

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**EVALUACIÓN DE TRES DESHIDRATADORES SOLARES PARA EL
TRATAMIENTO DE LA VINAZA DE CAÑA DE AZÚCAR Y ANÁLISIS
FÍSICO QUÍMICO DE LOS PRODUCTOS RESULTANTES**

Por:

**FLORES MOLINA, JUAN ANTONIO
LEIVA CRUZ, MARÍA EVA
TEJADA MEJÍA, RICARDO WALBERTO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2020

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**EVALUACIÓN DE TRES DESHIDRATADORES SOLARES PARA EL
TRATAMIENTO DE LA VINAZA DE CAÑA DE AZÚCAR Y ANÁLISIS
FÍSICO QUÍMICO DE LOS PRODUCTOS RESULTANTES**

Por:

**FLORES MOLINA, JUAN ANTONIO
LEIVA CRUZ, MARÍA EVA
TEJADA MEJÍA, RICARDO WALBERTO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2020

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA**



**EVALUACIÓN DE TRES DESHIDRATADORES SOLARES PARA EL
TRATAMIENTO DE LA VINAZA DE CAÑA DE AZÚCAR Y ANÁLISIS
FÍSICO QUÍMICO DE LOS PRODUCTOS RESULTANTES**

POR:

**FLORES MOLINA, JUAN ANTONIO
LEIVA CRUZ, MARÍA EVA
TEJADA MEJÍA, RICARDO WALBERTO**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO(A) AGRÓNOMO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2020

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

LIC. M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. M.Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

DR. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO:

ING. AGR. BALMORE MARTINEZ SIERRA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA

M.Sc. FREDDY ALEXANDER CARRANZA ESTRADA

DOCENTES DIRECTORES

M.Sc. NORBIS SALVADOR SOLANO MELARA

LIC. DANIEL DE JESÚS PALACIOS

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. AGR. M.Sc. JUAN MILTON FLORES TENSOS

RESUMEN

La vinaza es un subproducto de la caña de azúcar proveniente de la destilación de la melaza. En El Salvador la utilizan para fertirrigación de cultivos de caña de azúcar, pero su exceso genera daños al ecosistema. El objetivo de la investigación fue evaluar tres prototipos de deshidratadores solares para dar tratamiento a la vinaza cruda separando líquidos y sólidos, obteniendo productos y conocer las características fisicoquímicas de estos para buscar alternativas de uso. La investigación se llevó a cabo de mayo a noviembre de 2018 en el municipio de San Salvador, en la Universidad de El Salvador Sede Central, con una temperatura promedio de 24.00°C, altura de 650 msnm y 60.00% de humedad relativa promedio anual. Se utilizaron tres deshidratadores solares de dimensiones de un metro cuadrado cada uno, siendo estos: un deshidratador sin cobertura (DSC), un deshidratador con cobertura de plástico (DCP) y un deshidratador con cobertura de vidrio (DCV), en los que se evaluaron tres volúmenes de vinaza cruda: tres litros, cinco litros y diez litros, haciendo un total de 36 unidades experimentales, de las cuales se escogieron 18 unidades las cuales se analizaron las siguientes propiedades físico químicas: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Totales Disueltos, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica. Además, se midieron diferentes factores ambientales: temperatura del ambiente (°C), temperatura interna (°C) (en los deshidratadores con cobertura), lámina evaporada (mm) (en el deshidratador sin cobertura), radiación solar (w/m²), humedad relativa del ambiente (%), nubosidad (%) y velocidad de viento (km/h), los cuales tuvieron incidencia en la eficiencia de los deshidratadores, que determinó el rendimiento en horas necesarias para deshidratar las muestras; dando como resultados de eficiencia para el deshidratador sin cobertura un 59.41%, deshidratador con cobertura de plástico un 27.61% y deshidratador con cobertura de vidrio un 73.54%. Los resultados físicos químicos presentaron una disminución en la Demanda Química de Oxígeno en la vinaza cruda de 50,700 mg/L a 9,623 mg/L para el condensado de vinaza, mientras que para la Demanda Biológica de Oxígeno la vinaza cruda contenía 2,106 mg/L y el condensado de vinaza no presento demanda. En la vinaza deshidratada, las cantidades en promedio de Nitrógeno 2.13%, Fósforo 0.16% y Potasio de 14.46%. Según los valores de Nitrógeno, Fósforo, DQO y pH, la vinaza cruda y el condensado de vinaza no pueden ser vertidas a cuerpos receptores. Palabras clave: Vinaza, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Análisis Físicoquímico, Deshidratadores Solares, Deshidratación de vinaza.

ABSTRACT

Vinasse is a byproduct of sugarcane from the distillation of molasses. In El Salvador it is used for fertirrigation of sugarcane crops, but its excess generates damage to the ecosystem. The objective of this research was to evaluate three prototypes of solar dehydrators to treat raw vinasse, separating liquids and solids, obtaining products and knowing the physicochemical characteristics of these, to look for alternatives of use. The research was carried out from May to November 2018 in the municipality of San Salvador, at the University of El Salvador Headquarters, with an average temperature of 24.00 ° C, height of 650 meters above sea level and 60.00% annual average relative humidity. Three solar dehydrators of one square meter each were used: a dehydrator without cover (DSC), a dehydrator with plastic cover (DCP) and a dehydrator with glass cover (DCV), in which were evaluated three volumes of raw vinasse: three liters, five liters and ten liters, making a total of 36 experimental units, of which 18 units were chosen which analyzed the following physical chemical properties: Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Demand of Oxygen (BOD₅), Total Dissolved Solids, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, pH, electrical conductivity and organic matter. In addition, different environmental factors were measured: ambient temperature (° C), internal temperature (° C) (in dehydrators with cover), evaporated sheet (mm) (in dehydrator without cover), solar radiation (w/m²), relative humidity of the environment (%), cloudiness (%) and wind speed (km/h), which had an impact on the efficiency of dehydrators, which determined the performance in hours needed to dehydrate the samples; giving as efficiency. Results for the dehydrator without coverage 59.41%, dehydrator with plastic coverage 27.61% and dehydrator with glass coverage 73.54%. The chemical physical results showed a decrease in the Chemical Oxygen Demand in the raw vinasse from 50,700 mg/L to 9,623 mg/L for the vinasse condensate, while for the Biological Oxygen Demand the raw vinasse contained 2,106 mg/L and the vinasse condensate obtained presented 0.00 mg/L. In dehydrated vinasse, the average amounts of Nitrogen 2.13%, Phosphorus 0.16% and Potassium of 14.46%. According to the Nitrogen, Phosphorus, COD and pH values, the raw vinasse and the vinasse condensate cannot be discharged into receiving water bodies.

Keywords: Vinasse, Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Physical Analysis, Solar Dehydrators, Vinasse Dehydration.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios todopoderoso por darme la vida y la oportunidad de alcanzar este logro.

A mis padres Ana Antonia Molina de Flores y Juan Antonio Flores Sorto por ser ejemplos, el apoyo, consejos, paciencia y amor incondicional que siempre me han sabido dar y el cual me permitió llegar y estar conmigo hasta este momento de mi vida.

A mis hermanas Claudia y Norma Molina sobrinos Gabriela y Mauricio por ser parte de mi vida, familiares más cercanos, por el apoyo en toda la carrera que también fue clave para alcanzar esta meta, y demás familia.

A mis amigos en el exterior Carlos y Rosa Luna, así como a mis amigos acá en el país los cuales también tuvieron influencia al momento de realizar decisiones que han formado parte de mi vida y por el apoyo que me han brindado, así como también su amistad.

Elvis, Fernando, Jacky Serrano, Marvin, Rosa, Denis, Daniel y todos los demás compañeros en los cuales sería una larga listas para nombrar que conocí en la universidad y que de una forma o de otra siempre estuvieron apoyando a lo largo de la carrera para lograr este objetivo y que también formaron parte en la elaboración de este documento.

A mis compañeros de tesis Ricardo y Eva, pues sin su apoyo y complemento no hubiese sido posible obtener este logro.

A los asesores por el apoyo para realización de este documento Lic. Norbis Solano, Doc. Ing. Agr. Reynaldo Landaverde, Lic. Daniel Palacios y personal del departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas

A Lidia Sánchez por llegar en el momento justo y estar apoyándome hasta este momento de la vida.

Juan Antonio Flores Molina

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso.

A mi padre Juan Antonio Flores Sorto. y en especial a mi madre Ana Antonia Molina de Flores.

A todos los docentes de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Juan Antonio Flores Molina.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar hasta este momento de la vida.

Agradezco a mis padres Eva y Francisco Leiva por dejarme tomar mis propias decisiones, y estar ahí para verme hacer realidad mis acciones.

A mis hermanas y hermanos, por su apoyo y presencia en mi tiempo de estudio.

A mis asesores de tesis Lic. Norbis Solano y Lic. Daniel Palacios por aceptar el reto de la vinaza, y apoyarnos con su conocimiento para poner en rumbo la investigación y lograr terminarla y presentarla finalmente. Y al Dr. Reynaldo Landaverde quien fue el primero en creer que se podía obtener resultados beneficiosos de esta investigación.

Al personal del Departamento de Química Agrícola, Lic. Freddy, Lic. Lorena, Lic. Mario, Lic. Yanira, Ing. Milton, Ing. Flor por su apoyo y enseñanza durante el desarrollo de esta investigación. Y a los estudiantes de horas sociales de la Facultad de Química y Farmacia gracias por la ayuda y compañía en la jornada de trabajo de laboratorio.

Al Departamento de Recursos Naturales, por el apoyo para la realización de esta investigación.

A la Escuela de Mecánica, y en especial al Ing. Salomón Torres por compartir su conocimientos y enseñanza. Y a la Escuela de Eléctrica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Agradezco a mis compañeros de tesis, Ricardo Tejada y Juan Flores por lograr sobrellevarnos en conjunto, y trabajar en equipo para obtener un buen resultado.

A mis compañeras y compañeros de clases, Iliana Rodríguez, Ana Rivera, Eva Zavaleta, Karla Sánchez, Rosa Carmona, Moris Hidalgo, por el trabajo y apoyo para lograr salir con las materias durante la carrera.

A mis amigas y amigos, Jacky Serrano, gracias por sus siempre palabras de aliento y ánimo. Lidia Sánchez, Denis Morales y Fernando Ramos, por su presencia y consejos.

Y gracias, Marvin Wipfli por tu apoyo incondicional siempre.

María Eva Leiva Cruz.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios todo poderoso y La Virgen María, por conducirme y acompañarme en los senderos de mi vida y permitirme culminar una fase de mi vida al lado de mis seres queridos.

A mis padres, Gloria Edelmira Mejía y Edwin Antonio Tejada, por darme su apoyo, amor, paciencia y confianza en cada etapa de mi vida. inspirándome a ser una persona de bien y enseñarme lo más importante en la vida, es la felicidad.

A mis tíos; Ana, Efraín y Abel, por apoyarme incondicionalmente en los momentos difícil, por compartir momentos importantes en esta trayectoria de vida.

A mi hermana, por todos esos momentos de enojo y diversión que pasamos, eres mi ejemplo de persona con tu gran corazón y enorme firmeza.

A mis compañeros, Juan Antonio Flores y Eva Leiva Cruz, por emprender este sueño llamado tesis, por esos días llenos de sol y alegría. sin ellos no podría haberlo logrado.

A mis asesores de tesis, Lic. Norbis Solano, Lic. Daniel Palacios y Dr. Reynaldo Landaverde por confiar y apoyarnos con sus conocimientos de manera magnánima y generosa.

Al personal del Departamento de Química Agrícola, por su apoyo durante la fase de laboratorio de la investigación.

A ti amiga, gracias por llegar en el momento justo, cuando menos lo esperaba y enseñarme lo bello que es volver a casa.

DEDICATORIA

Para Herminia Mejía, Rigoberto Flores y Juan José Mejía

Ricardo Tejada

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	21
2. REVISION BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Vinaza	3
2.1.1 La composición de la vinaza	3
2.1.2 Bioetanol en El Salvador.....	4
2.2 Uso de la vinaza.....	4
2.2.1 Solución nutritiva	4
2.2.2 Fertirrigación.....	5
2.2.3 Alimentación de animales	5
2.2.4 Fabricación de levadura torula.....	6
2.2.5 Otros usos de la vinaza	6
2.3 Efectos de la vinaza en el suelo	6
2.3.1 Efecto físico	6
2.3.2 Efecto químico.....	7
2.3.3 Efecto biológico	7
2.4 Vinaza y su impacto en el ambiente	8
2.4.1 Consecuencia del uso de la vinaza.....	8
2.4.2 Características contaminantes de la vinaza para cuerpos de agua y suelos.....	9
2.5 La vinaza como agua de riego agrícola	10
2.5.1 Calidad del agua para uso agrícola	10
2.5.2 Parámetros de clasificación del agua para uso agrícola	10
2.5.3 Aporte de nutrimentos en el agua de riego	11
2.6 La vinaza como agua residual	11
2.6.1 Normas para aguas residuales descargadas en cuerpo receptor	11
2.7 Abono orgánico	12
2.7.1 Nutrición de plantas con abonos orgánicos.....	12

2.7.2	Determinación de la calidad de los abonos orgánicos	12
2.7.3	Análisis químico de los abonos orgánicos	12
2.7.4	Los abonos orgánicos y la disponibilidad de sus nutrientes	13
2.8	pH	13
2.8.1	Efecto del pH en las plantas	13
2.8.2	Efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes	13
2.9	Materia orgánica.....	13
2.9.1	Función de la materia orgánica en el suelo.....	14
2.10	Deshidratadores solares.....	14
2.10.1	Tipos de deshidratadores solares	14
2.10.2	Funcionamiento del deshidratador solar	15
2.10.3	Balance de masa de un deshidratador.....	15
2.11	Transmitancia de los materiales	15
2.12	Variabilidad de la radiación solar en El Salvador	16
2.13	Factores que condicionan la efectividad de los deshidratadores solares	16
2.13.1	Radiación solar directa y difusa	16
2.13.2	Nubosidad empírica.....	16
2.13.3	Evaporación al aire libre	17
2.14	Factores que determinan la evaporación.....	17
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1	Descripción del lugar de estudio.....	19
3.2	Gestión de permisos y préstamos de equipos	19
3.3	Recolección, almacenamiento y transporte de la vinaza cruda.....	19
3.4	Adecuación de los deshidratadores solares	20
3.5	Fase pre-experimental.....	20
3.6	Fase de campo.....	21
3.6.1	Ordenamiento de las secciones de tiempo	21

3.6.2 Preparación y movilización de la muestra.....	22
3.6.3 Colocación de la muestra en los deshidratadores.....	22
3.6.4 Toma de datos.....	22
3.6.5 Recolección de muestras.....	23
3.6.5.1 Condensado de vinaza.....	23
3.6.5.2 Vinaza deshidratada.....	23
3.6.6 Limpieza de las piletas de cerámica.....	24
3.7 Metodología estadística.....	24
3.7.1 Diseño estadístico y tratamientos.....	24
3.7.2 Modelo estadístico.....	24
3.7.3 Variables estudiadas.....	25
3.7.3.1 Variables para determinar la eficiencia de los deshidratadores solares.....	25
3.7.3.2 Variables ambientales.....	25
3.7.4 Análisis efectuados.....	26
3.7.5 Análisis físico químico.....	26
3.8 Metodología de laboratorio.....	27
3.8.1 Muestras y análisis realizados.....	27
3.8.2 Preparación de las muestras.....	27
3.8.2.1 Vinaza cruda.....	27
3.8.2.2 Condensado de vinaza.....	28
3.8.2.3 Vinaza deshidratada.....	28
3.8.3 Determinación de Nitrógeno, Método Micro-Kjeldahl.....	29
3.8.4 Determinación de Fósforo, Método Colorimétrico.....	29
3.8.5 Determinación de Potasio, Método de espectrofotometría de llama.....	30
3.8.6 Determinación de pH, Método Potenciométrico.....	30
3.8.7 Salinidad, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Disueltos y Temperatura, Método Potenciométrico.....	31

3.8.8 Determinación de Materia Orgánica.....	31
3.8.9 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	31
3.8.10 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	32
3.9 Metodología económica	32
3.9.1 Metodología económica.....	32
3.9.1.1 Análisis costo/efectividad.....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1 Eficiencia de los deshidratadores solares y variables ambientales	34
4.1.1 Número de horas necesarias para deshidratar la vinaza cruda.....	34
4.1.2 Volumen de condensado de vinaza	35
4.1.3 Peso en gramos de vinaza deshidratada	37
4.2 Variables ambientales.....	39
4.2.1 Análisis paramétricos, lámina evaporada y variables ambientales para DSC	39
4.2.2 Análisis paramétricos, Temperatura interna y variables ambientales para DCP ..	41
4.2.3 Análisis paramétricos, Temperatura interna y variables ambientales para DCV ..	42
4.3 Análisis físico químico	43
4.3.1 Vinaza cruda y condensado de vinaza.....	43
4.3.1.1 Nitrógeno, Fósforo y Potasio	43
4.3.1.2 pH	45
4.3.1.3 Salinidad: Conductividad eléctrica y Sólidos Disueltos Totales.....	46
4.3.1.4 Temperatura.....	48
4.3.1.5 Materia Orgánica	49
4.3.1.6 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	50
4.3.1.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	50
4.3.2 Vinaza cruda y vinaza deshidratada	51
4.3.2.1 Nitrógeno, Fósforo y Potasio	51
4.3.2.2 pH	52

4.3.2.3 Materia Orgánica.....	53
4.4 Resultados económicos	54
4.4.1 Costos de inversión de los deshidratadores.....	54
4.4.2 Análisis de costos/efectividad	54
5. CONCLUSIONES	56
6. RECOMENDACIONES	58
7. BIBLIOGRAFIA.....	59
8. ANEXOS.....	65

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Agrupación de los tratamientos y repeticiones	25
Cuadro 2. Vinaza cruda y tratamientos seleccionados a los que se les realizaron análisis químicos.....	27
Cuadro 3. Análisis físicos químicos realizados.....	28
Cuadro 4. Relación costo/efectividad	33
Cuadro 5. Variables ambientales, lámina evaporada, para el deshidratador sin cobertura DSC	40
Cuadro 6. Variables ambientales para deshidratador con cobertura de plástico DCP.....	41
Cuadro 7. Variables ambientales para deshidratador con cobertura de vidrio DCV	43
Cuadro 8. Porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio obtenido en la vinaza cruda y en los condensados de vinaza	44
Cuadro 9. Comparación en porcentajes de N, P, K entre vinaza cruda, condensado de vinaza, bioabonos orgánicos y Norma salvadoreña para aguas residuales	45
Cuadro 10. pH obtenido en la vinaza cruda y en el condensado de vinaza.....	45
Cuadro 11. Comparación de pH entre vinaza cruda, condensado de vinaza, bioabonos y norma salvadoreña para aguas residuales	46
Cuadro 12. Salinidad expresada en ‰, mS/cm y mg/L obtenida en la vinaza cruda y en los condensados de vinaza	46
Cuadro 13. Comparación de salinidad, conductividad eléctrica y solidos totales disueltos con parámetros de calidad de agua para uso agrícola y valor de conductividad eléctrica (riesgo de salinidad)	47
Cuadro 14. Temperatura en °C obtenida en la vinaza cruda y en los destilados de vinaza...	48
Cuadro 15. Materia orgánica obtenida % en la vinaza cruda y en los condensados de vinaza	49

Cuadro 16. Comparación de porcentaje de materia orgánica de vinaza cruda, condensado de vinaza y bioabonos	49
Cuadro 17. Comparación del DBO ₅ de vinaza cruda investigada, vinaza del ingenio, condensado de vinaza y la Norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.....	50
Cuadro 18. Comparación de DQO de vinaza cruda investigada, vinaza del ingenio, condensado de vinaza y la Norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.	51
Cuadro 19. Porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio obtenido en la vinaza cruda y en las vinazas deshidratadas.....	51
Cuadro 20. Comparación de N, P, K de la vinaza deshidratada con abonos orgánicos y rangos óptimos de abonos orgánicos	52
Cuadro 21. pH obtenido en la vinaza cruda y en las vinazas deshidratadas	53
Cuadro 22. Comparación de pH de vinaza cruda, vinaza deshidratada y abonos orgánicos.	53
Cuadro 23. Materia orgánica obtenida en % en la vinaza cruda y en las vinazas deshidratadas	53
Cuadro 24. Comparación de porcentaje de materia orgánica de vinaza cruda, vinaza deshidratada y abonos orgánicos	54
Cuadro 25. Relación costo/efectividad en horas necesarias para deshidratar la vinaza cruda	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Promedios de número de horas en la deshidratación de la vinaza cruda.....	35
Figura 2. Volumen promedio de condensado de vinaza en Litros	37
Figura 3. Peso promedio de vinaza deshidratada en gramos obtenida en la deshidratación	39

INDICE DE ANEXOS

1. Determinación de Nitrógeno, Método Micro-Kjeldahl	65
2. Determinación de Fósforo, Método Colorimétrico	66
3. Determinación de Potasio, Método Fotometría de llama	68
4. Determinación de pH, Método Potenciométrico	69
5. Determinación de Conductividad eléctrica	70
6. Salinidad, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Disueltos y Temperatura, Método	70
7. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅).....	71
Cuadro A-1. Composición elemental de las vinazas de 55.00% y de 10.00% de solidos totales.	72
Cuadro A-2. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio con respecto al cultivo de la caña de azúcar.	73
Cuadro A-3. Comparación de características contaminantes de la vinaza diluida al 10% y concentrada al 60%.....	73
Cuadro A-4. Parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola.....	73
Cuadro A-5. Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor.....	74
Cuadro A-6. Contenido de niveles óptimos para abonos orgánicos.	74
Cuadro A-7. Materiales y mano obra, con su precio unitario y su costo total necesarios para la construcción del deshidratador sin cobertura (DSC).....	75
Cuadro A-8. Materiales y mano obra, con su precio unitario y su costo total necesarios para la construcción del deshidratador con cobertura de plástico (DCP).....	76
Cuadro A-9. Materiales y mano obra, con su precio unitario y su costo total necesarios para la construcción del deshidratador con cobertura de vidrio. (DCV)	77

Cuadro A-10. R^2 , coeficiente de variación y suma de cuadrados para número de horas necesarias para deshidratar la muestra.	78
Cuadro A-11. Pruebas de Tukey para los factores D (deshidratador) y L (volumen de vinaza) en horas necesarias en deshidratar la muestra.	78
Cuadro A-12. Prueba de Tukey para la interacción DL (deshidratación y volumen de vinaza) en horas necesarias en deshidratar la muestra.....	79
Cuadro A-13. Resultados paramétricos para los 9 tratamientos para cantidad de horas necesarias en deshidratar la muestra.....	79
Cuadro A-14. R^2 , coeficiente de variación y suma de cuadrados de mililitros obtenidos en la deshidratación.....	80
Cuadro A-15. Pruebas de Tukey para los factores D (deshidratador) y L (volumen de vinaza) mL.	80
Cuadro A-16. Prueba de Tukey para la interacción DL (deshidratación y volumen de vinaza)	80
Cuadro A-17. Resultados paramétricos para los 6 tratamientos para cantidad de mililitros obtenidos.	81
Cuadro A-18. R^2 , coeficiente de variación y suma de cuadrados de gramos de sólidos obtenidos en la deshidratación.....	81
Cuadro A-19. Pruebas de Tukey para los factores D (deshidratador) y L (volumen de vinaza) en gramos de sólidos obtenidos	81
Cuadro A-20. Prueba de Tukey para la interacción DL (deshidratación y volumen de vinaza) para gramos de sólidos obtenidos.....	82
Cuadro A-21. Resultados paramétricos para los 9 tratamientos para cantidad de sólidos en gramos obtenidos.	82
Cuadro A-22. Parámetros complementarios sobre valores máximos permisibles para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.....	82

Cuadro A-23. Valores de conductividad eléctrica y relación de absorción de sodio (RAS) más aceptables por países que practican riego	83
Figura A-1. Disponibilidad de los nutrientes a diferentes escalas de pH.	84
Figura A-2. Modelo de deshidratador solar.	84
Figura A-3. Radiación solar anual en El Salvador en el año 2014.....	84
Figura A-4. Equipo computarizado ubicado en la estación meteorológica de la Universidad de El Salvador.	85
Figura A-5. Muestra de vinaza almacenada en barriles de 220 litros en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas.....	85
Figura A-6. Elaboración de la cobertura plástica.....	85
Figura A-7. Adecuación del deshidratador con cobertura de vidrio.	86
Figura A-8. Deshidratador sin cobertura	86
Figura A-9. Ubicación de los tres deshidratadores en la estación meteorológica.....	86
Figura A-10. Homogenización de la muestra en los barriles contenedores.....	87
Figura A-11. Transporte de la vinaza.....	87
Figura A-12. Colocación de las muestras en los deshidratadores.....	87
Figura A-13. Extracción de datos meteorológicos de la estación.	88
Figura A-14. Medición de la lámina evaporada.	88
Figura A-15. Escala de la nubosidad en octales para la toma de datos empírica.....	88
Figura A-16. Recolección de las muestras de vinaza deshidratada.	89
Figura A-17. Almacenamiento de las muestras de vinaza deshidratada en bolas plásticas con cierre.	89

Figura A-18. Preparación de las muestras de vinaza deshidratada para colocación en estufas de secado.....	89
Figura A-19. Lavado de las piletas de los deshidratadores	90
Figura A-20. Preparación de muestras de condensado de vinaza	90
Figura A-21. Preparación de muestras de vinaza deshidratada	90
Figura A-22. Determinación de nitrógeno.....	91
Figura A-23. Determinación de fósforo, Método Colorimétrico	91
Figura A-24. Determinación de potasio, Método fotometría de llama	92
Figura A-25. Determinación de pH.....	92
Figura A-26. Salinidad, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Diluidos, y Temperatura ...	93
Figura A-27. Determinación de Materia Orgánica	93
Figura A-28. Demanda Biológica de Oxígeno	94
Figura A-29: Hoja de resultado de análisis de DQO, muestra de vinaza cruda	95
Figura A-30: Hoja de resultado de análisis de DQO, muestra del condensado tratamiento DCP-3L	96

1. INTRODUCCIÓN

La vinaza de caña de azúcar, cuya composición depende de la variedad y el estado de maduración de la caña, la eficiencia de fermentación y destilación, se caracteriza por presentar un pH ácido, elevado contenido de carbono orgánico, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre y concentración electrolítica. Debido a su alto contenido de agua con un porcentaje de materia orgánica, se ha utilizado como fertilizante para los suelos cercanos a los centros de producción de azúcar y destilación de etanol. Sin embargo, en algunos países la producción de la vinaza ha causado graves problemas, debido a su alto contenido de nutrientes, obligando al suelo a esforzarse para digerirlos, produciendo una alta Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) al suelo (Larsson y Tengberg 2014).

