Se aplicó el método científico basado en la observación dirigida con un diseño experimental completamente al azar, teniendo en consideración que el área experimental posee ligeras pendientes y sombrero parcial (figura 8). La estructura del experimento se basa en estímulos aplicados a las unidades experimentales para obtener las variables de respuesta; en el presente caso los estímulos corresponden a vinazas modificadas y comerciales para un total de 4 tratamientos. La unidad experimental corresponde a la planta de melón y las variables respuesta se expresan mediante las características medibles del suelo y la plantación.

Figura 8. Área experimental con caballones para la siembra de cultivo de melón



Las especificaciones del experimento son las siguientes: Diseño experimental completamente al azar (DCA), 4 tratamientos y 4 repeticiones, área experimental con 16 caballones, a cada caballón se asignó un tratamiento con 20 plantas, siendo la unidad experimental la planta de melón, para un total de 320 plantas con espaciamiento entre plantas de 0.5 m (figura 9).

Figura 9. Estructura experimental aplicada a la investigación



La preparación de la vinaza siguió el protocolo de tratamiento para generación de producto no contaminante con propiedades nutritivas y desinfectantes de suelo y planta de “muñoz abogados” (www.munozab.com), documento presentado para la acción jurídica de patentamiento que reposa en la Vicerrectoría de Investigaciones y Proyección Social de la Universidad Surcolombiana. En la tabla 3 se describen los tratamientos asignados al experimento.

Tabla 3. Tratamientos en el experimento con vinazas de caña

TRATAMIENTO	DENOMINACION	COMPOSICIÓN
T ₁	Testigo	Blanco
T ₂	Vinaza tratada validación	Vinaza de caña de azúcar, minerales, MO, EM, inóculos
T ₃	Vinaza tratada modificada	Vinaza de caña de azúcar, minerales, MO, EM, inóculos (variación en las proporciones)
T ₄	Vinaza comercial deshidratada	Dilución al 5%

MO materia orgánica, EM microorganismos eficientes. Fuente Propia

Las vinazas T₂ y T₃ se prepararon a partir de insumos de origen orgánico y mineral. El insumo base para estos dos tratamientos, es la vinaza cruda cuyo origen es el Ingenio Providencia en Cerrito, Valle del Cauca.

Se agregaron correctores de pH como serpentina, yeso agrícola y cal viva; la adición de materiales orgánicos como: lombricompost, gallinaza y extractos húmicos; la incorporación de EM e inóculos, además de enriquecimiento con Triple 15 y Agrimins granulado. Con estos últimos ingredientes se pretende controlar los patógenos para un ambiente edáfico sano y suministrar los nutrientes básicos para las plantas. En el proceso de preparación de las vinazas para su aplicación, se siguió la descripción de la patente USCO, la cual es flexible en la obtención de sus productos (tablas 4 y 5).

Tabla 4. Proceso para preparación de la Vinaza tratada validación (T₂)

PROCESO	ESPECIFICACIONES	Dosis
Dosificación	Vinaza cruda 2 + agua 4 (relación 33% v/v)	6 L
Agitación	60 rpm + aireador/24hr	
Adición corrector	Serpentina + yeso + cal viva (pH = 9,8)	(2,7+4+0,5) kg
Adición MO	Lombricompost + gallinaza (relación 1:1) + 100 cm ³ extractos húmicos	2 kg
Adición EM	Microorganismos eficientes (pH = 10)	0,5 L
Medición a 12 h	pH = 6.5, DQO – DBO reducción 90%	
Inoculación	<i>Trichograma, Bauviera, Metarihizium, Fascilomices</i>	60 g/20 L
Mineral síntesis	Triple 15 + Agrimins granulado (relación 1:1)	0,8 kg

Fuente: propia

Tabla 5. Proceso para preparación de la Vinaza tratada modificada (T₃)

PROCESO	ESPECIFICACIONES	Dosis
Dosificación	Vinaza cruda 2 + agua 4 (relación 33% v/v), pH= 2,8	6 L
Agitación	60 rpm + aireador /24 hr	
Adición corrector	Cal viva, pH = 10,2	1 kg
Adición MO	Ceagrocompost + 100 cm ³ extractos húmicos	3 kg
Adición EM	Microorganismos eficientes, pH = 9,6	0,5 L
Medición a 12 h	pH = 9,6, DQO – DBO reducción 90%	
Inoculación	<i>Trichograma, Bauviera, Metarihizium, Fascilomices</i>	60 g/20 L
Mineral Síntesis	Triple 15 + Agrimins granulado (relación 1:1)	1 kg

Fuente: propia

Cada semana se aplicaron a los T2 y T3, microorganismos eficientes (EM), este producto comercial fue adquirido a la Fundación FUNDASES del Minuto de Dios y se realizaron las fertilizaciones complementarias y las mediciones de las variables suelo, planta y clima. Los EM fueron dosificados en la mezcla a aplicar a los tratamientos mencionados así: *Lactobasillus casei* $1.0 \cdot 10^6$ UFC/ml, *Sacharomyces serevicesae* $2.0 \cdot 10^6$ UFC/ml y *Rhudoseudomonas palustris* $2.5 \cdot 10^6$ UFC/ml. Además se adicionaron microorganismos efectivos como inóculos para controlar nematodos, hongos e insectos, estos contienen *Phaecilomyces lillaconus* (hongo entomopatógeno) *Trichoderma asperellum* (hongo antagonista), *Metarihizium anisopoliae* (hongo entomopatógeno) y *Bauveria bassiana* (hongo entomopatógeno). El tratamiento de melón con vinaza comercial deshidratada (T₄), se aplicó con dilución en agua al 5%, es decir proporción de 0,5 lb de vinaza en 10 litros de agua (pH = 3,7- 4).

7.5. Fertilizantes utilizados en la investigación

Consideradas las vinazas como enmiendas al suelo, se suministró un plan básico de fertilización con productos comerciales de presentación granulada y líquida (tabla 6). La fertilización inicial en el área experimental de cultivo se hizo con Triple 15 y Agrimins granulado en dosis de 20 g/planta, a mitad de periodo vegetativo se aplicó Urea más Surcafor, y a partir de los 50 días se aplicó por vía foliar la mezcla de Humus Reina, Agrimins inicio, Zn fértil y B fértil. Este plan de fertilización se aplicó a todos los tratamientos por igual para no alterar los resultados de las variables de respuesta.

Tabla 6. Fuente y composición de fertilizantes aplicados

Fertilizantes granulados			Fertilizantes líquidos			
Triple 15	Agrimins Granulado	Surcafor	Humus reina	Agrimins inicio	Zn fértil	B fértil
Nt 15%	Nt 8%	P ₂ O ₅ 9,64%	Nt 70,54 g/l	Nt 200 g/l	Nt 40 g/l	K ₂ O 40 g/l
P ₂ O ₅ 15%	P ₂ O ₅ 5%	CaO 30,3%	K ₂ O 191 g/l	MgO 2,5 g/l	Zn 100 g/l	B 145 g/l
K ₂ O 15%	CaO 18%	Mg 3,04%	MO 136,5 g/l	S 5 g/l		
	MgO 6%	S 4,28%	Cox 79,2 g/l	B 0,3 g/l		
	S 1,6%	SiO ₂ 9,48%	AH 122,3 g/l	Cu 0,25 g/l		
	B 1%	COg 6,43%		Fe 1 g/l		
	Zn 2,5%			Mn 0,55 g/l		
	Cu 0,14%			Zn 1,6 g/l		
	Mo 0,005%					

Fuente. Elaboración propia

VINAZA: Se prepararon tres (3) vinazas de caña de azúcar: Vinaza tratada validación (T₂), Vinaza tratada modificada (T₃) y vinaza comercial deshidratada(T₄), haciendo énfasis en que la vinaza de validación para la patente es la T₂. Las variables evaluadas fueron: pH, conductividad eléctrica, densidad, nitrógeno total, carbono orgánico, potasio soluble, fósforo soluble, calcio, magnesio, azufre total, materia orgánica, sílice, DBO₅, DQO y SST. En cuanto a la vinaza comercial, se tomó la información de la ficha técnica del Ingenio Manuelita, proveedor de este insumo.

7.6. Variables de Medición

Se midieron durante el desarrollo del cultivo las variables del suelo, agua de riego, condiciones ambientales (clima) y características morfológicas del cultivo así:

7.6.1. Suelo.

Se midieron las variables de humedad gravimétrica (sensor Echo – EC5 y ajuste con regresión lineal), conductividad eléctrica y temperatura (Equipo Procheck).

