



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE VINAZA EN SUELO
Y SU POSIBLE USO AGRÍCOLA EN PLANTAS DE
CILANTRO (*Coriandrum sativum*)**

AUTOR:

Annelisa Arcila

TUTORES:

MSc. Luis Amaíz

Dr. Domenico Pavone

Junio, 2017



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE VINAZA EN SUELO Y SU POSIBLE USO AGRÍCOLA EN PLANTAS DE CILANTRO (*Coriandrum sativum*)

Trabajo Especial de Grado presentado ante la
Universidad de Carabobo por la bachiller
Annelisa Arcila Hernández para optar al
título de **Licenciada en Biología**

Junio, 2017



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



ACTA

Mediante la presente se deja constancia que el (la) **Br. Annelisa Arcila**, Cédula de Identidad N° 20.699.344, presentó ante el Jurado aprobado por el Consejo de Departamento de Biología de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología (FACYT) de la Universidad de Carabobo, su Trabajo Especial de Grado (T.E.G.), titulado: "Evaluación de la aplicación de vinaza en suelo y su posible uso agrícola en plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*)", en concordancia con los artículos 16, 17, 18 y 19 de las Normas de Interés Estudiantil. El jurado evaluador consideró que, luego de haber aprobado dicho trabajo el (la) bachiller cumple con los méritos académicos necesarios para obtener el Título de Licenciado en Biología.

En Valencia, a los 19 días del mes de Junio del año 2017.

Prof. Domenico Pavone
Tutor

MSc. Luis Amaíz
Tutor

Prof. Arnaldo Armado
Jurado Principal

Prof. Rafael Rodríguez
Jurado Principal

A los tres pilares fundamentales de mi vida:

Mis padres y mi Abuela Ana.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores Luis Amaíz y Domenico Pavone por su tutela, consejos y guía a lo largo de este trabajo.

Al profesor Rafael López Loyo por toda la asesoría y el conocimiento otorgado, por introducirme en los estudios ambientales y por plantearme este trabajo de investigación.

Al Dr. Luis Medina y al equipo de CIMA- UC por el apoyo técnico y académico, por el conocimiento y la oportunidad de aprendizaje.

Al Dr. Oscar Valbuena por su invaluable ayuda, buenos consejos e inmejorable orientación.

A la Licenciada Rosmary Vargas por el inmenso apoyo académico, técnico y personal prestado durante la realización de este trabajo.

A todos los profesores del departamento de Biología FACYT por contribuir en mi formación profesional.

A mi madre por su cariño, sus cuidados y su preocupación constante; a mi padre por su amor, sus sabios consejos y por incentivar mi espíritu investigativo desde la niñez; a mi abuela Ana por su infinito amor, apoyo y confianza en mí; a mis padrinos Violeta, Epifanio y Cecilia, por su orientación, cariño y por estar siempre pendientes de mí; a todos ellos les debo lo que soy.

Jamás podre agradecerle lo suficiente a Dios, por colocar en mi vida a todas estas personas que contribuyeron de forma directa e indirecta, a formarme como persona y como profesional.

¡Muchas Gracias a todos!

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE VINAZA EN SUELO Y SU POSIBLE USO AGRÍCOLA EN PLANTAS DE CILANTRO (*Coriandrum sativum*)

Annelisa Arcila^{1,2}, Luis Amaíz¹ & Domenico Pavone²

¹Centro de Investigaciones Microbiológicas Aplicadas (CIMA-UC). Facultad de Ciencias de la Salud (FCS-UC). ²Departamento de Biología. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología (FACYT-UC). Universidad de Carabobo. Venezuela.

Resumen

La vinaza es un subproducto líquido obtenido durante la producción de alcohol etílico. Por su alto contenido nutricional, se presume que puede utilizarse como fertilizante orgánico en cultivos de ciclo vegetativo corto. Se tuvo por objetivo evaluar 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 fisicoquímicamente la vinaza al 20% v/v y se evaluó su efecto a diferentes dosis de aplicación (5.152, 7.879, 9.091, 10.000 y 10.909 L/ha) en muestras de suelo del municipio Montalbán, Edo. Carabobo. Se determinó el pH, la Conductividad Eléctrica (CE), la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), textura, bases intercambiables y Materia Orgánica (MO) del suelo antes y después de aplicar vinaza. Adicionalmente, se evaluó el efecto de este residuo en la germinación y el desarrollo vegetativo del cilantro. El suelo presentó textura franco arenosa, pH ligeramente ácido (6,05), baja CE (60 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y baja CIC. La adición de vinaza al suelo disminuyó el pH, aumentó el contenido de MO, la CIC y la CE entre 1.126 y 2.047 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los contenidos de 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, concentraciones superiores a 50% v/v la inhibieron. La longitud y el diámetro de los tallos de *C. sativum* tratados con vinaza fue mayor a los obtenidos en el tratamiento control, el número de hojas aumentó 72,5 % con la aplicación de 9.091 L/ha; mientras que las biomásas aérea y radical aumentaron 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 estudiado.

Palabras clave: *Coriandrum sativum*, Germinación, Suelo, Vinaza.

EVALUATION OF THE APPLICATION OF VINASSE IN SOIL AND ITS POSSIBLE AGRICULTURAL USE IN CORIANDER (*Coriandrum sativum*)

Annelisa Arcila^{1,2}, Luis Amaíz¹ & Domenico Pavone²

¹ Center for Applied Microbiological Research. Faculty of Health Sciences (FCS-UC).

² Department of Biology. Faculty of Science and Technology Experimental (FACYT-UC).
University of Carabobo. Venezuela.

ABSTRACT

Vinasse is a liquid by-product obtained during the production of ethyl alcohol. Due to its high nutrient content, it's presumed that it can be used as an organic fertilizer in crops with a short vegetative cycle. The objective of this study was to evaluate the effect of sugarcane vinasse over some soil physiochemical parameters and some biometric variables of coriander (*Coriandrum sativum*). For this purpose, vinasse was characterized physicochemically at 20% v/v and its effect at different application rates (5152, 7879, 9091, 10000 and 10909 L / ha) was evaluated in soil samples of the municipality Montalbán, State Carabobo. The pH, Electrical Conductivity (EC), Cation Exchange Capacity (CEC), texture, interchangeable bases and organic matter (OM) of the soil were determined before and after applying vinasse. Additionally, the effect of this residue on the germination and the vegetative development of coriander was evaluated. The soil presented franco-sandy texture, slightly acidic pH (6,05), low CE (60 μ S/cm) and low CEC. The addition of vinasse in soil decreases pH, increases the OM content and soil EC between 1126 and 2047 μ S/cm. The nitrogen, calcium and magnesium contents available in the soil increased after the application of vinasse. The length and diameter of the coriander stems treated with vinasse was higher than those obtained in control treatment, the number of leaves increased 72.5% with the application of 9091 L/ha. The aerial and radical biomass of coriander increased in all treatments with vinasse and the highest percentage of germination was obtained in the treatment with vinasse at 5%v/v, concentrations higher than 50% v/v inhibited germination. It is concluded that the doses of vinasse evaluated have a favorable effect on the vegetative development of cilantro, but higher doses can salinize and acidify the soil, causing a negative impact on the soil.

Key words: *Coriandrum sativum*, Germination, Soil, Vinasse.

INDICE GENERAL

	Página:
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	ix
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACIÓN	6
3. OBJETIVOS	
3.2 General.....	7
2.3 Específicos.....	7
4. MARCO TEÓRICO	
4.1 Antecedentes.....	8
4.2 Definición de Términos.....	13
4.3 Vinaza de caña de azúcar.....	13
- Generalidades.....	13
- Alternativas de uso.....	15
- Legislación ambiental.....	16
- Características de la vinaza.....	19
4.4 <i>Coriandrum sativum</i> (cilantro).....	20

- Descripción Botánica.....	20
- Condiciones ecológicas.....	20
- Cosecha.....	21
- Composición nutricional.....	21
- Usos.....	22
- Requerimientos nutricionales.....	23

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Muestras a tratar: Vinaza, suelo y semillas de <i>C. sativum</i>	24
5.1.1 Vinaza: toma de muestra, pre tratamiento y caracterización química.....	24
5.1.2 Suelo: toma de muestra y conservación.....	25
5.1.3 Semillas de <i>Coriandrum sativum</i>	26
5.2 Determinación del efecto de la vinaza en la germinación de <i>C. sativum</i>	26
5.3 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del suelo.....	28
5.3.1 Determinación del pH.....	28
5.3.2 Textura del suelo.....	28
5.3.3 Cuantificación de la materia orgánica.....	29
5.3.4 Conductividad eléctrica.....	29
5.3.5 Bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico.....	29
5.3.6 Determinación del contenido de nitrógeno total.....	32
5.3.7 Caracterización de la carga microbiana del suelo.....	32
5.4 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de riego.....	33

	10
5.4.1 pH.....	33
5.4.2 Conductividad eléctrica.....	34
5.4.3 Sólidos disueltos totales.....	34
5.4.4 Carga bacteriológica.....	34
5.5 Aplicación de Vinaza al suelo.....	34
5.6 Determinación del efecto de vinaza en variables biométricas del cilantro....	36
5.7 Análisis Estadísticos.....	36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
6.1 Caracterización de la vinaza al 20% v/v.....	37
6.2 Caracterización del agua de riego.....	39
6.3 Efecto de la vinaza en el suelo.....	40
6.4 Efecto de la Vinaza en la germinación del cilantro.....	54
6.5 Efecto de la Vinaza en el desarrollo vegetativo del cilantro.....	56
6.6 Efecto de la Vinaza en la biomasa de <i>C. sativum</i>	59
7. CONCLUSIONES.....	62
8. RECOMENDACIONES.....	63
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	64
10. ANEXOS.....	78
Anexo A. Corrección de temperaturas para método de Bouyoucos.....	78

Anexo B. Triángulo textural utilizado para determinar el tipo textural de suelo....	79
11. APÉNDICES	80
Apéndice 1. Textura del suelo.....	80
Apéndice 2. Germinación de <i>C. sativum</i>	81
Apéndice 3. Materia orgánica de los testigos absolutos.....	82
Apéndice 4. pH de los testigos absolutos	83
Apéndice 5. pH de los suelos con y sin vinaza.....	84
Apéndice 6. Pruebas estadísticas.....	85
Apéndice 7. Biomasa aérea y radical.....	88
Apéndice 8. Preparación de agares.....	89
Apéndice 9. Preparación de soluciones.....	90

INDICE DE TABLAS

	Página:
Tabla I. Composición química de la vinaza de caña de azúcar.....	19
Tabla II. Composición nutricional de las hojas frescas de cilantro.....	21
Tabla III. Composición química del aceite esencial de <i>C. sativum</i>	22
Tabla IV. Contenido nutricional de las semillas de cilantro.....	22
Tabla V. Métodos aplicados según las normas COVENIN para aguas naturales, industriales y residuales.....	24
Tabla VI. Tratamientos evaluados en la germinación de <i>C. sativum</i>	26
Tabla VII. Volúmenes de vinaza al 20% v/v aplicados al suelo.	35
Tabla VIII. Tratamientos como sistema control dos del suelo con vinaza al 20% v/v.....	36
Tabla IX. Caracterización fisicoquímica parcial de la vinaza al 20 % v/v.....	37
Tabla X. Caracterización parcial del agua de riego.....	39
Tabla XI. Carga microbiológica parcial del suelo antes de aplicar vinaza y después de ser tratado con diferentes dosis de vinaza, tras ser cultivado con <i>C. sativum</i>	42
Tabla XII. pH, conductividad eléctrica y materia orgánica del suelo antes y después de aplicar diferentes dosis de vinaza al 20 % v/v, y su posterior cultivo con plantas de cilantro.....	45
Tabla XIII. pH, CE y MO del suelo de los tratamientos del sistema control dos a los 90 días después de añadir la vinaza al 20 % v/v.....	49

Tabla XIV. Contenido de algunos macroelementos disponibles antes (In) y después de aplicar diferentes dosis de vinaza al 20 % v/v, en suelos utilizados para el cultivo de <i>C. sativum</i>	51
Tabla XV. Cantidad estimada de nutrientes adicionados al suelo, con cada tratamiento de vinaza al 20% v/v.....	53
Tabla XVI. Pesos promedios totales de <i>C. sativum</i> obtenidos en los diferentes tratamientos	59
Tabla XVII Corrección de temperaturas para método del hidrómetro de Bouyoucos...	78
Tabla XVIII. Temperatura y densidad medida a los 40 s y a las 2h de iniciado el ensayo	80
Tabla XIX. Distribución de las partículas del suelo en ambas replicas.	80
Tabla XX. Volúmenes de agua y vinaza utilizados en los diferentes ensayos de germinación del cilantro.....	81
Tabla XXI. Número de semillas de cilantro germinadas y porcentaje de germinación en las tres réplicas (A, B y C)	81
Tabla XXII. Variación de la MOS en los tratamientos del sistema control a través del tiempo.....	82
Tabla XXIII. Variación en el pH del suelo de los testigos absolutos durante todo el ensayo	83
Tabla XXIV. pH del suelo con y sin vinaza.....	84
Tabla XXV. Biomasa aérea del cilantro.....	88
Tabla XXVI. . Biomasa radical del cilantro.....	88
Tabla XXVII Peso de medios y volumen de agua utilizados para la preparación de agares	89
Tabla XXVIII. Soluciones utilizadas en los diferentes ensayos.....	90

INDICE DE FIGURAS

Página:

Figura 1. Proceso industrial para la obtención de vinaza de caña.....	14
Figura 2. Ubicación geográfica del muestreo de suelo.....	25
Figura 3. Semillas de <i>C. sativum</i> sumergidas por 12 h en los diferentes tratamientos con vinaza.....	27
Figura 4. Carga de aerobios mesófilos presentes en el suelo de Aguirre antes de la aplicación de vinaza (In) y su variación 24 y 48 horas después de adicionar 5.152, 9.091 y 10.909 L/ ha de vinaza al 20% v/v.....	40
Figura 5. <i>Figura 5:</i> Cuantificación de la carga de coliformes totales en el suelo de Aguirre antes de la aplicación de vinaza (In) y su variación 24 y 48 horas después de adicionar 5.152, 9.091 y 10.909 L/ ha de vinaza al 20% v/v.....	42
Figura 6. Contenido porcentual de las partículas texturales cuantificadas en las muestras estudiadas del suelo de Aguirre.....	44
Figura 7. Variación en el contenido de Materia Orgánica, luego de aplicar la vinaza al 20% v/v.....	48
Figura 8. Variación temporal en el pH de los suelo tratados con 5.152, 9.091 y 10.909 L/ha de vinaza al 20% v/v.	49
Figura 9. Variación en la Conductividad eléctrica de los de los suelos del sistema control dos (TA1, TA3 y TA5) después de aplicar vinaza al 20%v/v	50
Figura 10. Germinación de <i>C. sativum</i> a diferentes concentraciones de vinaza.....	54
Figura 11. Morfología foliar de las plántulas de <i>C. sativum</i> obtenidas en el ensayo de germinación.....	56

Figura 12. Longitud del tallo de <i>C. sativum</i> a los 90 dds, en los diferentes tratamientos con vinaza.....	56
Figura 13. Diámetro promedio del tallo de <i>C. sativum</i> en los diferentes tratamientos con vinaza.....	57
Figura 14. Número promedio de hojas de <i>C. sativum</i> a los 90 dds, en los diferentes tratamientos con vinaza.....	58
Figura 15. Biomasa Aérea de <i>C. sativum</i> obtenida 90 días después de la germinación, en suelos tratados con diferentes dosis de vinaza al 20% v/v	60
Figura 16. Biomasa radical de <i>C. sativum</i> obtenida 90 días después de la germinación, en suelos tratados con diferentes dosis de vinaza al 20% v/v	61
Figura 17. Triángulo textural utilizado para determinar el tipo textural de suelo de las muestras estudiadas en esta investigación.....	79
Figura 18. Prueba Kruskal Wallis y Mann Whitney para la materia orgánica de los testigos absolutos.....	85
Figura 19. Pruebas de ANOVA y Tukey para el pH de los tratamientos.....	85
Figura 20. Pruebas de ANOVA y Tukey realizadas con las longitud del tallo de <i>C.sativum</i> para los diferentes tratamientos con vinaza al 20% v/v.....	86
Figura 21. Pruebas Kruskal Wallis y Mann Whitney para el número de hojas de <i>C. sativum</i> tratados con diferentes dosis de vinaza al 20% v/v.....	86
Figura 22. Pruebas Kruskal Wallis y Mann Whitney para el diámetro del tallo de <i>C. sativum</i> , medido a nivel de la macolla.....	87

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a escala mundial existe una gran preocupación por la contaminación ambiental; en este sentido se trata no solo de minimizar el impacto ambiental de las actividades humanas, sino también de buscar soluciones sostenibles para mitigar los efectos de ésta sobre el medio ambiente, reduciendo las emisiones que promuevan alteraciones significativas en el aire, agua y suelo. Sin embargo, hasta ahora se ha hecho imposible evitar la generación de residuos industriales, es por ello que se trata de minimizarlos o reutilizarlos empleándolos de manera racional; reciclándolos o dándoles aplicaciones de carácter secundario que favorezcan el proceso de asimilación o neutralización de los mismos, evitando sus efectos negativos no solo en la salud humana, sino también, sobre el ambiente de forma que se mantengan los equilibrios ecológicos naturales (Ros, 2006; Guardia & Ruíz, 2010).

Las destilerías son una de las industrias que más impactan al ambiente, sus implicaciones van desde el cultivo de la materia prima (caña de azúcar) con el uso de herbicidas y plaguicidas, hasta la destilación fraccionada para la obtención del alcohol etílico (Pérez, 2000), generándose en este último paso, grandes cantidades de un subproducto líquido denominado vinaza.

La vinaza presenta una coloración oscura, olor penetrante, pH ácido y concentraciones moderadas de potasio y nitrógeno (Pérez & Garrido, 2006; Korndörfer, 2009). Su alto contenido de materia orgánica, asociada a una elevada demanda bioquímica de oxígeno, convierten a la vinaza en un contaminante de las fuentes de agua, ya que bloquea los fotosistemas de las algas y agota el oxígeno disuelto, siendo ambas condiciones esenciales para la vida acuática (Montenegro, 2009).

El gran volumen generado de este residuo durante la producción del alcohol etílico le acarrea a las destilerías problemas de almacenamiento. Esto ocasiona que se acumulen grandes cantidades de vinaza a la intemperie, contaminando el aire con olores desagradables,

debido a la degradación de la materia orgánica, y atrayendo insectos productores de enfermedades en seres humanos.

Ante la producción inevitable y excesiva de este subproducto, y teniendo en cuenta su alto contenido en nutrientes, varios autores (Ferreira & Montenegro, 1987; Kadioglu & Faruk, 1990; Alfaro & Alfaro, 1996; García, 2006; Girón, 2008; Montenegro *et al.*, 2009; Narváez *et al.*, 2010) han propuesto la utilización de la vinaza como fertilizante orgánico, para mejorar la calidad de los suelos y promover el desarrollo aéreo y radicular de diferentes rubros agrícolas de interés económico mundial.

Sin embargo, hasta ahora el efecto de la vinaza se ha estudiado en su mayoría en suelos cultivados con plantas de ciclo vegetativo largo, siendo predominantes los cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y de maíz (*Zea mays*). De esta forma, el conocimiento sobre el impacto de la vinaza en plantas de ciclo vegetativo corto y en suelos venezolanos es limitado, por ello se plantea el presente trabajo de investigación cuyo objetivo principal es evaluar el efecto de la vinaza de caña de azúcar, sobre los algunos parámetros fisicoquímicos del suelo y algunas variables biométricas del cilantro (*Coriandrum sativum*).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Venezuela, la producción de alcohol etílico se da exclusivamente a través del proceso de fermentación biológica de melazas provenientes de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), seguido de un proceso de destilación donde se concentra la corriente alcohólica de 8 a 96% del volumen de alcohol. En este proceso se generan grandes cantidades de un subproducto líquido, denominado vinaza, que como todos los efluentes de las industrias alimenticias son de difícil disposición (Mohaibes & Heinonen-Tanski, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2009; Lugo, 2016).

La vinaza posee características fisicoquímicas distintivas y aunque su composición química puede variar en función de la materia prima y del proceso de destilación, en general presentan pH ácido, altos contenidos de materia orgánica, potasio y calcio, así como cantidades moderadas de nitrógeno y fósforo (Alfaro & Alfaro, 1996; García & Rojas, 2006; Montenegro *et al.*, 2009; Vargas, 2014). Adicionalmente, la vinaza también posee sustancias nocivas, que se deben en gran parte a la materia orgánica, representada por azúcares no degradados, carbohidratos no fermentados, compuestos recalcitrantes y una gran variedad de compuestos inorgánicos (Rosillo *et al.*, 2000).

En este sentido García & Rojas (2006) afirman que la vinaza resultante de la destilación de la melaza fermentada, contiene todos los componentes del vino que han sido arrastrados por el vapor de agua así como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles. De manera general, sus principales constituyentes son: sustancias inorgánicas solubles en las cuales predominan los iones K^+ , Ca^{+2} y SO_4^{-2} , células muertas de levadura; sustancias orgánicas resultantes de los procesos metabólicos y microorganismos contaminantes; alcohol residual; sustancias orgánicas insolubles y sustancias orgánicas volátiles.

La vinaza presenta una alta demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20^{\circ}C}$), esto indica que los microorganismos propios de este residuo requieren una gran cantidad de oxígeno para oxidar la materia orgánica presente en ella. Esta característica representa una medida de la concentración de materia biodegradable, pero también debido a esto es considerada un material de alto riesgo de contaminación ambiental; especialmente por los efectos secundarios

e impactos ambientales negativos que ocasiona al recurso hídrico. Cuando la vinaza es vertida sin tratamiento previo en los cuerpos de agua cercanos a las destilerías, disminuye la transparencia de las aguas y la actividad fotosintética, agota el oxígeno disuelto y ocasiona la eutrofización de las mismas. (Pérez & Garrido, 2006; Basanta *et al.*, 2007; Korndörfer, 2009; Montenegro *et al.*, 2009; Vargas, 2014). La vinaza puede crear condiciones anaeróbicas debido a la muerte de la vida acuática y así producir emisiones de gases como: sulfuro de hidrógeno (H_2S), que al entrar en contacto con el agua de lluvia produce la lluvia ácida; y gas metano (CH_4), altamente inflamable y considerado uno de los precursores del efecto invernadero y del cambio climático a nivel mundial (Lugo, 2016).

Otro de los principales inconvenientes que presenta la vinaza es el alto volumen generado en el proceso de destilación, se estima que por cada litro de etanol se obtienen de 10 a 15 litros de este subproducto (Loaiza, 2009). De esta forma, una destilería típica que produce anualmente $94,63 \cdot 10^6$ L de alcohol, genera aproximadamente $1.419,45 \cdot 10^6$ L de vinaza al año (Vargas, 2014).

El gran volumen generado de este residuo durante la producción del alcohol etílico, le acarrea a las destilerías problemas de almacenamiento y disposición, además la vinaza presenta una serie de características fisicoquímicas que exceden los límites establecidos por las leyes ambientales para el vertido de efluentes líquidos en cuerpos de agua. De allí, que la vinaza se trate como un residuo líquido o efluente industrial para disposición final. Esto ocasiona que se acumulen grandes cantidades de vinaza, concentrada y sin tratamiento, a la intemperie formando “lagunas” que no solo atraen a insectos y vectores productores de enfermedades, sino que también presentan riesgo de contaminar aguas subterráneas por percolación.

Debido a las grandes cantidades generadas de este material y a su asociada carga contaminante, se empezaron a investigar nuevas aplicaciones en pro del aprovechamiento de sus propiedades fisicoquímicas por distintas empresas (García & Rojas, 2006). De esta forma, se ha reportado (Ferreira & Montenegro, 1987; Kadioglu & Faruk, 1990; Alfaro & Alfaro, 1996; García, 2007; Girón, 2008; Montenegro *et al.*, 2009; Narváez *et al.*, 2010), el potencial que tienen los diferentes tipos de vinazas para actuar como fertilizantes orgánicos, mejorando la permeabilidad, la porosidad y la concentración de macronutrientes disponibles en el suelo;

lo que a su vez se refleja en un mayor rendimiento agrícola, al mejorar principalmente el desarrollo de tallos y raíces.