Según Monge (2017) la cantidad de vinaza obtenida para producir un litro de etanol es entre 10.00-15.00 litros, dependiendo de la calidad del suelo y el equipo de proceso utilizado en la producción de la caña de azúcar¹.

En un reportaje de el periódico digital El Faro (2010) menciona que en El Salvador el uso principal de la vinaza es la fertirrigación, observando cambios positivos en el cultivo de la caña de azúcar, sin embargo, esta se podría convertir en una amenaza para el ambiente; si se excede la producción de etanol, se excede también al uso inadecuado de la vinaza sobre los suelos agrícolas, alterando la microflora-fauna y la composición fisicoquímica de los suelos. En el ingenio La Cabaña existe una destiladora de etanol con una capacidad de 120 mil litros diarios.

Según Larsson y Tengberg (2014), una forma de reducir el impacto medioambiental de este producto, es evaporarla con el uso de un deshidratador. Con los resultados obtenidos en esta investigación con los deshidratadores solares y con influencia de los factores ambientales, se tiene una alternativa para el tratamiento de la vinaza cruda, observándose disminución en la carga contaminante presente en la vinaza cruda con relación al condensado de vinaza, disminuyendo la cantidad de Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno. Los productos obtenidos de la deshidratación se pueden utilizar como abonos orgánicos de alto valor en nutrientes como: Nitrógeno, Fósforo y Potasio y de esta manera proporcionarle un valor agregado a la vinaza.

¹ Monge J. 15 abr. 2017. Tratamiento de la vinaza (entrevista). Aguilares, El Salvador, Ingenio La Cabaña.

La deshidratación solar de la vinaza puede convertirse en una alternativa de tratamiento ante la creciente producción de esta; ya que el país cuenta con el recurso de la radiación solar la mayor parte del año.

En esta investigación se evaluó la eficiencia de la deshidratación en tres prototipos de deshidratadores solares: deshidratador sin cobertura (DSC), deshidratador con cobertura plástica (DCP) y deshidratador con cobertura de vidrio (DCV), con volúmenes de tres, cinco y diez litros, para el tratamiento de la vinaza de caña de azúcar, el ensayo se ubicó en la estación meteorológica de la Universidad de El Salvador; en la cual se dio a conocer la eficiencia de la deshidratación de los prototipos con respecto al tiempo en número de horas para deshidratar, cantidad de litros de condensado de vinaza y cantidad de gramos de vinaza deshidratada; al mismo tiempo se determinaron las propiedades físico químicas en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, pH, Salinidad, conductividad eléctrica, Solidos Totales Disueltos, Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, y materia orgánica en los productos resultantes obtenidos en la deshidratación y la comparación de estos con la vinaza sin tratar. Con esto se considera una alternativa al tratamiento de la vinaza de caña de azúcar, considerada como agua de desecho, y propone darle nuevos usos por ejemplo usar el condensado de vinaza como agua de riego, y la vinaza deshidratada como fertilizante, aunque también propone retos de más investigación en el área, como evaluación de comportamiento de estos productos.

2. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1 Vinaza

La vinaza de destilería está constituida por los efluentes líquidos que se derivan de la fermentación alcohólica de las mieles de caña de azúcar, por destilación de la melaza fermentada o de la fermentación directa de los jugos de la caña cuando se desecha, conlleva un serio problema medio ambiental, por los grandes volúmenes generados (de 15 a 18 veces mayor que el alcohol producido), por su alta carga orgánica con valores de DQO de hasta 100,000 mg/L y el color marrón oscuro que las caracteriza, se debe a la presencia de varios compuestos como melanoidinas, fenoles (ácido tánico y húmico), caramelos y derivados furánicos (Chanfón y Lorenzo 2014).

2.1.1 La composición de la vinaza

Según Korndorfer *et al.* (2010), la composición de la vinaza es muy variable y esta dependerá de las características de la materia prima usada en la producción de etanol, eficiencia de la fermentación, destilación, variedades y maduración de la caña de azúcar.

Las melanoidinas se forman por la reacción del grupo carbonilo de los azúcares y el amino de los aminoácidos y proteínas y pueden llegar a constituir el 2.00% de las vinazas. Son polímeros de estructura compleja, tóxicos para muchos organismos y resistentes a la degradación. Se plantea que su composición química y características espectroscópicas son similares a la del ácido húmico, por lo que han sido llamadas el “humus acuoso” (Chanfón y Lorenzo 2014).

Según García y Rojas (2005), este residuo de la producción de etanol contiene más del 90.00% de agua y el 10.00% restante es materia seca que contiene: levadura muerta, hidratos de carbono no fermentados, azúcares sin convertir, aminoácidos, proteínas, lípidos, ácidos diversos, enzimas, bases, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, ceras, azúcares, hormonas y una variedad de compuestos inorgánicos. El Potasio es el elemento más abundante en la composición de la vinaza (Cuadro A-1), debido que la caña de azúcar es una gramínea con mecanismo fisiológico C4, lo que la hace sumamente eficiente en la utilización del agua y la luz en la asimilación del dióxido de carbono para la producción de azúcares, proceso en el cual absorbe cantidades considerables de Potasio. Además de otros componentes presenta un pH 3.50 – 4.50 y la presencia de ácido sulfúrico (Montenegro 2008).

2.1.2 Bioetanol en El Salvador

Según el artículo del periódico digital El Faro (2010), titulado: “Oportunidad y Amenaza de los Biocombustibles para El Salvador”, ante el alza indetenible de los precios del petróleo, que el mundo afrontó en el año 2008, en El Salvador hubo quienes anunciaron proyectos ambiciosos para dedicar masivamente el cultivo de la caña de azúcar para producir etanol.

Un informe de Fundación Nacional para el Desarrollo (FUNDE) indica que La Cabaña, el único ingenio azucarero que produce etanol en este país, tuvo en 2007 una producción de 9 millones 400 mil litros de etanol, dentro del informe se señala que una de las ventajas que posee El Salvador para la producción de etanol es que este tiene las puertas abiertas a los mercados estadounidense y europeos, gracias a tratados de libre comercio con estos países. Según la Asociación de Azucareros, el 15.00% del área cultivada de caña de azúcar de hoy bastaría para producir alcohol, suplir la demanda y así lograr una eventual mezcla de 10.00% etanol y 90.00% gasolina. En La Cabaña donde se reactivó una destilería de 19 años de antigüedad. Con una capacidad de 120 mil litros diarios, inició sus operaciones en la zafra 2005-2006. Además, se proyecta la instalación en El Salvador de una planta piloto de etanol, cuya capacidad sería de 300 mil litros por día (El Faro 2010).

2.2 Uso de la vinaza

Los usos de la vinaza están determinados por el contenido que presenta: Se describen a continuación:

2.2.1 Solución nutritiva

Dos Santos *et al.* (2012), después de realizar una decantación de vinaza consiguieron un residuo más claro, con un olor ligeramente endulzado y un pH que entre 5.30 a 6.00. El volumen de materia sólida y orgánica eliminado de la solución fue de aproximadamente un 90.00%. Finalmente realizaron análisis químico de la vinaza pura y de la vinaza tratada por decantación y demostró que el nivel de Potasio aumentó después del tratamiento de la vinaza, mientras que los otros nutrientes como Cloruro, Sulfato, Sodio, Calcio, Fosfatos, Hierro, Manganeso y Zinc disminuyeron, de esta manera obtuvieron resultados aceptables en el uso de la vinaza tratada por lo cual afirman que el establecimiento de una solución nutritiva con vinaza es posible, utilizándola como abono orgánico en plantas como la lechuga y el berro.

2.2.2 Fertirrigación

El fertirriego es regar con agua los cultivos al mismo tiempo que se nutren y fertilizan. En El Salvador la vinaza es utilizada más frecuente de esta forma, debido a los elementos contenidos; observando aumentos en el rendimiento de la caña de azúcar en sus fases iniciales. La aplicación que se realiza es de 100 metros cúbicos de vinaza por cada 700 metros cuadrados de tierra¹. El Potasio, seguido del Fósforo son los nutrientes principales que aportan las vinazas a los suelos cañeros, cuando se emplean en fertirriego. Para su utilización es requisito determinar realmente las necesidades de cada elemento químico en los suelos donde se aplicarán y las características edáficas. Sin embargo, la aplicación directa de la vinaza en el suelo puede causar salinización, lixiviación de metales presentes en el suelo al agua subterránea, cambios en la calidad del suelo debido al desequilibrio de nutrientes, principalmente Manganeso, alcalinidad, reducción poblacional de los cultivos, fitotoxicidad y olor desagradable (Cuadro A-2) (Christofolletti *et al.* 2013).

2.2.3 Alimentación de animales

Investigaciones sobre el uso de la vinaza en la alimentación animal hechas por Carrilho *et al.* (2016), demuestran que se puede utilizar en las siguientes especies:

Conejos: La vinaza líquida se ha utilizado en dieta de conejos para el rendimiento en el crecimiento, a dosis de hasta 100.00 g/kg, observando diferencias en pesos diarios. La concentración máxima de vinaza recomendada para dietas de conejo es de 87.80 g/kg. Teniendo mejores resultados en el rendimiento del canal.

Aves de engorde: con una dieta de vinaza mostraron un aumento de 17.00% en el peso de las vísceras comestibles; sin embargo, no se observaron cambios en el cuerpo, molleja y corazón. Los investigadores concluyeron que la vinaza se puede utilizar como un suplemento para los pollos.

Cerdos: Las dosis altas de vinaza se describen como la causa de diarrea en cerdos jóvenes. Sin embargo, a una dosis de 2.50% de vinaza en la alimentación, se observó un incremento de 7.00 kg en peso durante un período de 26 días. Este resultado muestra la ventaja de usar la vinaza en la dieta de piensos para un rendimiento más productivo.

La vinaza puede ser la materia prima para otros procesos fermentativos en la producción de alimentos, como la producción de proteínas, dado por su contenido en vitaminas del complejo B, trazas de elementos como: Cobalto, Níquel, Magnesio, Manganeso, Cobre, Hierro,

aminoácidos libres, ácido carbónico, mono y disacáridos, D-glucosa, D-fructosa, sacarosa, Nitrógeno, ácidos orgánicos, Potasio, Sodio y otros (Korndorfer *et al.* 2010).

2.2.4 Fabricación de levadura torula

En Cuba desde la década del 70 se tiene una amplia experiencia en la producción de levadura torula (*Candida útiles*) a partir de la fermentación de la miel final. En donde ensayaron a nivel de laboratorio, mezclar la vinaza de destilería con miel final o jugo de caña para producir levadura torula, lo que ha sido factible en la medida que el cultivo de levadura que está creciendo se alimenta a partir de los nutrientes que aporta la vinaza y el resto de los aditivos como sulfatos, fosfatos y otros nutrientes que son necesarios para cubrir los requerimientos de las levaduras. En general, la levadura producida mantiene características muy parecidas a la anterior en cuanto a: color, textura, sabor, nivel de proteína, fuente de lisina y vitaminas del complejo B, así como adecuado nivel de fósforo entre sus mejores aportes. Esta levadura producida a base de la vinaza puede ser utilizada como suplemento de la dieta de alimentación de animales, como: cerdos y aves, obteniendo buena relación en la conversión y ganancia de peso (Lezcano y Mora s.f.).

2.2.5 Otros usos de la vinaza

Según Korndorfer *et al.* (2010), se puede efectuar producción de ladrillos con mezcla de suelo más vinaza; como componente en sustitución de melaza. Y producción de proteína unicelular por la fermentación aeróbica; fertilización potásica de otros cultivos; producción de gas metano por fermentación anaeróbica en biodigestores.

2.3 Efectos de la vinaza en el suelo

2.3.1 Efecto físico

Montenegro (2008) observó que el efecto de la vinaza en las características físicas del suelo no presenta alteraciones en las partículas de arcillas, pero si el aumento de la actividad microbiológica acompañada de la excreción de mucílago lo que estimuló la agregación de las partículas, cuando se efectuó la aplicación de vinaza. Sin embargo, se notó un aumento en la densidad, agregación y porosidad del suelo, debido al aumento de la materia orgánica. Además, las aplicaciones controladas de vinaza (1,000 m³/ha), aumentaron el almacenamiento de agua y la estabilidad de la agregación superficial. También observó cambios de colores en la profundidad y modificaciones en las formas de óxido de hierro.

2.3.2 Efecto químico

Montenegro (2008) reportó que las aplicaciones de vinaza en el suelo obtuvieron un aumento considerable de pH de 4.00 a 6.00. Efecto observado durante 66 días que duró la prueba. Lo que afirma que, en un suelo tratado con vinaza el potencial redox y el pH varían, aumenta el pH y disminuye el potencial redox (reacciones de reducción). En condiciones de anaerobiosis los compuestos orgánicos liberan electrones. El proceso de reducción inducido por la vinaza consume protones (iones H^+), principal responsable del aumento en el pH del suelo. Con relación a la salinidad, observó aumento; además estudiando el Potasio, Calcio y Magnesio, concurrió un aumento en la lixiviación de esos cationes debido al aumento de las dosis de vinaza y que el Magnesio fue proporcionalmente más lixiviado que el Calcio.

2.3.3 Efecto biológico

La aplicación de vinaza genera cambios temporales en la población de microorganismos del suelo, con alteraciones en los procesos biológicos y químicos, tales como: descomposición de la materia orgánica, nitrificación, desnitrificación, fijación de nitrógeno atmosférico y aumento del pH.

Los efectos de la aplicación de vinaza en las poblaciones microbianas del suelo fueron estudiados *in vitro*. Según Montenegro (2008), se observó lo siguiente:

Aumentos substanciales, aunque pasajeros, en las poblaciones de hongos y bacterias, permaneciendo inhibida la población de actinomicetos. La aplicación de vinaza introdujo carbono y Nitrógeno asimilable. Esto representó inicialmente un pequeño aumento de la población bacteriana no fijadora de Nitrógeno e inhibió pasajeramente la población de bacterias fijadoras de Nitrógeno del género *Beijerinckia*.

La población de *Beijerinckia* aumenta rápidamente después de la disminución de la población de bacterias no fijadoras, ocurriendo una correlación negativa y significativa entre estos grupos de microorganismos. Ese aumento de la actividad microbiana se debe a la existencia en la vinaza de fuentes orgánicas que proporcionan energía para los microorganismos y aumenta la velocidad de crecimiento de la masa microbiana.

Para el crecimiento de la masa microbiana se requiere una fuente adicional de Nitrógeno, lo que puede llevar a una “inmovilización temporal” del Nitrógeno mineral del suelo o del aplicado. La actividad microbiana, también acarrea pérdidas de carbono orgánico de la vinaza, lo que

lleva a creer que con la aplicación de la vinaza no se puede esperar efectos duraderos en el aumento de la materia orgánica.

2.4 Vinaza y su impacto en el ambiente

2.4.1 Consecuencia del uso de la vinaza

No se realiza distinciones en cuanto al efecto ambiental que ocasiona la cantidad de vinaza, cuando son abandonadas o vertidas de forma incontrolada en el medio, provocando una diversidad de problemas por sus características químicas (altos niveles de: Potasio, materia orgánica, Calcio, Magnesio, Nitrógeno, Fósforo presente en la vinaza), indicando una posible contaminación de aguas superficiales y subterráneas como consecuencia de la compuestos nitrogenados y amoníacos. Además de la creación de focos de infección de plagas y vectores de enfermedades que afectan a los propios cultivos y a la población aledaña donde son vertidos; generan malos olores como consecuencia de la putrefacción de los restos orgánicos (Christofoletti *et al.* 2013).

La vinaza produce contaminación del suelo por lixiviados de elementos tóxicos, afecciones graves sobre el paisaje y perjuicio para la calidad atmosférica, el problema que se plantea no sólo alude al propio volumen de residuos líquidos que literalmente se abandonan en el campo, sino que constituye un excelente reservorio vegetal para los microorganismos como hongos, virus y bacterias que posteriormente se alojan en los cultivos en forma de plagas, produciendo daños económicos incalculables, y en consecuencia, contribuyen a la necesidad de utilizar más productos fitosanitarios (Crespo 2004).

Otros problemas asociados con el uso de la vinaza son: emisión de gases a la atmosfera que se debe a la descomposición aeróbica y anaeróbica de la materia orgánica en la vinaza, ocurre durante el transporte, almacenamiento temporal o incluso después de su aplicación al suelo. En Brasil la aplicación de vinaza dio lugar a aumentos significativos en las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente óxido nitroso; reducción en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo debido a una fijación pronunciada en función del crecimiento acelerado de microorganismos y una fuerte desnitrificación, debido a las condiciones anaeróbicas prevalecientes; cambios en la biomasa microbiana del suelo en donde se demuestra que el aporte de materia orgánica de la vinaza aumenta la tasa de mineralización a niveles que terminan destruyendo los agregados del suelo (Crespo 2004).

Un estudio realizado por Alfaro y Ocampo (s.f.), donde utilizaron a la vinaza como aporte de sales solubles al suelo, este tiende a presentar una alta salinidad, la cual afecta al cultivo y su productividad. Este resultado de la medición presentó valores de conductividad eléctrica de 0.40 mS/cm, con esto se demuestra el poder de salinización que presenta la vinaza y que obliga a tomar medidas al respecto cuando se aplican altas y continuas cantidades de vinaza en el campo de cultivo.

2.4.2 Características contaminantes de la vinaza para cuerpos de agua y suelos

Por su elevado contenido de materia orgánica, la vinaza constituye un material altamente contaminante, si se dispone directamente, ya que los valores de DQO y DBO₅ para un contenido de sólidos del 10.00% m/m son 116,000 y 41,200 ppm respectivamente (Cuadro A-3) (Chanfón y Lorenzo 2014).

Por las características de DQO y DBO₅ la vinaza se considera un contaminante, cien veces más que el de las aguas servidas o grises, además su alta concentración de materia orgánica, bajo pH, elevado poder corrosivo y alta temperatura en la salida de los destiladores, hace un daño considerable a la fauna, flora, microfauna y microflora de las aguas dulces. Debido a esto, su disposición directa sin ningún tipo de tratamiento previo ocasiona impactos negativos sobre el cuerpo receptor. Por lo cual se hace necesario su tratamiento antes de ser eliminada (MARN 2011).

La gestión no eficiente de la vinaza trae una serie de consecuencias negativas entre las que se encuentran: las emisiones de metano, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y de compuestos volátiles, ocasionando contaminación de los suelos y subsuelos (Chanfón y Lorenzo 2014).

En el caso del suelo, altera el pH y la actividad microbiana del mismo, además de contribuir a su salinización, cuyos efectos se incrementan en suelos de pendiente, por mencionar unos efectos. Con respecto a recursos hídricos, consume el oxígeno del agua, matando peces y otras formas de vida acuáticas, además de contaminarla. Las repercusiones que esto supone para la capacidad de los ecosistemas de proveer servicios se materializan en suelos menos aptos para actividades agrícolas y, por tanto, para obtención de alimentos. Así también, disminución en la disponibilidad de productos pesqueros y acuícolas y de agua para consumo o riego, que es usada por la población. Esto requiere que la vinaza en particular y, los demás

subproductos y residuos, en general, reciban un adecuado tratamiento a fin de evitar su nocividad en los ecosistemas y la calidad de vida de las personas (MARN 2011).

2.5 La vinaza como agua de riego agrícola

En El Salvador la vinaza es más utilizada como agua de riego, sin embargo, se deben tener en cuenta algunos aspectos relacionados al contenido de elementos, nutrientes y a la calidad de esta agua, para considerar tanto aspectos positivos y negativos que esta pueda provocar en los suelos agrícolas, y en los mismos cultivos.

2.5.1 Calidad del agua para uso agrícola

El desarrollo de la agricultura tecnificada en zonas de clima árido y semiáridos se basa en la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de calidad aceptable. Sin este insumo no se puede planear ninguna explotación agrícola intensiva de características sustentables. La calidad del agua juega un papel importante sobre el manejo de láminas, frecuencia de riego y el tratamiento a dar a este recurso para lograr su óptimo aprovechamiento, particularmente cuando se usan sistemas de riego presurizado. Las principales variables para clasificar la calidad del agua desde una perspectiva agrícola son: a) concentración de sólidos disueltos o sales, b) presencia relativa de sodio, c) contenido de carbonatos y bicarbonatos, y d) concentración de otros iones específicos como cloro y boro, e) presencia y concentración de Hierro y Magnesio (Castellanos *et al.* 2000).

2.5.2 Parámetros de clasificación del agua para uso agrícola

Los parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola son: salinidad, sodicidad, efecto de iones específicos como sodio; bicarbonatos; cloruro y boro (Cuadro A-4).

Salinidad: Este parámetro se mide a través de la conductividad eléctrica y no es otra cosa que la presencia de sólidos disueltos. A medida que estos aumentan se incrementa en el agua la facilidad de conducir la corriente eléctrica y es esta, la forma física de medir dicha variable. Las unidades que se usan para medir la conductividad eléctrica son dS/m y se lee como “decisiemens por metro”. Esta medida se puede expresar en términos de sólidos disueltos totales o TDS (mg/L) (Castellanos *et al.* 2000).

A menudo el término salinidad se utiliza indistintamente para indicar la presencia de sales o de sodio; sin embargo, sodicidad es un parámetro que no guarda relación con la salinidad. El

agua con alta concentración salina si no se maneja apropiadamente, corre el riesgo de aumentar su concentración en el suelo, lo que provocaría una reducción en el potencial osmótico de la solución del suelo, y esto se traduce en una reducción en el potencial total de agua en el suelo y por ende en una disminución en su disponibilidad para el cultivo y en el rendimiento de este (Castellanos *et al.* 2000).

2.5.3 Aporte de nutrimentos en el agua de riego

Las aguas de riego también traen consigo nutrimentos como Calcio, Azufre, Potasio, Magnesio, además de elementos tóxicos como el Sodio y el Cloro; estas cantidades deben ser consideradas al momento de calcular las dosis de fertilización y criterios de manejo de suelo. Para dar una idea de los acertada de la cantidad de nutrientes y elementos nocivos que aportan las aguas de riego de subsuelo a los suelos agrícolas, y no caer en excesos o en deficiencias, que perjudiquen el suelo y el cultivo (Castellanos *et al.* 2000).

2.6 La vinaza como agua residual

En El Salvador una parte de la vinaza es descartada en cuerpos receptores, como agua residual de desecho post producción de etanol. Según CONACYT (2009) un líquido puede ser considerado como contaminante, si provoca alteración de la calidad física, química, biológica y radiactiva en detrimento de la biodiversidad. Y se entiende como cuerpo receptor al cuerpo de agua superficial expuesto a recibir descargas. No aplican como cuerpo receptor el suelo y los mantos acuíferos.