Estas variables se midieron en el espacio y tiempo para el control del riego y la adecuación del área. Así mismo se hizo el análisis físico y químico del suelo para su preparación y la disponibilidad de nutrientes para la formulación del plan de correctivos y nutrimentos a suplir.

Se determinó la curva de secado natural del suelo, sometiendo este a exposición de las condiciones ambientales para calcular la humedad gravimétrica (Hg) diaria.

7.6.2. Cultivo.

Se midieron las variables de altura de tallo, número de hojas, largo y ancho de hojas para determinación del índice de área foliar, número de flores, número de frutos, peso y tamaño. Estas variables permitirán evaluar las diferencias en los procesos vegetativos de la plantación.

También se hizo análisis de tejido foliar y biomasa. En cosecha se tomaron datos foliares para caracterización de tejidos y establecimiento de correlaciones entre suelo y planta.

7.6.3. Clima.

Se hizo lectura diaria (7 am) en el sitio de los siguientes elementos del clima: temperatura media diaria (termómetro de mercurio), temperatura máxima y mínima diaria (termómetros de máxima y mínima de mercurio), temperatura superficial del suelo (geotermómetro), humedad relativa del aire (higrómetro), evaporación (tanque) y precipitación (pluviómetro tipo Hellman).

7.6.4. Agua.

Se hicieron los análisis de calidad del agua de riego: pH, CE, cationes y aniones presentes en el agua de riego (Laboratorio Agroanálisis). Anexo E

8. RESULTADOS Y ANALISIS

8.1. Determinación de parámetros físico-químicos de la vinaza cruda

La vinaza cruda de caña de azúcar utilizada en la investigación presentó las siguientes características: pH = 4.28, DBO₅= 456.0 mg/l, DQO = 668.0 mg/l y solidos suspendidos totales (SST)=24.2 g/l. A partir de esta vinaza cruda como insumo extremadamente acido, se procedió a la preparación de los tratamientos T₂ (Vinaza validación) y T₃ (Vinaza modificada), las cuales se sometieron a monitoreo del pH y la conductividad eléctrica, durante 4 semanas consecutivas (tabla 7, Graficas 1 y 2).

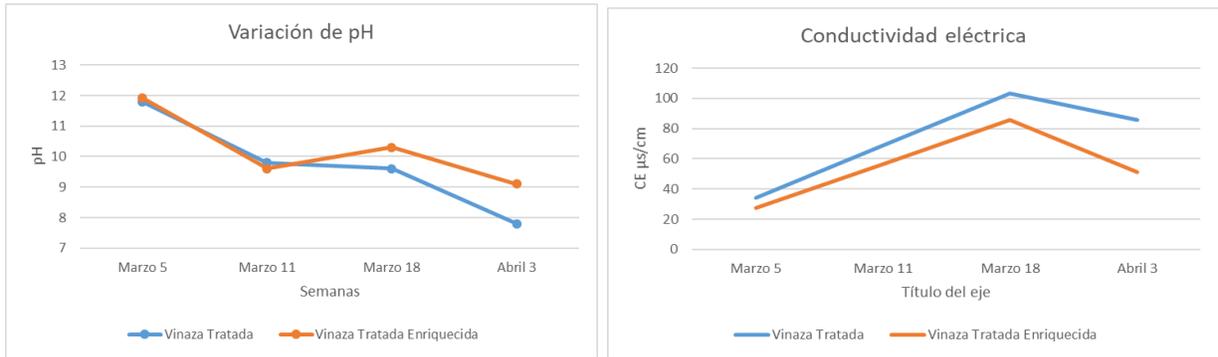
Tabla 7. Composición físico-química vinaza cruda de caña de azúcar

PARAMETRO	pH	Conductividad Eléctrica (µs/cm)	Densidad (gr/cm ³)	Nitrógeno Total (g/l)	Carbono Orgánico (g/l)	Potasio Soluble (g/l)	Fósforo Soluble (g/l)	Calcio (g/l)	Magnesio (g/l)	Azufre Total (g/l)	Materia Orgánica (g/l)	Silice (g/l)
Valor	4.28	31.8	1.16	12.0	20.0	8.5	10.5	15.0	2.5	1.5	43.0	0.15

Nota: Fuente Laboratorio Agroanálisis

Según (Ibarra et al., 2018), todo residual (mosto) que disminuya el pH a valores menores que 6 o lo aumente sobre 7, se considerará como perjudicial para el medioambiente. Como se observa en la gráfica 1, se logró estabilizar el pH a valores cercanos a la neutralidad, lo que puede favorecer la asimilación de nutrientes hacia la planta. Existe un incremento de la conductividad eléctrica en las primeras 3 semanas, pero esta decrece en la última semana de medición. Lo anterior concuerda con Gasca et al., 2011, quien menciona que el menor valor de C.E en la vinaza implica mayor dilución y por tanto efectividad en la conductividad hidráulica para facilitar el flujo en el suelo, situación contraria sucede con el incremento de la C.E., ya que esto favorece la acumulación de sólidos, lo que induce sellamiento de la superficie, reducción significativa de la conductividad hidráulica y en consecuencia de la permeabilidad del suelo.

Gráfica 1. Variación del pH y la CE en el tratamiento de las vinazas crudas tratadas



También es importante mencionar que, para la determinación de las proporciones de dilución en agua, estas se fundamentaron en ensayos experimentales preliminares, en los que se midió el pH a diferentes diluciones en agua destilada y así determinar la concentración óptima para el crecimiento de los microorganismos (figura 11). Los valores de pH y temperatura fueron medidos con potenciómetro.

Se analizaron 4 concentraciones de vinaza así: vinaza cruda 100%, al 75%, 50%, 25% y 12.5 % de dilución en agua destilada. Esto con el objetivo de determinar la incidencia del agua destilada en la variación del pH de la vinaza cruda en un periodo de 2 semanas. En la tabla 8, se muestran los datos de pH y temperatura a las concentraciones mencionadas. Se evidencia un ligero incremento en los valores de pH a medida que disminuye la pureza de la vinaza, pero no es significancia estadística.

Figura 10. Montaje y preparación de ensayos preliminares con vinaza de caña de azúcar



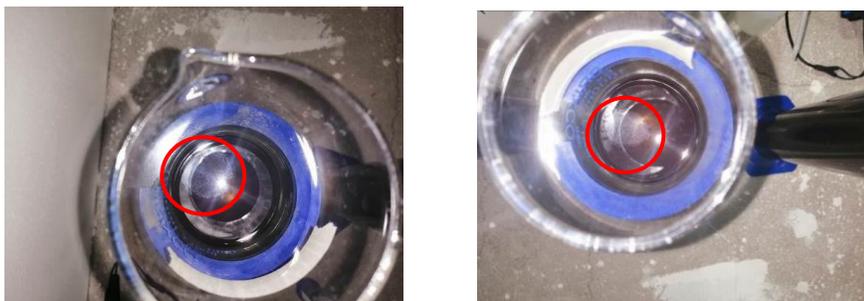
Tabla 8. Valores de pH de vinaza pura de caña de azúcar a diferentes concentraciones

Concentración Vinaza	TOMA 1	
	pH	Temperatura °C
PURA	4.16	30.0
Dilución al 75%	4.16	29.6
Dilución al 50%	4.17	29.5
Dilución al 25%	4.21	29.1
Dilución al 12.5	4.25	28.8

Fuente Propia

A la segunda semana, se evidenció la formación de nata superficial formada por microorganismos en las diluciones al 25% y 12.5%, contrario a lo observado en las concentraciones del 75% y 50% de vinaza. En figura 11, se muestran las probetas con formación de nata que muy posiblemente dio lugar al desarrollo de microorganismos.

Figura 11. Nata de vinaza de caña de azúcar en probeta al 12.5 y 25% de dilución respectivamente (fuente propia)



8.2. Determinación de parámetros físico-químicas de las vinazas de caña

Se tomaron muestras de las vinazas de caña T₂ y T₃ con tratamientos de aireación y sin aireación mecánica, y se determinaron los parámetros fisicoquímicos de estas (tabla 9). Anexo D.