De esta forma, se ha evaluado el efecto de la vinaza no solo en los parámetros fisicoquímicos del suelo sino que también se han utilizado diferentes rubros agrícolas de interés económico mundial como bioindicadores. No obstante, estos trabajos de investigación se han realizado en plantas de ciclo vegetativo largo (tiempo de cosecha mayor a 120 días) como la caña de azúcar y el maíz, el conocimiento que se tiene del efecto de la vinaza en suelos cultivados con plantas de ciclo vegetativo corto (cosecha 45 días después de la germinación) es escaso.

Por otra parte, en Venezuela, son pocos los estudios que han evaluado el efecto de la vinaza en suelos autóctonos, entre ellos se encuentran los realizados por Gómez (1995 y 1996), uno sobre el efecto de la vinaza en la productividad del cultivo de caña de azúcar, y el otro sobre el contenido de potasio intercambiable en un suelo del río Turbio (Edo. Lara). A pesar de los pocos estudios realizados en los suelos venezolanos, las destilerías del país están utilizando las vinazas sin tratamiento previo para el riego de caña de azúcar en épocas de sequía (Pimentel & Rivero, 2011; Vadivel *et al.*, 2014). Aunque se recomienda que la aplicación de vinaza se realice en función de las concentraciones minerales que posea el suelo y en función de las necesidades nutricionales del rubro agrícola a cultivar; en Venezuela para el fertirriego de la caña de azúcar, se utilizan entre 50 y 60 m³/ ha de vinaza cruda cada 15 días (Gómez, 1995; Farreras & Párraga, 2013).

Por lo anteriormente descrito, se plantea el presente trabajo de investigación que pretende evaluar no solo el efecto de la vinaza de caña diluida, sobre algunas propiedades fisicoquímicas de un suelo del Edo. Carabobo, sino también el efecto de este residuo industrial en el crecimiento y desarrollo vegetativo de *Coriandrum sativum* (cilantro), en condiciones de vivero.

2. JUSTIFICACIÓN

La vinaza puede ser obtenida por destilación de la melaza fermentada o por fermentación directa de los jugos de la caña. Debido a esto, su origen yace en las plantas de caña de azúcar, por lo que su composición elemental refleja la del material de procedencia (García y Rojas, 2006).

La vinaza posee compuestos inorgánicos insolubles, un alto contenido de materia orgánica, nutrientes como potasio, nitrógeno y fósforo; sustancias orgánicas que pueden fungir como complemento nutricional en suelos para su mejoramiento y aporte como fertilizante orgánico, el cual es aprovechado por las plantas para optimizar su desarrollo y reproducción. Muchos usos de aprovechamiento de las vinazas han sido reportados por investigadores para fines de disposición o para algún tipo de beneficio, uno de ellos es de uso agrícola “*in natura*”, ya sea por sustitución parcial o total de los fertilizantes comerciales que son empleados en las prácticas agrícolas tradicionales.

Actualmente en Venezuela, se está utilizando este residuo (vinaza) con un volumen de aplicación de 50 m³/ha como complemento nutricional, principalmente de potasio y fósforo, en suelo para el cultivo de caña de azúcar y por consiguiente para mejorar las condiciones de desarrollo de este rubro agrícola. Sin embargo, la información o el conocimiento en cuanto a su posible aplicación para cultivos de ciclos vegetativos cortos, así como los posibles impactos que este residuo pueda ocasionar son limitados.

Partiendo de esta situación, y en función de plantear una alternativa de uso o aprovechamiento de este tipo de residuo para fines agrícolas, este trabajo de investigación se realizó con el fin de evaluar si es posible o no su aplicación en suelo y por consiguiente en el desarrollo de un cultivo de *C. sativum*.

Entre las ventajas y los aportes de este trabajo de investigación, es que la vinaza es de fácil adquisición, ya que se trata de un efluente industrial que se genera en grandes cantidades y por consiguiente es rentable en términos económicos. Por otro lado, se obtiene beneficios de manera indirecta a la comunidad científica por el nuevo conocimiento generado, especialmente el Centro de Investigaciones Microbiológicas Aplicadas de la Universidad de Carabobo (CIMA) y el departamento de Biología de FACYT; permitiendo la generación de

investigaciones posteriores en esta temática de estudio. De forma directa, beneficiaría a las destilerías, al conocer y permitirle ofrecer en cuanto a disposición y uso racional, un residuo que generan en exceso y que les acarrea problemas de almacenamiento y manejo, que a su vez se refleja en pérdidas económicas para estas industrias.

Adicionalmente, beneficiaría a los agricultores venezolanos al proveerles una alternativa de fertilización orgánica más amigable con el medio ambiente, al transformar un residuo industrial corrosivo y contaminante a un agente agrícola que no solo cumpla con las legislaciones y políticas conservacionistas que se rigen en la actualidad en el país; sino que también la vinaza pueda ser una alternativa de reemplazo o disminución de los fertilizantes químicos (NPK), utilizados por ellos, en prácticas agrícolas que no solo acarrear altos costos de adquisición, sino que también contaminan los suelos en los que se aplican por largos periodos de tiempo. Por todo lo anteriormente planteado, se establece que el presente proyecto es de carácter exploratorio.

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 General:

Evaluar el efecto de la vinaza de caña de azúcar, sobre algunos parámetros fisicoquímicos del suelo y algunas variables biométricas de *Coriandrum sativum*.

3.2 Específicos:

- Caracterizar fisicoquímicamente el suelo antes y después de la aplicación de la vinaza.
- Caracterizar microbiológicamente el suelo antes y después de la aplicación de la vinaza.
- Determinar el efecto de la vinaza en la germinación de *C. sativum*.
- Analizar el efecto de la vinaza sobre algunas variables biométricas de *C. sativum*.

4. MARCO TEORICO

4.1 Antecedentes

Los antecedentes que se mencionan a continuación, ilustran algunas alternativas de uso de la vinaza en el área agrícola como fertilizante orgánico a diferentes diluciones y a diferentes volúmenes de aplicación. Entre los más resaltantes se encuentran:

Pineda *et al.*, (2015) estudiaron el efecto de la vinaza de caña de azúcar sobre un suelo Fersialítico pardo rojizo mullido, cultivado con caña de azúcar variedad C323-68; ubicado en Remedios, Cuba. Se evaluaron cuatro tratamientos: (a) Control absoluto; (b) Dosis NPK (90 kg/ ha de N; 50 kg/ ha de P₂O₅ y 115 kg/ ha de KCl); (c) Aplicación de 60 m³/ha de vinaza; (d) Aplicación de 80 m³/ha de vinaza. Cada tratamiento constó de cuatro réplicas identificadas como surcos de 381 m de largo. Los indicadores del cultivo evaluados a los nueve meses fueron: conteo de tallos, conteo de población, grosor del tallo y longitud de entrenudos. Obtuvieron que la aplicación de 60 m³/ha de vinaza, afectó de forma similar al suelo que la aplicación de NPK. Concluyeron que la aplicación de vinaza a 60 m³/ha no afectó el pH, favoreció el desarrollo de los indicadores del crecimiento evaluados, así como el contenido de fósforo y potasio asimilables en el suelo.

González *et al.*, (2014) evaluaron el efecto de la vinaza de caña de azúcar, en la germinación de la soja (*Glycine max*), el trigo (*Triticum aestivum*) y la quinoa (*Chenopodium quinoa*). Para ello, dispusieron un control con agua destilada y cuatro tratamientos: (a) vinaza pura; (b) vinaza 1:1 v/v; vinaza 1:5 v/v, (c) vinaza 1:10 v/v; (d) vinaza 1:20 v/v. Las semillas fueron colocadas en placas de Petri con papel de filtro embebido en la solución de vinaza a ensayar. El volumen de vinaza agregado fue 2 mL para la quinoa y 5 mL para la soja y el trigo. Todas las semillas con radículas ≥ 2 mm, se consideraron germinadas; mientras que las semillas abortadas (germinación anormal) fueron aquellas que presentaron emergencia de cotiledones o hipocótilo previo a la radícula. El número de semillas germinadas y/o abortadas se registró cada 2 h durante 36 h para quinoa, 62 h para trigo y 96 h para soja; estos valores representan el tiempo requerido por cada especie para alcanzar su porcentaje máximo de

germinación. Los ensayos de germinación se realizaron con la vinaza diluida al pH intrínseco (4,7) y con pH ajustado a 7,2 por adición de NaOH 0,2 N. Obtuvieron que la vinaza pura inhibe la germinación de las tres especies de semillas estudiadas. Sin embargo, en el caso de la quinoa la germinación máxima (G_{\max}), fue 97% en la dilución 1:10 y pH ácido; seguido de un 92,4 % de germinación en pH ajustado en la dilución 1:20. La G_{\max} de la soja fue 99,2% en la dilución 1:20 a pH ajustado; mientras que en las semillas de trigo no se detectaron diferencias significativas entre los porcentajes de germinación, alcanzándose el 100% de germinación en los tratamientos a pH ácido dilución 1:5 y en pH ajustado en la dilución 1:10. Concluyeron que la vinaza diluida no inhibe la germinación del trigo, la soja y ni la quinoa, pero si la retarda.

Montenegro *et al.* (2009) evaluaron el efecto de la vinaza en la biomasa microbiana y en el aporte de K^+ , en suelos de tipo Entic Dystropept y Fluventic Haplustoll, ubicados en el Valle de Cauca, Colombia. Tuvieron por objetivo suplir los requerimientos de potasio en cultivos de maíz dulce (*Zea mays*) con aplicación de vinaza en diferentes dosis. Para ello, utilizaron un diseño al azar con cuatro tratamientos generados a partir de los requerimientos nutricionales de K^+ del maíz (K_2O : 124 kg/ha), con dos fuentes: KCl y vinaza sola o en combinación con KCl. Los tratamientos que utilizaron fueron: T1 (100% requerimiento de K^+ , como KCl), T2 (100% requerimiento de K^+ con vinaza), T3 (50% con KCl y 50% con vinaza) y T4 (25% requerimiento de K^+ con KCl y 75% con vinaza). Estimaron la biomasa microbiana por el método de fumigación-extracción con K_2SO_4 al 0,5 M; para la cuantificación del CO_2 se incubaron las muestras de ambos suelos en sistemas cerrados provistos con NaOH, que fue posteriormente titulado con HCl. Con los resultados obtenidos calcularon el coeficiente metabólico (qCO_2). Obtuvieron que en el suelo Entic Dystropept el qCO_2 de los tratamientos con vinaza se estabilizó en el tiempo y disminuyó al final del cultivo; mientras que en el suelo Fluventic Haplustoll se incrementó, principalmente en los tratamientos de mayor contenido de vinaza (T2 y T4), lo que indicó menor eficiencia en la utilización del carbono, resultando mayor la liberación de CO_2 por unidad de sustrato, lo que refleja estrés microbiano y estado de dormancia como mecanismo de supervivencia evitando posible toxicidad. La mayor acumulación de biomasa en el Entic Dystropept se reflejó en los tratamientos con 100%

vinaza (33.372 kg/ha) y sin vinaza (30.450 kg/ha); mientras que en el Fluventic Haplustoll el mayor valor se registró en T1 (2.116,85 kg/ha), seguido del tratamiento combinado con 50% vinaza y 50% KCl en el que obtuvieron una acumulación de biomasa de 18.457 kg/ha. Concluyeron que la acumulación de biomasa en maíz fue superior en el Entic Dystropept, mientras que en el Fluventic Haplustoll la biomasa microbiana y la eficiencia metabólica de los tratamientos que incluían vinaza no presentaron recuperación en el tiempo.

Santos *et al.*, (2008) evaluaron la aplicación de vinaza (de vino) en un cultivo de pepino como biofertilizante y su efecto en el control de enfermedades. Este estudio se realizó en Almería, España. Se analizaron los siguientes tratamientos: Tratamiento testigo, vinaza al 10% v/v; vinaza al 15% v/v y vinaza al 20% v/v. Las aplicaciones de vinaza o agua se hicieron antes de la siembra y posteriormente cada 15 días. El volumen de vinaza adicionada fue 1 L y los parámetros estudiados fueron: (a) Germinación de las semillas a los 5 días de la siembra; (b) Altura de las plantas a los 40 días de la siembra; (c) Grosor de los tallos a los 40 días de la siembra; (d) Grosor, peso, longitud y curvatura de los frutos; (e) Peso de las raíces. Obtuvieron que no existen diferencias significativas entre ningún tratamiento en cuanto a germinación, siendo ésta superior al 90% en todos los casos. La aplicación de vinaza no influyó en el grosor de los frutos, sin embargo, el peso de los frutos disminuyó conforme mayor fue la aplicación de vinaza llegando a presentar diferencias significativas entre las plantas testigo y la concentración 20% v/v de vinaza. El peso de las raíces aumentó proporcionalmente a la concentración de vinaza. De esta forma, la vinaza contribuye a que la planta desarrolle un buen sistema radicular, aumentando casi en un 70% su peso seco. En los análisis de suelo se observó un mayor aumento de población fúngica en el tratamiento de 10% de vinaza.

Bautista *et al.* (2000) evaluaron los beneficios y riesgos de la aplicación de vinaza (de caña de azúcar) en suelos Acrisol y Fluvisol, ubicados en Veracruz, México. Utilizaron vinazas crudas (VC), vinazas tratadas en un reactor anaerobio de flujo ascendente (VA), vinazas tratadas en un tren anaerobio-aerobio (VAA) realizado con reactores de flujo ascendente y con un reactor de biodiscos; y un testigo (T) con agua. Muestrearon ambos

suelos de 0 a 20 cm de profundidad, colocaron 500 g de suelo en macetas con bolsas plásticas, para evitar la pérdida de vinaza por lavado. Aplicaron una única dosis de 100 mL de vinaza por maceta. Determinaron el pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y carbono hidrosoluble, de los suelos. Extrajeron los micronutrientes (Fe^{+2} , Mn^{+2} , Cu^{+2} y Zn^{+2}) y los analizaron con espectrofotometría de absorción atómica. Analizaron el contenido total de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , K_2O , Na_2O y P_2O_5 . Todos los análisis se realizaron semanalmente, durante un mes. Obtuvieron que las vinazas aumentaron el pH y la conductividad eléctrica de ambos suelos, siendo este aumento mayor en el Fluvisol; señalando esto que el Acrisol puede recibir mayores dosis de VC y con más frecuencia que el Fluvisol. En cuanto a la fertilidad, el Fluvisol presentó mayores cantidades de metales alcalinos, alcalinotérreos y P_2O_5 en comparación con el Acrisol. La adición de VC disminuyó el contenido de SiO_2 y Al_2O_3 , pero también aumentó los contenidos de K_2O , CaO y MgO en ambos suelos. Mientras que VA y VAA aumentaron solo el contenido de K_2O y Na_2O . Concluyeron que para ambos suelos la aplicación de VC constituye un riesgo de salinización y de contaminación por Zn^{+2} y Mn^{+2} ; no obstante la VC presenta varios beneficios como: aumento del pH, hierro y fósforo. En el Acrisol los riesgos de la aplicación de VA son la toxicidad por Zinc y la pérdida de cristalinidad; mientras que los beneficios del VA y de las VAA son los incrementos en el valor del pH y el fósforo, así como la disminución del riesgo de contaminación de los cuerpos de agua. En el Fluvisol no se detectaron riesgos por la aplicación de VA y VAA.

Kadioglu & Faruk (1990), evaluaron el efecto de la vinaza en el crecimiento de *Helianthus annuus* y *Pisum sativum*. Cultivaron semillas de ambas especies y agregaron 75 mL en cada una de las ocho concentraciones diferentes de vinaza (1; 2,5; 5; 10; 25; 50; 75 y 100% v/v) en intervalos de 2 días, durante todo el período de estudio (100 días), en condiciones de invernadero (25-28 °C) y en periodos de luz y oscuridad durante 12 horas, por igual. En las concentraciones de 75 y 100% de vinaza no hubo germinación. Se cuantificó la cantidad de clorofila y proteínas en plantas cosechadas a intervalos de 20 días. La actividad celulasa y pectina metil esterasa se determinaron al final del período de crecimiento. Obtuvieron que el tratamiento con vinaza al 2,5 % v/v presentó la máxima actividad enzimática y el mayor diámetro promedio (3,5 mm) de *P. sativum* y *H. annuus*. La

actividad enzimática, el contenido de clorofila y de proteína total, de ambas especies de plantas disminuyeron gradualmente en concentraciones superiores de vinaza. Concluyeron que debido al efecto osmótico de alta concentración de vinaza, la absorción de magnesio y otros iones minerales disminuye, lo que afecta el contenido de clorofila. Por otro lado, se informa que, en virtud de la deficiencia de potasio, la actividad fotosintética disminuye rápidamente.

Farreras & Párraga (2013) evaluaron el efecto de lodos de vinaza en suelos tipo Inceptisol y Ultisol, cultivados con maíz en Guanare, Venezuela. Establecieron un diseño de bloques al azar con dos repeticiones y cuatro tratamientos (T0: agua; T1: fertilizante químico 10-20-20, 35 g/m² y re abono con urea 20 g/m²; T2: lodo de vinaza en dosis de 2,5 kg/m² y T3: lodo en dosis de 5 kg/m²). La siembra se realizó diez días después de la aplicación de los tratamientos y las variables biométricas que estudiaron fueron: altura de la planta (AP) y diámetro del tallo (DT). Antes y después de la aplicación de los lodos, midieron las siguientes propiedades químicas en ambos suelos: pH, materia orgánica (MO), fósforo disponible, potasio, sodio, calcio, magnesio y aluminio intercambiable. No obtuvieron diferencias significativas en las propiedades químicas de los suelos debido a la aplicación de lodos de vinaza; sin embargo, evidenciaron variaciones en las concentraciones de nutrimentos entre el inicio y final del ensayo en ambos suelos. En el Ultisol la aplicación de T2 y T3 generaron mayores valores de AP (58,16 cm y 71,76 cm) que el testigo (47,8 cm) y menores que con fertilizante químico (104,97 cm); mientras que DT fue mayor con la aplicación de fertilizante químico. En el Inceptisol, DT y AP fueron mayores con la aplicación de fertilizante químico (1,74 y 114,09 cm). Concluyeron que la aplicación de lodos de vinaza tiene efectos favorables en el maíz y en el suelo, ya que aumenta la concentración de MO, calcio, hierro, potasio y magnesio en suelos de baja fertilidad (Ultisol) por lo que sugieren evaluar aplicaciones mayores en este tipo de suelo.

Los antecedentes anteriormente descritos se utilizaron como referencia para plantear los diferentes tratamientos (dosis) con vinaza que se aplicaron en el cultivo de *Coriandrum sativum*; especialmente los reportados por Santos *et al.*, (2008) y Pineda *et al.*, (2015). Los

autores anteriormente citados junto con la investigación realizada por Kadioglu & Faruk (1990), también se utilizaron para plantear las diferentes variables biométricas que se analizaron en el cultivo del cilantro, para determinar si estas varían con la aplicación de la vinaza.

Por otra parte, los trabajos de Kadioglu & Faruk (1990) y González *et al.*, (2014) sirvieron de referencia para plantear las concentraciones de vinaza a utilizar en los ensayos de germinación.

En tanto que las investigaciones de Bautista *et al.*, (2000); Montenegro *et al.*, (2009) y Farreras & Párraga (2013) se utilizaron para establecer los parámetros fisicoquímicos y de viabilidad microbiana que se analizaron en el suelo antes y después de los tratamientos con vinaza.

4.2 Definición de Términos

4.2.1 Vinaza de caña de azúcar

- Generalidades

La vinaza, es un subproducto líquido obtenido de la producción de alcohol etílico a partir de la fermentación y la destilación de una materia prima, en este caso, melaza (Figura 1); se caracteriza por poseer una coloración oscura (puede variar de carmelita a negro); con gran contenido de sólidos suspendidos, olor a miel final y sabor a malta. Además posee pH ácido (3,5 - 4,5) y elevada demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20^{\circ}C}$), entre 70 y 80 g/L (Bermúdez *et al.*, 2000; Pérez & Garrido, 2006; Korndörfer, 2009).

La variación en la coloración de la vinaza se debe a la presencia de compuestos fenólicos recalcitrantes derivados de las melazas usadas en la fermentación (FitzGibbon *et al.*, 1998; Gokarn & Mayadevi, 2000). Su coloración oscura no permite la fotosíntesis por el bloqueo de los rayos solares causando deterioro a la vida acuática. Dichos compuestos, representan gran parte de la demanda química de oxígeno (DQO) de la vinaza, e incluyen

además sustancias como: ácido gálico, melanoides y ácidos tánicos, que no son degradados por tratamientos biológicos (Fígaro *et al.*, 2006; Zayas *et al.*, 2007).

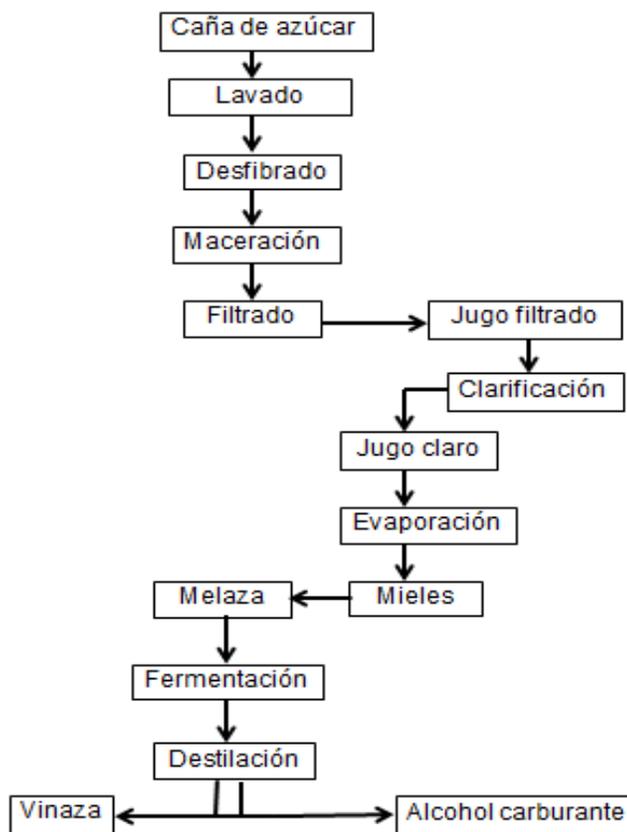


Figura 1: Proceso industrial para la obtención de vinaza de caña. Fuente: Loaliza 2009.

Los estudios realizados a la vinaza de caña de azúcar han demostrado que es un residuo altamente corrosivo y contaminante de las aguas, por su alta $DBO_{5,20^{\circ}C}$ y por su composición química con altos contenidos de: materia orgánica, potasio, calcio, nitrógeno y fósforo (Alfaro & Alfaro, 1996; García & Rojas, 2006; Montenegro, 2009). Sin embargo, la composición química de la vinaza varía de acuerdo a: la naturaleza y composición de la materia prima que se utilice (variedades y maduración de la caña), las condiciones climáticas, el proceso de elaboración del alcohol, el método de fermentación, el tipo de levadura, entre otros (Subirós, 2000). Pero, en general la composición elemental de la vinaza de caña refleja la del material de procedencia. Así, la vinaza está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales

que hacen parte de compuestos y constituyentes vegetales como aminoácidos, proteínas, lípidos, ácidos diversos, enzimas, bases, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, ceras, azúcares y hormonas (García y Rojas, 2006).

Por otra parte, la vinaza puede ser clasificada según la concentración de sólidos totales en: vinaza diluida 8 a 10% de sólidos totales, vinaza semiconcentrada del 20 a 30% de sólidos totales, vinaza concentrada de 55 a 60% de sólidos totales y vinaza sólida de 99 a 99,9% de sólidos totales (González *et al.*, 1995).

- **Alternativas de usos**

Se han propuesto diferentes alternativas de tratamiento o de reutilización de las vinazas, entre ellas: reciclaje de volúmenes del efluente (Cedeño 1995), fertirriego (Alfaro, 1996), combustión y aprovechamiento como alimento animal (Bermúdez 1994; Jaramillo, 2010; Vargas, 2014). Según Nataraj *et al.* (2006) la vinaza puede ser utilizada para la producción comercial de: glicerol, enzimas, astaxantina, hormonas, biopolímeros y ácido orgánicos. Así como para la producción de ácido láctico (Campo & García, 2014).