2.6.1 Normas para aguas residuales descargadas en cuerpo receptor

La vinaza puede considerarse como agua residual, que para poder ser vertida a un cuerpo de agua debe ser tratada o diluida, ya que según el estudio de Chanfón y Lorenzo (2014), se obtuvieron datos donde la vinaza muestra una Demanda Química de Oxígeno de 116,000 mg/l 590,000 mg/l y Demanda Biológica de Oxígeno de 41,200 mg/l – 240,000 mg/l. Si se comparan estos datos con la norma salvadoreña obligatoria para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor, aprobada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (Cuadro A-5), se observan valores mayores sobrepasando el máximo permitido, por lo que se pueden decir que no cumple y que no es apta para ser vertida en un cuerpo receptor natural.

2.7 Abono orgánico

Se considera un abono orgánico a todo material de origen animal o vegetal que se utilice principalmente para mejorar las características del suelo, como fuente de vida y nutrientes al suelo. Entre los abonos orgánicos, los más conocidos son: el compost, el bocashi y el lombricompost o lombrihumus, pero también son comúnmente utilizados las aplicaciones de gallinaza y otros desechos vegetales frescos, como la pulpa del café. La calidad de un abono está dada por el uso que se le quiera dar (Soto y Meléndez 2004). La vinaza por sus altos componentes orgánicos se considera como un abono orgánico potencial, y se podría de esta manera aprovechar sus características.

2.7.1 Nutrición de plantas con abonos orgánicos

De los trece elementos principales, el Nitrógeno impulsa un crecimiento carnoso rápido. El Fósforo proporciona un crecimiento temprano de la raíz y del florecimiento y una resistencia a las plagas y a los daños climatológicos. El Potasio confiere fuerza, dureza y resistencia a las plagas. Las plantas necesitan un equilibrio de estos tres nutrientes para un crecimiento sano, vigoroso y fuerte (Plaster 2000). La vinaza aporta grandes cantidades de Fósforo y Potasio por este motivo la utilizan en fertirriegos.

Según Plaster (2000) una importante consideración es cómo se almacenan los nutrientes en el suelo. Algunos como el Nitrógeno y el Boro, se almacenan predominantemente en la materia orgánica. Otros como el Calcio y el Magnesio son adsorbidos principalmente por los coloides del suelo. Muchos nutrientes forman parte de compuestos ligeramente solubles, como el Fósforo y el Hierro. Otro rasgo importante es la solubilidad y la movilidad de los nutrientes. La solubilidad de la mayoría de los nutrientes depende del pH.

2.7.2 Determinación de la calidad de los abonos orgánicos

En la mayoría de los países de América Latina, el uso principal de los abonos orgánicos es como fertilizantes, especialmente como fuente de nutrimentos de lenta liberación. A continuación, se describen los parámetros más comunes para determinar la calidad de un abono como fuente de nutrimentos (Soto y Meléndez 2004).

2.7.3 Análisis químico de los abonos orgánicos

Al analizar los abonos orgánicos, se puede realizar dos tipos de análisis a sus abonos: análisis de suelo y análisis foliar o de digestión total. Se han definido niveles mínimos para la calidad

de los abonos en forma general (Cuadro A-6). donde se especifique el tipo de proceso (compost, bocashi, lombricompost) y el tipo de desecho que se utiliza (Soto y Meléndez 2004).

2.7.4 Los abonos orgánicos y la disponibilidad de sus nutrientes

Según Castellanos *et al.* (2000) para poder manejar la fertilidad utilizando los abonos orgánicos, es necesario primero conocer sus contenidos nutrimentales, pues a diferencia de los fertilizantes convencionales son altamente variables tanto en humedad como en su concentración nutrimental y disponibilidad. Por lo que los abonos orgánicos deben de usarse racionalmente, usando sobre la base del nutrimento que se encuentra en mayor concentración y que es requerido en menor cantidad por el cultivo, para no sobre dosificar uno u otro elemento lo que provocaría un uso ineficiente del abono.

2.8 pH

La reacción química del pH del suelo describe la acidez o alcalinidad en ese suelo, la reacción se mide con ayuda de la escala de pH, esta escala oscila desde un pH de 1.00 a 14.00; las lecturas entre 1.00 y 7.00 se dicen que son ácidas. Un pH de 1.00 es extremadamente ácido y un pH de 6.00 es ligeramente ácido, otras lecturas oscilantes entre 7.00 y 14.00 indican que son alcalinas o básicas; cuando mayor es el número, más fuerte es la base, un punto medio de la graduación de pH 7.00 es un punto neutro que indica que no es ni ácido ni base (Castellanos *et al.* 2000).

2.8.1 Efecto del pH en las plantas

Cada cultivo crece mejor en un rango de pH específico. La mayoría de las plantas que crecen en suelos minerales se desarrollan bien en un pH con rango entre 6.00-7.00. Para suelos orgánicos, la mayoría de los cultivos prefieren un pH de 5.50 a 6.00 (Castellanos *et al.* 2000).

2.8.2 Efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes

Muchos elementos del suelo cambian de forma al producirse reacciones en el mismo. Las plantas pueden ser capaces o no de usar elementos en sus formas cambiadas. Las reacciones están controladas por el pH (Figura A-1) (Castellanos *et al.* 2000).

2.9 Materia orgánica

La materia orgánica del suelo es probablemente una de sus principales características. Esta propiedad se asocia con la liberación de Nitrógeno, Fósforo, y Azufre, en cuyos ciclos juega un papel importante. Por otro lado, el nivel de materia orgánica también se asocia a la

disponibilidad de Fe, Mn, Cu y Zn, por la acción quelatante que presenta. También es una fuente de ácidos húmicos y fúlvicos que participan en la fisicoquímica del suelo y en la fisiología de la planta. La materia orgánica es la principal variable que afecta las propiedades físicas del suelo. Los suelos con alto contenido de materia orgánica tienden a presentar mayor conductividad hidráulica, mayor porosidad, menor densidad aparente y menor compactación, lo que se refleja en un medio ambiente propicio para la penetración radicular y, por ende, en una alta fertilidad natural. Los suelos con alto nivel de materia orgánica pueden lograr los máximos rendimientos alcanzables para variedad, clima y manejo del cultivo (Castellanos *et al.* 2000).

2.9.1 Función de la materia orgánica en el suelo

La materia orgánica contribuye al crecimiento vegetal mediante sus efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo según Vásquez (2008):

Función nutricional: sirve como fuente de nitrógeno, fósforo para el desarrollo vegetal.

Función biológica: afecta profundamente las actividades de organismos de microflora y microfauna.

Función fisicoquímica: promueve una buena estructura del suelo, por lo tanto, mejorando la labranza, aireación y retención de humedad e incrementando la capacidad amortiguadora y de intercambio de los suelos.

2.10 Deshidratadores solares

Los deshidratadores solares actúan con la energía del sol, son equipos elaborados para reducir los líquidos (Figura A-2). Según Larsson y Tengberg (2014) la deshidratación se utiliza para concentrar la vinaza, proceso que logra eliminar o separar al menos un 70.00% de la cantidad de líquido presente en la vinaza. Por esta característica es una forma de reducir el impacto medioambiental de este producto de desecho.

2.10.1 Tipos de deshidratadores solares

El deshidratador solar tipo pileta sin cobertura (DSC) contiene una bandeja de color oscuro sin ninguna protección o equipo de almacenamiento de energía y los deshidratadores solares de dos vertientes con cobertura (DCP y DCV) constan de un tejado de material transparente (vidrio o plástico) de dos vertientes, en estos la radiación solar evapora el líquido contenido, luego se condensa en el panel transparente y se desliza por los lados y precipita a un depósito situado bajo la bandeja (Huezo y Morán 2012).

2.10.2 Funcionamiento del deshidratador solar

El deshidratador solar aprovecha el efecto denominado de invernadero, consiste en que una superficie cubierta con un material transparente y expuesta a los rayos solares (Figura A-2), sufre un calentamiento debido a que la radiación solar que atraviesa la cubierta no es reflejada completamente, sino que es absorbida en parte por el líquido que se encuentra en el interior y la otra parte es emitida con una longitud de onda mayor que la de la radiación incidente. Debido a su mayor longitud de onda, esta radiación es en su mayoría incapaz de atravesar hacia el exterior de la cubierta transparente, quedando atrapada en el interior del deshidratador, produciendo el aumento de temperatura y favoreciendo la evaporación. Este vapor se condensa al entrar en contacto con la cara interior de la cubierta, formando pequeñas gotas de agua destilada que se deslizan siguiendo la pendiente de la cubierta, para finalmente ser recogidas y canalizadas por los colectores que terminan en los depósitos de almacenamiento de agua. Los elementos básicos que componen a un deshidratador solar son dos, la cubierta y el estanque (Ruiz s.f.).

2.10.3 Balance de masa de un deshidratador

Las pérdidas de calor del deshidratador solar de tipo invernadero, son de varios tipos: Entre ellas pueden mencionarse las pérdidas por convección y radiación desde el agua caliente hacia la cubierta más fría. La transferencia térmica de la cubierta al medio no constituye una pérdida, sino más bien un efecto termodinámico indispensable para la continuación del proceso. Debido a que la dirección, así como la magnitud de la radiación solar que incide sobre el deshidratador cambian continuamente, al igual que la temperatura ambiente y en ocasiones la velocidad del viento, por lo que es necesario considerar la operación de un deshidratador solar como un sistema dinámico. En todo momento la operación del deshidratador es determinada por la relación entre las tasas de transferencia de calor y masa, así como de los balances energéticos. El balance energético de los deshidratadores requiere que el total de energía solar absorbida sea igual a la energía transferida desde la cubierta, más las pérdidas por el fondo y los bordes del deshidratador, más la energía almacenada dentro del sistema (Huezo y Morán 2012).

2.11 Transmitancia de los materiales

La mayoría de los materiales transparentes transmiten selectivamente, esto es la transmitancia. Es una función de la longitud de onda de la radiación incidente. Algunos de los materiales utilizados como cubiertas de colectores solares tienen transmitancias mucho más

dependientes de la longitud de onda que el vidrio, lo que hace necesario obtener la transmitancia monocromática y luego integrarla sobre todo el espectro (Zurlo *et al.* s.f.).

2.12 Variabilidad de la radiación solar en El Salvador

El Salvador está ubicado entre los 13° y 14° 30' latitud, la irradiación solar promedio es de 5.30 Kwh/m²/día (Figura A-3), en el mapa se observan aquellas zonas con mayor potencial; prestando atención en los meses de diciembre, enero y febrero. La incidencia de los rayos solares se encuentra orientada hacia el sur. También es característico de estos meses que por la falta de nubosidad (sistemas de alta presión) por encontrarse la tierra más cerca del sol (Perihelio) la radiación solar es más directa que en las otras épocas del año (Huezo y Morán 2012). Durante los meses de marzo y abril, la atmósfera se encuentra bastante contaminada por diferentes causas antropogénicas, por lo tanto, existe mayor dispersión y absorción de radiación solar. En el transcurso de la época lluviosa de mayo a octubre ya existe abundante nubosidad que obstaculiza el paso de los rayos solares principalmente en los meses de junio y septiembre que son los más lluviosos (Huezo y Morán 2012).

2.13 Factores que condicionan la efectividad de los deshidratadores solares

2.13.1 Radiación solar directa y difusa

Radiación solar directa: aquella proveniente del sol, pasa en línea recta a través de la atmosfera terrestre y a su paso por esta no se difumina, desvía ni presenta reflexiones o refracciones intermedias, llegando directamente a la superficie terrestre sin cambio alguno en su trayectoria o dirección (Lema 2015).

Radiación solar difusa: es la radiación que llega a la tierra después de interactuar con la atmosfera, en tal grado que pierde su dirección original. El desvío que se produce en los rayos solares, se produce por el choque directo de ciertas moléculas o partículas contenidas en el aire. Por sus características esta radiación se considera proveniente de todas direcciones, por ejemplo, en un día nublado solo existe radiación difusa (Lema 2015).

2.13.2 Nubosidad empírica

En meteorología, la octa u octava (octales en plural) es una unidad de medida empleada para describir la nubosidad observable en un lugar dado, como una estación meteorológica. La fracción de la bóveda celeste que se ve cubierta de nubes se denomina nubosidad total o

cantidad de nubes. Por ejemplo, si las nubes cubren la mitad del cielo se dice que la nubosidad es de cuatro octas. Dependiendo del número de octas de la nubosidad total, la Agencia Estatal de Meteorología habla de cielo despejado (cero octas), entre uno y cinco octas se considera un cielo parcialmente nuboso y entre seis y ocho octas corresponde a un cielo nuboso o totalmente nublado (Fernández *et al.* 2015).

2.13.3 Evaporación al aire libre

Es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido al estado gaseoso mediante la transferencia de energía calórica. En el ciclo hidrológico la evaporación es un proceso importante, hasta el punto de que, a nivel continental, entre un 70.00% y un 75.00% de la precipitación anual total retorna a la atmósfera por evaporación y transpiración. En climas cálidos, la pérdida de agua por evaporación en ríos, canales y equipos de almacenamiento de agua a cielo abierto es de vital importancia, ya que la evaporación detrae una proporción considerable del suministro total de agua. La evaporación del agua se produce a temperaturas de 0.00 y 100°C. El calor se incorpora al líquido para que incremente su temperatura lo que se conoce como sensible. El líquido se va calentando hasta que llega a una temperatura constante, cambia su estado a vapor (Intriago y Zambrano 2017).

2.14 Factores que determinan la evaporación

Castro (2014), menciona en su investigación que los siguientes factores son determinantes para la evaporación de un líquido:

Radiación solar: es el factor determinante de la evaporación ya que es la fuente de energía de dicho proceso.

Temperatura del aire: el aumento de temperatura en el aire facilita la evaporación ya que; en primer lugar, crea una convección térmica ascendente, que facilita la aireación de la superficie del líquido; y por otra parte la presión de vapor de saturación es más alta.

Humedad atmosférica: es un factor determinante en la evaporación ya que para ésta se produzca, es necesario que el aire próximo a la superficie de evaporación no esté saturado (situación que es facilitada con humedad atmosférica baja).

El viento: después de la radiación es el más importante, ya que renueva el aire próximo a la superficie de evaporación que está saturado. La combinación de humedad atmosférica baja y viento resulta ser la que produce mayor evaporación. El viento también produce un efecto secundario que es el enfriamiento de la superficie del líquido y la consiguiente disminución de la evaporación.

Tamaño de la masa de agua: el volumen de la masa de agua y su profundidad son factores que afectan a la evaporación por el efecto de calentamiento de la masa. Volúmenes pequeños con poca profundidad sufren un calentamiento mayor que facilita la evaporación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del lugar de estudio

El estudio se desarrolló en dos fases en el periodo comprendido de mayo a noviembre de 2018 en la Universidad de El Salvador, sede central, San Salvador. La primera fase se llevó a cabo en la estación meteorológica, cuyas coordenadas son: latitud norte 13.7185020 longitud oeste -89.2025581, a una altura de 658 msnm y con promedio de 48.00% de humedad relativa anual, posee una topografía plana, libre de árboles. La segunda fase consistió en la realización de análisis físicos químicos a los productos resultantes denominados: condensado de vinaza (parte líquida obtenida de la deshidratación de la vinaza cruda en los deshidratadores solares) y vinaza deshidratada (parte semisólida obtenida al finalizar la deshidratación de la vinaza cruda en los deshidratadores solares), en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

3.2 Gestión de permisos y préstamos de equipos

Para el uso del espacio físico de la estación meteorológica, se tramitó un permiso con las autoridades pertinentes, para el período en que se llevó a cabo la investigación. Además del uso de la estación meteorológica (que colecta y almacena datos meteorológicos) concerniente del Sistema Nacional de Estudios Territoriales (SNET), ubicado en la estación meteorológica en la Universidad de El Salvador (Figura A-4), la cual se utilizó para obtener y descargar la información de los datos ambientales durante la investigación.

Para el mismo periodo se gestionó con la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, el uso de dos prototipos de deshidratadores solares, denominados: deshidratador solar con cobertura de plástico y deshidratador con cobertura de vidrio.

3.3 Recolección, almacenamiento y transporte de la vinaza cruda

En el mes de mayo de 2018 se adquirió la muestra de vinaza cruda en el Ingenio La Cabaña ubicado en la carretera Troncal del Norte km 39 1/2, municipio El Paisnal, departamento de San Salvador. La muestra se recolectó directamente de las fosas de oxidación y se trasladó en dos barriles plásticos de 220.00 litros cada uno, los cuales estuvieron almacenados en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas, bajo sombra, protegidos de la lluvia y la radiación solar (Figura A-5).

3.4 Adecuación de los deshidratadores solares

Se usaron dos deshidratadores solares diseñados y construidos por estudiantes de Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica que fueron utilizados en otras investigaciones. Se realizaron las siguientes adecuaciones para el ensayo:

En el deshidratador de dos vertientes con cobertura de plástico (DCP), con dimensión de un metro cuadrado y pileta de cerámica negra (Figura A-6), se reemplazó la cobertura total, sustituyendo el vidrio por plástico.

En el deshidratador solar de dos vertientes con cobertura de vidrio (DCV), con un tamaño de un metro cuadrado y pileta de cerámica negra (Figura A-7), en este se reemplazó una de las placas de vidrio que se encontraba quebrada y toda la tubería interna con PVC.

Se preparó un tercer deshidratador solar sin cobertura (DSC), con un tamaño de un metro cuadrado y pileta de cerámica negra (Figura A-8).

3.5 Fase pre-experimental

Se preparó el espacio físico dentro de la estación meteorológica, limpieza y corte de maleza. Los tres deshidratadores solares se ubicaron tomando en cuenta la trayectoria del sol, orientándolos de oeste a este, lo que permitió recibir ocho horas diarias de luz solar desde las ocho de la mañana hasta las cuatro de la tarde, que fueron las horas tomadas en cuenta para registrar los datos ambientales en la investigación (Figura A-9). Se colocó un termómetro digital dentro de los deshidratadores con coberturas.

Se colocaron una vez los tres volúmenes (3L, 5L, 10L) de vinaza cruda en los tres deshidratadores solares, es decir: DSC-3L; DSC-5L; DSC-10L; DCP-3L; DCP-5L; DCP-10L; DCV-3L; DCV-5L; DCV-10L. Obteniendo un estimado de la cantidad de los productos resultantes, tanto en litros de condensado de vinaza y gramos de vinaza deshidratada.

El orden de tratamientos colocados en cada deshidratador solar, por sección de tiempo quedó de la siguiente manera:

Sección 1: DSC-3L; DCP-3L; DCV-3L

Sección 2: DSC-5L; DCP-5L; DCV-5L

Sección 3: DSC-10L; DCP-10L; DCV-10L

Se denominó sección de tiempo a: el rango de horas/día (ocho horas/día) que tardaron los deshidratadores solares en transformar la vinaza cruda en productos resultantes. La sección

de tiempo inició una vez puesta la vinaza cruda (15 minutos antes de las ocho de la mañana), y terminó hasta finalizar la deshidratación.

En todos los casos varió el rango de horas/día, y dentro de este rango al menos un deshidratador solar término antes que los demás, pero se concluyó la sección hasta que los tres terminaron.

Las muestras de los productos resultantes se extrajeron inmediatamente una vez terminada cada deshidratación. Estas muestras fueron llevadas en el momento al laboratorio de Química Agrícola.

3.6 Fase de campo

3.6.1 Ordenamiento de las secciones de tiempo

El tratamiento de la vinaza cruda se realizó en diferentes secciones de tiempo, ya que solo se contó con tres deshidratadores solares, debido a que fueron prototipos, de elevado costo construidos con fines de investigación, por lo cual el diseño estadístico aleatorio se ordenó de la siguiente manera:

Primera repetición

Sección 1: DSC-3L; DCP-5L; DCV-10L

Sección 2: DSC-5L; DCP-10L; DCV-3L

Sección 3: DSC-10L; DCP-3L; DCV-5L

Segunda repetición

Sección 4: DSC-5L; DCP-5L; DCV-10L

Sección 5: DSC-10L; DCP-10L; DCV-3L

Sección 6: DSC-3L; DCP-3L; DCV-5L

Tercera repetición

Sección 7: DSC-5L; DCP-10L; DCV-10L

Sección 8: DSC-10L; DCP-3L; DCV-3L

Sección 9: DSC-3L; DCP-5L; DCV-5L

Cuarta repetición

Sección 10: DSC-3L; DCP-5L; DCV-10L

Sección 11: DSC-10L; DCP-3L; DCV-5L

Sección 12: DSC-5L; DCP-10L; DCV-3L

3.6.2 Preparación y movilización de la muestra

Para cada sección se utilizó la vinaza cruda almacenada, la cual se homogenizó con ayuda de una vara de madera limpia, se agitó por diez minutos, media hora antes de poner las muestras a deshidratar en un barril plástico con capacidad de 80.00 litros, se trasladó del vivero al área de ensayo la cantidad suficiente para colocar las muestras en cada deshidratador (Figura A-10 y A-11).

3.6.3 Colocación de la muestra en los deshidratadores

Se utilizaron recipientes plásticos con capacidad de un litro para medir y disponer la cantidad de 3, 5 o 10 litros según cada sección en los deshidratadores solares. La hora de colocación de las muestras fue 15 minutos antes de las 8:00 a.m. Al mismo tiempo fueron ubicados y conectados a las mangueras de recaudación los frascos de recolección de condensado con capacidad 1.2 L (Figura A-12).

3.6.4 Toma de datos

Los datos meteorológicos se recolectaron en tres momentos diferentes:

Por el equipo de la estación meteorológica, datos tomados y almacenados:

Radiación solar (W/m^2), temperatura ambiente ($^{\circ}C$), velocidad del viento (Km/h) y humedad relativa (%) (Figura A-13). Estos fueron tomados del ordenador del equipo. La toma de datos se hizo cada hora (8:00 am a 4:00 pm), iniciando con la colación de la vinaza cruda en los deshidratadores a las 8:00 am y finalizando hasta que la vinaza cruda se transformó en productos resultantes.

Datos medidos y observados en campo:

En la hoja de datos se anotó: las temperaturas internas ($^{\circ}C$) de los deshidratadores solares con cobertura de plástico y vidrio, dada por el termómetro digital. La lámina (mm) del deshidratador sin cobertura con volumen de vinaza cruda, se midió con una regla graduada, cada hora, para observar el nivel de evaporación que este generaba, hasta que concluyó la deshidratación (Figura A-14). La nubosidad se midió para los tres deshidratadores solares, en

octales de manera empírica clasificando la cantidad de nubes presentes en la bóveda celeste desde 0/8 hasta 8/8, las clasificaciones se transformaron luego en porcentajes, (de 0.00%, 12.50%, 25.00%, 37.50%, 50.00%, 62.50%, 75.00%, 87.50% y 100.00%) (Figura A-15).

Datos medidos en el Laboratorio de Química Agrícola:

Una vez terminó el proceso de deshidratación de la vinaza cruda y se obtuvieron los productos resultantes, estos fueron recolectados y llevados al Laboratorio de Química Agrícola; el condensado de vinaza obtenido se midió en litros, mientras que la vinaza deshidratada se pesó, luego se llevó a estufa y se pesó nuevamente para obtener el peso seco en gramos.

3.6.5 Recolección de muestras

3.6.5.1 Condensado de vinaza

La recolección de las muestras se llevó a cabo en los deshidratadores con cobertura de plástico y vidrio. Al momento de colocar la vinaza cruda en cada sección, se montaron frascos plásticos de 1.2 L, donde se almacenó el condensado y se hicieron revisiones cada hora para evaluar el llenado y evitar el rebalse. Una vez lleno el frasco, se sustituyó por uno vacío, el frasco lleno se trasladó al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

3.6.5.2 Vinaza deshidratada

Debido a la naturaleza viscosa de la vinaza, la cual al dejarla completamente deshidratada se adhería a la cerámica de la pileta dificultando su extracción, se determinó que las muestras estaban aptas para su recolección. Cuando la cantidad de condensado de vinaza alcanzo un aproximado de 94.00% recolectado, es decir, alrededor de 9.40 L para un volumen de 10.00L, 4.40 L para un volumen de 5.00L y 2.40 L para el volumen de 3.00L, visualmente fue cuando la lámina de vinaza tuvo aproximadamente 0.50 mm de espesor, este espesor con humedad sirvió para recolectar toda la muestra contenida en la pileta (Figura A-16 y A-17), con la ayuda de una espátula de acero inoxidable se recolectaron en bolsas plásticas tipo Ziploc, y luego se llevaron al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

Pesado y secado de vinaza deshidratada en estufa:

La muestra obtenida se pesó y se anotó este como peso de entrada de muestras húmedas, luego se colocaron en bandejas de aluminio, previamente pesadas e identificadas,

posteriormente se introdujeron en la estufa en un promedio de 24 horas a 60-70 °C hasta lograr peso constante, se calcularon los pesos secos y los porcentajes de humedad de las muestras (Figura A-18).