Tabla 9. Parámetros físico-químicos de vinazas de caña tratadas con aireación y sin aireación

PARAMETRO	SIN AIREACION		CON AIREACION	
	vinaza validación	vinaza modificada	vinaza validación	vinaza modificada
pH	9,88	7,38	8,5	6,85
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	38,4	45,3	30,0	35,0
Densidad (g/cm ³)	1,15	1,178	1,29	1,215
Nitrógeno Total (g/L)	16,0	15,0	15,0	20,0
Carbono Orgánico (g/L)	25,0	25,0	26,0	31,0
Potasio Soluble (g/L)	12,3	11,5	10,2	16,5
Fósforo Soluble (g/L)	8,52	13,5	8,6	18,5
Calcio (g/L)	11,5	11,0	12	15,0
Magnesio (g/L)	2,35	2,5	2,3	6,5
Azufre Total (g/L)	1,06	1,5	1,0	1,05
Materia Orgánica (g/L)	50,0	37,0	30,5	47,0
Sílice (g/L)	0,13	0,20	0,10	0,35
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	458,5	546,0	320,0	328,0
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	338,5	425,0	233,5	200,5
Sólidos Suspendidos Totales (g/L)	25,7	30,3	26,15	30,05

Fuente. Elaboración propia. Valores reportados por el Laboratorio Agroanálisis

Como se aprecia en la tabla 9, los valores DBO₅ y DQO se reducen significativamente aplicando aireación a la mezcla. Estos resultados son muy beneficiosos ambientalmente para el suelo y la planta, ya que no genera contaminación significativa en suelos, aguas y la planta, permitiendo la asimilación de macro y micronutrientes que son potencializados por acción de los microorganismos e inóculos adicionados en las vinazas. La SST no mostró cambios significativos, pero definitivamente la aireación, sí influyó positivamente en el producto final. Comparando los resultados iniciales y finales, hubo un mejoramiento del pH con aireación y sin aireación respecto a los valores de la vinaza pura, ya que el objetivo era neutralizar el pH.

Sin embargo, aunque los resultados de CE no fueron muy significativos, se encontró que la vinaza tratada con aireación validación (T₂), presentó un valor de 30 µs/cm, menor a las demás vinazas analizadas. Teniendo en cuenta, el poder contaminante que tienen las vinazas de la caña de azúcar y su posible afectación a los cuerpos hídricos, se decidió revisar el cumplimiento de algunos valores límites máximos aplicables a este residuo líquido, así:

8.3. Análisis ambiental

Según la resolución 631 de 2015 de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el capítulo VI, Sector: Actividades productivas de agroindustria y ganadería. Artículo 9. Parámetros físico químicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas- ARnD a cuerpos de agua superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería, las muestras analizadas cumplen con la normatividad actual vigente. A continuación se muestra en la tabla 10, los parámetros que se cumplen para las vinazas T₂ y T₃ en la citada resolución.

Tabla 10. Cumplimiento ambiental de parámetros de las vinazas de caña tratadas

TIPO DE VINAZA	DBO ₅ (mg/l O ₂)		DQO (mg/l O ₂)		SST (g/l)		pH	
	Valor	Res.631/15	Valor	Res.631/15	Valor	Res.631/15	Valor	Res.631/15
Vinaza Pura	456		668,5		24,2		4,28	
Vinaza T ₂	320	500	233,5	900	26,15	0,2	8,5	6,0 a 9,0
Vinaza T ₃	328		200,5		30,5		6,85	

Como se aprecia en la tabla 10, el único parámetro que no cumple con la normatividad vigente son los sólidos suspendidos totales, esto debido a la gran cantidad de elementos orgánicos (Ceagrocompost, gallinaza y lombricompost) y demás elementos minerales (Yeso, cal viva, serpentina) en su composición.

Aunque en los demás parámetros se está cumpliendo con la normatividad vigente, es muy permisible para el DBO y DQO, pues si bien se logró una reducción en dichos parámetros, la vinaza pura sin ningún tratamiento está cumpliendo con la norma. Lo anterior, puede suponer que los procesos productivos del Ingenio, fuente de la vinaza, son ecológicos y los impactos ambientales al recurso hídrico no serían tan fuertes.

8.4. Caracterización del suelo

8.4.1. Física del suelo.

Se tomó una muestra representativa del suelo siguiendo los protocolos de muestreo para el presente fin (tabla 11).

Tabla 11. Caracterización física del suelo en el área experimental

Parámetro	Suelo inicial	TRATAMIENTOS			
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Densidad aparente (g.cm ⁻³)	0.94	0.84	0.8	0.72	0.87
Densidad real (g.cm ⁻³)	2.59	2.57	2.55	2.54	2.54
CC (%)	16.07	20.58	22.79	23.97	22.93
PMP (%)	8.42	13.26	13.34	14.24	15.81
Porosidad Total (%)	63.71	67.32	68.63	71.65	65.75
Textura	Franco Arenoso				

Fuente: Laboratorio Lagsa

En la tabla 11, es evidente una reducción de la densidad aparente en el tratamiento T₃, respecto a los demás tratamientos. Esta reducción es debido a la adición de cascarilla de arroz y a los elementos orgánicos de las vinazas modificadas, que de alguna manera favorecen el crecimiento de raíces, reduce la resistencia a la penetración y mejora la asimilación del fertilizante.

Se evidencia un mejoramiento de la porosidad del suelo, resultado de la adición de vinazas enriquecidas con productos orgánico-minerales. La capacidad de almacenamiento de agua y de aireación se ve reflejada en el tratamiento T₃.

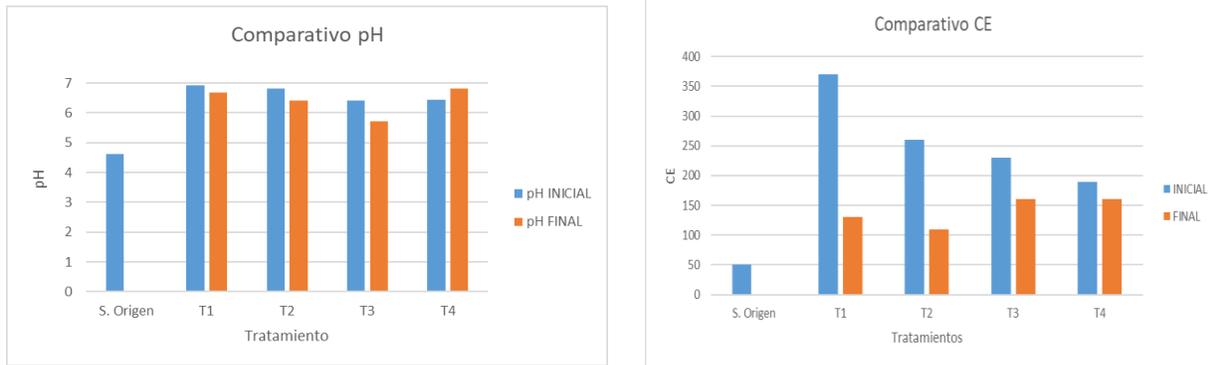
8.4.2. *Química del suelo.*

Para la caracterización química del suelo se determinó evaluar en dos momentos, al inicio y al final en la cosecha. Según (Carvajal, 1997), dentro de todos los procesos que se dan en el suelo, el más importante es el intercambio iónico, que junto con la fotosíntesis, son los dos procesos de mayor importancia en las plantas. El cambio iónico es debido casi en su totalidad a la fracción arcilla y a la materia orgánica. La capacidad de intercambio catiónico se define como el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/100 gr de suelo. Es por ello que la materia orgánica como las arcillas son las fuentes principales aportadoras de nutrientes al suelo.

La caracterización química de los suelos permite conocer su estado de fertilidad basándose en los resultados de macronutrientes como N-P-S, elementos menores: Cu-Fe-Zn- Mn-B, bases de intercambio: Ca-Mg-K-Na, carbono orgánico, materia orgánica, relación entre cationes, porcentaje de saturación de cationes y porcentaje de saturación de bases. En este estudio se analizarán algunos parámetros en cada uno de los tratamientos. (Anexo A)

El pH del suelo está asociado a la disponibilidad de nutrientes y la reacción del suelo; el pH entre 6 y 7, es el más adecuado para la asimilación de los elementos nutricionales (grafica 2). 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) como se citó en (Ortiz, 2017).