Mientras que García & Rojas (2006) reportan que la vinaza se está utilizando en la producción de: biogás por descomposición de la materia orgánica en reactores anaerobios; y biosólidos ricos en carbono, nitrógeno y azufre asimilable por las plantas. También se está utilizando como medio de cultivo suplementada con urea y sacarosa para promover el crecimiento de: levaduras, algas del género *Chlorella*, bacterias como *Pseudomonas* y *Methanomonas*; así como para el crecimiento de hongos filamentosos.

Otros usos novedosos de la vinaza son: agente plastificante de concretos reforzados, material en la fabricación de ladrillos, materia prima para la obtención de sulfatos de cloruro y potasio, carbonato de sodio, ácido glutámico y glutamina por vía fermentativa (García & Rojas, 2006)

Sin embargo, el uso de la vinaza en la agricultura ha sido hasta ahora el más estudiado. Con la aplicación de vinazas crudas al suelo (fertirriego), se ha intentado oxidar de manera natural (sin un gasto energético adicional) los compuestos orgánicos solubles presentes en

ellas, utilizando al suelo como biorreactor (Bautista *et al.*, 1995). Por otra parte, se ha demostrado que el poder buffer del suelo disminuye el potencial contaminante de las vinazas (Korndörfer, 2004).

Actualmente, la vinaza es mezclada con otros fertilizantes y utilizada como reemplazo de las fuentes minerales, principalmente de potasio ya que puede contener entre 2,1 y 3,4 kg/m³ de K₂O (Montenegro *et al.*, 2009). Es por eso que en países como España, Egipto, Cuba, México, Brasil, Colombia y Venezuela; las vinazas se han utilizado como fertilizantes en el cultivo de caña de azúcar (Vadivel *et al.*, 2014). Las dosis de aplicación son variables (Cadena *et al.*, 2007; Gómez, 2007) y se preparan de acuerdo a las necesidades de cada tipo de suelo, variedad de caña y a la concentración de la vinaza con que se disponga (Girón, 2008). De forma general, en Colombia y Venezuela, para el fertirriego de la caña de azúcar se utilizan entre 50 y 60 m³/ha de vinaza cruda cada 15 días (Gómez, 1995; Farreras & Párraga, 2013). Otros trabajos señalan que 100 m³/ha de vinaza cruda incrementa los rendimientos de caña en un 23% en soca I y un 65% en soca II, también aumenta el rendimiento de azúcar en 22% en plantillas, 30% en soca I y 63% en soca II (Gómez y Rodríguez, 2000).

- Legislación ambiental

En Venezuela, a diferencia de Brasil y Colombia, no existe una ley que restrinja la aplicación máxima de vinaza en suelos agrícolas. Es por ello que en Venezuela la vinaza se ha tratado como un desecho solo para disposición final según lo establecido en las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos, especificado en el Decreto 883. De igual forma, el vertido de subproductos en cuerpos de agua está regulado por el Artículo 10, que prohíbe la descarga directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses de vertidos líquidos cuyos valores de DBO_{5,20°C} y DQO que superen los 60 mg/L y 350 mg/L, respectivamente. Dentro de este artículo también se define que las concentraciones de hierro y fósforo total, no deben superar los 10 mg/L.

Por lo anteriormente descrito y considerando la composición química de la vinaza (Tabla I), su vertido a las fuentes hídricas está prohibido por las leyes ambientales venezolanas que se rigen en la actualidad.

Sí la vinaza es o no un material peligroso es un tema controversial dentro de la comunidad científica, pues hasta ahora no se ha llegado a un consenso, no obstante, según su composición y su impacto ambiental, la vinaza puede considerarse según las leyes venezolanas como un material peligroso, de acuerdo a lo dispuesto en la Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos (Ley 55); esta definición abarca toda sustancia o mezcla de sustancias que por sus características físicas, químicas o biológicas sea capaz de producir daños a la salud, a la propiedad o al ambiente.

El Decreto 2.635, en su Artículo 6 expone las características que poseen los materiales recuperables y desechos para ser considerados peligrosos, según el criterio de las Naciones Unidas. De todas las características expuestas, la vinaza posee solo dos:

- a) Sustancia infecciosa o desecho que contenga microorganismos viables o sus toxinas, agentes conocidos o supuestos de enfermedades en animales o en el ser humano. La vinaza cumple con esta descripción porque dentro de su flora bacteriana se encuentran organismos del género *Leuconostoc* spp (Campo & García, 2014) siendo algunas especies consideradas patógenos oportunistas que ocasionan bacteriemia en personas inmunocomprometidas.
- b) Ecotóxico sustancia o desecho que si se liberan tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el ambiente, debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos. Sí la vinaza se vierte sin tratamiento previo en las fuentes hídricas puede ocasionar la mortalidad de los peces, al disminuir el oxígeno disuelto.

Al cumplir con estos dos supuestos la vinaza puede ser considerada un material peligroso, no obstante, al preverse un uso productivo, en él se aprovecharan sus macronutrientes en otra actividad comercial diferente a la que le dio origen; la vinaza puede ser catalogada como un material peligroso recuperable. En este sentido, el decreto 2.635 define en el Artículo 3, a los materiales peligrosos recuperables como todos aquellos materiales que revisten características peligrosas, que después de servir a un propósito específico todavía conservan propiedades físicas y químicas útiles, y por lo tanto puede ser reusado, reciclado, regenerado o aprovechado con el mismo propósito u otro diferente.

En este marco legal, se entiende como recuperación de materiales peligrosos, las operaciones o procesos que comprenden la recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y transformación de materiales peligrosos para reusó, reciclaje, regeneración o aprovechamiento. En este trabajo de investigación, la vinaza se recolectó, se almacenó, se trató previamente al filtrarla (disminución de sólidos) y diluirla para posteriormente aplicar dosis que no afectaran negativamente al suelo sino que actuaran como fertilizante orgánico, sin el riesgo de contaminar las aguas subterráneas.

De igual forma, en el Artículo 9 se establece que la recuperación de materiales peligrosos, tendrá como objetivo el reuso, la regeneración o el aprovechamiento de dichos materiales a escala industrial o comercial, con el propósito de alargar su vida útil, minimizar la generación de desechos peligrosos y propiciar las actividades económicas que empleen estos procesos o se surtan de estos materiales. Al proponer un uso racional de la vinaza como fertilizante orgánico, indirectamente se espera una reducción del impacto ambiental que acarrea las grandes concentraciones de este material.

- Características de la vinaza

En la Tabla I se presenta la composición química de la vinaza utilizada en el presente trabajo de investigación.

Tabla I. Composición química de la vinaza de caña de azúcar. Fuente: Lugo, 2016.

Parámetro	mg/L
pH	4,58
° Brix	9,2
DBO _{5,20°C}	24.600
DQO	104.000
Azúcares reductores	12.792,70
Hierro total	31
Fósforo reactivo (PO ₄) ₂	3.495
Nitrógeno total	1.630
Sulfatos	5.400
Nitrito	0,15
Sólidos totales (105 °C)	84.180
Sólidos disueltos totales (105 °C)	59.020
Sólidos suspendidos totales (105 °C)	25.160
Sólidos fijos totales (550 °C)	17.600
Sólidos fijos disueltos (550 °C)	12.380
Sólidos fijos suspendidos (550 °C)	5.220

En cuanto a su composición microbiológica, Campo & García (2014) identificaron los géneros *Sacharomyces*, *Zymomonas*, *Lactobacillus* y *Leuconostoc*; como microorganismos comúnmente encontrados en la vinaza.

4.2.2 *Coriandrum sativum* (cilantro)

- Descripción botánica

Es una planta herbácea anual de la familia de las Apiáceas, de 40 a 60 cm de altura, de tallos dicotómicos, erectos, lisos, cilíndricos y ramificados en la parte superior. El sistema radical del cilantro consiste en una raíz principal, axonomorfa, delgada y altamente ramificada. Las

hojas inferiores son pecioladas y pinnadas; mientras que las superiores son bi-tripinnadas. Las hojas son compuestas de dos tipos de folíolos; los inferiores, son anchos, ovales y provistos de lóbulos dentados; los superiores, están divididos en cuatro o cinco segmentos largos y estrechos. El color de las hojas es verde intenso, aunque en ocasiones puede ser verde-amarillo. Las flores son pequeñas, blancas o ligeramente rosadas, dispuestas en umbelas terminales (inflorescencia). El fruto es un esquizocarpo de 3 a 5 mm de diámetro, color amarillo oscuro, esférico, formado por dos pequeñas mitades semiesféricas acopladas una contra la otra (diaquenio) y tiene estrías que son pequeños conductos que contienen aceite esencial. Cada fruto contiene dos semillas aplanadas de 2 a 3 mm de largo, una por cada aquenio (Simonetti, 1991; Diederichsen, 1996; Usman *et al.*, 2003; Calderón, 2008)

- **Condiciones ecológicas**

C. sativum requiere un clima templado, y aunque puede tolerar un clima templado-cálido, en éste experimenta una notable disminución del rendimiento. La temperatura óptima de germinación varía de 15 a 30 °C, los mejores resultados se obtienen con temperaturas de 27 y 22 °C durante el día y la noche, respectivamente, con un tiempo necesario para germinar de 10 a 21 días (Morales, 1995). La concentración de aceite esencial en los frutos disminuye a temperaturas superiores a 21 °C. Es poco exigente en suelos, pudiendo crecer en los francos, silíceo-arcillosos, calcáreos, ligeros, frescos, permeables, profundos e incluso en los ligeramente ácidos, prefiriendo los calizos (Chicangana, 2014). Suele crecer mejor en suelos fértiles con pH entre 6,5 y 7,5; con buena retención de humedad y buen drenaje (Diederichsen, 1996). El cultivo de cilantro necesita una buena luminosidad, se recomienda que reciba pleno sol aunque no en exceso, ello favorece los procesos de fotosíntesis y transpiración de la planta, requiriéndose de 5 a 6 horas de sol por día (Bolívar, 2013).

- **Cosecha**

El cilantro tiene un ciclo vegetativo corto, entre la siembra y la cosecha comercial de las hojas transcurren aproximadamente de 40 a 45 días, pudiendo cosechar hasta un máximo de 75 días, posteriormente comienza la etapa de floración (Loaiza & Cantwell, 1997). La cosecha de los frutos (semillas) se realiza cuando éstos llegan a su madurez y comienzan a secarse, aproximadamente 90-120 días después de la siembra (Morales, 1995).

- Composición nutricional

Las hojas de cilantro frescas son un rico reservorio de micronutrientes y elementos nutricionales, contienen agua, hidratos de carbono, proteínas y minerales (Tabla II), también tienen 60 mg/100 g de vitamina B2; 0,8 mg/100 g de niacina; 135 mg/100 g de vitamina C y 10.460 unidades internacionales (UI)/100 g de vitamina A. Además, se ha reportado la presencia de ácido cafeico, clorogénico, ferúlico y gálico en tallos y hojas (Peter, 2004; Bajpai *et al*, 2005).

Tabla II. Composición nutricional de las hojas de cilantro frescas. Fuente: Peter, 2004.

Contenido	%
Humedad	87,9
Hidrato de carbono	6,5
Proteína	3,3
Cenizas totales	1,7
Calcio	0,14
Fósforo	0,06
Hierro	0,01

El principal componente de las semillas de *C. sativum* es el aceite esencial (Tabla III), pero también contienen vitaminas, minerales, lípidos y polifenoles (Bhat *et al.*, 2014).

Tabla III. Composición química del aceite esencial de *C. sativum*. Fuente: Nadeem *et al.*, 2013

Compuesto orgánico	%
Linalool	67,7
α -pineno	10,5
γ -terpineno	9
Acetato de geranilo	4
Alcanfor	3
Geranio	1,9

Las semillas de cilantro no contienen colesterol y son ricas en fibra dietética (Tabla IV). Entre los minerales que las integran, el potasio está presente en una cantidad

elevada (1267 mg /100 g) seguida de Calcio (709 mg /100 g), Fósforo (409 mg /100 g), Magnesio (330 mg /100 g), Sodio (35 mg /100 g), Zinc (4,70 mg /100 g). El contenido de folato en la semilla de cilantro es de 200 µg /100 g (Iwatani *et al.*, 2003; USDA, 2013).

Tabla IV. Contenido nutricional de las semillas de cilantro. Fuente: Nadeem *et al.*, 2013

Componente	%
Fibra cruda	28,43
Grasa	19,15
Proteína cruda	11,49
Agua	11,37
Almidón	10,53
Pentosas	10,29
Compuestos minerales	4,98
Azúcar	1,92
Aceite esencial	0,84

- Usos

El follaje fresco o deshidratado del cilantro se utiliza como condimento y como material medicinal. Sus propiedades culinarias, medicinales y aromáticas están íntimamente ligadas al contenido de aceites esenciales o volátiles (Chithra & Leelamma, 2004). De esta forma, el cilantro es usado principalmente como verdura para consumo fresco, como aceite en perfumería, como condimento substituyendo a la pimienta, como medicamento estomacal y de las vías digestivas, como saborizante en confituras, licores y alimentos enlatados, además es ampliamente usado en la industria de embutidos y también por sus efectos bactericidas, larvicidas y fungicidas (Rodale, 1991; Raymond, 1982; Hernández, 2003).

Adicionalmente, a *C. sativum* se le atribuyen actividades farmacológicas a sus diferentes partes vegetativas, como poder antimicrobiano, antioxidante, antidiabético, ansiolítico, antiepiléptico, antidepresivo, antimutagénico, antiinflamatorios, antidislipidemia, antihipertensivos, neuroprotector y diurético (Sahib *et al.*, 2013).

- Requerimientos nutricionales

Según Morales (1995) no se han reportado suficientes trabajos de investigación que permitan elaborar programas óptimos de fertilización en cilantro. Es por ello que las necesidades nutricionales del cilantro no están claramente definidas como en otros rubros agrícolas.

Las experiencias acumuladas de productores tradicionales de follaje en fresco de cilantro, recomiendan la aplicación de 50 kg/ha de un fertilizante completo antes de la siembra, y la aplicación de 50 kg/ha de urea, con intervalos de ocho días posteriores a la emergencia, y cuando las plántulas presenten dos hojas verdaderas (Acuña, 1988).

Sin embargo, Arcos *et al.*, (2002) establecieron el nivel óptimo de nitrógeno en 100 kg/ha para un alto rendimiento de materia fresca. Mientras que García *et al.*, (2002) consiguieron un rendimiento de 200 plantas/m² de cilantro con la aplicación de 150 kg de N, P y K en relación 1:0,5:3, más un complemento foliar de 2 g/L de nitrato de potasio.

Yousuf *et al.*, (2014) reportaron que la aplicación de N₇₀P₅₀K₃₀S₂₀ kg/ha, aumentó la altura de la planta de cilantro, pudiendo alcanzar hasta 74,20 cm. También aumentó el número de ramas primarias y el número de umbelas por planta. De igual forma, se reportó el aumento en peso de semillas. Basados en el peso de 1000 semillas de cilantro, las semillas obtenidas con N₇₀P₅₀K₃₀S₂₀ kg/ha fueron 2,17 g más pesadas que las obtenidas en el tratamiento control.

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Muestras a tratar: Vinaza, suelo y semillas de *C. sativum*

5.1.1 Vinaza: toma de muestra, pre tratamiento y caracterización química

La muestra fue donada por una empresa productora de alcohol etílico, y se captó directamente de la laguna donde disponen este material. La vinaza fue recolectada en envases plásticos de 20 L de capacidad y trasladada al laboratorio de CIMAUC (Centro de Investigaciones Microbiológicas Aplicadas de la Universidad de Carabobo); allí se almacenó a 10 °C para su conservación y posterior uso.

La vinaza se filtró con un colador de tela (algodón) para disminuir los residuos sólidos y se diluyó al 20% v/v con agua destilada; esta dilución se caracterizó químicamente, siguiendo la metodología planteada en las Normas COVENIN (Tabla V). El fósforo reactivo, el nitrógeno total y los sulfatos, fueron estimados con los valores reportados en la Tabla I.

Tabla V. Métodos aplicados según las normas COVENIN para aguas naturales, industriales y residuales.

COVENIN	Título de la norma	Método
2461:2005	Determinación de sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos.	Método gravimétrico. Secados a 103, 105 y 180 °C, respectivamente.
2462:2002	Determinación de pH.	Método potenciométrico.
2803:2002	Determinación de la demanda química de oxígeno.	Digestión por reactor, HACH.
3008:1993	Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.	Método Winkler, titulación del oxígeno disuelto inicial y final a los 5 días de incubación a 20°C.
3050:1991	Determinación de la conductividad eléctrica.	Método electrométrico.

5.1.2 Suelo: toma de muestra y conservación

El muestreo se realizó en el sector agrícola Aguirre, Municipio Montalbán del Estado Carabobo (Figura 2).

La zona de muestreo está situada al norte-este del municipio Montalbán, a $10^{\circ}12'50.44''\text{N}$ de latitud y $68^{\circ}16'38.36''\text{O}$ de longitud (Google Maps, 2015); el promedio de precipitación anual es 964,3 mm; la temperatura promedio anual es 23,4 °C; siendo la temperatura mínima 16 °C y la máxima 28 °C (INAMEH, 1984; Pérez & Soto, 2004).



Figura 2: Ubicación geográfica del muestreo de suelo en Aguirre Estado Carabobo.

Fuente: Google Maps, 2015

Se realizó un muestreo tipo zigzag, para ello se extrajeron muestras simples (submuestras) cada 10 m, previa eliminación de la cobertura vegetal u hojarasca sin afectar la capa superficial de suelo. Las muestras se extrajeron de 0 a 30 cm de profundidad, no se emplearon utensilios metálicos para evitar interferencias en los análisis posteriores. Todas las submuestras se mezclaron formando una muestra compuesta, a la cual se le realizó un cuarteo.

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos, las muestras de suelo se secaron al aire por 72 h, luego se pasaron por un tamiz de 2 mm, se almacenaron en

recipientes con tapa a temperatura ambiente hasta su análisis. Para la caracterización microbiológica, las muestras frescas se almacenaron en recipientes estériles y se conservaron a 4 °C hasta su traslado al laboratorio CIMA-UC, donde se analizaron de forma inmediata.

5.1.3 Semillas de *Coriandrum sativum*

Para los ensayos de germinación y de cultivo se utilizaron semillas de *C. sativum* certificadas, comercializadas por Agro-vitas, C.A.

5.2 Determinación del efecto de la vinaza en la germinación de *Coriandrum sativum*

Se evaluaron siete tratamientos, cada uno de ellos correspondió a una concentración específica de vinaza (Tabla VI) además se estableció un tratamiento solo con agua destilada (control).

Tabla VI. Tratamientos evaluados en la germinación de *C. sativum* en contacto con la vinaza y a diferentes porcentajes de dilución.

Tratamiento	Vinaza (% v/v)
Control	0
1	2
2	5
3	10
4	20
5	50
6	75
7	100

Se prepararon soluciones para las diferentes concentraciones de vinaza evaluadas y posteriormente, en cada tratamiento se sumergieron por 12 h (Figura 3) y a temperatura ambiente 5 frutos de cilantro correspondientes a 10 semillas, ya que cada fruto contiene dos

semillas en su interior. El volumen de cada dilución fue de 10 mL y se prepararon según lo descrito en el Apéndice 5.

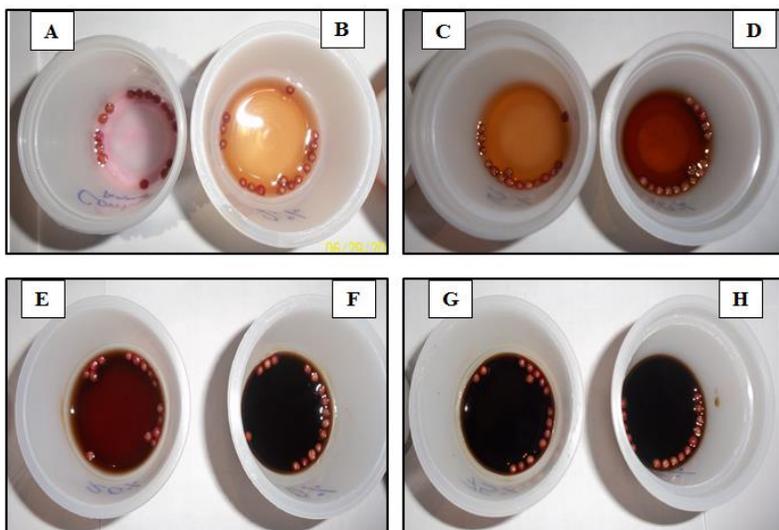


Figura 3: Semillas de *C. sativum* sumergidas por 12 h en las diferentes porcentajes de dilución de vinaza. **A:** Tratamiento control. **B:** Vinaza al 2% v/v. **C:** Vinaza al 5% v/v. **D:** Vinaza al 10% v/v. **E:** Vinaza al 20% v/v. **F:** Vinaza al 50% v/v. **G:** Vinaza al 75% v/v. **H:** Vinaza concentrada (100% v/v).

Finalizada la incubación, se sembraron las semillas en bandejas con suelo, aproximadamente a 2 cm de profundidad y separadas entre sí por 3 cm. Para mantener la humedad, se agregaron 20 mL de agua de riego por aspersión para favorecer la germinación. El tiempo de germinación fue hasta 20 días después de la siembra.

Los porcentajes de germinación se calcularon, según la ecuación 1, hasta 20 días después de la siembra (dds). Este ensayo se realizó por triplicado para cada tratamiento, reportando solo el porcentaje de germinación promedio.

$$\% \text{ Germinación} = (\text{N}^{\circ} \text{ de semillas germinadas} / \text{N}^{\circ} \text{ de semillas sembradas}) * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

5.3 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del suelo

Con el fin de conocer algunas de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo en condiciones iniciales y verificar si hay alguna modificación de las mismas después de la aplicación a diferentes dosis de vinaza, se determinaron los siguientes parámetros:

5.3.1 pH del suelo

Se pesaron 3 g de suelo y se mezclaron con 6,0 mL de agua destilada (proporción 1:2). Se expuso a agitación constante a 30 rpm durante 30 min en un agitador magnético, posteriormente se centrifugó por 10 min a 1500 rpm a 25 °C. Seguidamente, se midió el pH del sobrenadante con un pHmetro 240 Corning (Montoya, 2012).

5.3.2 Textura del suelo

Se utilizó el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1936). Se colocaron aproximadamente 100 g de suelo seco en una mezcladora de suelo, se agregaron 100,0 mL de agua destilada y 50,0 mL de pirofosfato de sodio 1 N; se dejó en reposo por 5 min y luego se mezcló por 15 min. Posteriormente, se transfirió el contenido a un cilindro de 1000 mL y se enrazó con agua destilada. Se agitó la suspensión con un émbolo 10 veces para homogeneizar. Seguidamente, se midió la temperatura y la densidad (hidrómetro), a los 40 s y 2 h después. Se ajustó la temperatura según el factor de conversión correspondiente (Anexo A). Adicionalmente, se realizó un blanco con agua y pirofosfato de sodio 1 N. Este ensayo se realizó por duplicado.

Para determinar los distintos porcentajes de las partículas de suelo, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Arena} = 100 - (\text{lectura del hidrómetro a los 40 s} * 100) / \text{g de muestra.} \quad \text{Ec.2}$$

$$\% \text{ Arcilla} = (\text{lectura del hidrómetro a las 2 h} * 100) / \text{g de muestra.} \quad \text{Ec.3}$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ arena} + \% \text{ de arcilla}). \quad \text{Ec.4}$$

Con los porcentajes obtenidos se determinó el tipo textural de suelo (Anexo B).

5.3.3 Cuantificación de materia orgánica (MO)

Se utilizó el método de pérdida por ignición (Nelson & Sommers, 1996). Se pesaron 5 g de suelo seco en un crisol de cerámica, previamente pesado. La muestra de suelo y el crisol se colocaron en estufa a 105 °C por 24 h con el fin de calcular la humedad higroscópica, las muestras se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron hasta obtener peso constante. Posteriormente, se calentó en una mufla a 440 °C por 3 h, se colocaron 30 min en un desecador y se pesó nuevamente hasta obtener peso constante. Este ensayo se realizó por triplicado para obtener el promedio.