3.6.6 Limpieza de las piletas de cerámica

Se realizó al finalizar cada sección de tiempo, esta limpieza se hizo con agua, cepillo y esponja, para eliminar cualquier resto de vinaza deshidratada que quedara en la pileta (Figura A-19).

3.7 Metodología estadística

3.7.1 Diseño estadístico y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de 3x3, desglosado en dos factores: factor A con tres niveles de volúmenes de vinaza cruda: tres litros (3L), cinco litros (5L), y diez litros (10L). El factor B con tres niveles de deshidratadores solares: tipo pileta sin cobertura (DSC), de dos vertientes con cobertura de plástico (DCP) y dos vertientes con cobertura de vidrio (DCV). Las interacciones entre los factores formaron un total de nueve tratamientos, estos son:

- 1) DSC-3L: deshidratador sin cobertura; volumen de 3.00 L de vinaza cruda
- 2) DSC-5L: deshidratador sin cobertura; volumen de 5.00 L de vinaza cruda
- 3) DSC-10L: deshidratador sin cobertura; volumen de 10.00 L de vinaza cruda
- 4) DCP-3L: deshidratador con cobertura de plástico; volumen de 3.00 L de vinaza cruda
- 5) DCP-5L: deshidratador con cobertura de plástico; volumen de 5.00 L de vinaza cruda
- 6) DCP-10L: deshidratador con cobertura de plástico; volumen de 10.00 L de vinaza cruda
- 7) DCV-3L: deshidratador con cobertura de vidrio; volumen de 3.00 L de vinaza cruda
- 8) DCV-5L: deshidratador con cobertura de vidrio; volumen de 5.00 L de vinaza cruda
- 9) DCV-10L: deshidratador con cobertura de vidrio; volumen de 10.00 L de vinaza cruda

Se realizaron cuatro repeticiones (R1, R2, R3, R4) de estos nueve tratamientos, obteniendo en total de 36 unidades experimentales (Cuadro 1).

3.7.2 Modelo estadístico

Experimento factorial con dos factores

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

μ = promedio global

T_i = efecto del i -ésimo nivel del factor A

B_j = efecto del j -ésimo nivel del factor B

$(T\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción entre A y B

ϵ_{ijk} = error aleatorio

$i = 1, 2, \dots, a$

$j = 1, 2, \dots, b$

$k = 1, 2, \dots, n$

Cuadro 1. Agrupación de los tratamientos y repeticiones

Tipo de Deshidratador	Volumen de vinaza cruda					
	3L		5L		10L	
DSC: Deshidratador sin cobertura	(DSC-3L)		(DSC-5L)		(DSC-10L)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
	R3	R4	R3	R4	R3	R4
DCP: Deshidratador con cobertura de plástico	(DCP-3L)		(DCP-5L)		(DCP-10L)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
	R3	R4	R3	R4	R3	R4
DCV: Deshidratador con cobertura de vidrio	(DCV-3L)		(DCV-5L)		(DCV-10L)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
	R3	R4	R3	R4	R3	R4

3.7.3 Variables estudiadas

3.7.3.1 Variables para determinar la eficiencia de los deshidratadores solares

- Número de horas para transformar la vinaza cruda en productos resultantes;
- Volumen de condensado de vinaza obtenido en Litros, (para los tratamientos de deshidratador solar con cobertura, ya que del deshidratador sin cobertura no se recuperó condensado de vinaza);
- Peso de vinaza deshidratada obtenida en gramos.

3.7.3.2 Variables ambientales

Se realizaron comparaciones entre dos parámetros:

Parámetro 1: temperatura interna en °C y parámetro 2: lámina evaporada en mm; con relación a las variables ambientales comunes para ambos casos:

- Radiación solar en W/m^2 ;

- Temperatura ambiente en °C;
- Humedad relativa del ambiente en %;
- Velocidad del viento en Km/h;
- Nubosidad en %

3.7.4 Análisis efectuados

Pruebas realizadas en las variables para determinar eficiencia de los deshidratadores solares y para las variables ambientales:

Con el programa InfoStat® versión estudiantil 2018, se realizó: análisis de varianza con prueba de Tukey; análisis paramétrico para obtener el contraste entre los resultados, en base a las medidas de tendencia central, dispersión, medias, desviación estándar (D.E.), que muestran que tan alejados están los valores respecto a la media y coeficientes de variación (C.V.) que muestran que tan confiables son las estimaciones de las variables investigadas y también que tan heterogéneos u homogéneos fueron los valores obtenidos, cuyos rangos de precisión en la confiabilidad son: hasta 10.00% buena confiabilidad, del 11.00 al 20.00% aceptable confiabilidad, 21.00 al 30.00% poco confiable y más del 31.00% no confiable.

Con el programa Excel® versión 2016 de Microsoft Corporation™ se realizaron tabulaciones y comparaciones gráficas.

3.7.5 Análisis físico químico

De las cuatro repeticiones de los nueve tratamientos se eligieron al azar 18 unidades experimentales para ser analizados, tomando dos veces un mismo tratamiento y la vinaza cruda se analizó en dos momentos, una al inicio del ensayo y la otra al finalizar, para los análisis de DBO₅ y DQO, se hizo una sola vez durante el ensayo (Cuadro 2).

Dentro de estos tratamientos seleccionados, se obtuvieron dos tipos de muestras denominados: condensado de vinaza y vinaza deshidratada.

Para el ordenamiento y observación de los análisis físicos químicos, se realizó un promedio de los datos obtenidos, ordenados en cuadros usando el programa Excel® versión 2016 de Microsoft Corporation™.

Cuadro 2. Vinaza cruda y tratamientos seleccionados a los que se les realizaron análisis químicos

R1	Sección de tiempo 1	Sección de tiempo 2	Sección de tiempo 3
	Vinaza cruda		DSC-10L DCP-3L DCV-5L
R2	Sección de tiempo 4	Sección de tiempo 5	Sección de tiempo 6
	DSC-5L DCP-5L DCV-10L	DCV-3L	DSC-3L
R3	Sección de tiempo 7	Sección de tiempo 8	Sección de tiempo 9
	DCP-10L	DCP-3L DCV-3L	DCV-5L
R4	Sección de tiempo 10	Sección de tiempo 11	Sección de tiempo 12
	DSC-3L DCP-5L DCV-10L	DSC-10L	DSC-5L DCP-10L Vinaza cruda

3.8 Metodología de laboratorio

3.8.1 Muestras y análisis realizados

Se denominaron muestras a: la vinaza cruda, y del proceso de deshidratación: condensado de vinaza y vinaza deshidratada. Los análisis físicos químicos realizados a las muestras fueron los siguientes (Cuadro 3).

3.8.2 Preparación de las muestras

3.8.2.1 Vinaza cruda

Previamente homogenizada se tomaron 100 mL en un beaker, se dividió en dos: en recipientes plásticos 50.00 mL y 50.00 mL respectivamente, fueron rotulados como V_1 y V_2 , se les agregó carbón activado como clarificante, las tapas fueron cerradas y se agitaron durante 5 minutos. Después de la agitación se filtraron con papel Whatman N°42, del filtrado se tomó una alícuota de 1.00 mL con una pipeta de cada uno de los recipientes y se agregaron en dos diferentes balones volumétricos de 50.00 mL y se aforaron con agua destilada. Se guardaron en refrigeración hasta sus lecturas, por espectrofotometría y Absorción Atómica (AA), para Fósforo y Potasio.

Cuadro 3. Análisis físicos químicos realizados

	Análisis físicos químicos	Vinaza cruda	Condensado de vinaza	Vinaza deshidratada	Subtotal por análisis
1	Nitrógeno	2	12	18	32
2	Fósforo	2	12	18	32
3	Potasio	2	12	18	32
4	Ph	2	12	18	32
5	Salinidad	2	12	-	14
6	Conductividad Eléctrica	2	12	-	14
7	Sólidos Totales Diluidos	2	12	-	14
8	Materia orgánica	2	12	18	32
9	Demanda biológica de oxígeno	1	6.00 ^A	-	7
10	Demanda química de oxígeno	1	6.00 ^A	-	7
	Total de análisis	18	108	90	216

^A: análisis solamente realizado a los deshidratadores con cobertura

3.8.2.2 Condensado de vinaza

Las muestras se prepararon por medio de digestión húmeda. Se tomaron 100 mL de las muestras en beakers y se les adicionó 5.00 mL de HCl concentrado, se calentaron en hot-plate hasta el desprendimiento de vapores y reducción aproximadamente dos tercios del volumen, durante 10 minutos se dejaron enfriar y luego se filtraron con papel Whatman N°42 y se recibieron los filtrados en balones volumétricos de 100 mL donde se aforaron a la marca con agua destilada (Figura A-20) y se almacenaron en refrigeración hasta su lectura, en espectrofotometría y Absorción Atómica (AA), para Fósforo y Potasio.

3.8.2.3 Vinaza deshidratada

En seguida de la recolección en campo, las muestras se pesaron en báscula semianalítica (peso en húmedo), posterior se secaron en estufa de aire circulante entre 60.00-70.00°C / 24.00 horas (promedio de secado obtenido para estas muestras), luego se pesaron nuevamente (peso constante) y por diferencia de peso se calculó el porcentaje (%) de humedad, al finalizar el secado se molieron con ayuda de un mortero y pistilo, finalmente se tamizaron y depositaron en bolsas plásticas identificadas por tratamiento, y se guardaron en desecador (Figura A-21).

En crisoles se pesaron aproximadamente 2.00 g de las muestras secas y tamizadas, se incineraron en mufla a 300°C por media hora luego a 500°C por 24 horas (se extendió el periodo de 2 horas a 24, por la naturaleza de la muestra), se dejaron enfriar y posteriormente se realizó la digestión de las cenizas agregando 5.00 mL de HCl concentrado y 10.00 mL de agua destilada, se colocaron los crisoles en hot-plate y retiraron hasta la liberación de vapores y la reducción aproximadamente dos tercios del volumen, una vez fríos; se filtraron con papel Whatman N°42, el filtrado se recibió en un balón volumétrico de 100 mL, donde se aforó con agua destilada. Se almacenaron en refrigeración hasta su lectura, en espectrofotometría y Absorción Atómica (AA), para Fósforo y Potasio.

3.8.3 Determinación de Nitrógeno, Método Micro-Kjeldahl

Se caracteriza por el uso de ácido sulfúrico concentrado que efectúa la destrucción oxidativa de la materia orgánica de la muestra y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco, el amonio es retenido como bisulfato de amonio y puede ser determinado in situ o por destilación alcalina y titulación (Figura A-22) (Anexo 1).

Para obtener el % de nitrógeno, a partir de las lecturas de gastos de HCl (mL) obtenidas en la titulación en partes por millón (ppm) y en porcentajes (%), se usaron las siguientes fórmulas:

- % Nitrógeno =
$$\frac{\text{mL de HCl gastados} \times N \text{ HCl} \times \text{Meq. N} \times 100}{\text{peso de Mx (g)}}$$
- % Nitrógeno =
$$\frac{\text{mL de HCl gastados} \times (0.118583) \times 0.014 \times 100}{\text{peso de Mx (g)}}$$
- ppm = % nitrógeno x 10,000

3.8.4 Determinación de Fósforo, Método Colorimétrico

El método de análisis para determinar Fósforo consiste en una extracción del elemento con una solución doble ácido, solución de Mehlich o Solución Carolina del Norte. Una vez extraídos los elementos; el Fósforo se determina con el método colorimétrico del Vanadato-Molibdato de Amonio. La coloración amarilla que se desarrolla en esta metodología se debe a la formación del sistema Vanadomolibdofosfórico, al sustituirse los átomos de oxígeno del radical PO_4^{-3} por los radicales oxivanadio y oximolibdeno, para dar un hetero-polícompuesto adaptable a muchos medios acidificados (Figura A-23) (Anexo 2).

De las lecturas de absorbancia obtenidas del Fotómetro se pasó a obtener los datos de Fósforo en partes por millón (ppm) y en porcentajes (%), usando las siguientes fórmulas:

- $\text{ppm} = \frac{\text{absorbancia de la Mx} \times \text{concentración del estándar} \times \text{FD}}{\text{absorbancia del estándar}}$
- $\text{FD}_{(\text{Mx sólido})} = \frac{\text{Mx (mL)} \times \text{volumen de diluciones (mL)}}{\text{peso de Mx (g)} \times \text{alícuota tomada (mL)}}$
- $\text{FD}_{(\text{Mx líquido})} = \frac{\text{Mx (mL)} \times \text{volumen de diluciones (mL)}}{\text{alícuota tomada (mL)}}$
- $\% = \text{ppm} / 10,000$ Dónde: FD: Factor de dilución

3.8.5 Determinación de Potasio, Método de espectrofotometría de llama

Cuando se aspira una solución acuosa de sales inorgánicas en la llama caliente de un quemador, una fracción significativa de sus constituyentes metálicos se reduce al estado elemental; en menor grado, también se forman iones monoatómicos. Por tanto, se produce dentro de la llama una solución gaseosa o plasma que contiene una concentración significativa de partículas elementales (Figura A-24) (Anexo 3).

De las lecturas obtenidas en el espectrofotómetro se obtuvieron los datos de Potasio en partes por millón (ppm) y en porcentajes (%), usando las siguientes fórmulas:

- $\text{ppm} = \text{lectura del Fotómetro (ppm)} \times \text{factor de dilución (FD)}$
- $\text{FD} = \frac{\text{volumen de diluciones (mL)}}{\text{cantidad de Mx (mL o g)} \times \text{alícuota tomada (mL)}}$
- $\% = \text{ppm} / 10,000$

3.8.6 Determinación de pH, Método Potenciométrico

Para muestras líquidas la determinación en este procedimiento se basa en la medición del cambio del potencial eléctrico en la muestra, para las muestras secas se prepara una suspensión de muestra seca a $40.00^\circ \text{C} \pm 2.00^\circ \text{C}$ y $<2.00 \text{ mm}$, con agua en una proporción de muestra: agua de 1:2.50 y en el sobrenadante se determina el valor del pH-H₂O, con un medidor de pH. Se utilizó un pH-metro de mesa Orión Thermo 420A+ (Figura A-25) (Anexo 4).

3.8.7 Salinidad, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Disueltos y Temperatura, Método Potenciométrico

La medición de la conductividad eléctrica está basada en la medición de la resistencia eléctrica entre dos electrodos paralelos inmersos en un extracto acuoso de una muestra previamente seleccionada y tratada.

Se realizó la lectura con la sonda multi-parámetros Hach Sension 156; previamente se calibró previo a las lecturas, según las instrucciones del equipo (Figura A-26) (Anexo 5).

3.8.8 Determinación de Materia Orgánica

Se utilizó el equipo Total Organic Carbon (TOC) para medir carbono orgánico. El TOC mide cantidades de carbono total (TC), carbono inorgánico (IC) y carbono orgánico total (TOC). El método que usa el TOC para el análisis es el de combustión oxidativa.

El carbono orgánico (TOC) se enlaza con Hidrógeno u Oxígeno para formar compuestos orgánicos. El carbono inorgánico (IC o TIC) es la base estructural de los compuestos inorgánicos tales como carbonatos del gas e iones de carbonato. Colectivamente, se refiere a las dos formas de carbono como carbono total (TC) y la relación entre ellas es expresado como $TOC=TC-IC$. El equipo dispone de un software instalado en un PC en el cual se controla el equipo TOC-V (Figura A-27) (Anexo 7).

Las lecturas obtenidas del TOC se multiplicaron por el factor 1.72 y se obtuvo el dato de Materia Orgánica, de la siguiente manera:

- % MO = Carbono orgánico (lectura de TOC ppm) X 1.72

3.8.9 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

El método consiste en llenar con muestra hasta rebosar un frasco hermético del tamaño especificado para este análisis (frasco DBO de 300 ml), e incubarlo a una temperatura de $20.00\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.00^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después del proceso de incubación y el DBO se calcula mediante la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto final. Debido a que el oxígeno disuelto se determina inmediatamente después de hacer la dilución, toda la captación de oxígeno, incluida la que ocurre durante los 15 minutos se incluye en la determinación de la DBO.

La determinación de DBO debe realizarse lo más pronto posible es decir que de preferencia este análisis debe realizarse el mismo día en que la muestra es tomada, principalmente en

aquellos casos en que la muestra de agua posee una baja cantidad de oxígeno disuelto y por consiguiente se sospeche que tiene una alta DBO (Figura A-28) (Anexo 7).

Se utilizó el método Potenciométrico, utilizando el equipo: sonda multi-parámetros Hach Sension 156. (Figura A-28). La DBO_5 es la diferencia de las lecturas del oxígeno disuelto:

$$- DBO_5 = OD \text{ inicial} - OD \text{ final}$$

3.8.10 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ($mg O_2/l$).

Las muestras fueron recolectadas directamente de la salida de los deshidratadores, y fueron llevadas después al laboratorio de análisis de alimentos, aguas y aguas residuales del Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI), donde se realizó el análisis a las 24 horas después de recibida la muestra bajo el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th. Edition. 2012” (Figura A-29 y A-30).

3.9 Metodología económica

3.9.1 Metodología económica

El análisis económico utilizado fue costo/efectividad que consistió en conocer la efectividad de la tecnología de deshidratación solar en base a los costos de fabricación y la eficiencia de estos utilizados en la investigación. Este análisis no contempla ganancias económicas, ya que es un experimento con fines de investigación de un tema emergente en el país y los productos obtenidos aún no se pueden denominar productos finalizados.

3.9.1.1 Análisis costo/efectividad

El análisis de costo/efectividad (ACE) es una forma de análisis económico que compara los costos relativos con los resultados (efectos) de dos o más cursos de acción. El análisis de costo/efectividad es distinto del análisis de costo/beneficio, que asigna un valor monetario a la medida del efecto. La efectividad es la cuantificación del logro de la meta u obtener el efecto

que se desea. Y la eficiencia es la capacidad para lograr un fin empleando los mejores medios posibles.

Para este caso los costos relativos fueron los costos de fabricación de los prototipos de deshidratadores solares expresados en dólares (USD \$), es decir materiales de construcción, mano de obra y otros descritos en los presupuestos (Cuadro A-7, A-8 y A-9). Los resultados son las horas que fueron necesarias para deshidratar la vinaza cruda y transformarla en productos resultantes.

$$\text{- Costos (\$)} = \sum (V^*i)$$

Dónde:

\sum : es sumatoria de todos los datos involucrados

V: son las variables de los costos de producción

i: i-ésima variable de costo de producción

\$: costo monetario en dólares

La eficiencia se obtuvo en porcentaje y resultó de dividir el volumen total utilizado de vinaza cruda (72.00 L) entre las horas que fueron necesarias para deshidratar la vinaza cruda (h) por cien. Y el costo/efectividad resultó de dividir los costos totales de inversión por equipo entre las horas que fueron necesarias para deshidratar la vinaza cruda.

Es decir:

$$\text{Eficiencia \%} = \frac{\text{Volumen de vinaza cruda colocada}}{\text{Horas de deshidratación}} \times 100$$

$$\text{Costo/efectividad} = \frac{\text{Costo de inversión del deshidratador}}{\text{Horas de deshidratación}}$$

Cuadro 4. Relación costo/efectividad

Deshidratador (D)	Costo/Deshidratador (\$)	Volumen de Vinaza cruda (L)	Horas de deshidratación (h)	Deshidratado/hora (L)	Eficiencia (%) D=B/C*100	Costo/Efectividad (\$/h) F=A/C
DSC	A	B	C	D	E	F
DCP	A	B	C	D	E	F
DCV	A	B	C	D	E	F

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Eficiencia de los deshidratadores solares y variables ambientales

4.1.1 Número de horas necesarias para deshidratar la vinaza cruda

-Análisis de varianza

El coeficiente de determinación (R^2) es de 0.75, lo cual indica que la variable número de horas necesarias para deshidratar la vinaza cruda se ve afectada en un 75.00% por el tipo de deshidratador y el volumen de vinaza a deshidratar, con un coeficiente de variación (CV) de 40.19%. El análisis de varianza ANVA con arreglo factorial 3x3, mostró que los factores: Deshidratador (D) y Volumen de vinaza cruda (L) generaron diferencias significativas en cuanto al número de horas, mientras que la interacción entre los dos factores (D y L) en estudio con $p > 0.05$ y valor de 0.2475 no muestra diferencias significativas, es decir que la interacción entre deshidratadores y volúmenes de vinaza generan efectos similares en número de horas para deshidratar la vinaza cruda (Cuadro A-10).

-Prueba de Tukey para los factores

Se expuso que para el factor Deshidratador (D) el menor número de horas en deshidratar lo presentó el DCV con 8.16 horas, siendo similar estadísticamente a el DSC con 10.10 horas. El DCP con 22.01 horas presenta diferencia estadística con relación a los demás deshidratadores. Para el factor volumen de vinaza cruda (L) el menor número lo registró 3L con 7.90 horas, seguido de 5L con 12.53 horas, siendo estos dos similares estadísticamente; mientras 10L registra el mayor promedio con 19.84 horas lo cual muestra que a menor volumen se promedia un menor número de horas necesarias para la deshidratación (Cuadro A-11).

-Prueba de Tukey en la interacción de los factores

Estadísticamente la prueba con $p > 0.05$ mostró que el menor número de horas lo registró la combinación DSC-3L con 5.00 horas, pero este a la vez es similar estadísticamente a el DCV-3L con 5.8 horas y DCV-5L con 6.16 horas; seguido de DSC-5L con 10.05, DCV-10L con 12.51, DCP-3L con 12.90 horas y DSC-10L con 15.25 horas, siendo estos similares estadísticamente entre ellos; mientras que DCP-5L con 21.38 horas y DCP-10L con 31.75 horas son similares estadísticamente entre ellos (Cuadro A-12).

-Promedios de horas de deshidratación de vinaza cruda y análisis paramétricos

La figura 1 muestra los promedios de número de horas necesarias para la deshidratación de la vinaza cruda de los 9 tratamientos evaluados, siendo el mayor promedio para el DCP-10L con 31.75 horas y el menor promedio para el DSC-3L con 5.00 horas, lo cual indica que mientras menor sea la cantidad de horas es más eficiente el tratamiento, lo cual concuerda con Al-Hinai *et. al* (2002) pues menciona que cuanto menos volumen de líquido contenido más rápido se destila el agua.

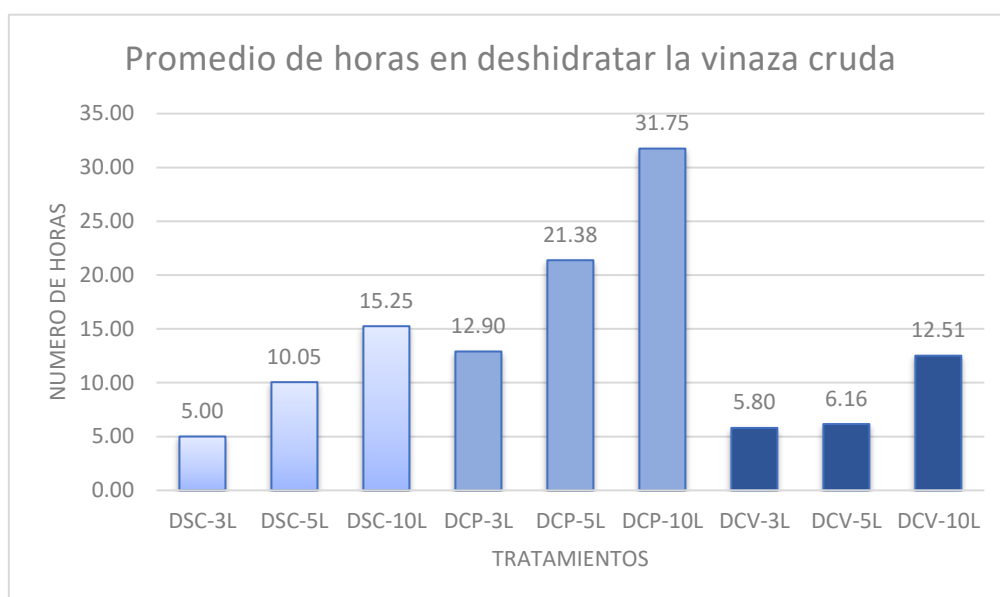


Figura 1. Promedios de número de horas en la deshidratación de la vinaza cruda

Sin embargo, los resultados obtenidos por los análisis paramétricos (Cuadro A-13) el tratamiento DCV-5L con una media de 6.16 horas, desviación estándar de 0.52 horas y coeficiente de variación de 8.47% fue el tratamiento más homogéneo y confiable en todas las repeticiones. Los resultados anteriores se sustentan con lo descrito por Bhardwaj *et al.* citado por Gonzales (2014), pues este indica que los deshidratadores con cobertura de vidrio son 67.00% más eficientes respecto a los deshidratadores con cobertura de plástico, debido a que el vidrio posee un menor ángulo de contacto con las gotas de condensación, ya que estas son más pequeñas que el plástico haciendo que la transmitancia sea más eficiente. Para el caso de los deshidratadores sin cobertura, Castro (2014) menciona que las variables ambientales son determinantes para obtener resultados en la evaporación con respecto al tiempo, mientras que en los deshidratadores con cobertura no tiene influencia directa con el líquido contenido.