Gráfica 2. pH y CE en el suelo con los tratamientos de vinaza de caña en cultivo de melón



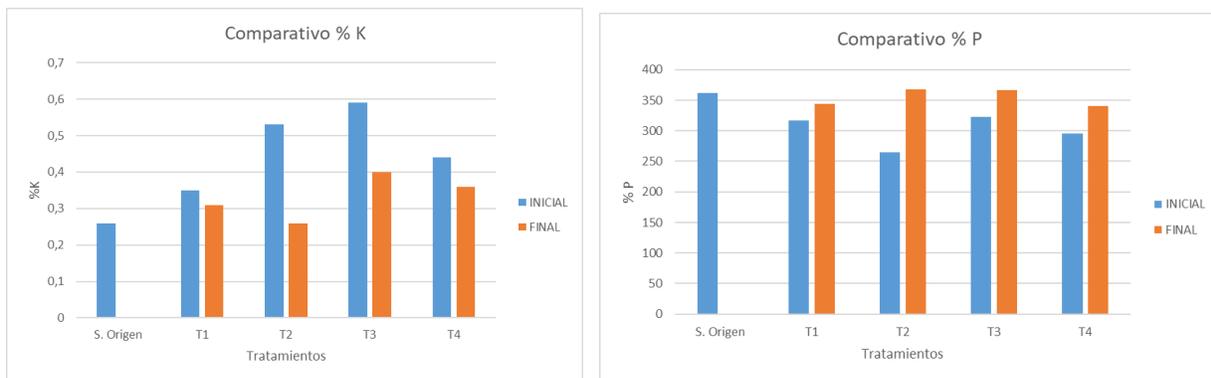
Fuente. Propia

Los resultados evidencian una disminución en los valores de pH inicial y final para los tratamientos T₁, T₂ y T₃ y un incremento en el tratamiento T₄. Esta diferenciación con el tratamiento 4, se puede justificar por la alta capacidad de intercambio catiónico que tiene el producto y su composición, lo que favorecería un incremento en el pH para dicho tratamiento.

Se advierte un poder reductor por parte de las vinazas frente al testigo, esto significa que se generó disolución de sales minerales en todos y cada uno de los tratamientos, lo que resulta en un movimiento de translocación nutritiva hacia la planta. Por otro lado, se observó reducción de la CE en los tratamientos, con mayor diferencia en los tratamientos T₁ y T₂, y en menor proporción T₃ y T₄. La alta conductividad eléctrica en la vinaza se atribuye a la concentración de cationes monovalentes como Na⁺ y K⁺, sales solubles (carbonatos, sulfatos de calcio y magnesio). La alta concentración de sales puede afectar la presión osmótica de los organismos, lo que dificultaría la translocación de elementos esenciales (Kumar, Sahay, y Sinha, 1995), como se citó en (Baldiris et al., 2012). El tratamiento con mejor respuesta a la concentración de sales de suelo, fue T₂.

La mayor concentración de potasio (K) en el suelo se obtuvo en el tratamiento T₃, seguido del T₂ (gráfica 3). La deficiencia de potasio provoca retraso en el crecimiento de las plantas, sobre todo en órganos de reserva y frutos, reduciendo los rendimientos. El incremento del rendimiento en el cultivo de melón por aumento en el nivel de N, P y K, no se debe a la obtención de frutos con mayor peso, sino a un mayor número de frutos cuajados favorecidos por una floración femenina más temprana (Crawford, 2017).

Gráfica 3. Potasio y fósforo en el suelo con los tratamientos de vinaza de caña de azúcar en cultivo de melón



Fuente propia

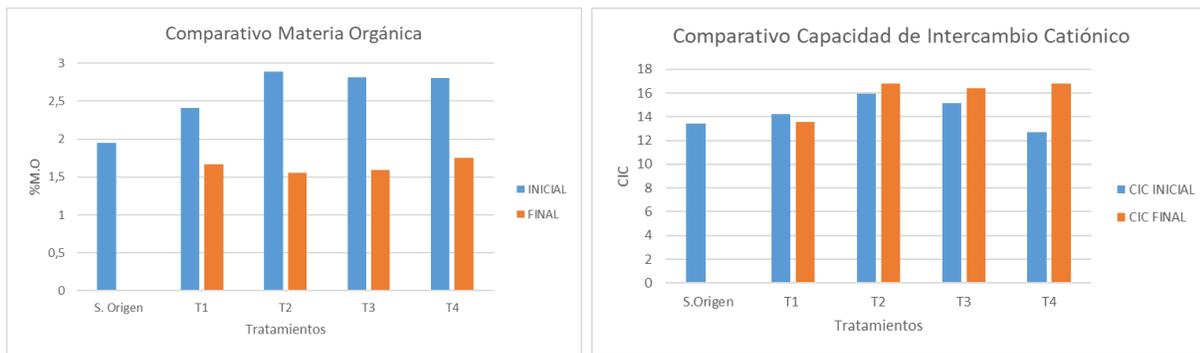
La vinaza tiene como principal componente el elemento K, esto favorece su presencia en el suelo, coincidiendo con Rossetto et al., 2008. Penatti (1999a), citado por (Cortez et al., 2014), en aplicación de dosis crecientes de vinaza (0, 100, 200 y 300 m³.ha⁻¹) en suelo arcilloso latosol rojo durante 4 cosechas, constató que el contenido de potasio en el suelo aumentó como consecuencia de la aplicación de las dosis de vinaza, principalmente en la capa más superficial, 0-25 cm de profundidad. El contenido de K aumentó hasta 0.10 m de profundidad con las mayores dosis (200 y 300 m³.ha⁻¹).

El T₃ presentó además, la mayor retención de fósforo en el suelo (gráfica 3). El fósforo es un elemento bastante móvil en la planta y poco móvil en el suelo, sus síntomas de deficiencia se

manifiestan primero en las hojas viejas; se reconoce que pH óptimo para mayor disponibilidad del fósforo en el suelo, este alrededor de 6,5 (Crawford, 2017).

Se evidencia un incremento de la materia orgánica (MO) inicial con relación al suelo de origen, esto es debido a las adiciones de MO al suelo para su mejoramiento estructural y mineral. Se observa en la gráfica 4, una disminución de la MO final, lo que permite inferir que la materia orgánica se mineralizó, sin arrojar diferencias estadísticas entre tratamientos.

Gráfica 4. Materia orgánica y CIC en el suelo con tratamientos de vinaza de caña de azúcar en cultivo de melón



La MO aumenta la fertilidad del suelo, ya que al tener carga negativa puede retener y poner a disposición de la planta cationes como calcio, magnesio, potasio, zinc, manganeso, hierro. Además, la elevada concentración de MO y/o arcilla, favorece la retención de los fertilizantes aportados con mayor eficacia, tanto los sólidos como los aplicados vía riego, lo que se traduce en mayor rentabilidad de las aportaciones.

La CIC final para las 3 vinazas de caña fue muy similar (gráfica 4), esto debido a la cantidad de cationes que contenía la mezcla y que de alguna manera favorecieron la translocación de minerales del suelo hacia la planta. La CIC aumentó debido al gran aporte de MO que representa la adición de vinaza al suelo (Cortez et al., 2014).

8.4.3. *Microbiología de suelo.*

Basado en las observaciones en campo del estado fisiológico de las plantas y al seguimiento en el crecimiento de estas, se evidenció el ataque de patógenos, algunos en mayor o menor incidencia. Se realizó el análisis microbiológico al suelo del tratamiento T₂, por efectos de validación y limitación presupuestal. Para ello, se realizó el recuento de hongos, bacterias y nematodos fitopatógenos del suelo (tabla 12).

Tabla 12. Análisis microbiológico del suelo, tratamiento de validación T₂

HONGOS (UFC/g)	BACTERIAS (UFC/g)	NEMATODOS (Ind/100g)
1 x10 ³ <i>Stemphylium</i> sp.	1 x 10 ⁴ <i>Pseudomonas</i> sp	<i>Ditylenchus</i> sp. 1 <i>Heterodera</i> sp 1.

Fuente: Laboratorio de microbiología agrícola y ambiental., Centro de Biosistemas. U. Tadeo Lozano.

Se describen a continuación las especificidades de los microorganismos encontrados en el suelo:
***Stemphylium* sp.:** este hongo es causante de enfermedades en el follaje, provocando síntomas como manchas, royas o marchitamientos. Este género de hongos filamentosos ataca primero el follaje por medio de los conidios que se esparcen por el viento, herramientas de trabajo, lluvia, agua e insectos.

***Pseudomonas* sp.:** Muchas especies de este género de bacterias son habitantes comunes en el suelo, agua y ambientes. Puede convertirse en patógeno, si se produce alguna herida en la planta invadiendo el xilema de las raíces y tallos y produce enfermedades principalmente, al interferir con el movimiento hacia arriba del agua a través del xilema.