El porcentaje de MO se calculó como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra, tal como se presenta en la ecuación 5:

$$\% \text{ MO} = [(A - B) / (A - C)] * 100 \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

A = peso del crisol y del suelo seco al horno antes de la ignición.

B = peso del crisol y del suelo seco después de la ignición.

C = peso del crisol con aproximación a 0,01 g.

5.3.4 Conductividad eléctrica (CE)

Se extrajeron las sales solubles del suelo con agua desmineralizada (Jackson, 1970). Se pesaron 20 g de suelo y se adicionaron 40 mL de agua desmineralizada (proporción 1:2). Se midió la conductividad eléctrica del extracto con un conductímetro HI 8033 Hanna. Se realizó por triplicado.

5.3.5 Bases intercambiables y Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Con el fin de conocer la capacidad de absorción y desorción de los cationes disponibles en el suelo, se utilizó el método del acetato de amonio neutro (Schollenberger & Simon, 1945). Se pesaron 10 g de suelo a los que se les realizó una extracción de las bases intercambiables con

100 mL de acetato de amonio 1 M a pH 7, se filtró y posteriormente, la misma muestra de suelo se dejó en reposo por 12 h con 50 mL de NaCl al 10% p/v. Se filtró nuevamente y se tituló el extracto obtenido con NaOH 0,1 N usando fenolftaleína como indicador, la capacidad de intercambio catiónico se determinó según la ecuación 6. Este ensayo se realizó por triplicado.

$$\text{CIC (cmol(+)/kg)} = [(A - B) * N] / P * (100 - W) \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

A= Volumen (mL) de NaOH utilizado en la titulación.

B = Volumen (mL) de NaOH utilizado en la titulación del blanco.

N = Normalidad del NaOH.

P = Peso (g) de la muestra de suelo.

W= Humedad gravimétrica (g/g)

Para determinar la concentración de Ca^{+2} en el suelo, se utilizó la metodología descrita en la Norma COVENIN 2408-86 adaptada a suelo; para ello se utilizaron 10 mL del filtrado con NaCl, se ajustó el pH en un intervalo de 10 - 12,5 con la adición de KOH 1 M. Posteriormente, se añadió murexida y se tituló con EDTA al 0,05 N. Las determinaciones se realizaron por triplicado, utilizando la ecuación 7.

$$\text{Calcio disponible (mg /g)} = \{[(A - B) * N * 40,078] / V\} * 1000 \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

A= Volumen (mL) de EDTA utilizado en la titulación de la muestra.

B = Volumen (mL) de EDTA utilizado en la titulación del blanco.

N= Normalidad del EDTA.

40,078 = Peso molecular del Calcio (g/mol).

V = Volumen (mL) del filtrado.

1000 = Factor de conversión de g a mg.

Para determinar el contenido de carbonatos en el suelo, se mezclaron 5 mL del segundo filtrado con 0,2 g de Negro de Eriocromo T (NET) y se tituló con EDTA a 0,05 N (COVENIN 2408-86). El contenido de carbonatos se determinó mediante la ecuación 8.

$$\text{Contenido de Carbonatos (CaCO}_3 \text{ g/kg)} = \{(A - B) * N * 100,0896\} / V * 1000 \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

A= Volumen (mL) de EDTA utilizado en la titulación de la muestra.

B = Volumen (mL) de EDTA utilizado en la titulación del blanco.

N = Normalidad del EDTA.

100,0896 = Peso molecular del CaCO₃ (g/mol).

V = Volumen (mL) de la muestra.

1000 = Factor de conversión.

La concentración de magnesio disponible en el suelo se obtuvo por diferencia entre el contenido de carbonatos y el contenido de calcio, como se observa en la ecuación 9.

$$\text{Magnesio disponible (mg /g)} = (A-B) * 0,244 \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

A= Carbonatos disponibles (CaCO₃ mg /g)

B = Calcio disponible

Los resultados de la cuantificación de calcio, magnesio y nitrógeno fueron expresados en cmol/kg.

5.3.6 Determinación del contenido de nitrógeno total

Para conocer el contenido de nitrógeno disponible presente en la muestra de suelo, se utilizó el método Kjeldahl. Se mezcló 1 g de suelo con: 1,4 mL de ácido sulfúrico concentrado; 1,4 g de sulfato de potasio anhidro y 1 mL de peróxido de hidrógeno al 35%. Se sometió a 420 °C, hasta obtener aproximadamente 1 mL de muestra. Se dejó enfriar hasta 50 °C y se agregaron 2 mL de agua destilada libre de amonio. Seguidamente, la muestra se transfirió a un destilador micro Kjeldahl y se agregaron 10 mL de solución hidróxido de sodio y tiosulfato de sodio; se destilaron 25 mL de muestra, se recolectó en una fiola con 25 mL de solución de ácido bórico al 4% p/v, suplementada con 1 mL de indicador de Tashiro (Faithfull, 2005). El destilado se tituló con H₂SO₄ al 0,01 M. Las determinaciones se realizaron por triplicado, para evitar la sobrestimación de nitrógeno, se limpió el micro Kjeldahl con solución sulfocrómica después de destilar cada muestra. El contenido de nitrógeno total se determinó, utilizando la ecuación 10.

$$N \text{ (g/kg)} = (A-B) \cdot N \cdot 14 \cdot 1000 / V \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

A = Volumen (mL) de H₂SO₄ gastado en la titulación.

B = Volumen (mL) de H₂SO₄ gastado en la titulación del blanco.

N = Normalidad del H₂SO₄.

V = Volumen (mL) de muestra destilada.

14 = Peso equivalente del Nitrógeno (g/eq)

1000 = Factor de conversión.

5.3.7 Caracterización de la carga microbiana del suelo

Para conocer parcialmente la diversidad de microorganismos autóctonos del suelo y su variación después de la aplicación de vinaza, se determinó la carga microbiana del mismo. Para esto, en condiciones de asepsia y en una campana de flujo laminar, se adicionaron 10 g de suelo en 90 mL de agua peptonada estéril al 0,1 % p/v. Se agitó hasta homogeneizar y a partir de ella, se realizaron diluciones seriadas. Posteriormente, se sembró (método de vertido en placa) 1 mL de las diluciones 10⁻¹, 10⁻³ y 10⁻⁵ en los agares: Nutritivo, MacConkey,

Cetrimide y Sabouraud (suplementado con amoxicilina), para la detección y cuantificación de aerobios mesófilos, coliformes totales, *Pseudomonas* spp., mohos y levaduras, respectivamente. Las placas se incubaron en aerobiosis, a 37 °C por 48 h.

Los resultados se reportaron en unidades formadoras de colonias por gramo de suelo seco (UFC/gss) según la ecuación 11:

$$\text{UFC/gss} = (\text{NC} * 1/\text{FD}) / \text{V} \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

NC = número de colonias en cada placa.

FD = factor de dilución.

V = volumen inoculado en la placa.

5.4 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de riego

Con el propósito de evitar alteraciones en las características del suelo debido al agua de riego, se utilizó agua de un pozo ubicado en Aguirre (Edo. Carabobo) a 10°12'50.44"N de latitud y 68°16'38.36"O de longitud; el agua se utilizó previamente filtrada. Se determinaron las siguientes propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua de riego:

5.4.1 pH

Se determinó por el método potenciométrico. Se midió el pH de 50 mL de agua de riego con un pHmetro 240 Corning. Las lecturas se realizaron por quintuplicado.

5.4.2 Conductividad eléctrica (CE)

Se utilizó el método electrométrico. Se cuantifico la conductividad eléctrica de 50 mL de agua de riego con un conductímetro HI 8033 Hanna. Las determinaciones se realizaron por quintuplicado.

5.4.3 Sólidos disueltos totales (SDT)

Se utilizó un TDS meter CD 300 con rango de 0-999 ppm para cuantificar la concentración de los sólidos disueltos totales en 100 mL de agua de riego. Se realizó por quintuplicado.

5.4.4 Carga bacteriológica

En envases estériles y en las condiciones más higiénicas posibles, se recolectaron muestras del agua de riego y se conservaron a 4°C hasta su traslado al laboratorio CIMA-UC, en donde se procedió a su análisis inmediato.

Se cuantificó la carga de aerobios mesófilos, coliformes totales, *Pseudomonas* spp., mohos y levaduras. Para ello, en una campana de flujo laminar se sembró 1 mL del agua de riego en placas de Petri con medios Nutritivo, MacConkey, Cetrimide y Sabouraud. Las placas se incubaron a 37 °C por 48 h, posteriormente se reportaron las unidades formadoras de colonias por litro (UFC/mL).

5.5 Aplicación de Vinaza al suelo

Se realizaron los siguientes ensayos: un tratamiento control uno (solo con agua de riego) denominado T0 y cinco tratamientos con vinaza diluida al 20% v/v, enumerados desde T1 hasta T5 (Tabla VII). Cada tratamiento estuvo formado por 8 bolsas de jardinería, cada una provista con 1 kg de suelo. Para evitar la pérdida de vinaza por lavado, se cerraron los orificios laterales de las bolsas.

La vinaza al 20% v/v se aplicó solo al inicio del ensayo, por el método de chorreo (vertido directo al suelo), la dosis fue calculada en función del área de las bolsas y transformada a su valor equivalente de L/ha.

Tabla VII. Volúmenes de vinaza al 20% v/v aplicados al suelo.

Tratamiento	Dosis de Vinaza (L/ha)	Vinaza por bolsa (mL)	Numero de replicas
T0	0	0	8
T1	5.152	17,0	8
T2	7.879	26,0	8
T3	9.091	30,0	8
T4	10.000	33,0	8
T5	10.909	36,0	8

Tras la aplicación de vinaza, el suelo se mezcló y se dejó en reposo por 48 h a temperatura ambiente y radiación solar indirecta. Posteriormente, en cada una de las ocho replicas se sembraron 2 semillas de *C. sativum* (sin previo contacto con la vinaza), a aproximadamente a 2 cm de profundidad.

Para mantener la humedad, en virtud de favorecer la germinación, se adicionaron 20 mL de agua de riego. Posterior al brote de la primera hoja pinnada, se mantuvieron controladas las condiciones de riego y radiación solar del cultivo, de esta forma, el riego se efectuó cada tres días y la exposición a radiación solar directa fue de 6 horas diarias.

Se dispusieron tres tratamientos como sistema control (control 2) denominados TA1, TA2 y TA5, con la finalidad de determinar el efecto de la vinaza en el suelo (sin sembrar las semillas). En ellos se evaluaron tres dosis de aplicación de la vinaza al 20% v/v (Tabla VIII), fueron expuestos a las mismas condiciones de riego y radiación de los tratamientos anteriores (del T0 al T5). Cada sistema de control se realizó por triplicado.

Tabla VIII. Tratamientos como sistema control dos del suelo con vinaza al 20% v/v

Tratamiento	Dosis de Vinaza (L/ha)	Vinaza por bolsa (mL)	Número de Réplicas
TA1	5.152	17,0	3
TA3	9.091	30,0	3
TA5	10.909	36,0	3

Se evaluó la variación fisicoquímica y microbiológica de los tratamientos del sistema control dos a través del tiempo, hasta un máximo de 90 días. Los demás tratamientos con vinaza (desde T1 hasta T5) se caracterizaron solo al final del ensayo, a los 90 días después de la germinación del cilantro. Los resultados obtenidos en este último grupo, se compararon con el grupo control uno (T0).

5.6 Determinación del efecto de la vinaza en algunas variables biométricas de *Coriandrum sativum*

Las variables biométricas analizadas fueron: altura desde la base del tallo hasta la ramificación más alta, diámetro de los tallos, masa seca aérea, masa seca radical y número de hojas. Los resultados obtenidos se compararon con las plantas del tratamiento control uno (T0). Las evaluaciones se realizaron 90 días después de la germinación.

5.7 Análisis Estadísticos

Se realizó una estadística descriptiva (promedio y desviación estándar) a cada grupo de datos, con el programa Microsoft Excel.

Para determinar si existían diferencias significativas entre los diferentes tratamientos con vinaza, se aplicó una prueba ANOVA de una vía y pruebas a posteriori de comparación de medias (Tukey) a aquellos grupos de datos que poseían distribución normal. A los datos que no cumplieron los supuestos del análisis de varianza, se les aplicaron las pruebas no paramétricas de Kruskal- Wallis y Mann Whitney. Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el programa estadístico Past, versión 2.17

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Caracterización de la vinaza al 20% v/v

En la Tabla IX se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica de la vinaza al 20% v/v. Esta dilución presentó un pH ácido (4,50) y aunque este valor es 0,08 unidades inferior a lo reportado por Lugo (2016) para una vinaza de caña proveniente de la misma destilería, se considera que esta diferencia es despreciable. No obstante, este resultado se asemeja a lo señalado por García & Rojas (2006), quienes caracterizaron las vinazas al pH 55 y 10% de sólidos totales y obtuvieron que al aumentar la dilución aumenta la acidez. De acuerdo a Bautista & Duran (1998) esta característica de la vinaza podría deberse a la acidificación del mosto a pH 3,0 con ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, con el fin de favorecer la actuación de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) para la fermentación del mosto y posterior producción de alcohol etílico.

Tabla IX. Caracterización de algunos parámetros fisicoquímicos de la vinaza al 20 % v/v

Parámetro Fisicoquímico	Valor
pH	4,50 ± 0,03
Conductividad eléctrica (µs/cm)	16.720 ± 102
DQO (O ₂ mg/L)	20.450 ± 537
DBO _{5,20°C} (mg/L)	5.513 ± 482
DBO _{5,20} / DQO (O ₂ mg/L)	0,27
*Sulfatos (mg/L)	1.075 ± 3
*Fósforo reactivo (mg/L)	680 ± 1,21
*Nitrógeno total (mg/L)	336 ± 2
Sólidos totales (mg/L)	16.620 ± 450
Sólidos disueltos totales (mg/L)	13.220 ± 69
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	3.400 ± 239

±: Desviación estándar.

*Estimado teóricamente de los valores reportados por Lugo (2016).

A pesar que la CE de la vinaza al 20 % v/v reportado en este trabajo es menor a los 26.445 dS/m reportados por Flores *et al.* (2012) para vinaza de caña cruda, el resultado es elevado lo que podría indicar que la vinaza tiene un alto contenido de salinidad (Aguirre, 1993). Esta característica de la vinaza se debe según Bautista *et al.* (2000), a los iones presentes en ella, siendo el H^+ y el OH^- los que poseen mayor conductancia eléctrica y movilidad iónica; no obstante, la CE no se debe exclusivamente a los iones y cationes, también influye el contenido de materia orgánica disuelta. Esta última variable, a pesar que no fue cuantificada, se infiere que es de gran magnitud por los resultados obtenidos en la $DBO_{5,20^{\circ}C}$ y en la DQO, que a su vez está relacionada con el contenido de sales inorgánicas disueltas (sólidos disueltos totales). La DQO de la vinaza de caña de azúcar, se aproxima a lo reportado por Leal *et al.* (2003) para vinazas venezolanas de *Agave cocui*; siendo estos valores de $19.065 \pm 2.780 \text{ mgO}_2/\text{L}$ para vinaza de cocuy tipo I y de $17.502 \pm 3.758 \text{ mgO}_2/\text{L}$ para vinaza de cocuy tipo II. Por otra parte, la $DBO_{5,20^{\circ}C}$ de la vinaza diluida al 20% v/v fue menor a los 41.200 mg/L reportados por García & Rojas para vinazas de caña diluidas al 10 % m/m.

Si bien los valores de $DBO_{5,20^{\circ}C}$ y DQO son altos; estos coinciden con lo reportado por Bermúdez *et al.* (2000), la relación $DBO_{5,20}/DQO$ tiene un valor de 0,27 e indica que la vinaza podría ser degradada por los microorganismos del suelo, especialmente en condiciones anaerobias.

Adicionalmente, la vinaza de caña diluida es rica en sulfatos, lo que en bajas concentraciones podría resultar beneficioso para el desarrollo vegetativo; ya que esta forma química es captada por las plantas y reducida por el metabolismo a formas que puedan ser usadas para construir proteínas, hormonas, aceites y otros compuestos volátiles. El contenido de sulfatos reportados en la tabla IX, es inferior a los $1,28 \text{ kg/m}^3$ obtenidos por García & Rojas (2006) en vinazas al 10% de sólidos totales, e inferior a los reportado por Gallego *et al.* (2012) para vinaza cruda.

El contenido de fósforo (Tabla IX), es superior a los 0,43 mg/L que reporta Álvarez *et al.* (2008) para vinazas de vino y mayor a los 0,06 g/L de fósforo obtenidos por Uyeda *et al.* (2013) para vinazas de caña brasileras. En cuanto al contenido de nitrógeno total, éste fue muy cercano a los 0,35 g/L reseñados por Uyeda *et al.* (2013).

Los sólidos disueltos totales, mantienen su proporción en comparación con lo reportado por Lugo (2016) y los sólidos suspendidos totales disminuyeron aproximadamente 1.632 mg/L más de lo esperado; esto podría deberse al filtrado de la vinaza concentrada antes de su dilución.

Adicionalmente, se apreció una disminución del 6% en el contenido de sólidos totales con respecto a lo reseñado en la Tabla I, no obstante, el contenido de sólidos totales de la vinaza al 20% v/v se encuentra por encima de lo reportado por Aristizábal (2015) en vinaza cruda de caña de azúcar, siendo este valor de 0,093 g materia seca/g de vinaza. La discrepancia entre estos resultados podría deberse a las diferencias existente en las etapas del proceso de destilación.

6.2 Caracterización del agua de riego

Como se aprecia en la Tabla X, el agua de riego utilizada en esta investigación presentó un pH débilmente ácido, cercano a la neutralidad. En cuanto a la conductividad eléctrica y al contenido de sólidos disueltos totales, se considera que estos valores son bajos y no generan alteraciones significativas en el suelo.

Tabla X. Caracterización parcial del agua de riego

Parámetro Físicoquímico	Resultado
pH promedio	6,74 ± 0,07
CE (µs/cm)	680 ± 1,20
SDT (mg/L)	330 ± 11,0
Parámetro Microbiológico	
Aerobios Mesófilos (UFC/mL)	13
Hongos y Levaduras (UFC/mL)	< 1
Coliformes totales (UFC/mL)	< 1
<i>Pseudomonas</i> spp. (UFC/mL)	< 1

±: Desviación estándar.

Las características del agua de riego se pueden comparar con lo establecido en el decreto 3.219, correspondiente a aguas para riego de vegetales a ser consumidos en crudo, agrupadas dentro del subtipo 2A. De esta forma, el agua de riego utilizada se encuentra por debajo de los 3.000 mg/L de sólidos disueltos totales establecidos en este decreto. Por otra parte, la ausencia de Coliformes totales indica la buena calidad del agua a nivel microbiológico, pudiéndose permitir hasta un máximo de 1.000 NMP por cada 100 mL. Cabe destacar que aunque las unidades expresadas en UFC/mL son diferentes al que se menciona en la gaceta, el valor correspondiente en términos de NMP es $<1,1$ NMP/100mL.

6.3 Efecto de la vinaza en el suelo

En la Figura 4 se presenta la variación en la carga de aerobios mesófilos del suelo después de aplicar la vinaza al 20% v/v. Al comparar la carga de aerobios mesófilos al inicio del experimento (antes de adicionar la vinaza), se observó que la carga de microbiana disminuyó en todos los tratamientos a las 24 horas. Después de 48 horas la población microbiana continuó en descenso.

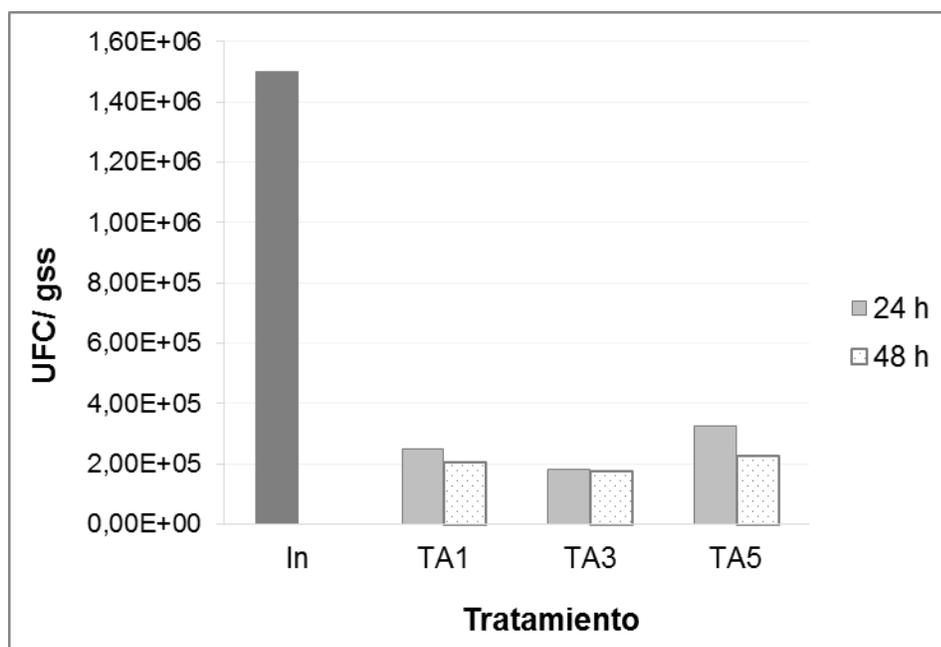


Figura 4: Carga de aerobios mesófilos presentes en el suelo de Aguirre antes de la aplicación de vinaza (In) y su variación 24 y 48 horas después de adicionar 5.152, 9.091 y 10.909 L/ha (tratamientos TA1, TA3 y TA5, respectivamente) de vinaza al 20% v/v.

Para explicar la variación temporal en la flora bacteriana del suelo, Korndörfer *et al.* (2004) señalan que los cambios se deben a alteraciones en los procesos biológicos y químicos, entre ellos la descomposición de la materia orgánica, la nitrificación, y desnitrificación, la fijación de nitrógeno atmosférico y la variación del pH. De esta forma, plantean que la aplicación de vinaza introduce en el suelo nitrógeno asimilable, lo que conlleva el aumento de la población bacteriana no fijadora de nitrógeno e inhibición pasajera de las bacterias fijadoras de nitrógeno.

Esto explicaría por qué la carga de los coliformes totales del suelo (Figura 5) aumento después de adicionar la vinaza. Se observó que este aumento es sostenible en el tiempo, ya que 90 días después de aplicar la vinaza y posterior al cultivo del cilantro (Tabla XI), el contenido de coliformes es mayor en las muestras de suelo que fueron tratadas con vinaza de caña.

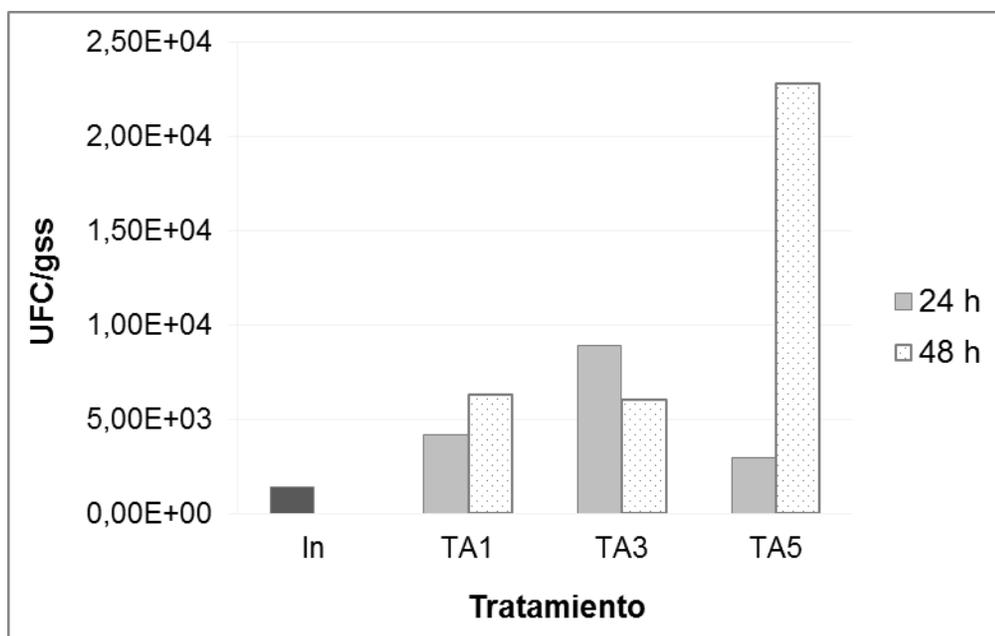


Figura 5: Cuantificación de la carga de coliformes totales en el suelo de Aguirre antes de la aplicación de vinaza (In) y su variación 24 y 48 horas después de adicionar 5.152, 9.091 y 10.909 L/ha (TA1, TA3 y TA5, respectivamente) de vinaza al 20% v/v.