4.1.2 Volumen de condensado de vinaza

-Análisis de varianza

El coeficiente de determinación (R^2) es de 1.00, lo cual indica que la variable volumen de condensado de vinaza se ve afectada en un 100.00% por el tipo de deshidratador y el volumen de vinaza a deshidratar, y un coeficiente de variación (CV) de 1.30%. El análisis de varianza ANVA con arreglo factorial 3x3, mostró que los factores: Deshidratador (D) no genera diferencia significativa en cuanto al volumen condensado de vinaza; al mismo tiempo el análisis de ANVA refleja que el factor volumen de vinaza cruda (L) ejerce diferencia significativa entre ellos; no obstante el modelo estadístico muestra que la interacción entre los dos factores (D y L) en estudio con $p > 0.05$ y valor de 0.9679, no existen diferencias significativas; es decir que la interacción entre deshidratadores y volúmenes de vinaza generan efectos similares en el volumen condensado de vinaza (Cuadro A-14).

-Prueba de Tukey para los factores

Se expuso que para el factor Deshidratador (D), el mayor porcentaje promedio en el volumen de condensado de vinaza lo presentó el DCV con 94.60% (5.68 L), y DCP con 94.24% (5.65 L) siendo estos estadísticamente similares entre ellos, y para el factor volumen de vinaza cruda (L), el mayor porcentaje promedio lo registró 10 L con 94.30% (9.43 L); seguido de 5 L con 94.56% (4.73 L); y por último 3 L con 94.58% (2.84 L), los cuales mostraron diferencia significativa entre ellos (Cuadro A-15).

-Prueba de Tukey en la interacción de los factores

Estadísticamente la prueba con $p > 0.05$ mostró que el mayor porcentaje promedio en volumen de condensado de vinaza lo registro la interacción DCV-10L con 94.36% (9.44 L), pero este a la vez es similar estadísticamente a DCP-10L con 94.24% (9.42 L), el DCV-5L con 94.78% (4.74 L) y el DCP-5L con 94.35% (4.72 L) son similares entre sí, y el DCV-3L con 95.09% (2.85 L) y el DCP-3L con 94.07% (2.82 L) son similares entre sí (Cuadro A-16).

-Promedios de volumen de condensado de vinaza y análisis paramétricos

La figura 2 muestra los promedios en porcentaje de volumen de condensado de vinaza en L para los 6 tratamientos evaluados para esta variable. Siendo el mayor promedio el DCV-10L con un porcentaje promedio de 94.36% que representa 9.44 L de volumen condensado de vinaza, mientras el menor fue el DCP-3L con 94.07% que representa 2.82 L de volumen condensado de vinaza. Lo que indica que el porcentaje de volumen de condensado de vinaza será similar tanto en volúmenes mayores como en menores de la vinaza cruda colocada en el proceso de deshidratación.

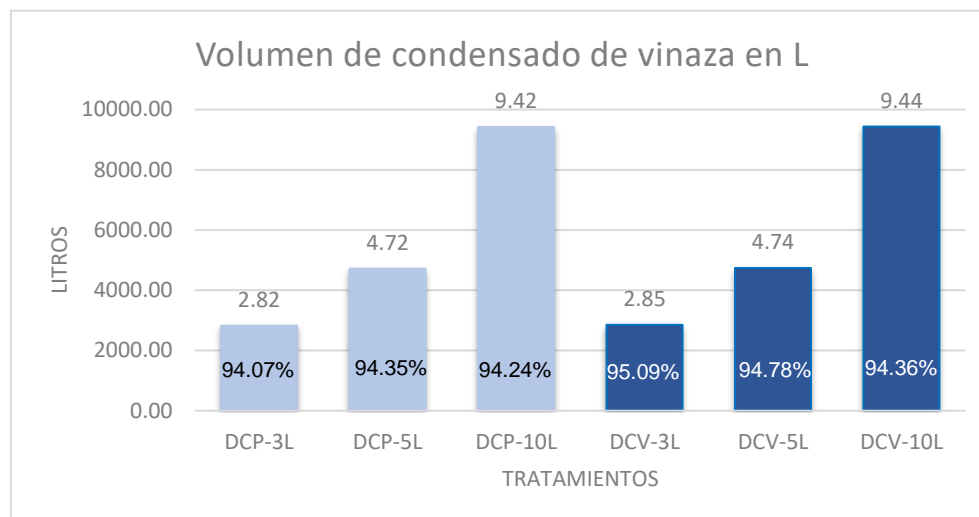


Figura 2. Volumen promedio de condensado de vinaza en Litros

Sin embargo para los resultados obtenidos en los análisis paramétricos (Cuadro A-17) el tratamiento DCP-10L con un porcentaje promedio de 94.24% (9.42 L), desviación estándar de 3.70 L, y coeficiente de variación de 0.39% fue el tratamiento más homogéneo y confiable en todas las repeticiones. La cantidad de líquido contenido en una muestra de vinaza dependerá de la dilución a la que esté sujeta, puesto que ECURED (2010) menciona que la vinaza se clasifica en cuatro niveles según su cantidad de líquido contenido: 1. Vinaza diluida, 92.00 a 90.00% de líquido contenido; 2. Vinaza semi concentrada 80.00 a 70.00% de líquido contenido; 3. Vinaza concentrada 45.00 a 40.00% de líquido contenido; 4. Vinaza sólida 1.00 a 0.01% de líquido contenido.

4.1.3 Peso en gramos de vinaza deshidratada

-Análisis de varianza

El coeficiente de determinación (R^2) es de 0.95, lo cual indica que la variable peso en gramos de vinaza deshidratadas se ve afectada en un 95.00% por el tipo de deshidratador y el volumen de vinaza a deshidratar, y un coeficiente de variación y un coeficiente de variación (CV) de 15.30%. El análisis de varianza ANVA con arreglo factorial 3x3, mostró que el factor: Deshidratador (D) no genera diferencia significativa en cuanto a los gramos de vinaza deshidratada; al mismo tiempo el análisis de ANVA refleja que el factor Volumen (L) ejerce diferencias significativas entre ellos; no obstante el modelo estadístico muestra que la interacción entre los dos factores (D y L) en estudio con $p > 0.05$ y valor de 0.8068, no existen diferencias significativas; es decir que la interacción entre deshidratadores y volúmenes de

vinaza generan efectos similares en los gramos obtenidos de vinaza deshidratada (Cuadro A-18).

-Prueba de Tukey para los factores

Se expuso que para el factor Deshidratador (D), el mayor porcentaje promedio lo presentó el DCP con 2.35% (144.11 g) de vinaza deshidratada, seguido del DSC con 2.25% (138.17 g) y DCV con 2.22% (135.99 g) siendo estadísticamente similares entre ellos. Para el factor volumen de vinaza cruda (L), el mayor porcentaje promedio lo registro 10L con 2.43% (248.04 g); seguido de 5L con 2.14% (109.08 g); y por último 3L con 2.00% (61.15 g), mostrando diferencias estadísticas significativas entre ellos (Cuadro A-19).

-Prueba de Tukey en la interacción de los factores

Estadísticamente la prueba con $p > 0.05$ mostró que el mayor porcentaje promedio lo registro DSC-10L con 2.47% (252.62 g), pero este a la vez es similar estadísticamente a el DCV-10L con 2.42% (247.04 g) y DCP-10L con 2.39% (244.45 g) (Cuadro A-20).

-Promedios de gramos de vinaza deshidratada y análisis paramétricos

La figura 3 muestra los porcentajes promedios de los gramos de vinaza deshidratada para los 9 tratamientos evaluados. Siendo el mayor el DSC-10L con un porcentaje de 2.47% (252.62 g), mientras que el menor fue el DCV-3L con 1.76% (54.05 g). Lo que indica que mientras mayor sea el volumen de vinaza cruda colocada mayor será el peso en gramos de la vinaza deshidratada obtenido en el proceso de deshidratación.

Sin embargo, para los resultados obtenidos en los análisis paramétricos (Cuadro A-21) el tratamiento DCV-10L con un porcentaje promedio de 2.42% (247.04 g), con una desviación estándar de 15.78 y un coeficiente de variación de 6.39% fue el tratamiento más homogéneo y confiable para todas las repeticiones. Lo anterior se sustenta con los datos obtenidos por García y Rojas (2015), pues menciona que la vinaza obtenida para la producción de etanol contiene menos del 10.00% de contenido de sólidos y más del 90.00% de agua. Al mismo tiempo ECURED (2010) menciona en una investigación realizada en vinaza; que esta se puede clasificar por su contenido de sólidos totales como: vinaza diluida, por contener menos del 10.00% de sólidos totales contenidos.

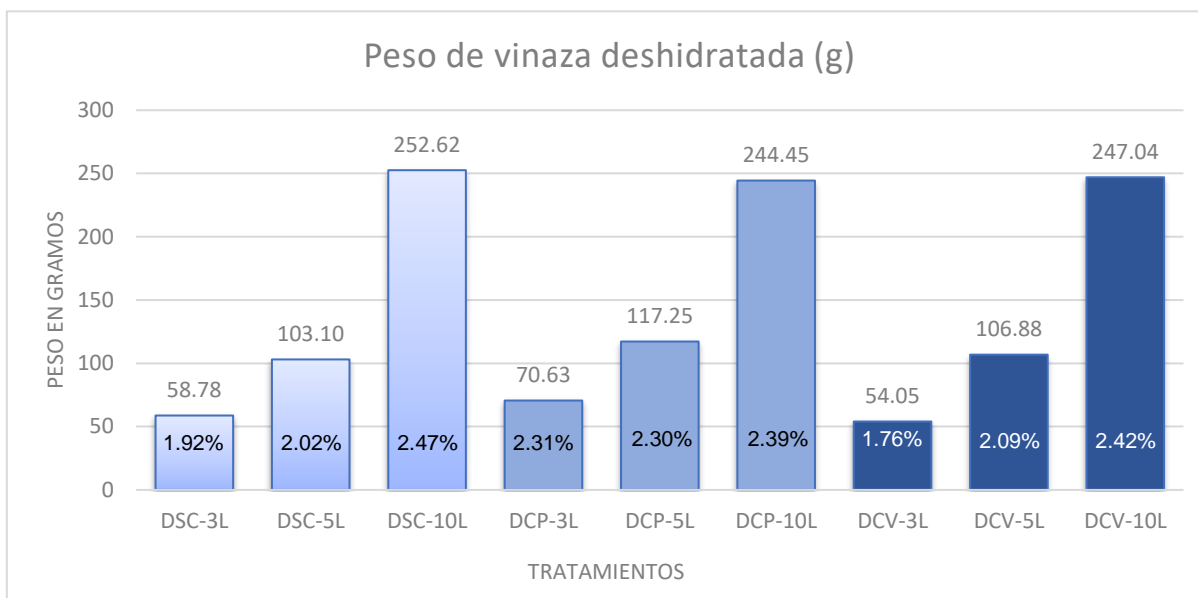


Figura 3. Peso promedio de vinaza deshidratada en gramos obtenida en la deshidratación

Según estos datos obtenidos, el tratamiento con mayor cantidad de gramos fue el DSC-10L con 10212.00 gramos de peso líquido de vinaza cruda colocada (equivalente a 10.00 Litros), de este se obtuvo 252.62 gramos de deshidratado de vinaza completamente seco que representa el 2.47%. Mientras que DCV-10L obtuvo 247.04 gramos de deshidratado de vinaza que representa el 2.42% y el tratamiento DCP-10L obtuvo 244.45 gramos de deshidratado de vinaza que representa el 2.39%.

4.2 Variables ambientales

4.2.1 Análisis paramétricos, lámina evaporada y variables ambientales para DSC

El cuadro 5 muestra al tratamiento DSC-10L con el menor coeficiente de variación en la mayoría de las variables: temperatura ambiente con 1.30%, radiación solar con 5.11%, humedad relativa con 7.52% y velocidad del viento con 20.43 km/h, excepto en la nubosidad con 57.61%, por lo que estas variables influyeron para obtener la mayor media en lámina evaporada por hora de 0.54 mm/hora, con una desviación estándar de 0.09 mm y un coeficiente de variación de 16.65%. Mientras que el DSC-5L obtuvo la menor media de 0.44 mm/hora, una desviación estándar de 0.17 mm, y un coeficiente de variación de 38.35%.

Cuadro 5. Variables ambientales, lámina evaporada, para el deshidratador sin cobertura DSC

Tratamiento	Lámina evaporada (mm)			Humedad relativa %		
	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación
DSC-3L	0.45	0.11	24.72	61.79	6.44	10.42
DSC-5L	0.44	0.17	38.35	63.96	7.15	11.18
DSC-10L	0.54	0.09	16.65	59.05	4.44	7.52
Tratamiento	Temperatura ambiente (°C)			Nubosidad %		
	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación
DSC-3L	27.55	0.91	3.30	30.93	25.87	83.64
DSC-5L	27.48	1.40	5.10	61.36	19.19	31.28
DSC-10L	28.23	0.37	1.30	35.89	20.67	57.61
Tratamiento	Radiación solar (W/m ²)			Velocidad del Viento (Km/h)		
	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación
DSC-3L	804.80	109.51	13.61	2.05	0.66	32.39
DSC-5L	699.36	166.71	23.84	2.24	0.83	37.14
DSC-10L	842.41	43.08	5.11	2.41	0.49	20.43

El tratamiento DSC-10L, presento el mejor rendimiento en lámina evaporada, bajo las condiciones ambientales del experimento, siendo estas mayores a las presentadas por Lucio (2015), donde menciona que para que exista una alta tasa de evaporación de agua se necesita de tres factores claves: Calor (radiación solar por encima de los 500 W/m² y temperaturas arriba de los 27.00°C); Humedad relativa del 45.00% y Velocidad del viento de 1.80 Km/h a 5.40 Km/h. Adicional a estos factores, menciona que a mayor superficie del espejo del agua más cantidad de moléculas superficiales son capaces de escaparse, también depende del tipo de recipiente contenedor, pues a mayor grosor menor capacidad de evaporación ya que se dedica más calor para el recipiente. Lo que significa que el tratamiento DSC-10L con un área de 1.00m² y una bandeja de cerámica negra favorece a una eficiente evaporación.

Según Hernández (2014), los días nublados la radiación solar difusa predomina y aumenta de manera considerable sobre la radiación solar directa; para el caso de la nubosidad presente en esta investigación se obtuvo un promedio de 35.89% (representando 3/8 octales) el cual se interpreta como un cielo parcialmente nublado (ver Figura A-15); lo cual según la investigación realizada por Yabroudi *et al.* (2011) indica que, independientemente de las condiciones ambientales siempre existe evaporación aunque la cantidad disminuye a medida lo hace la radiación solar, por tanto un cielo parcialmente nublado produce un 80.00% de efectividad en

la evaporación en comparación con un cielo despejado dado que la radiación directa es absorbida en mayor parte por las nubes.

4.2.2 Análisis paramétricos, Temperatura interna y variables ambientales para DCP

El cuadro 6 muestra al tratamiento DCP-3L con el menor coeficiente de variación en las variables: temperatura ambiente con 1.01%, radiación solar con 7.73%, humedad relativa con 6.10%, velocidad del viento con 21.51 Km/h y nubosidad con 51.51%, por lo que estas variables influyeron para obtener la mayor media en temperatura interna por hora de 53.00°C/hora, con una desviación estándar de 3.56°C y un coeficiente de variación de 6.72%. Mientras que el DCP-10L obtuvo la menor media de 50.08°C/hora, una desviación estándar de 5.11°C, y un coeficiente de variación de 10.19%.

Cuadro 6. Variables ambientales para deshidratador con cobertura de plástico DCP

Tratamiento	Temperatura interna(°C)			Humedad relativa %		
	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
DCP-3L	53.00	3.56	6.72	60.38	3.68	6.10
DCP-5L	50.50	6.16	12.19	59.42	9.11	15.32
DCP-10L	50.08	5.11	10.19	59.22	6.65	11.22
Tratamiento	Temperatura ambiente (°C)			Nubosidad %		
	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
DCP-3L	28.01	0.28	1.01	48.74	25.1	51.51
DCP-5L	27.91	1.55	5.55	50.33	29.49	58.60
DCP-10L	28.10	1.05	3.75	44.86	19.78	44.09
Tratamiento	Radiación solar (W/m ²)			Viento (Km/h)		
	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
DCP-3L	832.89	64.38	7.73	2.05	0.49	23.84
DCP-5L	715.14	149.55	20.91	1.99	0.45	22.47
DCP-10L	759.97	163.82	21.56	2.40	0.19	7.87

El tratamiento DCP-3L, presentó la mayor temperatura interna, bajo las condiciones ambientales en la investigación, con una radiación solar de 832.89 W/m² y temperatura ambiente con media de 28.01°C. Santos *et al.* (2017), en su estudio sobre deshidratadores solares en Colombia, registraron radiaciones solares promedio de 580.50 W/m² y temperatura ambiente de 30.00°C; también en otra investigación Pérez y Salazar (2015) en Cartagena, Colombia obtuvieron datos de radiación solar promedio de 750.00 W/m² y temperaturas ambientes de 33.00°C, al mismo tiempo mencionan, para que ocurra una mayor eficiencia

deben presentarse las mejores condiciones ambientales, predominando las altas temperaturas y una radiación solar mayor de 700 W/m^2 . DCP-3L cumple con las condiciones óptimas para obtener una buena eficiencia en la deshidratación de vinaza cruda.

Para el caso de la humedad relativa del ambiente Sabadon (2017), presentó en su estudio, promedios de 65.00%; mientras que el valor de humedad relativa del ambiente en esta investigación en promedio fue de 60.38% los cuales ejercieron un efecto positivo en cuanto a la destilación de la vinaza. García *et al.* (2010) explica que el aumento de la humedad relativa favorece a la condensación debido a que la radiación en climas tropicales es menor a los 1000 W/m^2 en promedio, por lo que el elevado porcentaje de humedad provoca una notoria razón de condensación lo que compensa las bajas radiaciones.

4.2.3 Análisis paramétricos, Temperatura interna y variables ambientales para DCV

A continuación, se muestran los resultados del análisis paramétrico del deshidratador con cobertura de vidrio (DSV), la temperatura interna y los promedios de las variables ambientales

El cuadro 7 muestra al tratamiento DCV-5L con el menor coeficiente de variación en la mayoría de las variables: temperatura ambiente con 1.17%, radiación solar con 7.16%, humedad relativa con 6.57%, velocidad del viento con 22.25 Km/h, excepto en nubosidad con 62.80%, por lo que estas variables influyeron para obtener la mayor media en temperatura interna por hora de $59.98^\circ\text{C}/\text{hora}$, con una desviación estándar de 2.67°C y un coeficiente de variación de 4.45%. Mientras que el DCV-10L obtuvo la menor media de $55.99^\circ\text{C}/\text{hora}$, una desviación estándar de 7.75°C , y un coeficiente de variación de 13.85%. Observando que el tratamiento con las variables climáticas más estables fue el DCV-5L.

El tratamiento DCV-5L, presentó la mayor temperatura interna con 59.98°C , bajo las condiciones ambientales en la investigación, con una radiación solar de 816.65 W/m^2 y temperatura ambiente con media de 28.04°C . Las variables ambientales descritas tienen relación directa con la temperatura interna del deshidratador, realizada en esta investigación, el cual dio como resultado en promedio de 59.98°C , este resultado se asemeja a los descritos en la investigación realizada en Argentina por Zurlo *et al.* (s.f.) el cual hizo pruebas con deshidratadores con coberturas de vidrio de 5mm de espesor, bajo condiciones ambientales propias de la época, obteniendo datos promedio de 65.80°C .

Cuadro 7. Variables ambientales para deshidratador con cobertura de vidrio DCV

Tratamiento	Temperatura interna (°C)			Humedad relativa %		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
DCV-3L	59.76	8.64	14.47	60.83	6.82	11.22
DCV-5L	59.98	2.67	4.45	60.24	3.96	6.57
DCV-10L	55.99	7.75	13.85	58.99	8.62	14.62
Tratamiento	Temperatura ambiente (°C)			Nubosidad %		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
DCV-3L	28.00	1.12	3.99	47.80	32.45	67.88
DCV-5L	28.04	0.33	1.17	42.42	26.64	62.80
DCV-10L	27.84	1.43	5.13	45.78	27.94	61.03
Tratamiento	Radiación solar (W/m ²)			Viento Km/h		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
DCV-3L	727.59	179.27	24.64	2.89	0.78	27.21
DCV-5L	816.65	58.51	7.16	2.01	0.45	22.25
DCV-10L	756.92	172.91	22.84	2.02	0.48	23.73

Al-Hinai *et al.* (2002) plantea que la velocidad del viento es un factor que influye en la deshidratación debido a que disminuye la temperatura de la cobertura que favorece a una mayor condensación, asegurando que este es más influyente si la velocidad se ve aumentada entre 3.60 Km/h a 10.80 Km/h lo cual genera un incremento a la condensación de un 8.00%; siendo la velocidad promedio en esta investigación de 2.23 Km/h, la cual generó condensación y deshidratación pero no la suficiente para aumentar la productividad mencionada por el autor. Sin embargo, Yavara (2013) en su investigación realizada en Chile registro velocidades de viento promedio de 5.40 Km/h, el cual genero una productividad de deshidratación del 13.00%, al mismo tiempo señala que incluso a bajas velocidades de viento (<1.00m/s), se genera deshidratación en comparación a condiciones sin viento.

4.3 Análisis físico químico

4.3.1 Vinaza cruda y condensado de vinaza

4.3.1.1 Nitrógeno, Fósforo y Potasio

Los análisis químicos realizados para Nitrógeno, Fósforo y Potasio están dados en porcentajes para la vinaza cruda sin tratar al igual que las muestras de condensado de vinaza obtenidas por los deshidratadores solares con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros (Cuadro 8).

Cuadro 8. Porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio obtenido en la vinaza cruda y en los condensados de vinaza

Análisis	Vin	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DVP-3L	DCV-5L	DCV-10L	Promedio/condensado
N (%)	0.12	0.0077	0.0056	0.0051	0.0082	0.0105	0.0312	0.0114
P (%)	1.67	0.0006	0.0007	0.0003	0.0001	0.0002	0.0001	0.0003
K (%)	0.70	0.0004	0.0001	0.0004	0.0004	0.0002	0.0003	0.0003

El porcentaje Nitrógeno en la vinaza cruda es mayor con relación a los condensados de vinaza, con 0.12% (Vin). El condensado de vinaza con menor porcentaje fue el DCP-10L con 0.0051% y el mayor porcentaje lo obtuvo el DCV-10L con 0.0312%.

El porcentaje de Fósforo en la vinaza cruda es mayor con relación a los condensados de vinaza, con 1.67% (Vin). El condensado de vinaza con menor porcentaje fueron dos: DCV-10L y DCV-3L con 0.0001%, y el mayor porcentaje lo presentó el DCP-5L con 0.0007%.

El porcentaje de Potasio en la vinaza cruda es mayor con relación a los condensados de vinaza, con 0.70% (Vin). El condensado de vinaza con menor porcentaje fue el DCP-5L con 0.0001% y el mayor porcentaje lo presentaron DCP-3L, DCP-10L y DCV-3L con 0.0004%.

Se observa que la vinaza cruda utilizada en esta investigación en cuanto a porcentajes de Nitrógeno y Potasio es menor, pero a la vez es mayor en Fósforo, a la usada por Guinea (2013), en la cual los análisis químicos realizados a la vinaza cruda presentaron promedios en Nitrógeno 0.25%, Fósforo 0.02% y Potasio 1.26%. Y la vinaza cruda utilizada en este estudio es mayor a los porcentajes de la vinaza cruda analizada por el Ingenio La Cabaña S. A de C.V en las zafra 2011, 2012 y 2013 con promedios en Nitrógeno 0.006%, Fósforo 0.015% y Potasio 0.65%. Esta variación en los porcentajes es causada según Korndorfer *et al.* (2010), debido a que la composición de la vinaza es muy variable y ésta dependerá de las características de la materia prima usada en la producción de etanol, eficiencia de la fermentación, destilación, variedades y maduración de la caña de azúcar.

Mientras que en el condensado de vinaza obtenido los promedios en esta investigación son: Nitrógeno 0.0114%; Fósforo 0.0003%; y Potasio 0.0003%. Según Vásquez (2008) presentan: para Nitrógeno el té de estiércol 1.00% y biol de 2.06%; para Fósforo el té de estiércol 0.19% y el biol 0.27%; y para Potasio el té de estiércol 0.93% y biol de 1.61%. Se dice entonces que

el porcentaje del deshidratado de vinaza en Nitrógeno, Fósforo y Potasio es menor que los porcentajes de los bioabonos, té de estiércol y biol (Cuadro 8).