***Ditylenchus* sp.:** este género ha conseguido desarrollarse en numerosos nichos ecológicos, y aunque, la mayoría habitan en el suelo y se alimentan de micelio de los hongos, *D. dipsaci*, *D. destructor* y *D. angustus*, tienen gran importancia económica como parásitos de plantas superiores.

Heterodera sp.: los nematodos del género *Heterodera sp.*, han sido los más devastadores de muchos cultivos comerciales. Este género se llama comúnmente "nematodo del quiste", debido a la capacidad de la hembra para enquistarse bajo condiciones ambientales adversas y en ausencia de hospedantes.¹

Basado en los resultados de microbiología de los análisis del tratamiento T₂, se confirma que el papel antagonista para control biológico por parte de los EM y los microorganismos eficaces o inóculos adicionados a las vinazas T₂ y T₃, y que se aplicaron al suelo y al follaje, no incidieron de manera significativa en el control y la protección del cultivo de melón, como se esperaba. Sin embargo, se observó disminución del ataque por *Heliothis* (Gusano del melón) y *Phasmatodea* (insecto palo). Anexo B

8.5. Análisis Estadístico de variables Peso de frutos, Biomasa, Área foliar y Rendimiento.

Para cada una de las variables analizadas, se aplicó estadística inferencial paramétrica con el software Statgraphics 16, partiendo de 3 supuestos: Supuesto de normalidad por Shapiro Wilk, supuesto de independencia y supuesto de homogeneidad de varianza. Se estableció un nivel de significancia del 10%.

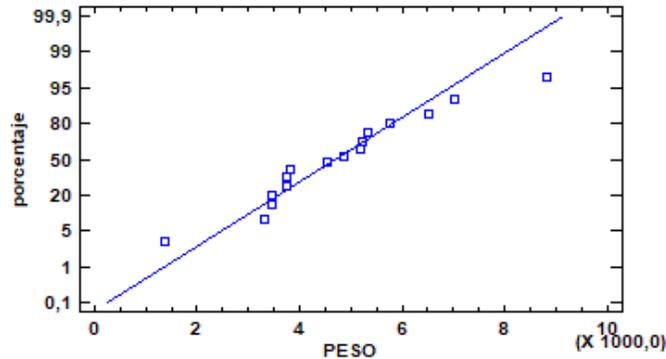
8.5.1. Variable Peso.

En esta variable se probó la hipótesis nula de normalidad de los datos, el valor P de Shapiro-Wilks fue de 0.6222 y una autocorrelación en retaso de $1 = 0,280177 \pm 0,489992$. Debido a que el valor P es mayor al nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis, esto significa que los datos tienen

¹ Tomado del informe de resultados de análisis microbiológico del laboratorio de microbiología agrícola y ambiental. Centro de Bio-sistemas. U. Tadeo Lozano

una distribución normal. Se prueba la hipótesis de independencia y se observa que el 0 está dentro del intervalo y por lo tanto no se rechaza la hipótesis de independencia de los datos (grafica 5).

Gráfica 5. Distribución de los datos de la variable peso de fruto de melón.



Seguidamente se prueba la hipótesis de homogeneidad de varianza a partir de los siguientes resultados. Verificación de varianza. Prueba Levene's, valor -P= 0.457561. El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de PESO dentro de cada uno de los tratamientos es la misma. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,1, no existe una diferencia estadística significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 90% de confianza. Probados los 3 supuestos, se realiza el ANOVA simple entre el peso vs tratamientos con los resultados de la tabla 13. Como el valor -P es de 0.0731, se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que hay diferencia significativa entre los tratamientos. Teniendo en cuenta el ANOVA simple, se realiza la prueba por múltiples rangos (Tablas 13 y 14).

Tabla 13. ANOVA para PESO

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.98173E7	3	6.60578E6	2.99	0.0731
Intra grupos	2.64765EE7	12	2.20637E6		
Total (Corr.)	4.62938E7	15			

Tabla 14. Múltiples rangos Alfa del 90% LSD

<i>TRATAMIENTO</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T1	4	3450,85	X
T4	4	3980,32	X
T2	4	5355,65	XX
T3	4	6269,25	X
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2		-1904,8	2288,47
T1 - T3	*	-2818,4	2288,47
T1 - T4		-529,475	2288,47
T2 - T3		-913,6	2288,47
T2 - T4		1375,32	2288,47
T3 - T4	*	2288,93	2288,47

Nota: * indica una diferencia significativa.

Aunque la prueba muestra que hay alguna diferencia entre T₂ y T₃ según lo observado en la nomenclatura de grupos homogéneos, el T₃ es el tratamiento que tiene mejor respuestas de medias. Si se observan los grupos de contraste, existe una diferencia significativa estadística entre los tratamientos T₁- T₃ y T₃-T₄, verificando que el tratamiento T₃ es el de mejor respuesta.

8.5.2. *Variable Biomasa.*

En esta variable se probó la hipótesis nula de normalidad de los datos, el valor P de Shapiro-Wilks fue de 0.0265 y una autocorrelación en retraso de 1= 0,115121 +/- 0,489992. Debido a que el valor P es menor al nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula, ó sea los datos no son normales. Igualmente se prueban los 3 supuestos. Se realiza la prueba de Kruskal-Wallis para determinar la variabilidad de datos de las medianas (tabla 15).

Tabla 15. Prueba de Kruskal-Wallis para los tratamientos de vinazas

<i>TRATAMIENTO</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
T ₁	4	4.75
T ₂	4	13.25
T ₃	4	11.0
T ₄	4	5.0

Estadístico = 9.72794 Valor-P=0.0210253

La prueba de kruskal-wallis sigue mostrando un valor P menor al nivel de significancia, lo que comprueba que los datos vienen de una misma población, pero en este caso se aprecia que el tratamiento T₂ tiene un mejor promedio. Seguido a esto, se prueba la hipótesis de independencia y se observa que el 0 está dentro del intervalo y por lo tanto no se rechaza la hipótesis de independencia de los datos. Se prueba la hipótesis de homogeneidad de varianza a partir de los siguientes resultados. Se verifica la varianza por Prueba de Levene's, dando un valor -P = 0.0179177 (tabla 16).

Tabla 16. Comparativo de las desviaciones estándar en Biomasa por Tratamiento

Verificación de Varianza

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	4,98664	0,0179177

<i>Comparación</i>	<i>Sigmal</i>	<i>Sigma2</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Valor</i>
T1 / T2	19,4906	3,98021	23,9794	0,0269
T1 / T3	19,4906	4,7301	16,9788	0,0438
T1 / T4	19,4906	10,2009	3,6507	0,3158
T2 / T3	3,98021	4,7301	0,708059	0,7835
T2 / T4	3,98021	10,2009	0,152243	0,1564
T3 / T4	4,7301	10,2009	0,215015	0,2389

Elaboración propia en Statgraphics 16

El estadístico mostrado en esta tabla 16, evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de BIOMASA dentro de cada uno de los 4 niveles de tratamiento es la misma. De particular interés es el valor-P que es menor que 0,1; existe una diferencia estadística significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 90% de confianza. Como se observó en la figura anterior, existe una diferencia significativa en los tratamientos T₂ y T₃. Probados los 3 supuestos, se realiza el ANOVA simple para biomasa arrojando los resultados de la tabla 17.

Tabla 17. ANOVA para BIOMASA por TRATAMIENTO

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1839.42	3	613.14	4.70	0.0216
Intra grupos	1566.47	12	130.539		
Total (Corr.)	3405.89	15			

Fuente propia

Puesto que el valor -P es de 0.0216, no se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que hay diferencia significativa entre los tratamientos. Se muestra en la tabla 18, la prueba de múltiples rangos.

Tabla 18. Prueba de múltiples rangos para biomasa Alfa del 90% LSD

TRATAMIENTO	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T1	4	59,25	X
T4	4	64,7025	XX
T3	4	81,6725	XX
T2	4	84,305	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2	*	-25,055	17,6026
T1 - T3	*	-22,4225	17,6026
T1 - T4		-5,4525	17,6026
T2 - T3		2,6325	17,6026
T2 - T4	*	19,6025	17,6026
T3 - T4		16,97	17,6026

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida, muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco al lado de los 3 pares, indica que estos pares muestran diferencias estadísticas significativas con un nivel del 90% de confianza.