Según la caracterización microbiológica realizada por Campo & García (2014), la vinaza no contiene coliformes, además McDonald *et al.* (1991) y Vargas (2014) determinaron que las bacterias de la familia Enterobacteriaceae no proliferan en ambientes con valores bajos de pH.

De esta forma, al ser el pH de la vinaza muy ácido, se plantea que el aumento en la carga de coliformes viene dado por la proliferación de las bacterias autóctonas del suelo, que descomponen los azúcares presentes en la vinaza para utilizarlos en su metabolismo y reproducción.

Tabla XI. Carga microbiológica parcial del suelo antes de aplicar vinaza (In) y después de ser tratado con diferentes dosis de vinaza (al 20% v/v), tras ser cultivado con *C. sativum* (90 días después de la germinación)

Tratamiento	Coliformes totales (UFC/gss)	<i>Pseudomonas</i> spp. (UFC/gss)	Aerobios mesófilos (UFC/gss)	Mohos y levaduras (UFC/gss)
In	1,40E+3	< 1	1,50E+6	4,17E+04
T0	1,80E+02	< 1	2,00E+06	5,30E+02
T1	1,23E+04	< 1	6,00E+05	5,30E+02
T2	3,00E+03	< 1	2,60E+04	5,25E+02
T3	1,53E+04	< 1	4,55E+04	5,10E+03
T4	4,00E+02	< 1	2,71E+04	1,60E+04
T5	3,15E+04	< 1	4,00E+05	2,24E+04

En la Tabla XI se presentan los resultados de la caracterización microbiológica parcial del suelo de Aguirre tratado con diferentes dosis de vinaza, después de ser cultivado con *C. sativum*. La carga microbiológica encontrada en las muestras de suelo sin vinaza (In) fue baja y estuvo representada principalmente por microorganismos aerobios mesófilos, así como por mohos y levaduras. No se evidenció la presencia de *Pseudomonas* spp en el suelo ni antes ni después de adicionar la vinaza al 20% v/v.

En esta tabla también se observa que el tratamiento control (T0) fue el que presentó la mayor carga de aerobios mesófilos, así como la menor carga de coliformes totales. Los tratamientos con vinaza presentaron una disminución en la carga de aerobios mesófilos, mohos y levaduras, con respecto a la condición inicial del suelo (In). De esta forma, se evidencia que la vinaza tiene un efecto inhibitorio sobre estos microorganismos, favoreciendo solo la reproducción de los coliformes totales autóctonos del suelo. Esto podría deberse a la competencia entre estos microorganismos por los nutrientes adicionados con la vinaza, e indicaría que los coliformes poseen mecanismos enzimáticos que les permiten asimilar y transformar rápidamente los azúcares disponibles en la vinaza. Este comportamiento se puede corroborar con los tratamientos del sistema control dos (TA1, TA3 y TA5).

Los resultados obtenidos en la caracterización microbiológica difieren de los reportados por otros autores. En este sentido, los efectos de la aplicación de vinaza en las poblaciones microbianas del suelo fueron estudiados *in vitro* por Neves *et al.* (1983), obteniendo aumentos substanciales y temporales, en las poblaciones de hongos y bacterias, así como inhibición de los actinomicetos. Por otra parte, Montenegro *et al.* (2009) reportaron aumentos en la actividad y en la biomasa microbiana durante la prefloración de las plantas con la aplicación de vinaza concentrada.

En cuanto a la caracterización fisicoquímica parcial del suelo, en la Figura 6 se evidencia el predominio de la fracción de arena en la distribución de las partículas que conforman el suelo de Aguirre. La proporción de las diferentes fracciones del suelo correspondieron a la clase textural franco arenosa (Ver Apendice 1).

El tipo textural de suelo y las proporciones de las fracciones que lo integran, coinciden con la textura franco arenosa reportada por Pulido *et al.* (2010), para un suelo del municipio Montalbán (Estado Carabobo), catalogado como Inceptisol. De igual forma, los resultados concuerdan con lo reportado por el INE (2011), que establecen que los suelos de este municipio poseen texturas franco arenosas y franco arcillosas.

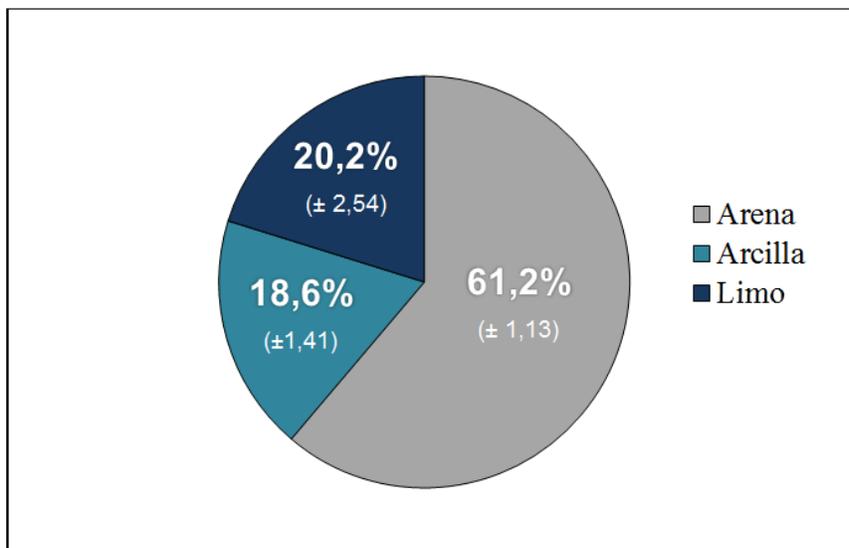


Figura 6: Contenido porcentual de las partículas texturales cuantificadas en las muestras estudiadas del suelo de Aguirre. La desviación estándar de los resultados esta representada como \pm .

En la Tabla XII se presentan algunas características fisicoquímicas del suelo utilizado en esta investigación antes de la aplicación de la vinaza (In). Las muestras del suelo de Aguirre presentaron un pH de 6,05 (moderadamente ácido). La baja conductividad eléctrica asociada a la baja capacidad de intercambio catiónico, indicó que es un suelo con dificultad de retención de nutrientes. Esta última característica posiblemente se deba a su composición textural ya que solo el 18% del suelo está representado por arcillas, siendo estas las partículas que absorben e interactúan con los cationes. No obstante, la conductividad del suelo también indicó que no tendría problemas de salinidad. Boulding (1994) señala que los suelos con valores menores de 1,2 dS/m (1.200 μ S/cm) son considerados no salinos.

Tabla XII. pH, conductividad eléctrica y materia orgánica del suelo antes (In) y después de aplicar diferentes dosis de vinaza al 20 % v/v, y su posterior cultivo con plantas de cilantro.

Tratamiento	pH (adm)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	MO (%)	Tiempo de estimación (días)
In	6,05 \pm 0,07	60 \pm 5	7,94 \pm 0,43	0
T0	5,97 \pm 0,08	1.126 \pm 31	7,94 \pm 0,46	90
T1	5,73 \pm 0,09	1.560 \pm 104	8,27 \pm 1,91	90
T2	5,89 \pm 0,08	2.047 \pm 202	11,00 \pm 0,57	90
T3	5,81 \pm 0,09	765 \pm 140	9,05 \pm 0,11	90
T4	5,70 \pm 0,11	1.299 \pm 116	9,13 \pm 0,38	90
T5	5,95 \pm 0,17	1.959 \pm 124	7,12 \pm 0,98	90

\pm : Desviación estándar.

Pulido *et al.* (2010), estudiaron suelos en áreas poco intervenidas (bosque) y áreas que habían sido cultivadas durante 10 años con plantas cítricas (naranjas Navel). Los resultados que este autor obtuvo en cuanto a pH y CIC en suelos cultivados, son muy cercanos a los obtenidos en el In, esto podría indicar que la zona de muestreo albergó especies vegetales con requerimientos nutricionales semejantes.

En la Tabla XII, también se presentan los valores de pH, CE y MO del suelo, 90 días después de añadir la vinaza al 20 % v/v. Las dosis de vinaza diluida aplicada en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 acidificaron moderadamente el suelo. Tras comprobar la distribución normal de estos datos, los resultados de la prueba de ANOVA (p valor = 1,008E-06) establecen que existen diferencias significativas entre el pH del suelo para los diferentes tratamientos con vinaza. Después de aplicar la prueba estadística Tukey, se determinó que existen diferencias en el pH de los suelos con vinaza correspondientes a los tratamientos T1 y T4 con respecto al tratamiento control (T0) y a su vez, el pH entre los tratamientos con vinaza también difieren entre sí (Apéndice 6).

La disminución en el pH del suelo luego de aplicar vinaza de caña concentrada fue reportada por Montenegro (2008) para dos tipos de suelo, en los cuales el pH descendió entre 0,7 y 1,58 unidades, convirtiéndose en suelos ácidos y modernamente ácidos, según el valor inicial de cada uno de ellos. Los resultados obtenidos también difieren de los reportados por autores como García y Rojas (2006), Viteri (2015) y Villatoro (2015), que describieron aumento en el pH de los suelos tras añadir diferentes dosis de vinaza concentrada.

El contenido de materia orgánica en el suelo al final del ensayo, se vio favorecido con la adición de vinaza. De forma general, el aumento de la MO es proporcional a la dosis de vinaza aplicada. Con un valor de significancia de 0,0001 en la prueba de ANOVA, se identifican diferencias entre el contenido de materia orgánica del suelo inicial y las muestras de suelo enriquecidas con vinaza. Por su parte, la prueba de Tukey no mostró diferencias entre el tratamiento control y el tratamiento T1 ($p > 0,05$) en cuanto al porcentaje de MO, sin embargo los tratamientos con dosis iguales o superiores a 7.879 L/ha, mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0,05$) entre ellos.

Montenegro (2008) y Viteri (2015) también reportan que la MO del suelo se incrementa al añadir vinaza concentrada y diluida al 50 y 75 % v/v, siendo en el segundo estudio el incremento proporcional a la dosis de vinaza aplicada.

Los resultados obtenidos en el tratamiento T5 para pH y MO, no coinciden con la tendencia general observada en los otros tratamientos. Se esperaba que las muestras de suelo de T5, tuvieran un pH más ácido y un mayor porcentaje de materia orgánica. Los resultados de ambas variables se asemejan a los obtenidos en el tratamiento control (T0), por lo que se deduce que las muestras de suelo analizadas tuvieron poco contenido de vinaza, esto probablemente se deba al método de aplicación del residuo, quedando dentro de cada bolsa fracciones de suelo sin recibir tratamiento.

Al finalizar el ensayo, la conductividad eléctrica de todos los tratamientos fue mayor a los 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtenidos en el suelo sin tratar, no obstante la variación de la CE entre las diferentes dosis de vinaza fue poca, comprendiendo entre 361 y 921 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si bien la CE de las muestras de suelo tratadas con vinaza se incrementaron, esta variación es menor a la

descrita por Bautista *et al.* (2000) para vinazas crudas en suelos de tipo Acrisol y Fluvisol, siendo la CE cinco y nueve veces mayor al valor inicial, respectivamente.

No obstante, la baja influencia de la vinaza sobre los niveles de conductividad eléctrica del suelo han sido reportados anteriormente por Hernández *et al.* (2008) y por Callejas *et al.* (2014), indicando efectos nulos por salinidad y esto en términos prácticos no manifiesta un riesgo para los cultivos.

En cuanto a la caracterización fisicoquímica parcial del sistema control dos, en la Figura 7, se presentan los cambios evidenciados en el contenido de materia orgánica de los tratamientos TA1, TA3 y TA5, hasta 30 días después de adicionada la vinaza al 20 % v/v. Se observó que el porcentaje de MO vario en el tiempo. El día cero correspondió al contenido de MO del suelo antes de aplicar la vinaza (In). Inicialmente, se constató un aumento en el porcentaje de la materia orgánica del suelo, este incremento se debió a la adición de vinaza ya que esta contiene MO disponible. En el segundo día del ensayo, se evidenció un rápido descenso de la MO en todos los tratamientos del sistema control, coincidiendo esto con el aumento en la carga de los coliformes totales (Figura 5), lo que indicaría que esta disminución se debe al consumo por parte de los microorganismos autóctonos del suelo. Posteriormente, en los tres tratamientos se observa un periodo de estabilidad, seguido de un aumento en el porcentaje de MO el día 25 en los tratamientos TA 1 y TA 3, esto posiblemente se deba a la degradación de la vinaza en el suelo. Al final del ensayo (Tabla XIII) 90 días después de aplicada la vinaza al 20 % v/v, se observó una disminución en el contenido de MO, con respecto al contenido inicial.

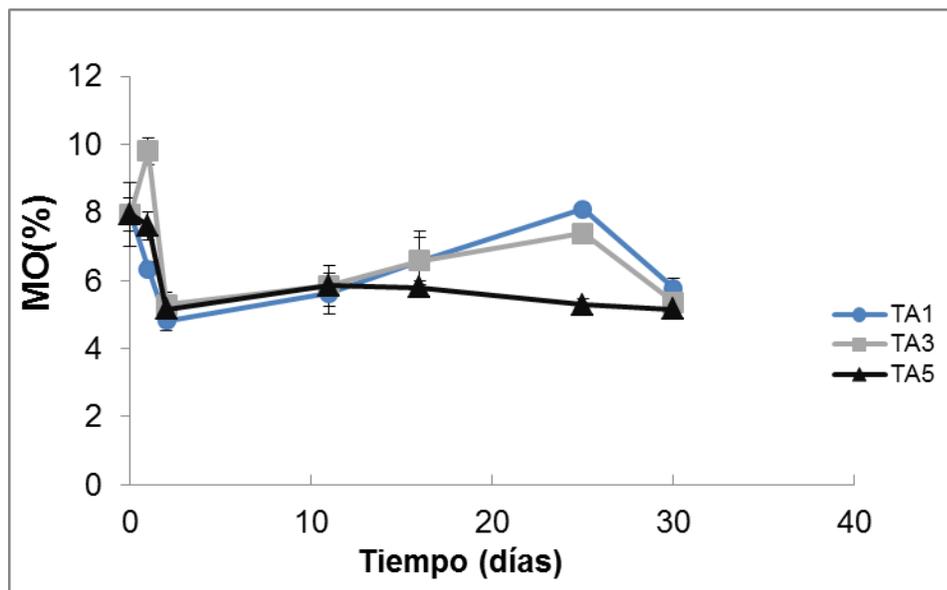


Figura 7: Variación en el contenido de Materia Orgánica, luego de aplicar la vinaza al 20% v/v. La desviación estándar de los datos está representada por las líneas verticales en cada punto de la distribución.

Un día después de aplicada la vinaza, se evidenciaron diferencias altamente significativas (p valor = $2,39E-9$) en el contenido de materia orgánica en las tres dosis evaluadas. No obstante, con un p -valor de 0,30 la prueba de Kruskal- Wallis indicó que 90 días después de adicionada la vinaza, no existen diferencias significativas en el contenido de la MO entre los tratamientos TA1, TA3 y TA5 (Apéndice 6).

Esto coincide con lo propuesto por Korndörfer *et al.* (2004), al informar que el aumento en la actividad microbiana del suelo, acarrea pérdidas en el carbono orgánico de la vinaza, lo que lleva a creer que no se pueden esperar efectos duraderos en el aumento de la materia orgánica, por la aplicación de vinaza.

Tabla XIII. pH, CE y MO del suelo de los tratamientos del sistema control dos a los 90 días después de añadir la vinaza al 20 % v/v.

Tratamiento	Tiempo (días)	pH (adm)	MO (%)	CE ($\mu\text{S/cm}$)
TA1	90	5,83 \pm 0,06	5,86 \pm 0,3	416 \pm 60
TA3	90	5,88 \pm 0,04	5,41 \pm 0,3	494 \pm 80
TA5	90	5,97 \pm 0,04	5,11 \pm 0,2	426 \pm 80

En la Figura 8 se observa la variación del pH del suelo a través del tiempo. Aunque se observó que el pH para las tres dosis de vinaza fluctuó a lo largo del ensayo, el día 90 el pH (Tabla XIII) fue muy cercano al valor del pH obtenido 24 horas después de adicionada la vinaza, estableciendo una ligera acidificación del sustrato con respecto al pH del suelo sin vinaza (6,05). Para evaluar si estas diferencias eran estadísticamente significativas, se comprobó la distribución normal de los valores de pH para los tratamientos TA1, TA3 y TA5 y luego se utilizó un ANOVA de una vía. Se determinó con un p-valor de 0,96 que las dosis de vinaza evaluadas (5.152, 9.091 y 10.909 L/ha), no afectan el pH del suelo.

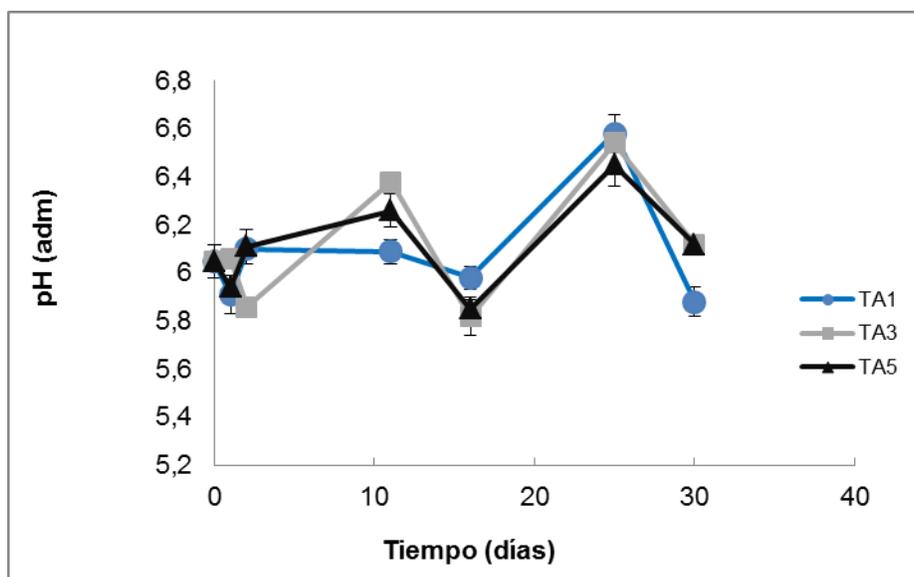


Figura 8: Variación temporal en el pH de los suelo tratados con 5.152, 9.091 y 10.909 L/ha de vinaza al 20% v/v. Las líneas verticales en cada punto de la distribución, representan la desviación estándar de los datos.

La conductividad eléctrica del suelo aumentó notablemente con la adición de vinaza (Figura 9), siendo este aumento proporcional a la dosis aplicada. Desde el segundo hasta el día 25 se observó un comportamiento estacionario, posteriormente el día 30 se observó un incremento. Al final del ensayo se observó un incremento en la conductividad en los tres tratamientos, con respecto a la condición inicial del suelo este aumento fue de 693, 823 y 1.016% para las dosis de 5.152, 9.091 y 10.909 L/ha de vinaza al 20% v/v, respectivamente.

Al comparar los valores de la CE de estos tres tratamientos con la CE inicial del suelo, mediante la prueba estadística ANOVA, se obtuvieron resultados altamente significativos ($1,28E-12$), que indican diferencias entre la CE del suelo en su estado inicial y después de aplicar la vinaza. De igual forma, se evidenció que existen diferencias significativas entre TA1 y TA3, con respecto al TA5.

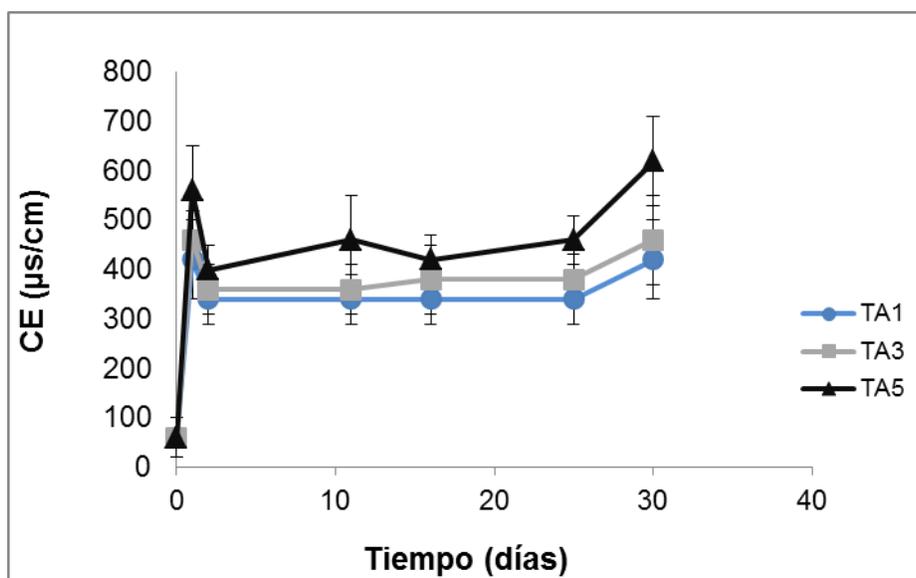


Figura 9: Variación de la Conductividad eléctrica de los suelos del sistema control (TA1,TA3 y TA5) después de aplicar vinaza al 20% v/v. Las líneas verticales en cada punto de la distribución, representan la desviación estándar de los datos.

En la Tabla XIV se presentan los contenidos de nitrógeno, calcio y magnesio, así como la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, antes y después de aplicar los diferentes tratamientos con vinaza al 20 % v/v y posterior a la cosecha del cilantro. En cuanto al contenido de nutrientes en el suelo antes de la aplicación de la vinaza (In), se

observó el predominio del nitrógeno y el magnesio, siendo la concentración de calcio muy baja. El contenido de nitrógeno de este suelo es inferior a lo reportado por Armado (2013) para suelo de los estados Mérida y Zulia; mientras que el contenido de magnesio se acerca a los 225,25 mg/kg cuantificados por Farreras & Párraga (2013) en una parcela del Edo. Portuguesa. De acuerdo a las categorías propuestas por Bernier (1999) para la concentración de cationes en el suelo, el contenido de magnesio obtenido en el suelo estudiado tiene una disponibilidad adecuada dentro del grupo que integran todos los cationes intercambiables presentes en la matriz del suelo.

Tabla XIV. Contenido de algunos macroelementos disponibles antes (In) y después de aplicar diferentes dosis de vinaza al 20 % v/v, en suelos utilizados para el cultivo de *C. sativum*.

Tratamiento	Nitrógeno total (mg/kg)	Calcio (cmol(+)/kg)	Magnesio (cmol(+)/kg)	CIC (cmol(+)/kg)
In	29.120 ± 0,03	0,06 ± 0,0002	1,56 ± 0,05	1,13 ± 0,03
T0	2,8 ± 0,05	0,06 ± 0,0002	0,39 ± 0,004	0,80 ± 0,06
T1	22,96 ± 0,01	0,13 ± 0,0001	0,42 ± 0,0002	1,2 ± 0,10
T2	16,8 ± 0,40	0,26 ± 0,0002	0,43 ± 0,0009	1 ± 0,09
T3	25,2 ± 0,02	0,19 ± 0,0002	0,74 ± 0,0004	1,4 ± 0,24
T4	25,76 ± 0,02	0,16 ± 0,0003	0,29 ± 0,0006	1,6 ± 0,16
T5	11,76 ± 0,50	0,45 ± 0,00005	0,13 ± 0,0002	1,8 ± 0,31
TA 1	6,72 ± 0,90	0,12 ± 0,0001	0,39 ± 0,0001	0,8 ± 0,15
TA 3	8,96 ± 0,89	0,06 ± 0,00005	0,44 ± 0,0002	1 ± 0,09
TA 5	28,56 ± 0,03	0,16 ± 0,0001	0,28 ± 0,0002	1,40 ± 0,27

±: Desviación estándar.