Cuadro 9. Comparación en porcentajes de N, P, K entre vinaza cruda, condensado de vinaza, bioabonos orgánicos y Norma salvadoreña para aguas residuales

	Vinaza cruda	Condensado de vinaza	Té de Estiércol	Biol	Valor máximo de la Norma
N (%)	0.12	0.0114	1.00	2.06	0.0050
P (%)	1.67	0.0003	0.19	0.27	0.0015
K (%)	0.70	0.0003	0.93	1.61	No especifica

Según parámetros complementarios sobre valores permisibles para aguas residuales de la Norma Salvadoreña Obligatoria para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor, los valores máximos permisibles de Nitrógeno y Fósforo deben ser 50.00mg/L que equivale a 0.005% y 15.00mg/L que equivale a 0.0015% respectivamente (Cuadro A-22). Según el Cuadro 9, la vinaza cruda o sin tratar con 0.12% de Nitrógeno y 1.67% de Fósforo; y el producto líquido obtenido con 0.0114% de Nitrógeno y 0.0003% Fósforo no pueden ser vertidas ya que sobrepasan los valores máximos permisibles.

4.3.1.2 pH

Los datos de pH están dados en un rango del 1.00 al 14.00. Los resultados para la vinaza cruda sin tratar y las muestras de deshidratado de vinaza obtenidas por los deshidratadores solares con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. pH obtenido en la vinaza cruda y en el condensado de vinaza

	Vin	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DCV-3L	DCV-5L	DCV-10L	Promedio/ condensado
pH	4.97	3.41	3.39	3.36	3.57	3.52	3.48	3.45

El pH obtenido en la vinaza cruda es mayor con relación al condensado de vinaza, con 4.97 (Vin). El condensado de vinaza con menor número en la escala fue el DCP-10L con 3.36 y el deshidratado con mayor número en la escala es el DCV-10L con 3.57.

García y Rojas (2005) reportan un pH de 4.30 y la vinaza cruda usada por Guinea (2013) fue de 4.90, el ingenio La Cabaña reporta en promedio pH de 4.00 para las zafras de 2011, 2012

y 2013. Se observa que el pH de la vinaza cruda no varía y se mantiene entre 4.00 y 5.00, así que se clasifica según Plaster (2000) como ácida.

El promedio de pH del condensado de vinaza en esta investigación es de 3.45. Mientras que Vásquez (2008) reporta datos de pH para el té de estiércol de 5.97 y para el biol de 6.57, siendo estos dos de un pH ácido y neutro respectivamente, por lo cual el condensado de vinaza de esta investigación se clasifica como ácida.

Cuadro 11. Comparación de pH entre vinaza cruda, condensado de vinaza, bioabonos y norma salvadoreña para aguas residuales

	Vinaza cruda	Vinaza ingenio	Condensado de vinaza	Té de estiércol	Biol	Valor permisible de la Norma
pH	4.97	4.00	3.45	5.97	6.57	5.50 - 9.00

Según los parámetros complementarios sobre valores permisibles para aguas residuales de la norma salvadoreña por CONACYT (2009), el pH debe estar en un rango de 5.50 – 9.00, por lo cual la vinaza cruda sin tratar con un pH de 4.97 y el condensado de vinaza de esta investigación con un pH de 3.45, no pueden ser vertidas ya que no están dentro del rango permisible.

4.3.1.3 Salinidad: Conductividad eléctrica y Sólidos Disueltos Totales

Esta expresada en partes por millón, microsiemens/centímetro y miligramos/litro, para la vinaza cruda sin tratar y las muestras de condensado de vinaza obtenidas por los deshidratadores solares con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros (Cuadro 12).

Cuadro 12. Salinidad expresada en ‰, mS/cm y mg/L obtenida en la vinaza cruda y en los condensados de vinaza

	Vin	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DCV-3L	DCV-5L	DCV-10L	Promedio/condensado
Sal (‰)	8.18	0.15	0.15	0.14	0.19	0.39	0.33	0.23
Ce- (mS/cm)	14.90	0.36	0.33	0.29	0.47	0.83	0.72	0.50
STD (mg/L)	0.0081	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0004	0.0003	0.0002

La salinidad en la vinaza cruda es mayor con relación al condensado de vinaza, con 8.18 ‰ (Vin). El condensado de vinaza con menor cantidad en partes por millón fue el DCP-10L con 0.14 ‰ y la mayor cantidad lo presentó el DCV-5L con 0.39 ‰.

La conductividad eléctrica en microsiemens/centímetro en la vinaza cruda es mayor con relación al condensado de vinaza, con 14.90 ms/cm (Vin). El condensado de vinaza con menor valor de salinidad fue el DCP-10L con 0.29 ms/cm y la mayor cantidad la presentó el DCV-5L con 0.83 ms/cm.

Los sólidos totales disueltos en miligramos/litro en la vinaza cruda es mayor con relación al condensado de vinaza, con 0.0081 mg/L (Vin). El condensado de vinaza con menor cantidad de miligramos/litro fue el DCP-10L con 0.0001 mg/L y la mayor cantidad lo presentó el DCV-5L con 0.0004 mg/L.

La salinidad en la vinaza cruda fue de 8.18‰ y en el promedio de condensado de vinaza 0.23‰, con una conductividad eléctrica en vinaza cruda de 14.90 mS/cm que equivale a 14.90 dS/m y el condensado con 0.50 mS/cm que equivale a 0.50 dS/m, los sólidos totales disueltos en vinaza cruda de 0.0081 mg/L y en el condensado de vinaza con 0.0002 mg/L.

Si se estima que el condensado de vinaza obtenido puede ser utilizado como agua de riego, debe ser evaluado y realizársele mediciones de la calidad a esta agua para uso agrícola, por lo que según Castellanos *et al.* (2000), existen variables para clasificar la calidad del agua desde una perspectiva agrícola, para el caso de esta investigación se compara la concentración de sólidos disueltos o sales.

Cuadro 13. Comparación de salinidad, conductividad eléctrica y solidos totales disueltos con parámetros de calidad de agua para uso agrícola y valor de conductividad eléctrica (riesgo de salinidad)

	Vinaza cruda	Condensado de vinaza	Parámetros de calidad de agua para uso agrícola	Calidad de agua para irrigación
Sal (‰)	8.18	0.23	No especifica	No especifica
Ce- (mS/cm)	14.90	0.50	0.70 - 3.00	0.75 - 3.00
STD (mg/L)	0.0081	0.0002	450 – 2000	No especifica

Según Castellanos *et al.* (2000), la salinidad es medida a través de la conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (TDS). La salinidad de la vinaza cruda se cataloga según la CE con el grado de severo, y el condensado de vinaza sin ningún grado de restricción, y para los TDS la vinaza cruda y el condensado son sin ningún grado de restricción, según los parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola (Cuadro A-4) la vinaza cruda no puede ser utilizada como agua de riego.

Según FAO (s.f) los parámetros de calidad para agua de riego de la normativa oficial para El Salvador por Decreto N° 51, publicado en el Diario Oficial de la República el 16 de noviembre de 1987, la cual establece las normas de calidad deseables para irrigación y los parámetros de calidad para agua de riego, por lo que la vinaza cruda con 14.90 mS/cm sobrepasa el máximo valor permitido que es > 3.00 por lo que se considera como de muy alto riesgo de salinidad o de reducción de la permeabilidad. Mientras que el condensado de vinaza obtenido está por debajo de < 0.75 con 0.50 mS/cm, por lo que se considera de bajo riesgo de salinidad o de reducción de la permeabilidad (Cuadro A-23). La permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración.

La anterior comparación de la FAO (s.f) que hace referencia a la Norma salvadoreña de las normas de calidad deseables para irrigación concuerda con lo mencionado por Castellanos *et al.* (2000), ya que la vinaza cruda no es apta como agua para riego mientras que el condensado de vinaza obtenido en esta investigación si se considera apta como agua para riego.

4.3.1.4 Temperatura

Los datos de temperatura están dados en grados Celsius, para la vinaza cruda sin tratar y las muestras de condensado de vinaza obtenidas por los deshidratadores solares con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros (Cuadro 14).

Cuadro 14. Temperatura en $^{\circ}\text{C}$ obtenida en la vinaza cruda y en los destilados de vinaza

	Vin	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DCV-3L	DCV-5L	DCV-10L	Promedio/condensado
T ($^{\circ}\text{C}$)	27.00	25.75	26.78	28.25	27.25	27.25	26.86	27.02

Los grados centígrados de temperatura de la vinaza cruda fueron similares al condensado de vinaza, con 27.00°C (Vin). El condensado de vinaza con menor temperatura fue DCP-3L con 25.75°C y la mayor temperatura la presento el DCP-10L con 28.25°C.

Se observa que la temperatura no varía más de 2.50 grados Celsius entre condensado de vinaza y se obtuvo un promedio de 27.02°C por lo que decimos que la temperatura del condensado de vinaza y la vinaza cruda son similares entre sí.

4.3.1.5 Materia Orgánica

Los datos de materia orgánica están dados en porcentajes, para la vinaza cruda sin tratar y las muestras de condensado de vinaza obtenidas por los deshidratadores solares con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros (Cuadro 15).

Cuadro 15. Materia orgánica obtenida % en la vinaza cruda y en los condensados de vinaza

	Vin	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DCV-3L	DCV-5L	DCV-10L	Promedio/condensado
MO (%)	23.17	5.18	6.32	5.57	7.67	7.57.	11.57	7.31

El porcentaje de materia orgánica en la vinaza cruda es mayor con relación al condensado de vinaza, con 23.17% (Vin). El condensado de vinaza con menor porcentaje fue el DCP-3L con 5.18% y el mayor porcentaje lo presentó el DCV-10L con 11.57%.

El promedio del condensado de vinaza resultado en esta investigación fue de 7.31%. Mientras que Vásquez (2008) reporta datos en el té de estiércol con 27.80% y el biol con 61.66%. El promedio de porcentaje de materia orgánica del condensado de vinaza es menor a la vinaza cruda sin tratar y a los bioabonos líquidos comparados en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Comparación de porcentaje de materia orgánica de vinaza cruda, condensado de vinaza y bioabonos

	Vinaza cruda	Condensado de vinaza	Té de estiércol	Biol
MO (%)	23.17	7.31	27.80	61.66

Se observa una disminución en el porcentaje de materia orgánica en el condensado de vinaza, ya que la vinaza cruda sin tratar transporta materia orgánica del proceso de deshidratación y el condensado de vinaza resultado en esta investigación paso por un proceso de separación de sólidos del líquido.

4.3.1.6 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ está expresada en miligramos/litro para la vinaza cruda sin tratar y las muestras de condensado de vinaza obtenida por los deshidratadores solares con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros (Cuadro 17).

Cuadro 17. Comparación del DBO₅ de vinaza cruda investigada, vinaza del ingenio, condensado de vinaza y la Norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor

Identificación de Muestra	Resultado investigación	Resultado Ingenio	Norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor	Dictamen
Vinaza cruda	2,106 mg/L	10,933 mg/L	3,000 mg/L	Apta/No apta para descargar
Condensado de vinaza	0 mg/L	-	3,000 mg/L	Apta para descargar

Se observa que la vinaza cruda presentó 2,106 mg/L, la vinaza del ingenio La Cabaña presentó 10,933 mg/L, mientras que el condensado de vinaza presentó 0.00 mg/L y la norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor presenta un máximo permisible para la DBO₅ de 3,000 mg/L CONACYT (2009) (Cuadro A-5).

4.3.1.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO está expresada en miligramos/litro para la vinaza cruda sin tratar y las muestras de condensado de vinaza obtenida por los deshidratadores solares con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros.

En el cuadro 18 se observa que la vinaza cruda presentó 50,700 mg/L, la vinaza del ingenio La Cabaña presentó 15,700 mg/L, mientras que el condensado de vinaza presentó 9,623 mg/L. Y la norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor presenta un máximo permisible en la DQO de 3,500 mg/L CONACYT (2009). Se consideran, la vinaza cruda, la vinaza del ingenio y el condensado de vinaza no aptas para ser descargadas a cuerpos receptores (Cuadro A-5). Sin embargo se observa que la vinaza cruda al ser tratada se reduce en 81.02% en la Demanda Química de Oxígeno, es decir que el condensado de vinaza obtenido es menos contaminante que la vinaza cruda sin tratar.

Cuadro 18. Comparación de DQO de vinaza cruda investigada, vinaza del ingenio, condensado de vinaza y la Norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.

Identificación de Muestra	Resultado investigación	Resultado Ingenio	Norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor	Dictamen
Vinaza cruda	50,700 mg/L	15,740 mg/L	3,500 mg/L	No apta para descargar
Condensado de vinaza	9,623 mg/L	-	3,500 mg/L	No apta para descargar

4.3.2 Vinaza cruda y vinaza deshidratada

4.3.2.1 Nitrógeno, Fósforo y Potasio

Los análisis químicos realizados Nitrógeno, Fósforo y Potasio están dados en porcentajes para la vinaza cruda sin tratar y las muestras de vinaza deshidratada obtenidas por los deshidratadores solares sin cobertura, con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros (Cuadro 19).

Cuadro 19. Porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio obtenido en la vinaza cruda y en las vinazas deshidratadas

Análisis	Vin	DSC-3L	DSC-5L	DSC-10L	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DVP-3L	DCV-5L	DCV-10L	Promedio/Vin. des.
N (%)	0.12	2.22	2.14	2.09	2.00	2.10	2.07	2.15	2.24	2.15	2.13
P (%)	1.67	0.26	0.10	0.16	0.10	0.17	0.17	0.11	0.18	0.18	0.16
K (%)	0.70	15.51	15.78	13.43	15.33	12.97	12.38	15.98	15.07	13.67	14.46

El porcentaje de Nitrógeno en la vinaza cruda es menor con relación a la vinaza deshidratada, con 0.12% (Vin). La vinaza deshidratada con menor porcentaje fue el DCP-3L con 2.00% y el mayor porcentaje lo obtuvo el DCV-5L con 2.24%.

El porcentaje de Fósforo en la vinaza cruda es mayor con relación a la vinaza deshidratada, con 1.67% (Vin). La vinaza deshidratada con menor porcentaje fueron dos: DSC-5L y DCP-3L con 0.10% y el mayor porcentaje lo obtuvo el DSC-3L con 0.26%.

El porcentaje de Potasio en la vinaza cruda es menor con relación a la vinaza deshidrata, con 0.70% (Vin). La vinaza deshidratada con menor porcentaje fue el DCP-10L con 12.38% y el mayor porcentaje lo obtuvo el DCV-3L con 15.98%.

Los promedios obtenidos de los elementos mayores en esta investigación son: Nitrógeno 2.13%; Fósforo 0.16%; y Potasio 14.46%. Los contenidos de niveles óptimos para abonos orgánicos según lo menciona Soto y Meléndez (2004), deben de ser: para Nitrógeno mayores del 2.00%; Fósforo entre 0.15% y 1.50%; y para Potasio no se presentan rangos de referencia para niveles óptimos. Las vinazas deshidratadas obtenidas en la investigación están en lo óptimo permitido para ser clasificado como abono orgánico.

Según un estudio sobre el “Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica”, la composición química de los abonos mostró: para Nitrógeno en el compost 1.14% y en el lombricompost 2.55%; para Fósforo, compost con 0.35% y lombricompost con 0.27%; y para Potasio compost con 0.61% y lombricompost con 2.07% (Orozco y Muñoz, 2012). En otra investigación se mencionan los porcentajes: para Nitrógeno; bocashi con 1.51% y gallinaza con 4.19%; para Fósforo, bocashi con 1.58% y gallinaza con 2.58%; y para Potasio bocashi con 1.13% y gallinaza con 2.80% (Quintanilla *et al.* 2013).

Cuadro 20. Comparación de N, P, K de la vinaza deshidratada con abonos orgánicos y rangos óptimos de abonos orgánicos

	Vinaza cruda	Vinaza deshidratada	Compost	Lombri compost	Bocachi	Gallinaza	Abono orgánico
N (%)	0.12	2.13	1.14	2.55	1.51	4.19	> 2.00
P (%)	1.67	0.16	0.35	0.27	1.58	2.58	0.15 - 1.50
K (%)	0.70	14.46	0.61	2.07	1.13	2.80	No específica

Los porcentajes promedios de los elementos mayores fueron comparados con abonos orgánicos de uso común en la agricultura que son compost, lombricompost, bocashi y gallinaza. El Nitrógeno obtenido en esta investigación es mayor que el compost y el bocashi y menor que el lombricompost y la gallinaza; mientras que el Fósforo obtenido es menor que los abonos orgánicos antes mencionados; y el Potasio obtenido es mayor que estos abonos orgánicos.

4.3.2.2 pH

Los datos de pH están dados en un rango del 1.00 al 14.00, para la vinaza cruda sin tratar y las muestras de vinaza deshidratada obtenidas de los deshidratadores solares sin cobertura y con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros (Cuadro 21).

Cuadro 21. pH obtenido en la vinaza cruda y en las vinazas deshidratadas

	Vin	DSC-3L	DSC-5L	DSC-10L	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DCV-3L	DCV-5L	DCV-10L	Promedio/Vin. des.
pH	4.97	5.90	5.91	5.80	5.99	5.91	6.02	5.87	5.85	5.96	5.90

El pH obtenido en la vinaza cruda es menor con relación a la vinaza deshidratada, con 4.97 (Vin). La vinaza deshidratada con menor número en la escala es el DSC-10L con 5.80 y la vinaza deshidratada con mayor número en la escala es el DCP-10L con 6.02.

Cuadro 22. Comparación de pH de vinaza cruda, vinaza deshidratada y abonos orgánicos

	Vinaza cruda	Vinaza deshidratada	Compost	Lombri compost	Bocachi	Gallinaza
pH	4.97	5.90	7.30	8.50	7.96	6.91

El promedio de pH en esta investigación es de 5.90. Mientras que Orosco y Muñoz (2012), reportan datos de pH en el compost de 7.30 y lombricompost de 8.50. En otra investigación hecha por Quintanilla *et al.* (2013), se presentan pH para bocachi de 7.96 y en gallinaza de 6.91. Los datos de los abonos orgánicos comparados tienden a estar arriba del 7.00 por los que según Plaster (2000) lecturas entre 7.00 y 14.00 son alcalinas o básicas, a excepción de la gallinaza que está debajo de 7.00 y al mismo tiempo arriba de 6.00, por lo que se clasifica como neutra. Lo contrario se puede decir del pH de la vinaza deshidratada que es menor de 6.00 por lo que se cataloga como ligeramente ácido.

4.3.2.3 Materia Orgánica

Los datos de materia orgánica están dados en porcentajes, para la vinaza cruda sin tratar y las muestras de vinaza deshidratada obtenidas por los deshidratadores solares sin cobertura y con cobertura de plástico y vidrio con los volúmenes de tres, cinco y diez litros (Cuadro 23).

Cuadro 23. Materia orgánica obtenida en % en la vinaza cruda y en las vinazas deshidratadas

	Vin	DSC-3L	DSC-5L	DSC-10L	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DCV-3L	DCV-5L	DCV-10L	Prom/Vin. des.
MO (%)	23.17	46.01	44.20	48.50	44.20	48.25	49.62	47.21	48.68	47.73	47.16

El porcentaje de materia orgánica en la vinaza cruda es menor con relación a la vinaza deshidratada con 23.17% (Vin). La vinaza deshidratada con menor porcentaje fueron dos: el DSC-5L y DCP-3L con 44.20% y el mayor porcentaje lo presentó el DCP-10L con 49.62%.

Cuadro 24. Comparación de porcentaje de materia orgánica de vinaza cruda, vinaza deshidratada y abonos orgánicos

	Vinaza cruda	Vinaza deshidratada	Compost	Lombri compost	Bocachi	Gallinaza
MO %	23.17	47.16	13.80	34.40	15.17	43.25

El promedio de materia orgánica de la vinaza deshidratada es de 47.16%. Orozco y Muñoz (2012) presentan datos en el compost de 13.80% y lombricompost de 34.40% también Quintanilla *et al.* (2013) presentan en bocachi 15.17% y gallinaza 43.25%.

El porcentaje en la vinaza deshidratada es mayor al presentado por los abonos orgánicos de uso común. Por lo que al adicionar al suelo este producto contribuiría a aumentar el contenido de materia orgánica en dicho suelo.

4.4 Resultados económicos

4.4.1 Costos de inversión de los deshidratadores

Los costos de inversión de fabricación de los deshidratadores solares, el deshidratador sin cobertura (DSC) obtuvo el menor costo con \$327.58, mientras que el deshidratador con cobertura de vidrio (DCV) registro el mayor costo con \$415.54 (Cuadro A-9).

4.4.2 Análisis de costos/efectividad

El análisis muestra el costo que tiene deshidratar una cantidad específica de vinaza cruda de caña de azúcar, en cada uno de los deshidratadores utilizados en el ensayo en una unidad de tiempo (hora). Tomando en cuenta los costos totales de construcción de cada prototipo de deshidratador solar, el volumen de vinaza cruda utilizada en la fase de campo de la investigación fue de 72.00 litros (Cuadro 25).

Cuadro 25. Relación costo/efectividad en horas necesarias para deshidratar la vinaza cruda

D	Costo/ Deshidratador A	Vinaza cruda B	Horas de deshidratación C	Deshidratado/ Hora D=B/C	Eficiencia E=B/C*100	Costo/ Efectividad F=A/C
---	------------------------------	----------------------	---------------------------------	--------------------------------	-------------------------	--------------------------------

DSC	\$327.58	72.00 L	121.20 h	0.59 L/h	59.41%	2.70 \$/h
DCP	\$377.54	72.00 L	264.11 h	0.28 L/h	27.61%	1.43 \$/h
DCV	\$415.54	72.00 L	97.90 h	0.74 L/h	73.54%	4.24 \$/h

El deshidratador sin cobertura (DSC) obtuvo una relación costo/efectividad de 2.70 \$/h, es decir que cada hora deshidrató 0.59 L a un costo de \$2.70 con una eficiencia del 59.41%. El deshidratador con cobertura de plástico (DCP) obtuvo una relación costo/efectividad de 1.43 \$/h, es decir que cada hora deshidrató 0.28 L a un costo de \$1.43 con una eficiencia del 27.61%. Y el deshidratador con cobertura de vidrio (DCV) obtuvo una relación costo/efectividad de 4.24 \$/h, es decir que cada hora deshidrató 0.74 L a un costo de \$4.24 con una eficiencia del 73.54%.

Los valores de la relación costo/efectividad nos indican un valor asignado de costo de deshidratación por hora y se observa que, aunque el deshidratador de vidrio posee el mayor costo refleja la mayor eficiencia, esto se traduce a que el material de cobertura de vidrio es más eficiente para la deshidratación de la vinaza cruda de caña de azúcar en un menor tiempo. El tipo de deshidratador solar más conveniente dependerá del objetivo que se desee lograr con la deshidratación de vinaza, y el investigador o el productor puede elegir el deshidratador que más se adecue a su situación.

5. CONCLUSIONES

El mejor resultado de eficiencia en cuanto a la variable horas de deshidratación lo obtuvo el deshidratador con cobertura de vidrio con volumen de 5.00 litros de vinaza (DCV-5L), con 6.16 horas y una eficiencia del 81.17%.

El mejor resultado de eficiencia en cuanto a la variable volumen de condensado lo obtuvo el deshidratador con cobertura de plástico con volumen de 10.00 litros de vinaza (DCP-10L), con un porcentaje de 94.24% equivalente a 9.42 L.

El mejor resultado de eficiencia en cuanto a la variable gramos de vinaza deshidratada lo obtuvo el deshidratador con cobertura de vidrio con volumen de 10.00 litros de vinaza (DCV-10L), con un porcentaje de 2.42% equivalente a 247.04 g.

La lámina evaporada y las variables ambientales fueron más estables en el periodo donde se evaluó el deshidratador sin cobertura con un volumen de 10.00 litros de vinaza (DSC-10L).

La temperatura interna y las variables ambientales fueron más estables en el periodo donde se evaluó el DCP-3L y el DCV-5L.

El volumen de condensado y los gramos obtenidos de vinaza deshidratada fueron similares entre el DCP y DCV, es decir que estas variables son independientes al tipo de deshidratador a utilizar

La vinaza cruda y el condensado de vinaza no pueden ser descargadas a cuerpos receptores, ya que sobrepasan los valores máximos permisibles de la Norma Salvadoreña Obligatoria para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.