En la parte superior de la tabla, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticas significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado para discriminar entre las medias, es

el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Lo anterior, permite concluir que, si hubo un efecto positivo en el incremento de la biomasa en los tratamientos T₂ y T₃, aunque no hay diferencias significativas estadísticas, si permite evidenciar que el tratamiento T₂ presentó mayor biomasa.

8.5.3. *Variable Índice de Área foliar.*

Se probó la hipótesis nula de normalidad de los datos para la variable Índice de Área Foliar, el valor P de Shapiro-Wilks fue de 0.4223 y una autocorrelación en retaso de $1 = 0,0562168 \pm 0,489992$. Debido a que el valor P es mayor al nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula, esto significa que los datos provienen de una distribución normal. Se prueba la hipótesis de independencia y se observa que el 0 está dentro del intervalo, y por tanto no se rechaza la hipótesis de independencia de los datos.

Seguidamente se prueba la hipótesis de homogeneidad de varianza a partir de la prueba de Levene's con un valor-P = 0.0111105. El estadístico mostrado evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de I.A.F dentro de cada uno de los 4 niveles de tratamiento es la misma. Puesto que el valor-P es menor que 0,1, existe una diferencia estadística significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 90% de confianza. Lo anterior viola uno de los supuestos importantes subyacentes en el análisis de varianza e invalidará la mayoría de las pruebas estadísticas comunes. Probados los 3 supuestos, igualmente se realiza el ANOVA simple para el I.A.F (tabla 19).

Tabla 19. ANOVA para Área Foliar en cultivo de melón por Tratamiento de vinaza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0306133	3	0.0102044	0.55	0.6600
Intra grupos	0.224153	12	0.0186794		
Total (Corr.)	0.254766	15			

Fuente propia

El valor -P es de 0.6600, lo que significa que se rechaza la hipótesis nula, validando los resultados. Aunque el estadístico anterior deja claro que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos, se procede a aplicar la prueba *Kruskal-Wallis* (tabla 20).

Tabla 20. Prueba Kruskal-Wallis para Índice de Área foliar por Tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T ₁	4	7.0
T ₂	4	10.75
T ₃	4	8.0
T ₄	4	8.25

Estadístico = 1.34559, Valor-P=0.718335. Fuente propia

La prueba deja en evidencia de nuevo, que no existe diferencia significativa entre tratamientos, pero el T₂ muestra el mayor índice foliar.

8.5.4. Variable Rendimiento.

En esta variable se probó la hipótesis nula de normalidad de los datos, el valor P de Shapiro-Wilks fue de 0.622 y una autocorrelación en retaso de $1 = 0,280177 \pm 0,489992$. Debido a que el valor P es mayor al nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis. Esto significa que los datos provienen de una distribución normal. Se prueba la hipótesis de independencia y no se rechaza la hipótesis de independencia de los datos.

Seguidamente se prueba la hipótesis de homogeneidad de varianza a partir de los siguientes resultados. La verificación de varianza se realizó por prueba de Levene's con un valor P= 0.456919. El estadístico mostrado anteriormente, evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de rendimiento dentro de cada uno de los 4 niveles de tratamiento es la misma. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,1, se cumple el supuesto que entre los tratamientos existe una

diferencia significativa de las varianzas. Probados los 3 supuestos se realiza el ANOVA simple para la variable Rendimiento (tabla 21).

Tabla 21. ANOVA para Rendimiento de melón por Tratamiento con vinaza de caña

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	123.787	3	41.2624	2.99	0.0733
Intra grupos	165.515	12	13.7929		
Total (Corr.)	289.302	15			

Puesto que el valor -P fue de 0.0733, se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que hay diferencia significativa entre los tratamientos. Teniendo en cuenta el ANOVA simple, se realiza la prueba por múltiples rangos (Tabla 22).

Tabla 22. Prueba de múltiples rangos Alfa del 90% LSD

TRATAMIENTO		Casos	Media	Grupos Homogéneos
T1		4	8,63	X
T4		4	9,95	X
T2		4	13,39	XX
T3		4	15,6725	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
T1 - T2		-4,76	5,72181	
T1 - T3	*	-7,0425	5,72181	
T1 - T4		-1,32	5,72181	
T2 - T3		-2,2825	5,72181	
T2 - T4		3,44	5,72181	
T3 - T4	*	5,7225	5,72181	

* indica una diferencia significativa.

En la anterior tabla se observa diferencia significativa del T₃ respecto a los demás grupos, esto permite deducir que el tratamiento T₃ fue el mejor rendimiento de melón en ton/ha.

8.5.5. Efectos de la vinaza de caña en la planta de melón.

De los resultados del ANOVA para cada una de las variables evaluadas, se observa que los tratamientos T₂ y T₃ presentaron un efecto positivo en cada una de las variables analizada, en mayor o menor medida. Las correlaciones entre las variables se muestran en la tabla 23. Existe una relación directa proporcional para cada una de las variables así: A mayor biomasa mayor rendimiento, a mayor I.A.F mayor biomasa y mayor peso.

Tabla 23. Correlaciones entre variables evaluadas en cultivo de melón

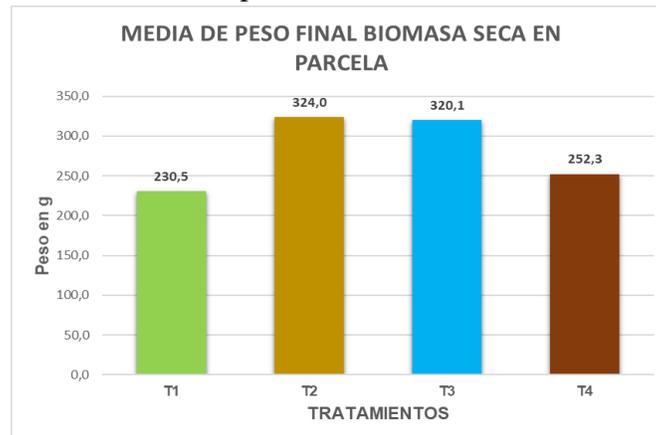
VARIABLE	BIOMASA	RENDIMIENTO	AREA.F	PESO
BIOMASA		0,5479	0,5469	0,5480
		(16)	(16)	(16)
		0,0280	0,0283	0,0280
RENDIMIENTO	0,5479		0,5064	1,0000
	(16)		(16)	(16)
	0,0280		0,0453	0,0000
AREA.F	0,5469	0,5064		0,5065
	(16)	(16)		(16)
	0,0283	0,0453		0,0453
PESO	0,5480	1,0000	0,5065	
	(16)	(16)	(16)	
	0,0280	0,0000	0,0453	

Varios autores han concluido que la vinaza aumenta el pH en los suelos (Matiazzo, 1985); aumenta la CIC; suministra y aumenta la disponibilidad de algunos nutrientes; mejora la estructura del suelo; aumenta la retención de agua; mejora la actividad biológica, promoviendo una gran cantidad de organismos (lombrices de tierra, escarabajos, etc.), bacterias y hongos (Cortez et al., 2014).

8.6. Producción de Biomasa

Como se observa en la tabla 23, existe una fuerte relación entre la producción de biomasa y el rendimiento, es así como la estimación de la biomasa contribuye al conocimiento del estado de la calidad y fertilidad del suelo como al mantenimiento de esta característica en el tiempo (Powlson, 1994). Generalmente, la vinaza promueve mejoras en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar, así como beneficios químicos, biológicos y físicos para el suelo, además de ahorros en costos de fertilizantes.(Cortez et al., 2014). En grafica 5, se muestra la producción de biomasa seca, los valores de la media dejan en evidencia que el T₂ fue el mejor tratamiento de vinaza, esto se confirma con el LSD de múltiples rangos para la variable.

Gráfica 6. Peso seco biomasa de melón por tratamientos con vinaza de caña



Los tratamientos T₂ y T₃ fueron los de mayor producción de biomasa seca, lo que indica una evidente asimilación de macro y micronutrientes del fertilizante en las plantas de melón para dichos tratamientos.