Aunque no se logró cuantificar el contenido de calcio en la vinaza diluida al 20% v/v, los resultados de la Tabla XIV indican que la vinaza si posee pequeñas concentraciones de este nutriente. No se evidencia absorción de calcio por parte del cilantro en el tratamiento control, ya que el contenido de este macronutriente al final del ensayo, es igual al contenido de calcio

en el suelo sin cultivar. Con la aplicación de 5.152 L/ ha (T1) la proporción de calcio se duplicó, pero al comparar este valor con el tratamiento para esa misma dosis (TA1) no se observó variación, por lo que se infiere que no hay absorción de calcio en este tratamiento. Esta tendencia también se observó en el T2 a pesar de que concentración de calcio se cuadruplico en este tratamiento.

No obstante, se constató que con respecto a T2, la concentración de Ca^{+2} en los tratamientos T3 y T4 disminuyó entre 0,07 y 0,10 cmol (+)/kg, respectivamente. Esto podría deberse a la toma de calcio por parte de las plantas de cilantro. Dentro de este ensayo el T5 fue el que presentó la mayor concentración de calcio, siendo este valor siete veces más grande que el valor inicial encontrado en las muestras de suelo si tratar (In). A pesar que la adición de vinaza aumento la concentración de calcio intercambiable en todos los tratamientos evaluados, este sigue siendo muy bajo, según las categorías de disponibilidad propuesta por Bernier (1999).

Por otra parte, la cuantificación del contenido de calcio en los tratamientos TA3 y TA5 se dificulto por la presencia de elementos trazas que interfirieron en el viraje de color durante la titulación. En este ensayo no se pudo eliminar la presencia de estos elementos trazas, ya que no se contaban con los recursos económicas para la adquisición de los inhibidores químicos citados en la norma COVENIN 2408-86. Entre los posibles elementos que pudieron haber interferido en la determinación de calcio, García & Rojas (2006) identificaron el Zinc y el Cobre en una caracterización química realizada a una vinaza de caña concentrada al 60% m/m.

Según las categorías de Bernier (1999) el contenido de magnesio del suelo luego de cultivar el cilantro puede agruparse de mediano a bajo, siendo en todos los casos menores a lo reportados en el suelo antes de sembrar, esto podría indicar una posible absorción de este nutriente.

En general la capacidad de intercambio catiónico del suelo aumentó en forma directa a la dosis de vinaza aplicada, en el tratamiento T1 (5.152 L/ ha de vinaza) la CIC se duplicó con respecto al valor inicial. Aunque esta tendencia se mantiene en los tratamientos del sistema control, el incremento en la CIC no es tan notable como en los tratamientos

correspondientes a la misma dosis de vinaza. Se esperaba que la CIC de los tratamientos con vinaza fuera mayor, sin embargo, esta propiedad física depende del contenido de arcilla que posee el suelo y las muestras estudiadas presentaron textura franco arenosa, por lo que la proporción de arcilla representa solo el 18,6 % de la totalidad de las partículas que lo integran.

En cuanto al nitrógeno se observa una reducción en el tratamiento control indicando la absorción de este nutriente por parte de la planta. Con la adición de vinaza aumenta la concentración de nitrógeno en el suelo, indicando un mayor consumo en los tratamientos T2 y T5.

Dados los valores de las Tablas I y VII, se estimó de forma estequiométrica el aporte nutricional de la vinaza al 20% v/v para cada uno de los tratamientos aplicados al suelo (Tabla XV). Como se esperaba existe una relación directamente proporcional entre el volumen de vinaza aplicada al suelo y la concentración de los macronutrientes aportados por ella. De esta forma, también se esperaba que el aporte nutricional compensara la baja concentración de nutrientes en el suelo y esto fuera suficiente para cubrir las necesidades nutricionales de *C. sativum*, reflejándose en un mayor desarrollo vegetativo y por tanto, en un mejor rendimiento agrícola.

Tabla XV. Cantidad estimada de nutrientes adicionados al suelo, con cada tratamiento de vinaza al 20% v/v.

Tratamiento	Nutrientes (mg/m ²)			
	Sulfatos	Fósforo Reactivo	Nitrógeno	Hierro total
T1	556,36	360,09	167,94	3,19
T2	850,91	550,73	256,85	4,89
T3	981,82	635,45	296,36	5,64
T4	1.080	699	326	6,2
T5	1.178,18	762,54	355,64	6,76

6.4 Efecto de la Vinaza en la germinación del cilantro

El mayor porcentaje de germinación de *C. sativum*, se obtuvo en el tratamiento control (Figura 10). En cuanto a los tratamientos con vinaza se observó que la germinación fue superior en el tratamiento con 5% v/v, seguido por los tratamientos de 2 y 20 % v/v. Se esperaba que el tratamiento con vinaza al 10% v/v mostrara un mayor porcentaje de germinación, sin embargo, esto no ocurrió y discrepa con lo reportado por Ramana *et al.* (2002), quienes informan que la vinaza al 10% v/v muestra un efecto positivo en la germinación de la cebolla (*Allium cepa*)

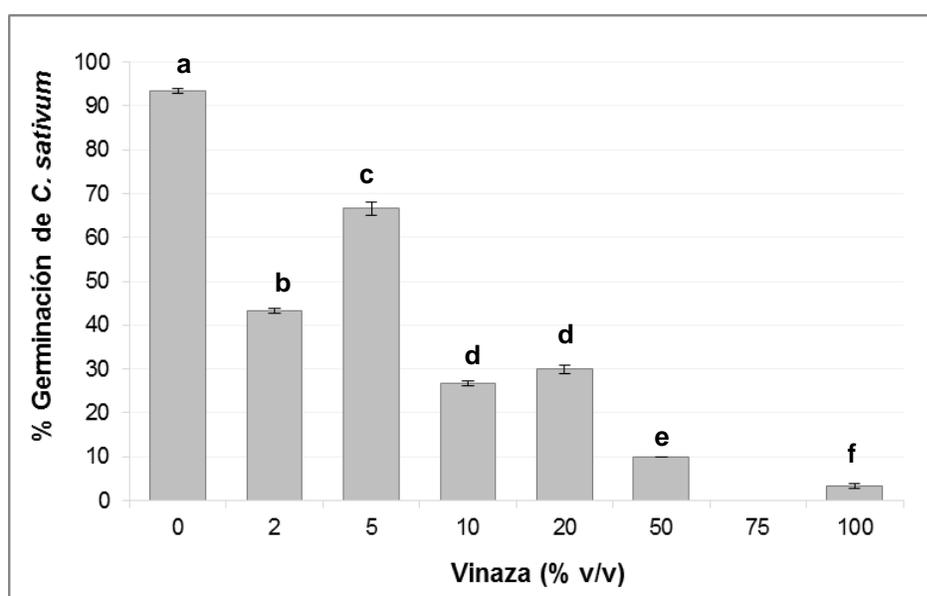


Figura 10: Germinación de *C. sativum* a diferentes concentraciones de vinaza. Las letras diferentes indican valores con diferencias significativas y las líneas superiores en las barras indican la desviación estándar.

En general, los mayores porcentajes de germinación se obtuvieron en un intervalo de 2 a 20 % v/v de vinaza. Este resultado se asemeja a lo informado por Pandey *et al.* (2007), que tras evaluar el efecto de diferentes concentraciones de vinaza sobre la germinación de trigo (*Triticum aestivum*), guisante (*Pisum sativum*) y dedo de la dama (*Abelmoschus esculentus*), afirman que a menor concentración de efluente, la velocidad de germinación, el valor de pico y los valores de germinación son mayores que las respuestas a mayores concentraciones.

De igual forma, se obtuvo que la germinación de las semillas de *C. sativum* disminuye al aumentar la concentración del efluente. En el tratamiento con vinaza concentrada solo germinó una semilla, lo que estadísticamente no representa un resultado significativo. De esta forma, se establece que la vinaza disminuye la germinación del cilantro y concentraciones de vinaza superiores al 50% v/v la inhiben, corroborando lo reportado por Kadioglu & Faruk (1990) para girasoles (*Helianthus annuus*) y guisantes (*Pisum sativum*) con concentraciones de 75 y 100% v/v; por Ramana *et al.* (2002) para tomate (*Lycopersicon esculentum*), chile (*Capsicum annum*), calabaza (*Lagenaria siceraria*), pepino (*Cucumis sativus* L.) y cebolla (*Allium cepa*) y por Navarro *et al.* (2006) para la germinación de lechuga (*Lactuca sativa*), escarola (*Sichorium endivia*) y achicora (*Sichorium intybus*).

Ramana *et al.* (2002) atribuyeron la falta de germinación a las cantidades excesivas de sales inorgánicas de la vinaza, lo que se refleja en mayores valores de CE al aumentar la concentración del efluente. La conductividad eléctrica elevada, conlleva no solo un mayor contenido de sales sino también una mayor presión osmótica sobre la semilla, condición que según Rodger *et al.* (1957) ocasiona el retraso de la germinación. El rango de tolerancia a diferentes concentraciones de sal varía de un cultivo a otro; en el caso del cilantro Yadav *et al.* (2009), tras estudiar la tolerancia de diferentes genotipos de *C. sativum*, determinaron que la germinación se retrasa al aumentar los niveles de sal, y a 6 dS/m sólo germinaron ocho genotipos (ACR-12, ACR-102, ACR-119, ACR-193, ACR-123, ACR-230, ACR-53 y Hisar Anand).

Por otra parte, las pocas plántulas obtenidas en los tratamientos con vinaza al 50 y 100% v/v, presentaron alteraciones morfológicas en las hojas primarias (Figura 11), observándose la presencia de hojas fusionadas (A y B) y la emergencia de una tercera hoja aparentemente independiente (C). Estos resultados pueden deberse al estrés ambiental al que estuvieron expuestas las semillas debido a las altas concentraciones de compuestos inorgánicos presentes en la vinaza.

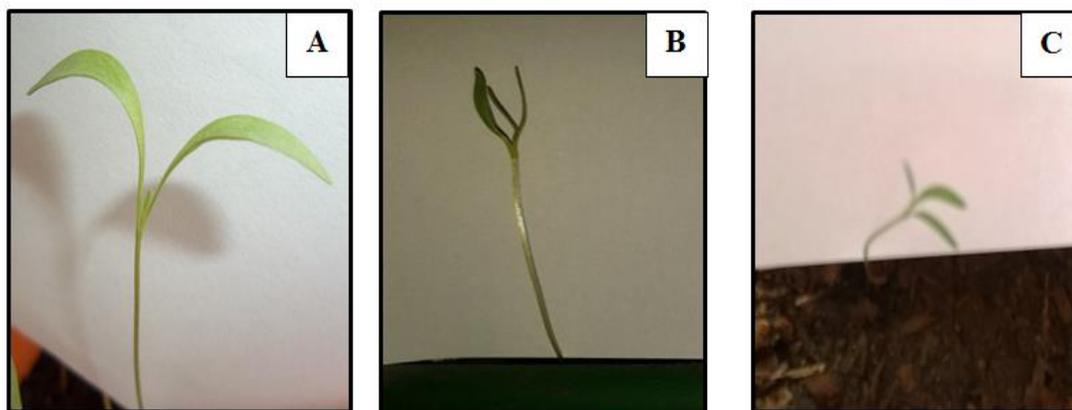


Figura 11: Morfología foliar de las plántulas de *C. sativum* obtenidas en el ensayo de germinación. **A:** Control. **B:** Tratamiento con Vinaza al 50% v/v. **C:** Vinaza al 100% v/v.

6.5 Efecto de la Vinaza en el desarrollo vegetativo del cilantro

La longitud de los tallos de cilantro (Figura 12) tratados con vinaza al 20% v/v son mayores a los obtenidos en T0. Siendo los tratamientos con 5.152 y 7.879 L/ha los que tuvieron más altura. Después de analizar estadísticamente estos resultados, se corrobora que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en la longitud de los tallos de *C. sativum* cultivados en T1, con respecto a la longitud de los tallos del tratamiento control (Apéndice 6).

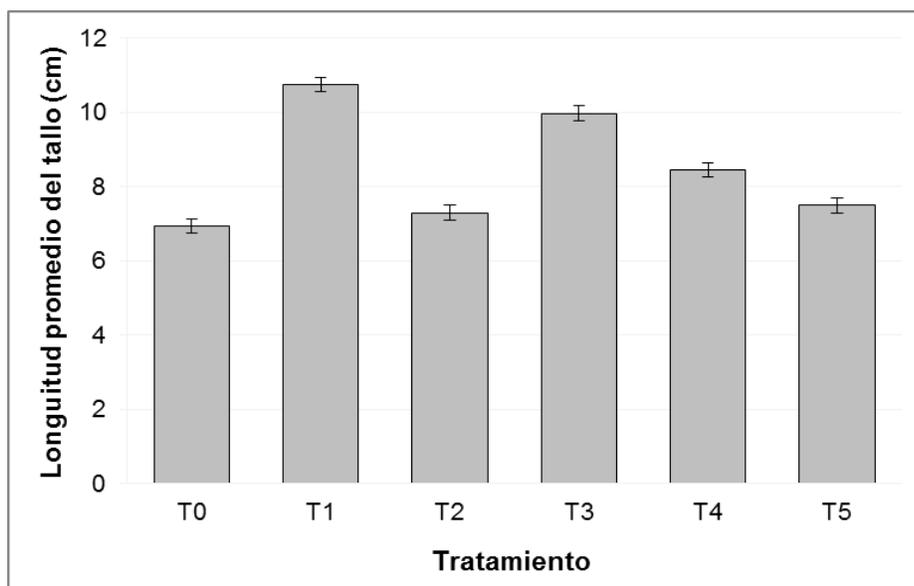


Figura 12: Longitud del tallo de *C. sativum* a los 90 dds, en los diferentes tratamientos con vinaza. Las líneas superiores en las barras, representan la desviación estándar de los datos.

Se esperaba que la longitud de los tallos, aumentara en función del incremento en la dosis de vinaza; pero a pesar que la longitud de los tallos de T4 y T5 son superiores al control, también son inferiores a los tratamientos con menor dosis de vinaza. Un efecto similar fue descrito por Yadav *et al.* (2009) en *C. sativum* los parámetros de crecimiento, como las ramas por planta y la altura disminuyeron con el aumento de los niveles de salinidad.

El efecto de la aplicación de dosis crecientes de vinaza al 20% v/v en el diámetro del tallo de *C. sativum*, medidos a nivel basal y a nivel de la macolla, se refleja en la Figura 13. A excepción de T2, todos los tratamientos con vinaza mostraron un aumento en el diámetro del tallo a nivel de la macolla, en comparación con el tratamiento control. A nivel basal el mayor aumento se observó en la dosis con 9.091 L/ha de vinaza, seguido de la dosis con 5.152 L/ha, los demás tratamientos mostraron poco o ningún efecto en el diámetro basal del cilantro.

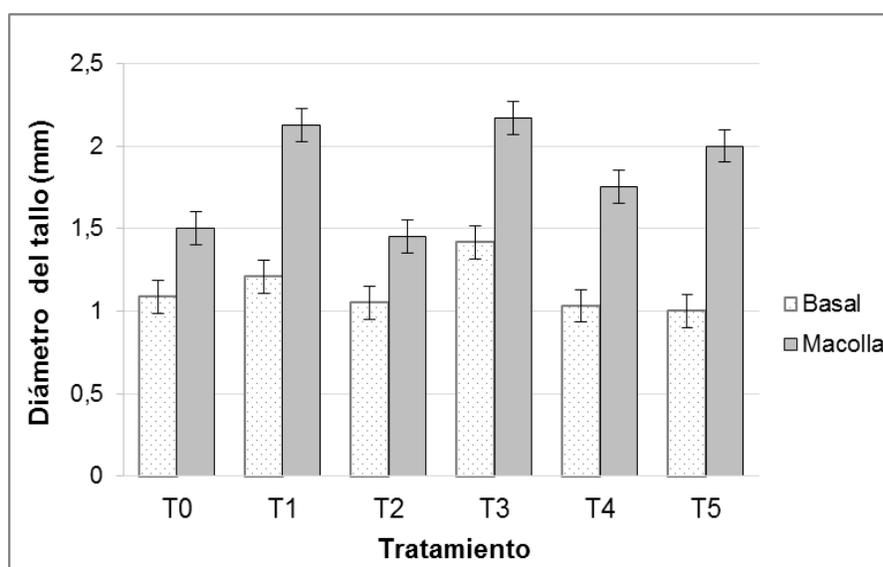


Figura 13: Diámetro promedio del tallo de *C. sativum* en los diferentes tratamientos con vinaza. Las líneas superiores en las barras, representan la desviación estándar de los datos.

Se acepta que hay diferencias significativas ($p < 0,05$) en el diámetro basal de las plantas de cilantro tratadas con vinaza al 20% v/v. La prueba de Mann-Whitney señaló que existen diferencias altamente significativas entre el diámetro del tallo a nivel basal de las plantas con dosis de vinaza de 9.091 L/ha, con respecto al diámetro del tallo de las plantas sin ningún tipo de fertilización (control).

Por otra parte, la prueba de Kruskal-Wallis señaló que el diámetro del tallo en la macolla varía entre tratamientos ($p = 9,52E-05$), mientras que la prueba de Mann Whitney indicó que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos T1, T3 y T5 con respecto al control, y a su vez el diámetro también varía entre los tratamientos con vinaza.

Los resultados observados en este ensayo coinciden con los reportados por Caballero & Álvarez (2013) ya que obtuvieron una respuesta significativa a la aplicación de vinaza en el diámetro de caña, aumentando de 2,18 a 2,35 cm en función a la aplicación creciente de vinaza concentrada. De forma semejante, Farreras & Párraga (2013) y Pineda (2015) obtuvieron un incremento en la altura y grosor del tallo de la caña de azúcar tratada con lodo de vinaza en dosis de 5 kg/m² y con la aplicación de 60 m³/ha de vinaza concentrada, respectivamente.

Las plantas de *C. sativum* cultivadas tras la aplicación de 9.091 L/ha de vinaza al 20% v/v (T3) presentaron el mayor número de hojas, seguido del tratamiento con 10.909 L/ha de vinaza (T5), el aumento en estos casos fue de 72,5 y 54%, respectivamente (Figura 14). Si bien las dosis de 5.152 y 10.000 L/ha de vinaza también aumentaron el número de hojas del cilantro, esta variación fue menor a los tratamientos anteriores correspondiendo a un incremento de 27 y 18 % con respecto a T0.

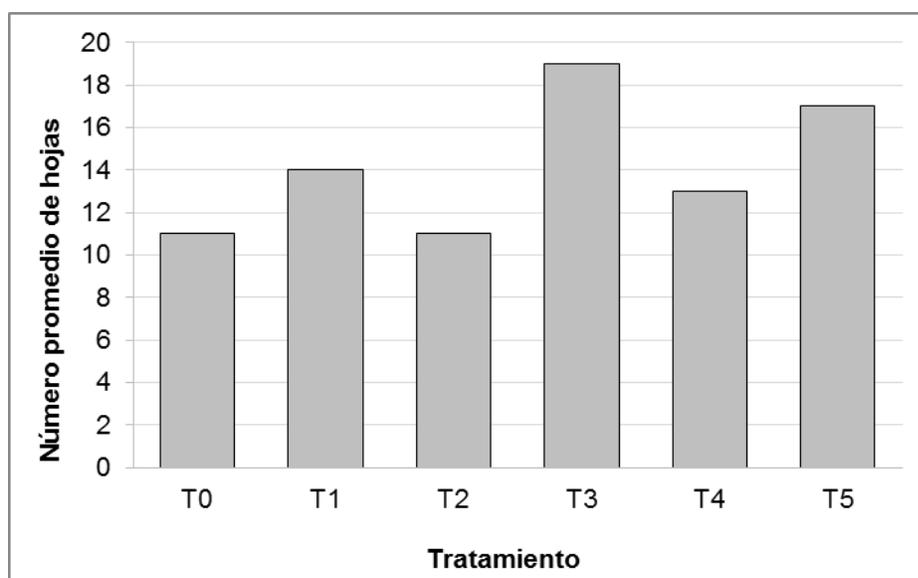


Figura 14: Número promedio de hojas de *C. sativum* a los 90 dds, en los diferentes tratamientos con vinaza al 20% v/v.

Los resultados de la prueba de ANOVA indicaron que existen diferencias altamente significativas (0,00084) en el número de hojas de *C. sativum*, esto se corroboró con la prueba de Tukey que señaló una marcada diferencia entre el número de hojas que presentaron las plantas de tratamiento y las plantas cultivadas 93 días después de añadir 9.091 L/ha de vinaza diluida al 20% v/v.

Tinajero (1993) estudió el efecto de la fertilización orgánica en *C. sativum*, reportando resultados similares a los obtenidos en cuanto al aumento en el número de hojas. Por otra parte, Vásquez (2014) también reportó un aumento en el número de hojas del tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) 50 días después de la siembra, tras aplicar vinaza de caña a razón de 5 mL por cada litro de agua.

6.6 Efecto de la Vinaza en la biomasa de *C. sativum*

En la Tabla XVI se presenta el peso promedio de las plantas de cilantro cosechadas después de aplicar diferentes dosis de vinaza al 20 % v/v. Todos los tratamientos con vinaza aumentaron el peso fresco y seco del cilantro con respecto a los pesos obtenidos en el control, siendo T5 el que presentó la mejor proporción entre el peso fresco y seco.

Tabla XVI. Pesos promedios totales de *C. sativum* obtenidos en los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Peso fresco (mg)	Peso seco (mg)
T0	388,31 ± 60,51	297,56 ± 20,69
T1	706,09 ± 110,3	582,88 ± 18,21
T2	500,3 ± 40,22	345,05 ± 15,13
T3	518,83 ± 90,04	384,87 ± 29,07
T4	588,68 ± 44,49	472,37 ± 21,28
T5	693,25 ± 47,81	584,58 ± 16,26

±: Desviación estándar.

Los efectos de la aplicación de dosis crecientes de vinaza en la biomasa aérea del cilantro se presentan en Figura 15. Todos los tratamientos con vinaza al 20% v/v conllevaron un incremento en la biomasa aérea, siendo la dosis con 10.909 L/ha de vinaza la que presentó un mayor aumento, con respecto a lo obtenido en el tratamiento control. La diferencia en el efecto de T1 con respecto a los demás tratamientos se debe a que en este hubo un mayor desarrollo en la longitud de los tallos (Ver Figura 15).

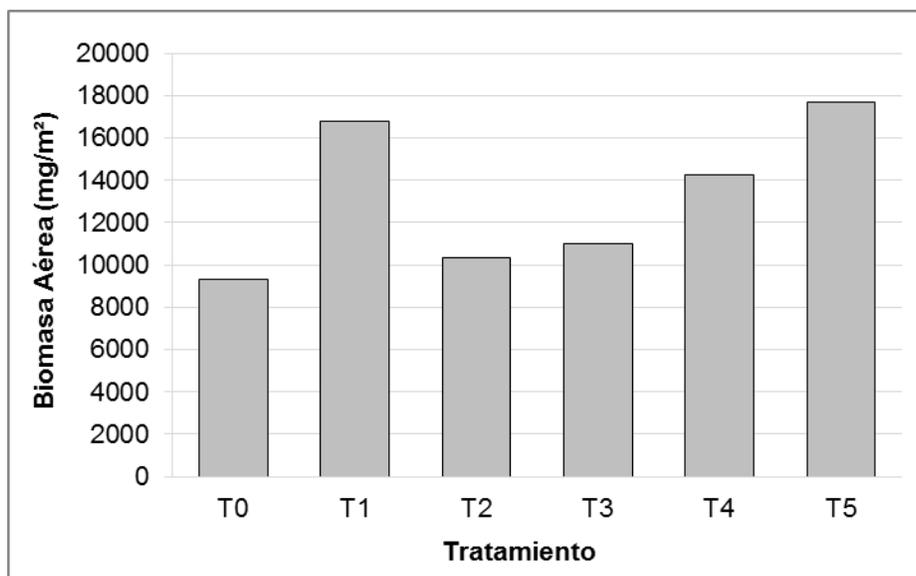


Figura 15: Biomasa Aérea de *C. sativum* obtenida 90 días después de la germinación, en suelos tratados con diferentes dosis de vinaza al 20% v/v

Los resultados obtenidos en este ensayo coinciden con los reportados por Silva (1982) y Penatti (1988). Estos autores obtuvieron mayor acumulación de biomasa aérea en cultivos de caña de azúcar después de aplicar dosis sucesivas de vinaza de caña concentrada, obteniendo una mayor producción con las dosis de 120 y 150 m³/ha, respectivamente.