La vinaza cruda no puede ser utilizada como agua de riego agrícola, ya que presenta riesgo de reducción de la permeabilidad de los suelos. Mientras que el condensado de vinaza si puede ser utilizada como agua de riego agrícola, ya que presenta bajo riesgo de salinidad, por lo que no presenta riesgo de reducción de la permeabilidad de los suelos.

La vinaza deshidratada en porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y materia orgánica es similar a los porcentajes de abonos orgánicos de uso común y a la vez están dentro de los rangos óptimos de abonos orgánicos por lo tanto se clasifica como un abono orgánico. El pH de la vinaza deshidratada es ligeramente ácido.

La mejor relación costo/efectividad la presentó el deshidratador con cobertura de vidrio (DCV), ya que deshidrató con mayor eficiencia, es decir que deshidrató más volumen en menos tiempo, con relación a los otros deshidratadores.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar el deshidratador que más convenga, según el producto que se desee obtener, en términos de eficiencia en horas, volumen de condensado y gramos de vinaza deshidratada.

Se sugiere que se repita el ensayo en época seca, para observar el comportamiento de las variables ambientales.

Investigar acerca del comportamiento de la vinaza tratada como agua de riego y su impacto agromedioambiental en las estructuras fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del suelo; así como el impacto que puede resultar del uso de este producto sobre los cuerpos de agua subterráneos y superficiales.

A los estudiantes, docentes e investigadores de la Facultad de Ciencias Agronómicas, se les insta a realizar ensayos usando el condensado de vinaza y el deshidratado de vinaza, para evaluarlo como agua de riego y fertilizante orgánico respectivamente.

A los ingenios cañeros que busquen alternativas para el tratamiento de la vinaza cruda, como destilar la vinaza o hacer una doble destilación obteniendo así un condensado de vinaza que podría ser utilizado como agua de riego. O utilizar pozas de oxidación para reducir el volumen de vinaza aprovechando la evaporación y utilizar este producto secado como abono orgánico.

7. BIBLIOGRAFIA

Alfaro, R; Ocampo, R. s.f. Cambios Físico-Químicos provocados por la Vinaza en un Suelo Vertisol en Costa Rica. (en línea). Costa Rica. 13 p. Consultado 15 feb. 2017. Disponible en

https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:r_RTVZQDRXUJ:https://www.iaica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet%3Fc%3D443%26s%3D2884%26d%3D12532+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=sv

Al-Hinai, H; Al-Nassri. MS; Jubran. B. 2002. El efecto del diseño y los parámetros operativos climáticos en el rendimiento de un generador solar simple. Conversión y gestión de la energía (en línea). Turquía. Consultado 11 abr. 2019. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890401001200>.

Carrilho, E.N. Labuto, G. Kamogawa, G. 2016. Environmental Materials and Waste: Resource Recovery and Pollution Prevention: Destination of vinasse, a residue from alcohol industry: resource recovery and prevention of pollution. Universidade Federal de Sao Paulo. 22; 31p.

Castellanos JZ. Uvalle Bueno JX. Aguilar Santelises A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. La calidad del agua para uso agrícola. 2 ed. México. 146-153 p. Carrilho, E.N. Labuto, G. Kamogawa, G. 2016 Environmental Materials and Waste: Resource Recovery and Pollution Prevention: Destination of vinasse, a residue from alcohol industry: resource recovery and prevention of pollution. Universidade Federal de Sao Paulo. 22; 31p.

Castro D. 2014. Factores que determinan la evaporación (en línea). Chile. Consultado 11 abr. 2019. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/91320497/FACTORES-QUE-DETERMINAN-LA-EVAPORACION>

Chanfón Curbelo, J. M. Lorenzo Acosta, Y. 2014. Alternativas de tratamiento de las vinazas de destilería. Experiencias nacionales e internacionales. La Habana, Cuba. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA. 58; 60; 64p.

- Christofoletti, C.A, Escher, J.P, Correia, J.E, Urbano, J.F, Marinho, Fontanett, C.S. 2013.** Waste Management: Sugarcane vinasse Environmental implications of its use. (en línea). São paulo, Brasil. São Paulo State University. Consultado 9 feb. 2017. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Cintya_Christofoletti/publication/257300152_Sugarca ne_vinasse_Environmental_implications_of_its_use/links/0c96053370f2b0ffd5000000.pdf
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología). 2009.** Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. Norma NSO13.49.01:09. Acuerdo n° 249. San salvador, El Salvador, 11 mar. 17p. Lezcano. P. Mora, L SF. Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos. Las Vinazas de Destilería de Alcohol. Contaminación Ambiental o Tratamiento para Evitarlo. La Habana, Cuba. 48-49 p.
- Crespo Pérez C.S. 2004.** La Producción de Efluentes Líquidos Alcohólicos. Ecuador. Universidad de Guayaqui. 5;11;15p.
- Dos Santos J. D. Lopes da Silva, A, L. Luz Costa J. Newton Scheidt G, Novak A. C. Bittencourt Sydney E. Soccol C. R., 2012.** Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. São Paulo, Brasil. São Paulo State University. 8-12p.
- EL FARO. 2010.** Oportunidad y amenaza de los biocombustibles para El Salvador (en línea). El Salvador. Consultado 19 feb. 2017. Disponible en http://www.elfaro.net/es/201002/noticias/901/Oportunidad-y-amenaza-de-los-biocombustibles-para-El-Salvador.htm?st-full_text=all&tpl=11
- ECURED (enciclopedia cubana). 2010.** Vinaza. (en línea). Cuba. Consultado 7 may. 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Vinaza>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). s.f.** Anexo 2. Parámetros de calidad para agua de riego. (en línea). Consultado 30 abr. 2019. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reclnat/laderas/protec/6.pdf
- Fernández ME; Campos AM; Gentili JO. 2015.** Comportamiento temporal de radiación solar global en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina (en línea). Revista de climatología.

15(2015):54. p. Consultado 13 may 2019. Disponible en:
<http://www.climatol.eu/reclim/reclim15e.pdf>

García A; Rojas C. 2005. Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. s. l. Publicación de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, Tecnicaña. 12-13p.

García Pérez, J; García Lara, CM; Nájera Aguilar, H; Vera Toledo, P; Vázquez Sánchez, R. 2010. Desarrollo y caracterización de un destilador solar para su aprovechamiento en el tratamiento de agua contaminada. Lacandonia 12(2):76-77 p.

Gonzales Castro, E. 2014. Alternativa al modelo hídrico actual de Menorca: cubierta captadora de lluvia, rocío y destilación. Tesis. Ing. Msc. Hidrología. Cataluña. España. Universidad Politécnica de Cataluña. 52, 54 p.

Guinea Díaz, ES. 2013. Efecto de la adición de la vinaza a la cachaza para la elaboración de compost, como alternativa al uso de los subproductos de la industrialización de la caña de azúcar; La Democracia, Escuintla. Tesis. Ing. Agr. Escuintla. Guatemala. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrarias. Universidad Rafael Landívar. 21 p.

Hernández JP. 2014. Radiación directa, difusa y reflejada (en línea). Consultado 8 may. 2019. Disponible en: <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

Huezo Bautista, F.R. Morán Urrutia J.I. 2012. Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la escuela de ingeniería química. Tesis para optar a Ingeniero Químico, El Salvador, Universidad de El Salvador. 23; 34; 45p.

Intriago Basurto JK; Zambrano Solórzano DE. 2017. Repotenciación de un destilador solar para agua salina por medio de transferencia de calor y condensación fotovoltaica. Tesis Ing. Medio ambiental. Calceta. Ecuador. Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 14 p.

Korndorfer, G. H. Noall, A. Gama, J.M. 2010. Manejo, Aplicación y Valor fertilizante de la vinaza para caña de azúcar y otros cultivos. (en línea) Técnicaña. Consultado 6 feb. 2017. Disponible en http://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec_no24_2010_p25-30.pdf

Larsson, E. Tengberg, T. 2014. Evaporation of Vinasse Pilot Plant Investigation and Preliminary Process Design. Tesis para optar a Master's Thesis within the Innovative and Sustainable Chemical Engineering programme Göteborg, Sweden. Chalmers University of Technology. 2-11 p.

Lema Carrera MA. 2015. Diseño e implementación de un sistema automático de purificación de agua por medio de energía, reflexión solar y luz ultravioleta. Tesis Ing. Eléctrica. Quito. Ecuador. Escuela politécnica nacional. 5 p.

Lezcano. P. Mora, L. s.f. Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos. Las Vinazas de Destilería de Alcohol. Contaminación Ambiental o Tratamiento para Evitarlo. La Habana, Cuba. 48-49 p.

Lucio Rojas, GA. 2015. Diseño de un destilador solar destinado a la potabilización de agua lluvia. Tesis Ing. Mecánico. Distrito Federal. México. Instituto Politécnico Nacional. 27; 29-30 p.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2011. Evaluación ambiental estratégica de contexto y lineamientos para una política de biocombustibles en El Salvador. El Salvador.

Monje J. 2017. Tratamiento de la vinaza. Ingenio la cabaña. San Salvador. El Salvador.

Montenegro Obregón, S. P. 2008. Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en el cultivo de maíz dulce (*zea mays*). Tesis para optar a Magíster en Ciencias Agrarias. Palmira, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 75-76p.

Orozco, R; Muñoz, R. 2012. Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 25(1):19 p.

Pérez Vanegas, JJ; Salazar Romero, A. 2015. Análisis del comportamiento de un prototipo de destilador solar en la ciudad de Cartagena (en línea). Tesis Ing. Civil. Colombia. Universidad de Cartagena. 67, 68, 72 p. Consultado 29 abr. 2019. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:VBig-HGXNkgJ:repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/2356/1/TESIS.pdf+&cd=22&hl=es-419&ct=clnk&gl=sv>

Plaster EJ. (2000). La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Parainfo. España.

Quintanilla Menjívar, FN. Yanes Vilorio, CC. Monge de Castro, CB. 2013. Incidencia del bocashi, gallinaza y su combinación con fertilizantes químicos en la mejora de la fertilidad del suelo y en los rendimientos de maíz (*zea mays* L.), San Juan Opico, La Libertad. Tesis. Ing. Agr. San Salvador. El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador.

Ruiz Arcos. J. M. s.f. Desalinización de agua del mar mediante el uso de energía solar. Tesis para optar a Ingeniero Químico Veracruz, México. Universidad Veracruzana. 23-25p.

Sabadon Álvarez, VA. 2017. Diseño y construcción de un destilador solar para aguas residuales en la ciudad de Riobamba (en línea). Tesis Ing. Bt. Amb. Ecuador. Escuela superior politécnica El Chimborazo. 19; 51; 56 p. consultado 3 may. 2019. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6663>

Santos Jaimes A; Hernández Arroyo E; Ramírez Jaimes ZY. 2017. Evaluación experimental de un destilador solar de una sola pendiente (en línea). *SciELO* 12(22):8-11 p. Consultado 29 abr. 2019. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-36672017000100063

Soto, G. Meléndez, G 2004. Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Manejo integrado de plagas y agroecología, Costa Rica. 48(72):91-97 p.

Vásquez Proaño, D. 2008. Producción y evaluación de cuatro tipos de bioabonos como alternativa biotecnológica de uso de residuos orgánicos para la fertilización de pastos. Tesis. Ing. Zootecnista. Riobamba. Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela de Ingeniería Zootécnica. 54-58 p.

Yabroudi SC; Cárdenas C; Aldana L; Núñez J; Herrera L. 2011. Desalinización de agua empleando un destilador solar tubular (en línea). Interciencia. 36(10):735-737 p. Consultado 8 may. 2019. Disponible en: Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33921449004>

Yavara Chavez, W. 2013. Estudio de dos tipos de destiladores solares pasivos para el tratamiento de aguas del río Camiña en la región de Tarapacá. Tesis Ing. Civil Ambiental. Chile. Universidad Arturo Prat. 49; 50 p.

Zurlo, HD; Spotorno R; Rodríguez, DA; Figueredo GR. (s.f.). Estudio comparativo de superficies colectoras y cubiertas transparentes (en línea). Argentina. 3, 4 p. Consultado 6 may. 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266287033_ESTUDIO_COMPARATIVO_DE_SUPERFICIES_COLECTORAS_Y_CUBIERTAS_TRANSPARENTES

8. ANEXOS

1. Determinación de Nitrógeno, Método Micro-Kjeldahl

Materiales y equipos

- Estufa de aire circulante	- Tubos Tecator para micro-Kjeldahl
- Pinzas metálicas	- Digestor para micro-Kjeldahl
- Desecadores	- Destilador para micro-Kjeldahl
- Balanza analítica	- Erlenmeyer 250 MI
- Pipeta	- Agitador magnetico

Reactivos

- Ácido sulfúrico	- Indicador: Rojo de metilo
- Sulfato de cobre	- Agua destilada
- Sulfato de potasio	- Hidróxido de sodio 40.00%
- Ácido bórico 4.00%	- Ácido clorhídrico 0.025 N

Procedimiento

Pesado de las Muestras:

- Vinaza cruda, sobre los tubos Tecator fue depositada con ayuda de una pipeta 5.00 mL que en peso aproximadamente fueron 5.00 g. Esta muestra de vinaza cruda fue homogenizada previo a su recolección en los barriles contenedores.
- Destilado de vinaza, sobre los tubos Tecator fue deposita con ayuda de una pipeta 10.00 mL que en peso aproximadamente fueron 10.00 g. Las muestras se tomaron directamente de los frascos recolectores.
- Vinaza deshidratada, de las muestras secas y guardadas en desecador se pesó 0.100 g aproximadamente

Digestión:

- Se les agrego a los tubos con muestras aproximadamente 3.00 g de la mezcla de catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre), luego 12.00 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) a cada uno agitando constantemente
- Se colocaron los tubos en el aparato de digestión Kjeldahl, al mismo tiempo se conectó el sistema de extracción de vapores y condensación de gases, se esperó hasta que la solución estuvo de color azul verde, permanecieron aproximadamente 1 hora

Destilación:

- Se dejaron enfriar los tubos y se les agregó agua destilada más o menos 80.00 mL, se esperó nuevamente a que enfriaran, luego se colocaron respectivamente en el digestor
- En unos erlenmeyer de 250 mL se colocaron 25.00 mL de solución de ácido bórico al 4.00% y rojo de metilo como indicador y se colocaron respectivamente en el aparato de destilación (solución de color rojo)
- Los destilados se recibieron en los erlenmeyer de 250 mL, estuvieron en el aparato por 5 minutos de trabajo del mismo (hasta que paró su función). Se observó un cambio de color en la solución de rojo a verde

Valoración

- Se dejaron enfriar y luego se titularon con solución de ácido clorhídrico 0.10 ó 0.025N hasta cambio de color del indicador que va de verde a rojo.

Cálculos

Para obtener el % de nitrógeno, a partir de las lecturas de gastos de HCl (mL) obtenidas en la titulación en partes por millón (ppm) y en porcentajes (%), se usaron las siguientes fórmulas:

- $\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{mL de HCl gastados} \times N \text{ HCl} \times \text{Meq. N} \times 100)}{\text{peso de Mx (g)}}$
- $\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{mL de HCl gastados} \times (0.118583) \times 0.014 \times 100)}{\text{peso de Mx (g)}}$
- $\text{ppm} = \% \text{ nitrógeno} \times 10,000$

2. Determinación de Fósforo, Método Colorimétrico

Materiales y equipos

- Balanza analítica	- Probeta 10 y 50 MI
- Agitador de vaivén	- Erlenmeyers 125 MI
- Micropipeta de 1.00 mL	- Tubos de ensayo 15 MI
- Beakers 50, 150, 250 mL	- Balones volumétricos 25, 50, 100 mL

Reactivos

- Solución Molibdato-Vanadato de Amonio
- Solución Extractora Carolina del Norte
- Soluciones Estándar de Fosfato

Procedimiento

Preparación de las muestras:

La vinaza cruda, el destilado de vinaza y la vinaza deshidratada, fueron previamente preparadas, proceso descrito en el apartado 3.8.2 Preparación de las muestras, en la Metodología de Laboratorio.

Preparación de la curva de calibración:

La curva de calibración del equipo se hizo utilizando soluciones estándares de 5, 10, 15, 20 ppm de Fósforo, se leyeron en el fotómetro. Se graficaron los datos obtenidos de concentración contra absorbancia en una hoja de cálculo. Después de corroborar la linealidad del método, se inició con las lecturas de las muestras.

Preparación y lectura de las muestras:

- Se pipeteo 5.00 ml del filtrado y transfirieron a tubos de ensayo
- Se añadió 2.00 ml de solución Molibdato-Vanadato, se agitaron y dejaron en reposo durante 30 minutos
- Se Leyeron en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 400 nm

Cálculos

De las lecturas de absorbancia obtenidas del Fotómetro se pasó a obtener los datos de fósforo en partes por millón (ppm) y en porcentajes (%), usando las siguientes fórmulas:

- ppm = absorbancia de la Mx x concentración del estándar x FD

absorbancia del estándar

$$- \text{FD}_{(\text{Mx sólido})} = \frac{\text{Mx (mL)} \times \text{volumen de diluciones (mL)}}{\text{peso de Mx (g)} \times \text{alícuota tomada (mL)}}$$

$$- \text{FD}_{(\text{Mx líquido})} = \frac{\text{Mx (mL)} \times \text{volumen de diluciones (mL)}}{\text{alícuota tomada (mL)}}$$

$$\% = \text{ppm} / 10,000$$

Dónde: FD: Factor de dilución

3. Determinación de Potasio, Método Fotometría de llama

Materiales y equipo

- Balanza analítica	- Papel
- Beakers	- Balones volumétricos
- Embudos	- Fotómetro de Llama. Modelo Sherwood 410

Reactivos

- Acetato de amonio
- Ácido acético
- Estándar de Potasio 1000 ppm

Procedimiento

- Se encendió el fotómetro y se le permitió que calentará durante 30 minutos
- Lectura y calibración con soluciones estándares de potasio para cubrir el rango de 0-100 ppm, aspirando el estándar de 100 ppm, se ajustó la concentración en el monitor a un valor de 100, se aspiraron los otros estándares y se confirmó que todos produjeran una respuesta lineal
- Determinación del contenido de potasio de las muestras, aspirando la solución en el fotómetro de llama, las diluciones de las muestras fueron; vinaza cruda 1/10 > 1/25, destilado de vinaza sin dilución y vinaza deshidratada 1/25.

Cálculos

De las lecturas obtenidas en el Fotómetro se obtuvieron los datos de potasio en partes por millón (ppm) y en porcentajes (%), usando las siguientes fórmulas:

- ppm = lectura del Fotómetro (ppm) X factor de dilución (FD)
- FD = volumen de diluciones (mL)

cantidad de Mx (mL o g) x alícuota tomada (mL)

- % = ppm / 10,000

4. Determinación de pH, Método Potenciométrico

Material y Equipo

pH metro de mesa Orión Thermo 420A+	Beakers
Agitadores	Papel toalla
Pizeta	

Reactivos

- Agua destilada
- Soluciones buffer de pH conocido (4.01, 7.00, 10.00)

Procedimiento

Medición de pH en laboratorio utilizando equipo Orion Thermo 420a+

Calibración del equipo:

- Se encendió el equipo presionando el botón POWER
 - Se ingresó al menú de calibración del equipo, presionado al mismo tiempo las teclas 2ND y CAL. Se continuó con la construcción de la curva de calibración utilizando tres soluciones buffer de pH conocido (4.01, 7.00, 10.00)
 - Se desplegó un mensaje en la pantalla del equipo "P1" que indicó el momento para introducir el electrodo en la solución buffer pH 4.01. Cuando el equipo registró la lectura del pH del buffer sonó una alarma; entonces se presionó YES para guardar este valor en el equipo.
 - Después de esto, apareció en la pantalla del equipo el mensaje "P2" que indicó el momento de introducir el electrodo en la solución buffer de pH 7.00. Cuando el equipo registró la lectura del buffer sonó la alarma, se presionó YES para guardar este valor en el equipo, se realizar la misma operación para el buffer pH 10. Al ingresar el valor del tercer buffer, se presionó la tecla YES y a continuación se desplegó el valor de la pendiente de la curva de calibración; este, debe estar entre 90 – 105%
 - Una vez que el valor de la pendiente se desplegó en la pantalla, se presionó la tecla READ
- Lectura de las muestras:

-Se Introdujo el electrodo en la muestra y presionó la tecla READ, se permitió que la lectura de la muestra se estabilizara hasta que sonó la alarma y registró el valor desplegado en la pantalla.

-Se lavó el electrodo con agua destilada abundantemente. Se secó el electrodo con papel toalla

-Se Introdujo el electrodo en cada una de las demás muestras y se dio lectura

5. Determinación de Conductividad eléctrica

Materiales y equipos

Agitador o varillas de vidrio o de plástico	Conductímetro con sensor de temperatura
Termómetro	Frasco lavador de plástico
Beaker 100 ml	

Reactivos

- Agua destilada
- Solución de referencia de NaCl de 1000 ppm

Procedimiento

- La Vinaza cruda y los destilados de vinaza se midieron 100 mL en beakers
- De las muestras de vinaza deshidratada se pesó en un recipiente 20.00 g de muestra seca a $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, se agregó 100 mL de agua destilada
- Se agitó vigorosamente la suspensión durante 5 minutos usando el agitador y se dejó reposar
- Se calibró el Conductímetro siguiendo las instrucciones del fabricante y usando la solución de referencia de NaCl de 1000 ppm
- Se agitó la suspensión e introdujo los electrodos
- Se leyó la conductividad una vez estabilizada la lectura y se anotó el valor con dos decimales
- Finalmente se enjuagó repetidamente el electrodo con agua destilada de modo que no quedaran restos en la superficie del electrodo
- Se secó con papel toalla, el proceso se repitió para cada lectura

6. Salinidad, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Disueltos y Temperatura, Método Potenciométrico

Materiales y equipo

-Sonda Multi-parámetros Sension 156

Procedimiento

1. Se conectó el electrodo correspondiente para la determinación de los parámetros en el equipo
2. Se encendió el equipo y oprimió el botón MENU para colocar en modo de análisis de salinidad, conductividad y TDS
3. Se dejó estabilizar por 30 minutos para lograr que el electrodo se polarizara completamente
4. Se calibró el equipo antes de comenzar a tomar las lecturas de las muestras
5. Destapando la botella que contenía la muestra previamente ambientada a una temperatura aproximadamente de 20.00°C se introdujo el electrodo asegurándose que el sensor de temperatura quedará sumergido completamente
6. Se dejó estabilizar la lectura (aproximadamente 5 minutos) y luego se registró el dato
7. Se tomó la lectura de Salinidad, Conductividad eléctrica, Solitos Totales y Temperatura de las muestras, cambiando modo con el botón MENU

7. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Método: Potenciométrico
Equipo: Sonda Multi-parámetro sension 156

Procedimiento

1. Se conectó el electrodo para determinación de Oxígeno Disuelto en el equipo
2. Se encendió el equipo y oprimió el botón para colocar en modo de Oxígeno Disuelto
3. Se dejó estabilizar por 30 minutos para lograr que el electrodo se polarizara completamente
4. Se calibró el equipo antes de comenzar a tomar las lecturas de las muestras
5. Destapando la botella que contenía la muestra previamente ambientada a una temperatura aproximadamente de 20.00°C se introdujo el electrodo asegurándose que el sensor de temperatura quedará sumergido completamente
6. Se dejó estabilizar la lectura (aproximadamente 5 minutos) y luego se registró el dato
7. Se tomó la lectura de pH de la muestra y de ser necesario se ajustó el pH para que estuviera en el rango de 6.50 a 7.50, utilizando HCL 1N o NaOH 1N según fue necesario

8. Se prepararon los frascos para DBO (botellas Winkler de aproximadamente 300 mL) llevando un duplicado de cada dilución de la muestra a realizar y un blanco de agua de dilución
9. Se midieron los mililitros de muestras necesarios para cada dilución y se transfirieron a cada botella de DBO. Se llevó a volumen con agua de dilución y agitó para homogenizar (la dilución se realizó para vinaza únicamente, el destilado de vinaza no requirió dilución)
10. Se preparó el blanco adicionando a la botella de DBO agua de dilución hasta llevar a volumen. Este es necesario para asegurar que el agua utilizada en el análisis no este aportando DBO al análisis
11. Se determinó del Oxígeno Disuelto (OD) de las muestras, de las diluciones y el blanco utilizando el electrodo para determinación de OD. Se anotó esta lectura como OD inicial
12. Se taparon herméticamente los frascos que contenían las muestras sin diluciones y con las respectivas diluciones y el blanco descartando el exceso de líquido que queda en la boba del frasco
13. Se transfirieron los frascos a una incubadora con una temperatura de $20.00^{\circ}\text{C} \pm 1.00^{\circ}\text{C}$ y se dejaron en esas condiciones durante 5 días
14. Transcurridos los 5 días, se tomó nuevamente el Oxígeno Disuelto inicial se toma la lectura como OD final,
15. El Oxígeno Disuelto Cinco esta expresada en mg de O^2 por litro de muestra, es la diferencia entre el OD inicial y el OD final. Para el caso de las diluciones esta diferencia ira multiplicada por el respectivo factor de dilución

ANEXO DE CUADROS

Cuadro A-1. Composición elemental de las vinazas de 55.00% y de 10.00% de solidos totales.