8.7. Análisis Tejido Foliar

El muestreo foliar se realizó en postcosecha para no interferir con las variables peso de frutos, biomasa e índice de área foliar. Existen valores óptimos de nutrientes en tejido foliar en la etapa de cosecha propuestos por Piggott (1986), los cuales presentan rangos muy amplios y no coinciden con la etapa de muestreo de la presente investigación (tabla 24). Anexo C

Tabla 24. Contenido de elementos nutricionales en tejido foliar

TRATAMIENTO	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
				%						p.p.m.		
T-1	2,15	0,15	1,86	1,20	0,25	0,15	15,0	5,0	12,0	115,0	85,6	10,50
T-2	3,00	0,30	1,90	1,89	0,22	0,38	35,8	9,5	35,0	190,0	115,8	38,6
T-3	2,85	0,22	1,85	2,20	0,36	0,40	33,00	16,8	45,6	221,3	185,6	20,5
T-4	3,85	0,38	2,85	2,13	0,35	0,35	40,0	25,4	50,6	215,6	205,6	22,6

Fuente: Laboratorio Agroanálisis

En la tabla 24, se aprecian mayores valores en el elemento Mg en el tratamiento T₃. Este tratamiento mostró en campo una mejor coloración y aspecto respecto a los demás tratamientos. Muchas de las enzimas pertenecientes a las células de las plantas necesitan magnesio. Sin embargo, la función más importante de este elemento es la de átomo central en la molécula de clorofila. La clorofila es el pigmento que da a las plantas su color verde y lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis; también interviene en la activación de un sinnúmero de enzimas necesarias para su desarrollo y contribuye a la síntesis de proteínas. (Lopez, 2020). A continuación, se muestra el estado del cultivo en fase inicial de floración (figura 12).

Figura 12. Estado del cultivo de melón en fase inicial de floración



Fuente propia

El análisis foliar es una técnica de diagnóstico utilizada para determinar el estado nutricional del cultivo, siendo la parte de la planta muestreada la hoja, es el órgano que refleja el estado nutricional de la planta. Además asume que existe una relación estrecha y directa entre el suplemento de nutrientes (suelo y/o fertilizantes) y el rendimiento, entre el suplemento de nutrientes y la concentración de elementos en las hojas y entre la concentración en las hojas y el rendimiento (Espinosa, 1994). Según Espinosa 1994, los valores de concentración de elementos en las hojas adecuadas son los mostrados en la tabla 25.

Tabla 25. Concentración de elementos en las hojas consideradas adecuadas en varios países

Elemento	Brasil	Colombia	Costa rica	Puerto Rico
%				
N	2.70-3.20	2.30-2.80	2.30-2.80	2.5-3.0
P	0.20-0.21	0.10-0.18	0.12-0.20	1.10-1.15
K	1.90-2.40	1.50-2.00	1.70-2.70	2.0-2.5
Ca	1.00-1.40	0.50-1.30	1.10-1.70	0.8-1.4
Mg	0.31-0.36	0.30-0.40	1.10-1.70	0.40
S	0.15-0.20	--	0.20	--
Ppm				

B	59-89	40-60	0-100	100
Cu	8-16	--	6-12	10
Fe	90-180	90-140	75-275	100
Mn	120-210	150-200	50-275	50
Zn	8-16	--	15-20	20

Fuente: (Espinosa, 1994)

Debido a la limitada literatura referente sobre la concentración ideal de elementos en tejidos foliares en melón, se logró encontrar la tabla 25, que da una noción de conocimiento sobre dichos valores en cultivos tropicales. Se hizo una evaluación cualitativa de las concentraciones nutricionales en los tejidos foliares de melón (tabla 26)

Tabla 26. Evaluación cualitativa de elementos nutricionales en tejidos foliares de melón

<i>TRATAMIENTO</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i> %	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>B</i>	<i>Fe</i> p.p.m.	<i>Mn</i>
<i>T-1</i>	<i>Suficiente</i>	<i>Suficiente</i>	<i>Suficiente</i>	<i>Suficiente</i>	Deficiente	Deficiente	<i>Suficiente</i>	Deficiente
<i>T-2</i>	<i>Exceso</i>	<i>Exceso</i>	<i>Suficiente</i>	<i>Exceso</i>	Deficiente	Deficiente	<i>Exceso</i>	Deficiente
<i>T-3</i>	<i>Suficiente</i>	<i>Suficiente</i>	<i>Suficiente</i>	<i>Exceso</i>	<i>Suficiente</i>	Deficiente	<i>Exceso</i>	<i>Suficiente</i>
<i>T-4</i>	<i>Exceso</i>	<i>Exceso</i>	<i>Exceso</i>	<i>Exceso</i>	<i>Suficiente</i>	<i>Suficiente</i>	<i>Exceso</i>	<i>Exceso</i>

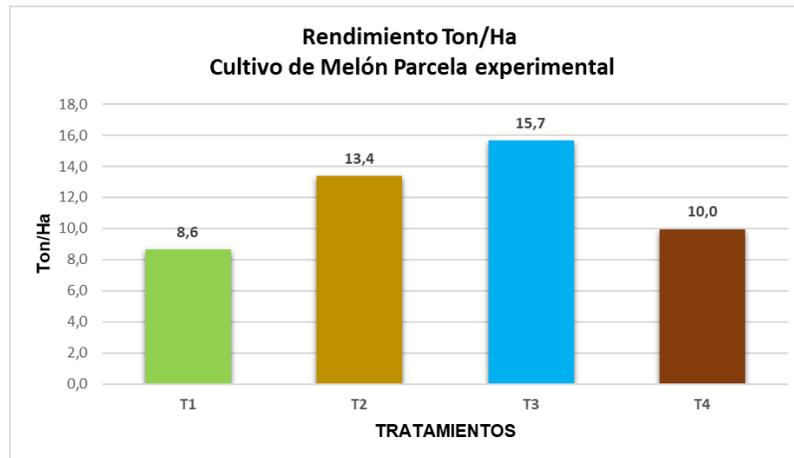
Como se observa en la tabla anterior, el tratamiento que mejor cumple con la calificación nutricional en el cultivo de melón, es el T₃, seguido del T₁ y luego T₂. Más adelante se mostrará como un exceso de Nitrógeno en el T₂, afectó significativamente el rendimiento frente al T₃. Lo anterior coincide con lo expresado por Zermeño et al., (1996b) citado por (Medina & Cano Rios, 1998), quienes encontraron disminución del rendimiento del melón con el suministro de nitrógeno en exceso.

8.8. Rendimientos y Producción

Como se demostró en el análisis estadístico, el T₃ es el tratamiento de mayor rendimiento con 15.7 ton/ha en producción, por encima de las 15.0 ton/ha, rendimiento medio reportado por la FAO en

el 2018 en Colombia (grafica 6). Se presentó además, disminución de los ataques de plagas como gusano Heliothis, caracol africano y hongos en dicho tratamiento.

Gráfica 7. Rendimiento de melón bajo tratamientos con vinazas de caña



8.9. Condiciones ambientales y manejo del agua

En el cultivo de melón tradicionalmente se recubren los caballones con plásticos para control de arvenses y conservar la humedad del suelo. En la presente investigación, se tomó la decisión de eliminar el plástico por ser un producto contaminante y de difícil degradación, de tal manera que se reemplazó por una capa de cascarilla de arroz, que aporta al suelo beneficios.

9. CONCLUSIONES

- La aplicación en un suelo de textura franco arenosa con cultivo de melón de enmiendas orgánicas a base de vinazas de caña de azúcar tratadas y enriquecidas mostraron el mejoramiento de sus propiedades físicas y químicas relacionadas con la retención de humedad y estado nutricional del suelo.

- Los valores de DBO₅ para vinaza tratada de validación (T₂) y vinaza tratada modificada(T₃) se redujeron en un 29.82 % y 28.07 % respectivamente aplicando aireación mecánica a la mezcla. Este resultado es beneficioso ambientalmente para los recursos agua, suelo y planta, permitiendo la asimilación de nutrientes que son potencializados por acción de los microorganismos adicionados.

- La mejor respuesta en rendimiento en cultivo de melón se dio con la aplicación de vinaza de caña de azúcar modificada (T₃), seguida de la vinaza de validación (T₂).

- Basado en los resultados de microbiología de la muestra analizada (Tratamiento T₂), se confirma que el papel antagonista para control biológico por parte de los microorganismos eficientes e inóculos que estaban adicionados en las vinazas T₂ y T₃, tuvieron un impacto ambiental positivo de protección al ataque por *Heliothis*(Gusano del melón) y *Phasmatodea* (insecto palo).

- Las variables Peso, biomasa, IAF y Rendimiento de fruto de melón guardan una estrecha correlación entre sí, es decir, existe una relación directa entre las variables IAF vs Rendimiento, Biomasa Vs Rendimiento y Biomasa Vs Peso.