En la Figura 16 se presenta la biomasa radical de *C. sativum* para las diferentes dosis aplicadas de vinaza al 20% v/v. Se obtuvo que todos los tratamientos con vinaza mejoraron el desarrollo radicular del cilantro, siendo el tratamiento con 7.879 L/ha de vinaza el que más favoreció la formación de las raíces. Esto último contrasta con los resultados descritos anteriormente, ya que en los ensayos anteriores T2 fue el tratamiento que mostró el menor desarrollo de tallos y hojas.

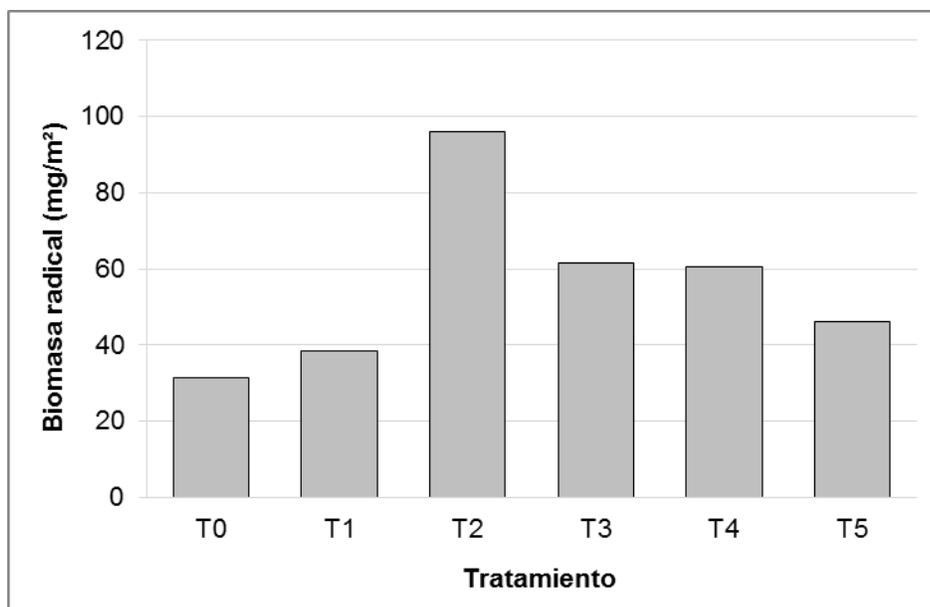


Figura 16: Biomasa radical de *C. sativum* obtenida 90 días después de la germinación, en suelos tratados con diferentes dosis de vinaza al 20% v/v

Valverde *et al.* (2004) después de aplicar vinaza en el agua de riego también obtuvo un aumento en el desarrollo radicular del brócoli (*Brassica oleracea*), del maíz (*Zea mays*) y del frijol (*Phaseolus vulgaris*), reflejándose a su vez en un mayor crecimiento de los cultivos, con respecto a los tratamientos testigos.

Los resultados obtenidos en este ensayo también son similares a los reportados por Santos *et al.* (2008) en cultivos de pepino, ya que obtuvo que el peso de las raíces aumenta casi en un 70% su peso seco al aumentar la concentración de la vinaza; obteniéndose los mejores resultados con vinaza de vino al 20%v/v. Por su parte, Callejas *et al.* (2014) después de estudiar el efecto de la vinaza de pisco en las vides, encontró que el tratamiento de 336 m³/ha produce el de mayor peso seco de raíces, situación generada principalmente por la mayor cantidad de raíces finas y medias; mientras que la dosis más alta (672 m³/ha) generó valores que comenzaron a decaer y a una condición de crecimiento similar al testigo.

7. CONCLUSIONES

- La vinaza de caña diluida al 20% v/v presentó pH ácido, elevados valores de CE, DQO y DBO. El contenido de sólidos totales, disueltos y suspendidos disminuyó con respecto a la vinaza de caña concentrada.
- Las muestras de suelo de Aguirre presentaron textura franco arenosa, pH levemente ácido, alto contenido de nitrógeno, moderado contenido de magnesio, muy bajo contenido de calcio, baja CE y CIC.
- Las dosis de vinaza diluida al 20 % v/v no generaron cambios estadísticamente significativos en el pH del suelo, aumentaron la CIC y la CE del suelo, aumentaron levemente el contenido de calcio intercambiable, aumentaron la carga de coliformes totales y disminuyeron la carga de aerobios mesófilos, mohos y levaduras.
- La vinaza disminuye la germinación de *C. sativum*. El mayor porcentaje de germinación entre los tratamientos con vinaza se obtuvo en la concentración al 5 % v/v. La germinación disminuyó al aumentar la concentración de la vinaza y para concentraciones superiores al 50% v/v se inhibió la germinación, esto indicó un posible efecto tóxico sobre las semillas de *C. sativum*.
- El diámetro del tallo del cilantro aumenta con la adición de vinaza al 20 % v/v, siendo la dosis de 9.091 L/ha la que favorece un mejor desarrollo.
- El tratamiento con 9.091 L/ha de vinaza al 20% v/v aumento un 72,5% el número de hojas de *C. sativum* con respecto al control, mientras que en el tratamiento con 10.909 L/ha el aumento fue del 54%.

- Todos los tratamientos con vinaza al 20% v/v aumentaron la biomasa aérea de *C. sativum*, siendo la dosis de 10.909 L/ha la que presentó un mayor incremento.
- Todos los tratamientos con vinaza mejoraron el desarrollo radicular del cilantro, siendo la dosis de 7.879 L/ha de vinaza la que más favoreció la formación de las raíces.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar todos los ensayos descritos en este trabajo en condiciones de campo, utilizando el suelo de la misma localidad geográfica y el mismo rubro agrícola.
- Se recomienda cuantificar el contenido de nitrógeno, calcio y magnesio en el tejido vegetal de *C. sativum* para corroborar la absorción de nutrientes.
- Cuantificar el aporte de sodio y potasio de la vinaza al 20 % v/v para todas las dosis evaluados, así como cuantificar las concentraciones de sodio y potasio intercambiables en los suelos tratados con vinaza.
- Aplicar las mismas dosis de vinaza al 20 % v/v a otras especies de ciclo vegetativo corto, con el fin de tener un mayor conocimiento de su posible uso agrícola.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acuña, R. (1988). Guía para la producción de hortalizas de hoja para la industria. Perejil *Petroselinum hortense* Hoffm y Cilantro *Coriandrum sativum* L. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y Secretaría de Agricultura. Cali, Colombia. Pp.: 50.

Aguirre, A. (1993). Química de los suelos salinos y sódicos. Primera Edición. Editorial Escuela Nacional de Estudios Superiores. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp.:34.

Alfaro, R. & Alfaro, J. (1996). Evaluación de la vinaza como fertilizante potásico en la caña de azúcar y su efecto sobre las propiedades químicas de un suelo de Atenas, Alajuela. II Congreso de Suelos. Costa Rica.

Álvarez, A., García, R., Casares, I. & Jiménez, R. (2007). Posibilidades de aplicación de vinazas en suelos rojos de La Mancha (España). Pilquen. 8(8): 3-19

Arcos, A., Estrada, E., Muñoz, J. (2002). Estabilidad de cinco cultivares de cilantro *Coriandrum sativum* L. en cinco niveles de nitrógeno y dos épocas de siembra. Trabajo de Grado, para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Colombia.

Armado, A. (2013). Parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y biológicos como indicadores de la actividad microbiológica en suelos cacaoteros del occidente de Venezuela. Trabajo de grado, para optar al título de Doctor en Biotecnología de Microorganismos. Universidad de los Andes. Venezuela.

Aristizábal, C. (2015). Caracterización físico-química de una vinaza resultante de la producción de alcohol de una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar. Ingenierias USBMed. 6(2):36-42

Bajpai, M., Mishra, A. and Prakash, D. (2005). Antioxidant and free radical scavenging activities of some leafy vegetables. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 56 (7): 473-481.

Basanta, R., García, M., Cervantes, J., Mata, H. y Bustos, G. (2007). Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión. Ciencia y tecnología alimentaria. 5:293-305.

Bautista, F., Luna, V. & Durán, C. (1995). El suelo un reactor químico muy interesante. Educación Química. 6: 226-230.

Bautista, F. & Durán, C. (1998). Análisis del beneficio y riesgo potenciales de la aplicación al suelo de vinaza crudas y tratadas biológicamente. Revista internacional de contaminación ambiental. 14: 11-17.

Bautista, F., Durán, C. & Lozano, R. (2000). Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas. Revista internacional de contaminación ambiental. 16 (3): 89-101.

Bernier, V. (1999) Análisis de suelo. Metodología e interpretación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigaciones Remehue. Serie Actas N° 2. Pp: 15-26.

Bermúdez, R., Hoyos, J. & Rodríguez, S. (2000) Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por tratamiento anaerobio. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 16(3):103-107.

Bermúdez, R. (1994). Una variante alternativa para la alimentación animal: vinaza de destilería. Revista Cubana de Veterinaria 4: 9-13.

Bhat, S., Kaushal, P., Kaur, M. and Sharma, H. (2014). Coriander (*Coriandrum sativum* L.): Processing, nutritional and functional aspects. African Journal of Plant Science. 8(1):25-33.

Bolívar, M. (2013). El cultivo del cilantro y el clima en el Ecuador. Estudios e Investigaciones Meteorológicas INAMHI. Quito, Ecuador.

Boulding, T. (1994). Description and sampling of contaminated soils: A field manual. Second Edition. Lewis Publisher. Bloomington, Indiana. Pp.: 20.

Bouyoucos, G. (1936). Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the Hydrometer Method. Soil Science 4:225-228.

Caballero, V. & Álvarez, D. (2013). Efecto de niveles crecientes de vinaza en el rendimiento agroindustrial de la caña de azúcar en un suelo Ultisol del departamento de Caazapá, Paraguay. Investigación Agraria. 11(2): 29-31.

Cadena, S., López, G. & Gutiérrez, E. (2007). Experiencias sobre aplicaciones de vinaza en mezcla con nitrógeno en caña de azúcar en los suelos del Valle de Cauca. Seminario sobre el potasio y su importancia en el manejo de la caña de azúcar. Asocaña.

Campo, K. & García, M. (2014). Evaluación de un proceso biotecnológico para la producción de ácido láctico a escala de laboratorio empleando vinaza como fuente de carbono. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Químico, no publicado. Universidad de Carabobo. Venezuela.

Calderón, A. (2008). Manual de siembra y aprovechamiento del cilantro (*Coriandrum sativum*). Proyecto para el análisis y la conciencia de la vegetación urbana.

Callejas, R., Silva, A., Peppi, C & Seguel, O. (2014). Factibilidad agronómica del uso de vinaza, subproducto de la fabricación del pisco, como biofertilizante en viñedos. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 8(2): 230-241

Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Segunda Edición. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Pp.: 17-20.

Cedeño, C. (1995). Tequila Production. Critical Reviews in Biotechnology. 15: 1-11.

Chicangana, D. (2014). Evaluación de densidades de siembra en dos cultivares de cilantro (*Coriandrum sativum* L.). Trabajo especial de grado, no publicado. Universidad Nacional de Colombia.

Chithra, V. & Leelamma, S. (2004). Hypolipidemic effect of coriander seeds (*Coriandrum sativum*): Mechanism of action. Plant Foods for Human Nutrition. 51:167-172.

Consejo Venezolano de Normas Industriales, COVENIN. Ministerio de Fomento N°2461. Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de sólidos.

Consejo Venezolano de Normas Industriales, COVENIN. Ministerio de Fomento N° 2462. Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de pH.

Consejo Venezolano de Normas Industriales, COVENIN. Ministerio de Fomento N° 2408-86. Agua. Determinación de dureza total y Calcio. Método Volumétrico. Determinación de Magnesio por Cálculo.

Consejo Venezolano de Normas Industriales, COVENIN. Ministerio de Fomento N° 2771. Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de Dureza.

Consejo Venezolano de Normas Industriales, COVENIN. Ministerio de Fomento N° 2803. Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de la demanda química de oxígeno.

Consejo Venezolano de Normas Industriales, COVENIN. Ministerio de Fomento N°3008. Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.

Consejo Venezolano de Normas Industriales, COVENIN. Ministerio de Fomento N° 3050. Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de la conductividad eléctrica

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (1995, 18 de Diciembre) Gaceta Oficial de la República, N° 5.021. [Extraordinaria]. Decreto N° 883 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (1998, 3 de Agosto). Gaceta Oficial de la República, N° 5.245 [Extraordinaria]. Decreto 2.635. “Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos”.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (1999, 1 de Febrero). Gaceta Oficial de la República, N° 5.305. [Extraordinaria]. Decreto N° 3.219 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia”.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (2001, 13 de Noviembre). Gaceta Oficial de la República N° 5.554. Ley 55. “Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos”.

Diederichsen, A. (1996). Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of plant genetics and crop plant research, Gettersleben. Rome, Italy. Pp.:83.

Faithfull, N. (2005). Métodos de análisis químico agrícola. Primera Edición. Editorial Acribia. Madrid, España. Pp.: 292.

Farreras, J. & Párraga, C. (2013). Evaluación de lodos de vinaza como biofertilizante en dos tipos de suelo. UNELLEZ de Ciencia y Tecnología. 31: 26-32.

Ferreira, S. & Montenegro, O. (1987). Efeitos de aplicacao de la vinhnacas propiedades químicas, físicas e biológicas do solo. Boletín Técnico Coopersucar Brasil. 36(1): 1-7.

Fíguro, S., Louisy-Louis, S., Lambert, J., Ehrhardt, J., Ouensanga, A., Gaspard, S. (2006). Adsorption studies of recalcitrant compounds of molasses spentwash on activated carbons. Water Research. 40:3456-3466.

FitzGibbon, F., Singh, D., McMullan, G. and Marchant, R. (1998). The effect of acids and molasses spentwash concentration on distillery wastewater remediation by fungi. Process Biochemistry. 33(8): 799-803.

Flores, P., Gavi, F., Torres, E., Hernández, E. (2012). Lixiviación de potasio y contenidos nutrimentales en suelo y alfalfa en respuesta a dosis de vinaza. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(5): 833-846.

Gallego, J., Muñoz, E. and Hernández, L. (2012) Effects of a vinasse-microorganism blend application on a Vertisol with sugarcane. Agronomía Colombiana. 30(1):116-123

García, A. (2007). Experiencias en el uso de vinazas para la recuperación de suelos salinos sódicos en el Valle del Cauca. Seminario sobre Potasio y su importancia en el manejo de la Caña de azúcar. Asocaña. Cali, Colombia.

García, A. & Rojas, C. (2006). Posibilidades del uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en suelos. Tecnicaña. 10: 125-145.

García, R., Zapata, A. & Estrada, E. (2002). Evaluación agronómica de sistemas de siembra para la producción de follaje en cilantro *Coriandrum sativum* L. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo, no publicado. Universidad Nacional de Colombia.

Girón, M. (2008). Evaluación de la posible contaminación del suelo y agua subterránea con elementos pesados de vinazas en el cultivo de la caña de azúcar. Trabajo de Grado, presentado para optar al título de especialista en Consultoría Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña. España.

Gokarn, A. and Mayadevi, S. (2000). Active charcoal from agrowaste for colour removal of treated spentwash. In: Proceeding of Annual Convention of D.S.T.A, Part I. Pp: B1-B10.

Gómez, J. (1995). Efecto de la vinaza sobre el contenido de potasio intercambiable en un suelo representativo del área cañera del valle del río Turbio. Venesuelos. 3 (2):69-72.

Gómez, J. (1996). Efecto de la aplicación de vinaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. Venesuelos. 14 (1): 15-34.

Gómez, J. (2007) Uso de la vinaza en el ingenio Manuelita. Seminario sobre el potasio y su importancia en el manejo de la caña de azúcar. Asocaña.

Gómez, J. & Rodríguez, O. (2000). Effects of vinasse on sugarcane (*Saccharum officinarum*) productivity. Revista de la Facultad de Agronomía LUZ. 17: 318-326.

González, J., Languasco, P. & Prado, F. (2014) Efecto de las vinazas sobre la germinación de soja, trigo y quinoa en condiciones controladas. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. 49 (4): 473-481.

González, L., Cock, J., Palma, A., Vivas, L., Moreno, C. (1995). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Ceñicaña. 10: 412-415.

Google Maps (2015). Foto satelital de Aguirre, Montalbán. Consultado el 06 de Noviembre del 2015, obtenido de la World Wide Web: <https://www.google.com/maps/@10.213833,-68.2771858,152m/data=!3m1!1e3>.

Guardia, L. & Ruíz, M. (2010) Reutilización de vinazas producidas durante la destilación alcohólica. Trabajo especial de grado para optar al título de Biólogo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

Gutiérrez, C., Grosso, J., Bullón, J., Rennola, L., Salazar, F., Cárdenas, A. (2009). Ultrafiltración de vinazas provenientes de destilerías de etanol. Revista Ciencia e Ingeniería. 30(2):121-126.

Hernández, G., Salgado, S., Palma, D., Lagunes, L., Castelán, M. & Ruiz, O. (2008). Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. Interciencias. 33(11): 855-860.

Hernández, J. (2003). Crecimiento y desarrollo del cilantro *Coriandrum sativum* L. por efecto del fotoperiodo y la temperatura y su control con fitoreguladores. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Doctor en Ciencias Agrícolas, con especialidad en mejoramiento de Plantas. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

INAMEH, Instituto Nacional de Metrología e Hidrología. (1984). Temperatura mínima y máxima media anual del Estado Carabobo. Periodo 1968-1983. Marn-CONICIT Proyecto N° 960011922.

INE, Instituto Nacional de Estadística. (2011). Informe Geoambiental, Estado Carabobo. Gerencia de Estadísticas Sociales y Ambientales. Pp.:113.

Iwatani, Y., Arcot, J. and Shreshtha, A. (2003). Determination of folate contents in some Australian vegetables. J. Journal of Food Composition and Analysis. 16:37-48.

Jackson, M. (1970) Análisis químico de suelos. Segunda Edición. Ediciones Omega. Barcelona, España. Pp.: 662.

Jaramillo, R. (2010). Efecto de la vinaza en el rendimiento de una mezcla forrajera establecida en un Andisol. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Agroindustrial, no publicado. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.

Kadioglu, A. and Faruk, O. (1990). The effect of Vinasse on the growth of *Helianthus annuus* and *Pisum sativum*. Part 1. The effects on some enzymes and chlorophyll and protein content Environmental Pollution. 67: 223-232.

Korndörfer, G., Nolla, A., Waldo, A. & Lara, C. (2004). Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible. Palmira, Colombia. Corpoica. Pp.: 233.

Korndörfer, G. (2009). Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo. Memorias Seminario internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar. Tecnicaña. 115-122.

McDonald, P., Henderson, A. and Heron, S. (1991). The Biochemistry of Silage. Second Edition. Chalcombe Publications. Marlow, UK. Pp.: 23.

Mohaibes, M. and Heinonen-Tanski, H. (2004) Aerobic thermophilic treatment of farm slurry and food wastes. Bioresource Technology. 95:245-254.

Montenegro, S., Menjívar, J., Bonilla, C. & Madriñán, R. (2009). Influencia de la aplicación de vinaza en actividad y biomasa microbiana en un Entic Dystropept y un Fluventic haplustoll del Valle del Cauca, Colombia. Acta Agronómica. 58(1):41-45.

Montoya, F. (2012). Estudio de la capacidad del suelo para la degradación de aceites comestibles usados y su incorporación como materia orgánica. Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Licenciado en Química. Universidad de Carabobo. Venezuela.

Morales, J. (1995). Cultivo de cilantro, cilantro ancho y perejil. Edición Fundación de Desarrollo Agropecuario. Serie Cultivos. Boletín Técnico N° 25. Santo Domingo, República Dominicana. Pp.:20-21.

Nadeem, M., Anjum, F., Khan M. and Tehseen, S. (2013). Nutritional and medicinal aspects of coriander (*Coriandrum sativum* L.). British Food Journal. 115(5): 743-755.

Narváez, M., Sánchez, M. & Menjívar, J. (2010). Efecto de la aplicación de vinazas en las propiedades físicas y la actividad deshidrogenasa en suelos cultivados con maíz dulce (*Zea mays* L.). Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.

Navarro, A., Arrueta, R. & Maldonado, M. (2006) Determinación del efecto de diferentes compuestos a través de ensayos de fitotoxicidad usando semillas de lechuga, escarola y achicoria. Revista de Toxicología. 23(3):125-129.

Nelson, D. and Sommers, L. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. 9: 961-1010.

Neves, M., Lima, I. and Dobereiner, J. (1983). Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. Brasileira das Ciências do Solo. 7: 131–136.

Núñez, J. (2006). Manual de laboratorio de Edafología. Segunda Edición. Editorial Universidad Estatal a distancia. San José, Costa Rica. Pp.: 14-15.

Leal, I., Chirinos, E., Leal, M., Morán, H. & Barrera W. (2003). Caracterización fisicoquímica de la vinaza del *Agave cocui* y su posible uso agroindustrial. Multiciencias. 3(2): 83-88.

Loaiza, J. (2009). Uso de los subproductos de la agroindustria de la caña en la elaboración de dos suplementos nutricionales para rumiantes en el Valle del Cauca. Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Ingeniería de Alimentos. Universidad de Caldas. Colombia

Loaiza, J. & Cantwell, M. (1997). Postharvest physiology and quality of cilantro (*Coriandrum sativum* L.). HortScience. 32:104-107.

Lotero, M. (2012). Transformaciones del carbono orgánico presente en la vinaza aplicada a un suelo vertic haplustoll de valle del rio cauca. Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Doctor en Ciencias Agropecuarias- Énfasis Suelos. Universidad Nacional de Colombia.

Lugo, P. (2016). Evaluación del uso de la vinaza (residuo industrial) para la obtención de ácido cítrico empleando *Aspergillus niger*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental. Centro de Investigaciones Microbiológicas Aplicadas. Universidad de Carabobo. Venezuela.

Pandey, S., Tyagi, P. and Gupta, A. (2007). Physico-chemical analysis and effect of distillery effluent on seed germination of wheat (*Triticum aestivum*), Pea (*Pisum sativum*) and Lady's finger (*Abelmoshus esculentus*). Agricultural and Biological Science. 2(6):35-40.

Penatti, C. (1988). Aplicacao de vinhaca na Usina Sao Manoel. Sao Paulo. Copersucar. Boletim Tecnico 44: 32-38.

Pérez I. & Garrido, N. (2006). Tratamiento de residuos: Aprovechamiento integral de vinazas de destilería, una revisión actual. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA.

Pérez, M. & Soto E. (2004). Régimen de precipitación en Montalbán Estado Carabobo, Venezuela. Agronomía Tropical. 54 (4): 359-370.

Pérez, L. (2000). Particularidades del Sistema de Gestión Ambiental en la Industria Empresa de Industrias y Proyectos del Níquel. Cuba.

Peter, K. (2004). Hand book of herbs and spices, Vol. 2. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, England. Pp.: 158-174.

Picone, L. (2006). Propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad. *En: Fertilidad de suelo y Fertilización de Cultivos (eds. HE Echeverría & FO García)*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. Pp.: 3-4.

Pimentel, H. & Rivero, C. (2011). Parámetros de calidad de un material orgánico obtenido a partir de vinaza con el uso de un activador multienzimático. Venesuelos 13:5-11.

Pineda, E., Chico, Y., Vidal, M., Becerra, E., Acosta, F., Fernandez, I., Lugo, I. (2015). Uso alternativo de la vinaza en la fertilización de la caña de azúcar, efectos sobre el cultivo y el suelo. Centro Agrícola. 42(1):31-36.

Pulido, M., Flores, B., Rondón, T., Hernández, R. & Lozano, Z. (2010). Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, Inceptisol y Ultisol, por el uso con cultivos de cítricas. Bioagro 22(3):201-210.

Ramana, S., Biswas, A., Kundu, S., Saha, J. & Yadava, R. (2002). Effect of distillery effluent on seed germination in some vegetable crops. Bioresource Technology. 82: 273-275

Raymond, D. (1982). Cultivo práctico de hortalizas. Primera Edición. Compañía Editorial Continental S A. México. Pp.: 144.

Rodale, J. (1991). How to growth vegetables and fruits by the organic method. Ed. Rodale Press, USA. Pp.: 876.

Rodger, J., Williams, G. and Davis, R. (1957). A rapid method for determining winter hardiness of alfalfa. Agronomy Journal. 49(1): 88–92.

Ros, R. (2006) Generación de residuos en la provincia de Alicante: Una incidencia de la educación ambiental. Trabajo de grado. Universidad de Alicante. España.

Rosillo, C., Bajay, S., Rothman, H. (2000). Industrial uses of biomass energy: the example of Brazil. London, UK CRC Press. Pp: 133-137.

Sahib, N., Anwar, F., Gilani, A., Hamid, A., Saari, N., Alkharfy, K. (2013). Coriander (*Coriandrum sativum* L.): A potential source of high-value components for functional foods and nutraceuticals- A Review. Phytotherapy Research. 27(10): 1439-1456.

Santos, M., Martín, F., Diáñez, F., Carretero, A., García-Alcázar, M. & Tello J. (2008). Efecto de la aplicación de vinaza de vino como biofertilizante y en el control de enfermedades en el cultivo de pepino. Memorias VIII Congreso SEAE de Agricultura y Alimentación Ecológica. Pp.:58-66. Universidad de Almería, España.

Schollenberger, C. and Simon, R. (1945) Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil-ammonium acetate method. Soil Science. 59: 13-24.

Simonetti, G. (1991). Guía de hierbas y especias. Primera Edición. Editorial Grijalbo. Barcelona, España.

Silva, G. (1982) Efeito da aplicacao de vinhaca no estado nutricional. Productividade e qualidade tecnológica da cana de acucar (*Saccharum spp*) em dois tipos de solo. Tese de Mestrado. ESALQ/USP, Piracicaba.

Subirós, F. (2000). El cultivo de la caña de azúcar. Segunda Edición. Editorial Universidad Estatal a distancia. Pp.: 362-364.

Tinajero, F. (1993). Aplicación de algas marinas y estiércol bovino en el cultivo del cilantro *Coriandrum sativum* L. Trabajo especial de grado para optar al título de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

Usman, D., Usman, R. Bonilla, C. & Sánchez, M. (2003). Efecto de la fertilización orgánica sobre la producción de follaje y rendimiento de semilla de cilantro *Coriandrum sativum* L. Variedad Unapal Precoso. Acta Agronómica. 52 (4): 59-63.

Uyeda, C., De Miranda, J., Duarte, S., De Medeiros, P., Dos Santos, C. (2013). Influence of vinasse application in hydraulic conductivity of three soils. Engenharia Agrícola. 33(4):689-698.

Yadav, A., Avtar, S., Sharma, S., Kamboj, O. and Dahiya, M. (2009). Salt tolerance in coriander (*Coriandrum sativum* L.) genotypes. Haryana Journal of Horticultural Sciences. 38 (2): 83-87.

Yousuf, M., Brahma, S., Kamal, M., Akter, S. and Chowdhury, M. (2014). Effect of Nitrogen, Phosphorus, Potassium and Sulphur on the growth and seed yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Bangladesh Journal of Agricultural Research. 39(2): 303-309.

Vadivel, R., Minhas, P., Kumar, S., Singh, Y., Rao, N. and Nirmale, A. (2014). Significance of vinasses waste management in agriculture and environmental quality-Review. African Journal of Agricultural. 9(38): 2862-2873.

Valverde, F., Cartagena, Y. & Parra, R. (2004). Efecto de la vinaza obtenida de la fabricación de la levadura y aplicada en el agua de riego, sobre el rendimiento de tres cultivos y las características químicas del suelo. En: Memorias XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, Ecuador.

Vargas, S. (2014). Efecto del nivel de inclusión y concentración de vinaza de caña (*Saccharum officinarum*) sobre los parámetros de fermentativos y calidad nutricional de un ensilaje de maralfalfa (*Penissetum sp.*). Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia.

Vázquez, Y. (2014). Efecto de la aplicación de vinaza sobre algunos indicadores químicos y físicos de un suelo cultivado con tomate (*Solanum lycopersicum L*) Var Amalia. Universidad Agraria de la Habana, Cuba.

Villatoro, B. (2015). Sostenibilidad en la aplicación de vinaza como fertirriego en la producción de caña de azúcar. Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Magíster en Gerencia de la Agricultura sostenible y los recursos naturales. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

Viteri, E. (2015). Evaluación de la vinaza de caña como abono orgánico y su posible efecto tóxico en el cultivo de rábano (*Raphanus Sativus*). Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Químico de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia Universidad Central de Ecuador.

ANEXO A

Los factores de conversión, utilizados según las temperaturas registradas en el laboratorio durante la determinación de la textura del suelo, se encuentran reflejados en la Tabla XVII

Tabla XVII. Corrección de temperaturas para método del hidrómetro de Bouyoucos.

Temperatura (°C)	Factor de conversión
19	-0,4
20	0,0
21	+0,4
22	+0,8
23	+1,2
24	+1,6
25	+2,0
26	+2,2
27	+2,6
28	+3,0
29	+3,4
30	+3,8

ANEXO B

La Figura 17, corresponde al triángulo textural utilizado para determinar el tipo textural de suelo

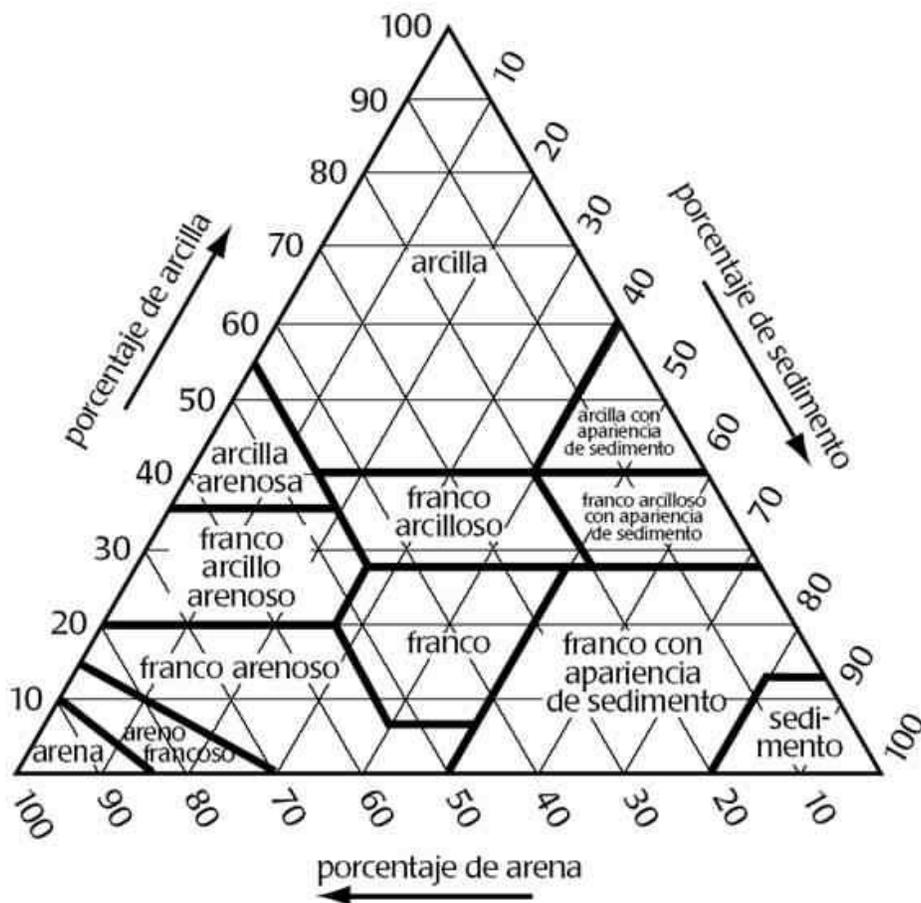


Figura 17: Triángulo textural utilizado para determinar el tipo textural de suelo de las muestras estudiadas en esta investigación. Fuente: Casanova (2005).

APENDICE 1: Textura del suelo

Tabla XVIII. Temperatura y densidad medida a los 40 s y a las 2h de iniciado el ensayo

Muestra	40 s		2 h	
	Temperatura (°C)	Densidad (g/L)	Temperatura (°C)	Densidad (g/L)
Blanco A	26	-2	24	-2
A	25	18	23	8
Blanco B	25	-2		
B	25	17	23	9

Blanco A = densidad leída \pm Factor de corrección por temperatura

Blanco A= -2+2,2

Blanco A= 0,2 (densidad a los 40 s)

Blanco A= -2+1,6

Blanco A= -0,4 (densidad a las 2 h)

Muestra A = (densidad leída \pm Factor de corrección de temperatura)-Blanco

Muestra A = (18+2)-0,2

Muestra A = 19,8 (Densidad a los 40 s)

Muestra A = (8+1,2)-0,4

Muestra A = 8,8 (Densidad a las 2 h)

Tabla XIX. Distribución de las partículas del suelo en ambas replicas.

Muestra	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
A	60,4	17,6	22
B	62	19,6	18,4
Promedio	61,2	18,6	20,2
Desviación estándar	$\pm 1,13$	$\pm 1,41$	$\pm 2,54$

APENDICE 2: Germinación de *C. sativum*

La Tabla XX, presenta la composición de las soluciones de incubación para las semillas de cilantro.

Tabla XX. Volumen de agua y vinaza utilizadas en los diferentes ensayos de germinación del cilantro

Tratamiento	Concentración de Vinaza (% v/v)	Vinaza (mL)	Agua (mL)
Control	0	0	10
1	2	0,2	9,8
2	5	0,5	9,5
3	10	1	9
4	20	2	8
5	50	5	5
6	75	7,5	2,5
7	100	10	0

La Tabla XXI presenta el número de semillas germinadas de *C. sativum* y los porcentajes de germinación obtenidos en las tres replicas, evaluadas para cada concentración de vinaza.

Tabla XXI. Número de semillas de cilantro germinadas y porcentaje de germinación en las tres réplicas (A, B y C)

Vinaza (% v/v)	N° semillas germinadas en A	% Germinación en A	N° semillas germinadas en B	% Germinación en B	N° semillas germinadas en C	% Germinación en C	Promedio germinación
0	9	90	10	100	9	90	93,3
2	4	40	5	50	4	40	43,3
5	8	80	7	70	5	50	66,7
10	3	30	2	20	3	30	26,7
20	2	20	4	40	3	30	30,0
50	1	10	1	10	1	10	10,0
75	0	0	0	0	0	0	0,0
100	1	10	0	0	0	0	3,3

APENDICE 3

La Tabla XXII presenta la variación de la materia orgánica del suelo a través del tiempo, calculada mediante la ecuación 5 (Ver apartado 5.3.3).

Tabla XXII. Variación de la MOS en los tratamientos del sistema control a través del tiempo.

Día 1								
Tratamiento	C (g)	Peso Muestra (g)	A (g)	B (g)	a-b	ab/a-c	*100	% MO
TA1	23,6014	5,0004	28,6018	28,2849	0,317	0,063	6,337	6,34
TA3	23,5264	5,0008	28,52715	28,0175	0,509	0,102	10,191	10,19
TA5	25,8679	5,0001	30,86802	30,4881	0,379	0,076	7,598	7,6
Día 2								
TA1	23,3789	5,0003	28,3792	28,1383	0,240	0,048	4,818	4,82
TA3	23,8082	5,0005	28,8087	28,544	0,264	0,053	5,293	5,29
TA5	26,1796	5,0009	31,1805	30,9226	0,258	0,052	5,157	5,16
Día 11								
TA1	23,5258	5,0001	28,5259	28,245	0,281	0,056	5,618	5,62
TA3	23,3787	5,0002	28,3789	28,1368	0,242	0,048	4,842	4,84
TA5	23,8076	5,0001	28,8077	28,5158	0,292	0,058	5,838	5,84
Día 16								
TA1	23,6007	5,0001	28,6008	28,2725	0,328	0,066	6,566	6,56
TA3	23,5254	5,0002	28,5256	28,1964	0,329	0,066	6,584	6,58
TA5	25,8672	5,0005	30,8677	30,578	0,289	0,058	5,793	5,79
Día 25								
TA1	23,6001	5,0002	28,6003	28,1957	0,404	0,081	8,092	8,09
TA3	23,5252	5,0009	28,5261	28,1561	0,37	0,074	7,399	7,39
TA5	23,3781	5,0008	28,3789	28,1147	0,264	0,053	5,283	5,28
Día 30								
TA1	23,6006	5,0002	28,6008	28,312	0,289	0,058	5,776	5,77
TA3	23,5253	5,0001	28,5254	28,2572	0,268	0,054	5,364	5,36
TA5	23,5467	5,0001	28,5468	28,2885	0,258	0,052	5,166	5,16
Día 90								
TA1	23,5255	5,0004	28,5259	28,2326	0,293	0,059	5,866	5,86
TA3	23,8042	5,0008	28,805	28,5343	0,271	0,054	5,413	5,41
TA5	23,379	5,0007	28,3797	28,1243	0,255	0,051	5,107	5,11

*La letra A corresponde al peso del crisol y del suelo seco al horno antes de la ignición. La letra B corresponde al peso del crisol y del suelo seco después de la ignición y la letra C es el peso del crisol con aproximación a 0,01 g.

APENDICE 4

En la Tabla XXIII se presentan los valores de pH medidos en los tratamientos del sistema control hasta los 90 días después de aplicada la vinaza al 20% v/v.

Tabla XXIII. Variación en el pH del suelo de los tratamientos del sistema control durante todo el ensayo.

Tratamiento	pH				Tiempo (días)	pH promedio	Desviación estándar
	1	2	3	4			
TA1	5,86	6	5,83	5,96	1	5,91	0,08
TA3	6	6,08	6,09	6,05		6,06	0,04
TA5	5,9	5,96	5,94	5,95		5,94	0,03
TA1	6,08	6,09	6,12	6,13	2	6,11	0,02
TA3	5,86	5,87	5,86			5,86	0,01
TA5	6,01	6,09	6,17	6,16		6,11	0,07
TA1	6,06	6,14	6,11	6,04	11	6,09	0,05
TA3	6,33	6,36	6,42	6,42		6,38	0,04
TA5	6,18	6,25	6,3	6,33		6,27	0,07
TA1	5,91	5,98	6	6,02	16	5,98	0,05
TA3	5,87	5,73	5,85			5,82	0,08
TA5	5,8	5,84	5,87	5,9		5,85	0,04
TA1	6,71	6,58	6,45	6,58	25	6,58	0,08
TA3	6,53	6,58	6,5			6,54	0,04
TA5	6,59	6,44	6,43	6,33		6,45	0,09
TA1	5,94	5,96	5,97	5,71	30	5,88	0,06
TA3	6,09	6,17	6,15	6,11		6,12	0,04
TA5	6,13	6,14	6,16	6,06		6,12	0,04

APENDICE 5

En la Tabla XIV se presentan los resultados del pH del suelo obtenidos al final del ensayo, en las diferentes replicas evaluadas para cada tratamiento con vinaza al 20% v/v

Tabla XIV. pH del suelo con y sin vinaza.

Tratamiento	Replica	pH					Promedio	Desviación Estándar
		1	2	3	4	5		
T0	T0 2	5,82	5,88	5,87	5,86	5,75	5,93	±0,08
	T0 3	5,85	5,92	6	5,89	5,91		
	T0 4	5,98	6,02	6,01	6,07	5,9		
T1	T1 3	5,79	5,8	5,8	5,82	5,83	5,73	±0,09
	T1 4	5,69	5,75	5,76	5,69	5,84		
	T1 5	5,55	5,59	5,73	5,72	5,71		
T2	T2 1	5,79	5,87	5,92	5,89	5,97	5,89	±0,08
	T2 3	5,87	5,94	5,99	5,88	5,9		
	T2 4	5,98	6,06	6,01	5,8	5,89		
	T2 5	5,81	5,86	5,78	5,87	5,88		
T3	T3 1	5,57	5,8	5,85	5,87	5,81	5,81	±0,09
	T3 3	5,73	5,84	5,88	5,67	5,66		
	T3 6	5,76	5,83	5,85	5,87	5,82		
T4	T4 2	5,86	5,86	5,83	5,81		5,69	±0,11
	T4 3	5,56	5,58	5,61	5,69			
	T4 7	5,59	5,64	5,68	5,71	5,66		
T5	T5 1	6,14	6,2	6,18	6,15	5,83	5,93	±0,17
	T5 2	5,59	5,64	5,68	5,63	5,66		
	T5 3	6,04	6,17	6,03	6,16	5,93		

±: Desviación estándar

APENDICE 6

Análisis estadísticos de los datos

a) MO de los tratamientos del sistema control.

H: 2,377 Hc: 2,381 p(same): 0,3047			
Mann-Whitney pairwise comparisons, Bonferroni corrected \ uncorrected:			
	TA1	TA3	TA5
TA1		1	0,3056
TA3	1		0,1408
TA5	0,9169	0,4225	

Figura 18: Prueba Kruskal Wallis y Mann Whitney para la materia orgánica de los tratamientos del sistema control.

b) pH de los tratamientos

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)	
Between groups:	0,78422	5	0,156844	8,905	1,008E-06	
Within groups:	1,37385	78	0,0176135			
Total:	2,15807	83				
omega^2:	0,32					
Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 6,377E-11						
Based on medians: p(same) = 3,235E-05						
Welch F test in the case of unequal variances: F=13,21, df=36,17, p=2,392E-07						
Residuals						
Tukey's pairwise comparisons: Q \ p(same)						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
T0		0,003486	1	0,08006	0,0004821	0,9998
T1	5,417		0,006284	0,8814	0,9876	0,00146
T2	0,2618	5,155		0,1229	0,0008196	0,9975
T3	3,866	1,551	3,605		0,5119	0,0403
T4	6,323	0,9062	6,062	2,457		0,0002527
T5	0,3826	5,8	0,6444	4,249	6,706	

Figura 19: Pruebas de ANOVA y Tukey para el pH de los tratamientos.

c) Longitud de los tallos de *C. sativum*

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	147,606	5	29,5211	2,961	0,01795
Within groups:	657,914	66	9,9684		
Total:	805,52	71			
omega^2:	0,1199				

Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 0,001224
Based on medians: p(same) = 0,0118

Welch F test in the case of unequal variances: F=2,815, df=26,44, p=0,03637

Residuals

Tukey's pairwise comparisons:
Q \ p(same)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
T0		0,04765	0,9989	0,1858	0,4584	0,998
T1	4,178		0,1203	0,9911	0,8666	0,1328
T2	0,5486	3,63		0,3694	0,7057	1
T3	3,337	0,8412	2,789		0,9945	0,3956
T4	2,578	1,6	2,03	0,7589		0,7328
T5	0,6126	3,566	0,064	2,725	1,966	

Figura 20: Pruebas de ANOVA y Tukey realizadas con las longitud del tallo de *C. sativum* para los diferentes tratamientos con vinaza al 20% v/v.

d) Número de hojas en *C. sativum*

H:	25,86
Hc:	31,79
p(same):	9,519E-05

Mann-Whitney pairwise comparisons,
Bonferroni corrected \ uncorrected:

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
T0		0,0004071	0,5353	0,001185	0,06613	0,0001666
T1	0,006106		0,0003874	1	0,09436	0,3737
T2	1	0,005811		0,0009424	0,04362	0,0001954
T3	0,01778	1	0,01414		0,1291	0,4938
T4	0,992	1	0,6542	1		0,2468
T5	0,002499	1	0,002931	1	1	

Figura 21: Pruebas Kruskal Wallis y Mann Whitney para el número de hojas de *C. sativum* tratados con diferentes dosis de vinaza al 20% v/v.

e) Diámetro de los tallos de *C. sativum*

H: 25,86 Hc: 31,79 p(same): 9,519E-05						
Mann-Whitney pairwise comparisons, Bonferroni corrected \ uncorrected:						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
T0		0,0004071	0,5353	0,001185	0,06613	0,0001666
T1	0,006106		0,0003874	1	0,09436	0,3737
T2	1	0,005811		0,0009424	0,04362	0,0001954
T3	0,01778	1	0,01414		0,1291	0,4938
T4	0,992	1	0,6542	1		0,2468
T5	0,002499	1	0,002931	1	1	

Figura 22: Pruebas Kruskal Wallis y Mann Whitney para el diámetro del tallo de *C. sativum*, medido a nivel de la macolla.

APENDICE 7

En las Tablas XXV y XXVI se presentan la biomasa aérea y radical del cilantro cultivado después de ser tratado con diferentes dosis de vinaza al 20 %v/v.

Tabla XXV. Biomasa aérea del cilantro

Tratamiento	Fresco (mg)	Seco (mg)	Peso seco (mg)	Biomasa (mg/m²)
T0	346,83	38,84	307,99	9333,03
T1	611,51	56,56	554,95	16816,67
T2	384,2	42,32	341,88	10360
T3	422,32	59,01	363,31	11009,39
T4	523,93	52,87	471,06	14274,55
T5	636,95	53,9	583,05	17668,18

Tabla XXVI. Biomasa radical del cilantro

Tratamiento	Fresco (mg)	Seco(mg)	Peso seco(mg)	Biomasa (mg/m²)
T0	54,73	53,7	1,03	31,31
T1	63,57	62,3	1,27	38,38
T2	116,1	112,93	3,17	95,96
T3	79,87	77,83	2,03	61,62
T4	65,2	63,2	2	60,61
T5	56,3	54,775	1,525	46,21

APENDICE 8**Preparación de agares.**

Los medios de cultivo se prepararon según lo señalado en la Tabla XXVII. El medio Cetrimide fue suplementado con 5 mL de Glicerina, mientras que el Sabouraud se suplemento con 125 mg de Amoxicilina, después de ser esterilizados a 121°C por 15 min.

Tabla XXVII. Peso de medios y volumen de agua utilizados para la preparación de agares.

Medio	Peso (g)	Agua destilada (mL)
MacConkey	23,26	
Cetrimide	23,35	500
Nutriente	10,04	
Sabouraud	32,50	

APENDICE 9

Preparación de soluciones

Las diferentes soluciones utilizadas en este trabajo, se prepararon según lo señalado en la Tabla XXVIII

Tabla XXVIII. Soluciones utilizadas en los diferentes ensayos.

Solución	Reactivo	Peso de reactivo (g)	Tipo de Solvente	Volumen de solvente (mL)	Concentración de la solución
Indicador de Tashiro	Rojo de metilo (C ₁₅ H ₁₅ N ₃ O ₂)	0,1003	Alcohol Étilico	50	
	Azul de metilo (C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S)	0,0507	Alcohol Étilico	25	
Acetato de Amonio neutro	Acetato de Amonio (C ₂ H ₇ NO ₂)	38,5404	Agua destilada	500	1 M
Solución de Ácido Bórico	Ácido Bórico (H ₃ BO ₃)	4,0020	Agua destilada	200	4% p/v
Solución de Cloruro de Sodio	Cloruro de Sodio (NaCl)	70,004	Agua destilada	700	10% p/v
Solución de Hidróxido de Sodio	Hidróxido de Sodio (NaOH)	1,0069	Agua destilada	250	1 N
Solución de Tiosulfato de sodio	Tiosulfato de Sodio (Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O)	2,4935	Agua destilada	100	0,1 N
Solución de Hidróxido de Potasio	Hidróxido de Potasio (KOH)	5,61059	Agua destilada	100	1 M