- En cuanto al análisis foliar se evidenció que el mejor tratamiento que cumple con los valores suficientes para el buen funcionamiento fisiológico en un cultivo de melón es el tratamiento T₃ seguido del T₁ y por último el T₂.

- Las vinazas del Ingenio Providencia al igual que las T₂ t T₃ están cumpliendo con la normatividad ambiental vigente en la Resolución 631 de 2015 para DBO5 y DQO pero muy alejados de cumplir con los SST.

- Desde el punto de vista ambiental se evidenció que los efectos por aplicación de la vinaza T₃ en el cultivo de melón aumentó el rendimiento/Ha, mejoró la porosidad del suelo lo que permite un mejor intercambio gaseoso y almacenamiento de agua reflejado en la asimilación de elementos nutricionales y reducidos por los microorganismos presentes en el suelo y que denotan una calidad de suelo óptima para el desarrollo de las plantas, lo anterior coayudado a las bajas concentraciones de DBO5 y DQO logradas por el proceso de biorremediación.

10. BIBLIOGRAFIA

- Anelisa, A. (2017). *EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE VINAZA EN SUELO Y SU POSIBLE USO AGRICOLA EN PLANTAS DE CILANTRO*.
<http://riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/4583/1/AArcila.pdf>
- Baldiris, L. F., López, E., Castillo, J., & Caicedo, L. D. (2012). Biodegradación de la vinaza de caña de azúcar con cepas de los hongos *Schizophyllum commune* y *Trichoderma viride*. *Ingenium*, 6(14), 39. <https://doi.org/10.21774/ing.v6i14.191>
- Becerra, C. G., Tafur, H., & Escobar Chalarca, C. A. (2009). *ESTUDIO PRELIMINAR DEL TRANSPORTE DE LA VINAZA EN UN SUELO REPRESENTATIVO DEL VALLE DEL CAUCA*. Universidad Nacional de Colombia.
- Bohórquez, A., Y. Puentes, y J. C. Menjivar. «Evaluación De La Calidad Del Compost Producido a Partir De Subproductos Agroindustriales De caña De Azúcar». *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, vol. 15, n.º 1, diciembre de 2015, pp. 73-81, doi:10.21930/rcta.vol15_num1_art:398.
- Carvajal, R. R. (1997). *PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS* (p. 24).
- Conadesuca. (2016). *Vinazas: Alternativas De Uso*. 12.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171932/Nota_Informativa_Septiembre_Vinazas.pdf
- Cortez, L. A. B., Mutton, M. A., Rossetto, R., & Mutton, M. J. R. (2014). Agricultural Use of Stillage. *Sugarcane Bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability*, 423–440.
https://doi.org/10.5151/blucheroa-sugarcane-sugarcanebioethanol_40
- Crawford, H. (2017). Manual de manejo agronómico para cultivos de melón. *Boletín Inia, N° 01*, 92. http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/01_Manual_melon.pdf
- Espinosa, J. (1994). Analisis Foliar: Fundamentos y Metodos de Evaluacion. *Potash & Phosphate Institute*, 17, 1–9. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2391068D9611ACD085258013005436BC/\\$FILE/Art_1.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2391068D9611ACD085258013005436BC/$FILE/Art_1.pdf)
- FAO. (2009). *La agricultura mundial FORO DE EXPERTOS DE ALTO NIVEL COMO ALIMENTAR AL MUNDO 2050*. 32.
http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
- Garcia, C. F. H., Souza, R. B. d., de Souza, C. P., Christofolletti, C. A., & Fontanetti, C. S. (2017). Toxicity of two effluents from agricultural activity: Comparing the genotoxicity of sugar cane and orange vinasse. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 142(December 2016), 216–221. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.053>

- García Carlos A Rojas C, A. O. (2002). Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. *Nota Técnica-Técnicaña*, 3–13. https://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p3-13.pdf
- Gasca, C. A., Menjivar, J. C., & Torrente Trujillo, 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*, 60(1), 27–38. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/21155/22124
- Ibarra, R., León, L., & Osoria, A. (2018). *Caracterización fisico-química de vinazas de destilerías Physicochemical characterization of distillery vinasse*. 10.
- Manuelita S.A. (2017). *Derivados de la caña*. Obtenido de <https://www.manuelita.com/manuelita-productos/derivados-de-la-cana/>
- Medina, M. del C., & Cano Rios, P. (1998). *MUESTREO FOLIAR DE NUTRIENTES EN MELÓN (Cucumis melo L.)*. 94, 67–75.
- Montenegro Gómez, S. P., Menjivar Flóres, J. C., & Riascos, D. (2014). Influencia de la aplicación de vinaza en la estructura de comunidades bacterianas en un Entic dystropept y un Fluventic haplustoll del Valle del Cauca, Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 5(1), 223–230. <https://doi.org/10.22490/21456453.957>
- Muñoz Asociados. Documento jurídico para proceso de patentamiento. 2019
- Narváez, M., Sánchez de Prager, M., & Menjívar, J. C. (2010). Cambios En Las Propiedades Químicas Y En La Actividad De Las Fosfatasas En Suelos Cultivados Con Maíz Dulce (Zea Mays L.) Fertilizados Con Vinaza Changes in Chemical Properties and Phosphatases Activity in Soils Under Sweet Corn (Zea Mays L.) Cultivation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5533–5541.
- Lopez, J. C. (29 de 9 de 2020). *PROMIX*. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-magnesio-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Ortegón, G. P., Arboleda, F. M., Candela, L., Tamoh, K., & Valdes-Abellan, J. (2016). Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). *Science of the Total Environment*, 539, 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.153>
- Ortiz, R. J. (2017a). *EVALUACION DEL EFECTO DE APLICACIÓN DE VINAZAS SOBRE LAS PRIMAVERA-MUNICIPIO DE VILLARICA NORTE DEL CAUCA*. <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3053/“EVALUACION DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE VINAZA SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO QUIMICAS Y ACTIVIDAD BIOLOGICA EN UN SUELO CULTIVADO CON CAÑA DE AZUCAR”.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ortiz, R. J. (2017b). *EVALUACION DEL EFECTO DE APLICACIÓN DE VINAZAS SOBRE LAS PRIMAVERA-MUNICIPIO DE VILLARICA NORTE DEL CAUCA*.
<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3053/“EVALUACION DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE VINAZA SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO QUIMICAS Y ACTIVIDAD BIOLOGICA EN UN SUELO CULTIVADO CON CAÑA DE AZUCAR”.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- P y C Reina Ltda. (2018). *Patente de Invención Nacional - PROCESO DE TRATAMIENTO DE VINAZA PARA GENERACIÓN DE PRODUCTO NO CONTAMINANTE CON PROPIEDADES NUTRITIVAS Y DESINFECTANTES DEL SUELO Y LA PLANTA*.
<http://sipi.sic.gov.co/sipi/Extra/IP/Mutual/Browse.aspx?sid=636910289853798872>
- Reche, J. (2008). Cultivo del melón en invernadero. In *Generalitat Valenciana Conselleria d’Agricultura i Pesca. Valencia, España*.
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337161080melon_baja.pdf
- Rosero, Mi., Bermúdez, W. V., & Flores, J. C. M. (2013). Efectos de vinazas sobre bacterias rizosféricas y en la actividad-CO₂ y biomasa-C microbiana de un suelo Pachic Haplustoll. *Acta Agronomica*, 62(2), 165–173.
- Santos, M., Diáñez, F., de Cara, M., & Tello, J. C. (2008). Possibilities of the use of vinasses in the control of fungi phytopathogens. *Bioresource Technology*, 99(18), 9040–9043.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.04.032>
- Suárez Tamayo, S., & Molina Esquivel, E. (2014). Industrial development and its impact on the environment. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiologia*, 52(3), 357–363.
<http://scielo.sld.cu>
- Urbano, J. F., Fontanetti, C. S., Christofolletti, C. A., Escher, J. P., & Correia, J. E. (septiembre de 2013). Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. Rio Claro, SP, Brasil.
- Yzarra Tito, W., & López Ríos, F. (2011). *Manual de observaciones fenológicas DGCA DIA DGA SENAMHI*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>

ANEXOS

ANEXO A
Resultados Física y Química de suelos

ANEXO B
Microbiología de Suelos

ANEXO C
Análisis Tejido Foliar

ANEXO D

Resultados parámetros físico-químicos vinazas con y sin
aireacion

ANEXO E
Resultados laboratorio agua de riego