Características	Unidades	Vinaza 55.00% s.t	Vinaza 10.00% s.t
Nitrógeno	Kg/m^3	4.30	0.63 - 1.14
Fósforo	Kg/m^3	0.22	0.04 - 0.11

Potasio	Kg/m ³	34.03	4.05 - 9.01
Calcio	Kg/m ³	5.00	0.74 - 2.20
Magnesio	Kg/m ³	5.40	0.80 - 1.36
Azufre	Kg/m ³	11.55	1.28
pH	-	4.30 – 4.50	3.50 - 4.30
Conductividad Eléctrica	DS/m ¹	17.00	11.00

Fuente: García A y Rojas C. 2005

Cuadro A-2. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio con respecto al cultivo de la caña de azúcar.

Indicador	Demanda en Kg/m ³ de etanol			% de la demanda		
	N	P	K	N	P	K
Demanda para la producción	30	5	30	100	100	100
Contenido en la vinaza	4	3	20	13	60	67

Fuente: Obregón 2016

Cuadro A-3. Comparación de características contaminantes de la vinaza diluida al 10% y concentrada al 60%.

Características	Unidades	Concentración	
		V10	V60
Demanda química de Oxígeno (DQO)	mg/l	116,000	590,000
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg/l	41,200	240,000
pH	-	4.50	4.50
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	8,990	53,900
Solidos Sedimentables (SSV)	mg/l	7,100	-
Sulfatos (como SO ₄)	mg/l	5,626	33,750
Fosforo (como P)	mg/l	97.00	580.00

Fuente: Chanfón y Lorenzo 2014

Cuadro A-4. Parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola.

Parámetro de calidad	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Leve o moderado	Severo
Salinidad				

Conductividad Eléctrica (CE)	dS/m	< 0.70	0.70 - 3.00	> 3.00
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	mg/L	< 450	450 - 2000	>2000

Fuente: Castellanos *et al.*, 2000.

Cuadro A-5. Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor

Actividad	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
Destilación, rectificación y mezclas de bebidas espirituosas	3500	3000	15	1000	20

Fuente: (CONACYT, 2009)

Cuadro A-6. Contenido de niveles óptimos para abonos orgánicos.

Característica	Nivel óptimo
% nitrógeno	> 2
% fósforo	0,15 – 1,5
CICE (meq/100g)	75 – 100
C: N	< 20
Humedad	< 40%
Color	Negro a café oscuro
Olor	Tierra

Fuente: Soto y Meléndez, (2004)

Cuadro A-7. Materiales y mano obra, con su precio unitario y su costo total necesarios para la construcción del deshidratador sin cobertura (DSC)

Materiales	Cantidad	Costo unitario US \$	Costo total US\$
Tubería cuadrada de hierro de 1" x 6 m	1.50	11.83	17.74
Tubería cuadrada de hierro de ½" x 6 m	4.00 m	6.50	26.00
Ladrillo cerámico gris oscuro	1.50 m2	10.00	15.00
Lámina de 1mm de espesor 2x1m	1.00	20.00	20.00
Tubería de PVC de ½"	2.00	1.95	3.90
Tubería de PVC de ¾"	1.00 m	1.44	1.44
Válvula de bola de ½"	1.00	1.20	1.20
Codos de ½"	1.00	0.13	0.13
Tapón Hembra de ½"	1.00	0.28	0.28
Tee de ½"	1.00	0.27	0.27
Fibra de vidrio 2x1m2	2.00	1.10	3.30
Silicón negro tubo x 70 ml	2.00	1.80	3.60
Silicón incoloro tubo x 70 ml	2.00	1.90	3.80
Pegamento de PVC x 50 ml	2.00	4.10	8.20
Recipientes de 12 L	2.00	2.30	4.60
Silicón para pegar cerámica	2.00	7.90	15.80
Thinner corriente	1.00	2.20	2.20
Teflón	1.00	0.25	0.25
Lija de agua	1.00	1.70	1.70
Pegamento Epoximil	1.00	4.07	4.07
Manguera transparente	1.00	1.35	1.35
Broca para concreto 1/8"x3"	2.00	1.30	2.60
Corte, soldadura, instalación y transporte estructura metálica			150.00
Corte e instalación de ladrillo de cerámica y tubería			20.00
Instalación y transporte			20.00
Vinaza	72.00 L	0.002	0.11
Total			327.58

Fuente: elaboración propia

Cuadro A-8. Materiales y mano obra, con su precio unitario y su costo total necesarios para la construcción del deshidratador con cobertura de plástico (DCP)

Materiales	Cantidad	Costo unitario US \$	Costo total US\$
Tubería cuadrada de hierro de 1" x 6 m	1.50	11.83	17.74
Tubería cuadrada de hierro de ½" x 6 m	4.00 m	6.50	26.00
lamina de plastico de 1mx0.8m	4.00 placas	3.60	10.00
Ladrillo cerámico gris oscuro	1.50 m2	10.00	15.00
Lámina de 1mm de espesor 2x1m	1.00	20.00	20.00
Tubería de PVC de ½"	2.00	1.95	3.90
Tubería de PVC de ¾"	1.00 m	1.44	1.44
Válvula de bola de ½"	1.00	1.20	1.20
Codos de ½"	1.00	0.13	0.13
Tapón Hembra de ½"	1.00	0.28	0.28
Tee de ½"	1.00	0.27	0.27
Fibra de vidrio 2x1m2	2.00	1.10	3.30
Silicón negro tubo x 70 ml	2.00	1.80	3.60
Silicón incoloro tubo x 70 ml	2.00	1.90	3.80
Pegamento de PVC x 50 ml	2.00	4.10	8.20
Recipientes de 12 L	2.00	2.30	4.60
Ángulos de 1"x 1/8" x 6m	2.00	7.50	15.00
Silicón para pegar cerámica	2.00	7.90	15.80
Thinner corriente	1.00	2.20	2.20
Teflón	1.00	0.25	0.25
Lija de agua	1.00	1.70	1.70
Pegamento Epoximil	1.00	4.07	4.07
Manguera transparente	1.00	1.35	1.35
Broca para concreto 1/8"x3"	2.00	1.30	2.60
Corte, soldadura, instalación y transporte estructura metálica			175.00
Corte e instalación de ladrillo de cerámica y tubería			20.00
Instalación y transporte			20.00
Vinaza	72.00 L	0.002	0.11
Total			377.54

Fuente: Huevo y Morán, 2012

Cuadro A-9. Materiales y mano obra, con su precio unitario y su costo total necesarios para la construcción del deshidratador con cobertura de vidrio. (DCV)

Materiales	Cantidad	Costo unitario US \$	Costo total US\$
Tubería cuadrada de hierro de 1" x 6 m	1.50	11.83	17.74
Tubería cuadrada de hierro de ½" x 6 m	4.00 m	6.50	26.00
Vidrio simple de 5 mm de espesor 2x0.6 m	2.00 placas	24.00	48.00
Ladrillo cerámico gris oscuro	1.50 m2	10.00	15.00
Lámina de 1mm de espesor 2x1m	1.00	20.00	20.00
Tubería de PVC de ½"	2.00	1.95	3.90
Tubería de PVC de ¾"	1.00 m	1.44	1.44
Válvula de bola de ½"	1.00	1.20	1.20
Codos de ½"	1.00	0.13	0.13
Tapón Hembra de ½"	1.00	0.28	0.28
Tee de ½"	1.00	0.27	0.27
Fibra de vidrio 2x1m2	2.00	1.10	3.30
Silicón negro tubo x 70 ml	2.00	1.80	3.60
Silicón incoloro tubo x 70 ml	2.00	1.90	3.80
Pegamento de PVC x 50 ml	2.00	4.10	8.20
Recipientes de 12 L	2.00	2.30	4.60
Ángulos de 1"x 1/8" x 6m	2.00	7.50	15.00
Silicón para pegar cerámica	2.00	7.90	15.80
Thinner corriente	1.00	2.20	2.20
Teflón	1.00	0.25	0.25
Lija de agua	1.00	1.70	1.70
Pegamento Epoximil	1.00	4.07	4.07
Manguera transparente	1.00	1.35	1.35
Broca para concreto 1/8"x3"	2.00	1.30	2.60
Corte, soldadura, instalación y transporte estructura metálica			175.00
Corte e instalación de ladrillo de cerámica y tubería			20.00
Instalación, transporte y corte de vidrio			20.00
Vinaza	72.00 L	0.002	0.11
Total			415.43

Fuente: Huevo y Morán, 2012

Cuadro A-10. R², coeficiente de variación y suma de cuadrados para número de horas necesarias para deshidratar la muestra.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
HORAS	36.00	0.75	0.68	40.19	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	2386.81	8.00	298.35	10.25	<0.0001
DESHIDRATADOR	1349.60	2.00	674.80	23.18	<0.0001
VOLUMEN	869.38	2.00	434.69	14.93	<0.0001
DESHIDRATADOR*VOLUMEN	167.83	4.00	41.96	1.44	0.2475
Error	785.86	27.00	29.11		
Total	3172.67	35.00			

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-11. Pruebas de Tukey para los factores D (deshidratador) y L (volumen de vinaza) en horas necesarias en deshidratar la muestra.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.46091					
Error: 29.1060 gl: 27					
DESHIDRATADOR	Medias	n	E.E.		
DCV	8.16	12.00	1.56	A	
DSC	10.10	12.00	1.56	A	
DCP	22.01	12.00	1.56		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)					
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.46091					
Error: 29.1060 gl: 27					
VOLUMEN	Medias	n	E.E.		
3L	7.90	12.00	1.56	A	
5L	12.53	12.00	1.56	A	
10L	19.84	12.00	1.56		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)					

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-12. Prueba de Tukey para la interacción DL (deshidratación y volumen de vinaza) en horas necesarias en deshidratar la muestra

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=12.83577						
Error: 29.1060 gl: 27						
DESHIDRATADOR	VOLUMEN	Medias	n	E.E.	LETRAS	
DSC	3.00L	5.00	4.00	2.70	A	
DCV	3.00L	5.80	4.00	2.70	A	
DCV	5.00L	6.16	4.00	2.70	A	
DSC	5.00L	10.05	4.00	2.70	A	B
DCV	10.00L	12.51	4.00	2.70	A	B
DCP	3.00L	12.90	4.00	2.70	A	B
DSC	10.00L	15.25	4.00	2.70	A	B
DCP	5.00L	21.38	4.00	2.70		B C
DCP	10.00L	31.75	4.00	2.70		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-13. Resultados paramétricos para los 9 tratamientos para cantidad de horas necesarias en deshidratar la muestra

Medidas resumen										
Tratamientos	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
DCP-10L	HORAS	4.00	31.75	13.57	42.75	24.00	52.00	25.50	24.00	27.00
DCP-3L	HORAS	4.00	12.90	0.80	6.23	12.30	14.00	12.65	12.30	13.00
DCP-5L	HORAS	4.00	21.38	6.60	30.88	16.00	29.50	20.00	16.00	24.00
DCV-10L	HORAS	4.00	12.51	2.45	19.58	10.15	14.75	12.58	10.15	14.50
DCV-3L	HORAS	4.00	5.80	2.10	36.28	4.00	8.00	5.60	4.00	7.20
DCV-5L	HORAS	4.00	6.16	0.52	8.47	5.50	6.65	6.25	5.50	6.50
DSC-10L	HORAS	4.00	15.25	2.22	14.54	13.00	18.00	15.00	13.00	16.00
DSC-3L	HORAS	4.00	5.00	2.00	40.00	4.00	8.00	4.00	4.00	4.00
DSC-5L	HORAS	4.00	10.05	3.73	37.07	6.00	14.20	10.00	6.00	12.00

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-14. R^2 , coeficiente de variación y suma de cuadrados de mililitros obtenidos en la deshidratación.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Volumen condensado (mL)	24.00	1.00	1.00	1.30	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	184385810.96	5.00	36877162.19	6764.63	<0.0001
DESHIDRATADOR	2773.50	1.00	2773.50	0.51	0.4848
VOLUMEN	184383680.77	2.00	92191340.39	16911.30	<0.0001
DESHIDRATADOR*VOLUMEN	356.69	2.00	178.34	0.03	0.9679
Error	98126.37	18.00	5451.47		
Total	184483937.33	23.00			

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-15. Pruebas de Tukey para los factores D (deshidratador) y L (volumen de vinaza) mL.

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=63.32729					
Error: 5451.4653 gl: 18					
DESHIDRATADOR	Medias	n	E.E.		
DCV	5675.92	12.00	21.31	A	
DCP	5654.42	12.00	21.31	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)					
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=94.21826					
Error: 5451.4653 gl: 18					
VOLUMEN	Medias	n	E.E.		
10L	9429.94	8.00	26.10	A	
5L	4728.19	8.00	26.10	B	
3L	2837.38	8.00	26.10	C	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)					

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-16. Prueba de Tukey para la interacción DL (deshidratación y volumen de vinaza)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=165.92059						
Error: 5451.4653 gl: 18						
DESHIDRATADOR	VOLUMEN	Medias	n	E.E.		
DCV	10.00L	9435.88	4.00	36.92	A	
DCP	10.00L	9424.00	4.00	36.92	A	
DCV	5.00L	4739.13	4.00	36.92	B	
DCP	5.00L	4717.25	4.00	36.92	B	
DCV	3.00L	2852.75	4.00	36.92	C	
DCP	3.00L	2822.00	4.00	36.92	C	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)						

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-17. Resultados paramétricos para los 6 tratamientos para cantidad de mililitros obtenidos.

Medidas resumen								
TRATAMIENTOS	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx	Mediana
DCP-3L	Condensado (mL)	4.00	2822.00	27.63	0.98	2781.00	2839.00	2834.00
DCP-5L	Condensado (mL)	4.00	4717.25	55.36	1.17	4685.00	4800.00	4692.00
DCP-10L	Condensado (mL)	4.00	9424.00	36.91	0.39	9385.00	9457.00	9427.00
DCV-3L	Condensado (mL)	4.00	2852.75	85.70	3.00	2749.00	2946.00	2858.00
DCV-5L	Condensado (mL)	4.00	4739.13	90.44	1.91	4643.50	4858.50	4727.25
DCV-10L	Condensado (mL)	4.00	9435.88	109.52	1.16	9303.50	9551.50	9444.25

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-18. R², coeficiente de variación y suma de cuadrados de gramos de sólidos obtenidos en la deshidratación.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
PESO VINAZA DESHIDRATADA	36.00	0.95	0.93	15.30	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	227284.24	8.00	28410.53	62.42	<0.0001
DESHIDRATADOR	423.98	2.00	211.99	0.47	0.6326
VOLUMEN	226131.98	2.00	113065.99	248.42	<0.0001
DESHIDRATADOR*VOLUMEN	728.29	4.00	182.07	0.40	0.8068
Error	12288.69	27.00	455.14		
Total	239572.93	35.00			

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-19. Pruebas de Tukey para los factores D (deshidratador) y L (volumen de vinaza) en gramos de sólidos obtenidos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=21.59459					
Error: 455.1367 gl: 27					
DESHIDRATADOR	Medias	n	E.E.		
DCV	135.99	12.00	6.16		A
DSC	138.17	12.00	6.16		A
DCP	144.11	12.00	6.16		A
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)					
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=21.59459					
Error: 455.1367 gl: 27					
VOLUMEN	Medias	n	E.E.		
3L	61.15	12.00	6.16	A	
5L	109.08	12.00	6.16		B
10L	248.04	12.00	6.16		C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)					

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-20. Prueba de Tukey para la interacción DL (deshidratación y volumen de vinaza) para gramos de sólidos obtenidos

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=50.75769								
Error: 455.1367 gl: 27								
DESHIDRATADOR	VOLUMEN	Medias	n	E.E.				
DCV	3.00L	54.05	4.00	10.67	A			
DSC	3.00L	58.78	4.00	10.67	A	B		
DCP	3.00L	70.63	4.00	10.67	A	B	C	
DSC	5.00L	103.10	4.00	10.67	A	B	C	
DCV	5.00L	106.88	4.00	10.67		B	C	
DCP	5.00L	117.25	4.00	10.67			C	
DCP	10.00L	244.45	4.00	10.67				D
DCV	10.00L	247.04	4.00	10.67				D
DSC	10.00L	252.62	4.00	10.67				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-21. Resultados paramétricos para los 9 tratamientos para cantidad de sólidos en gramos obtenidos.

Medidas resumen									
Deshidratador	Volumen	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx	Mediana
DCP	10.00L	P. vinaza des.	4.00	244.45	22.81	9.33	217.40	273.2	243.60
DCP	3.00L	P. vinaza des.	4.00	70.63	12.62	17.87	54.60	81.40	73.25
DCP	5.00L	P. vinaza des.	4.00	117.25	17.82	15.20	93.30	131.90	121.90
DCV	10.00L	P. vinaza des.	4.00	247.04	15.78	6.39	228.05	265.70	247.20
DCV	3.00L	P. vinaza des.	4.00	54.05	20.06	37.12	25.80	71.65	59.38
DCV	5.00L	P. vinaza des.	4.00	106.88	28.50	26.66	67.50	133.30	113.35
DSC	10.00L	P. vinaza des.	4.00	252.62	16.44	6.51	240.30	276.6	246.8
DSC	3.00L	P. vinaza des.	4.00	58.78	12.86	21.87	44.10	74.42	58.30
DSC	5.00L	P. vinaza des.	4.00	103.10	34.64	33.60	53.40	133.70	112.65

Fuente: elaboración propia, INFOSTAT 2018

Cuadro A-22. Parámetros complementarios sobre valores máximos permisibles para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor

Parámetro	Valores máximos permisibles	
Nitrógeno Total (N)	50.00 mg/L	0.0050 %
Fosforo Total (P)	15.00 mg/L	0.0015 %
Potasio Total (P)	No especifica	
Ph	5.00 - 9.00	

Fuente: (MARN, 2011)

Cuadro A-23. Valores de conductividad eléctrica y relación de absorción de sodio (RAS) más aceptables por países que practican riego

Patrón de calidad	CE (mmhos/cm a 25°C)	RAS	Riesgo de salinidad o de reducción de la permeabilidad
A	< 0.75	< 3.00	Bajo
B	0.75-1.50	3.00-5.00	Medio
C	1.50-3.00	5.00-8.00	Alto
D	> 3.00	> 8.00	Muy alto

Fuente: FAO, s.f.

ANEXO DE FIGURAS

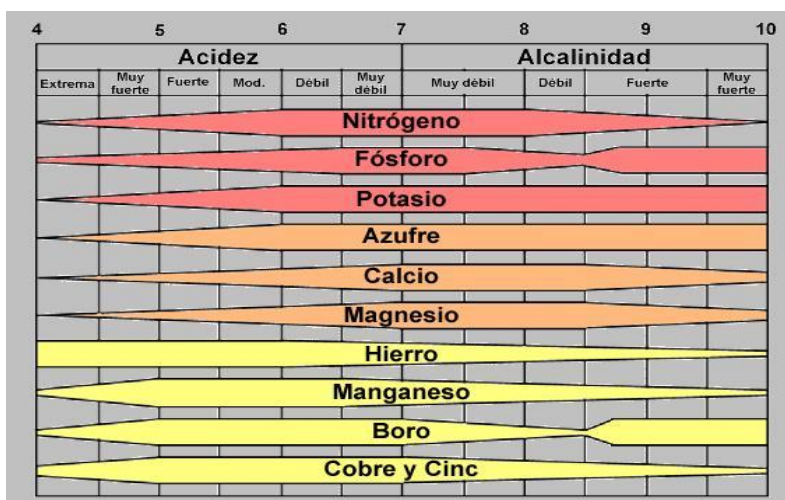


Figura A-1. Disponibilidad de los nutrientes a diferentes escalas de pH.

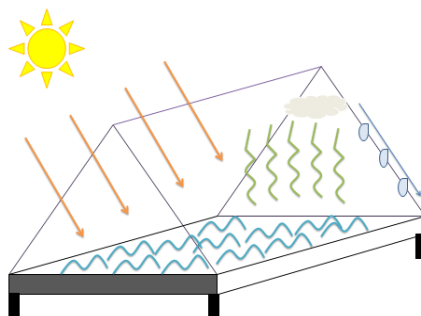


Figura A-2. Modelo de deshidratador solar.

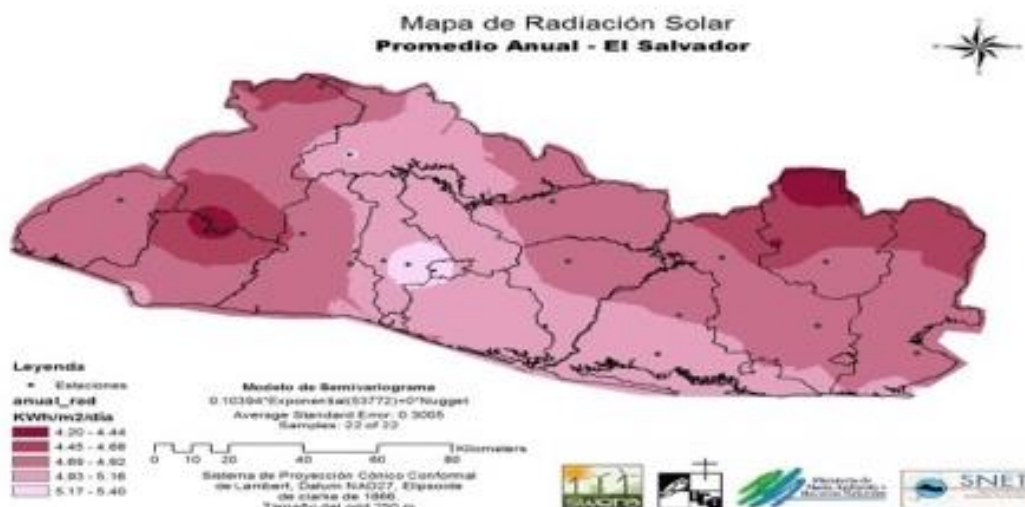


Figura A-3. Radiación solar anual en El Salvador en el año 2014.



Figura A-4. Equipo computarizado ubicado en la estación meteorológica de la Universidad de El Salvador.



Figura A-5. Muestra de vinaza almacenada en barriles de 220 litros en el vivero de la Facultad de Ciencias Agrómicas.



Figura A-6. Elaboración de la cobertura plástica.



Figura A-7. Adecuación del deshidratador con cobertura de vidrio.

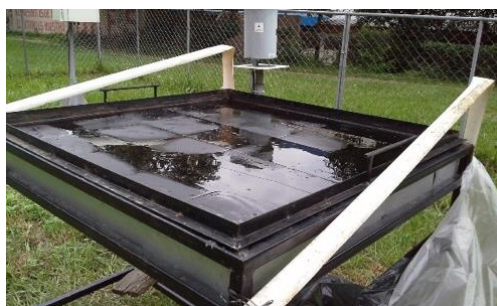


Figura A-8. Deshidratador sin cobertura



Figura A-9. Ubicación de los tres deshidratadores en la estación meteorológica.



Figura A-10. Homogenización de la muestra en los barriles contenedores.



Figura A-11. Transporte de la vinaza

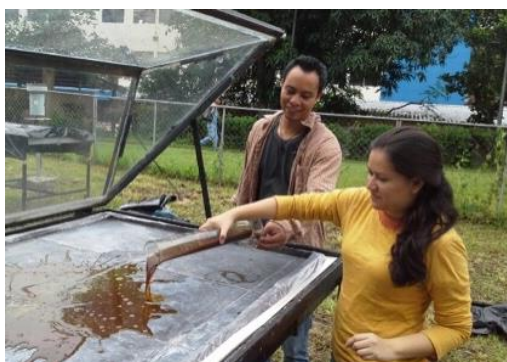


Figura A-12. Colocación de las muestras en los deshidratadores.



Figura A-13. Extracción de datos meteorológicos de la estación.



Figura A-14. Medición de la lámina evaporada.

Símbolo	Extensión cielo cubierto	
○	0/8	Despejado
◐	1/8	Poco nuboso
◑	2/8	Poco nuboso
◒	3/8	Poco nuboso
◓	4/8	Nuboso
◔	5/8	Nuboso
◕	6/8	Muy nuboso
◖	7/8	Muy nuboso
●	8/8	Cubierto

Figura A-15. Escala de la nubosidad en octales para la toma de datos empírica.



Figura A-16. Recolección de las muestras de vinaza deshidratada.



Figura A-17. Almacenamiento de las muestras de vinaza deshidratada en bolas plásticas con cierre.

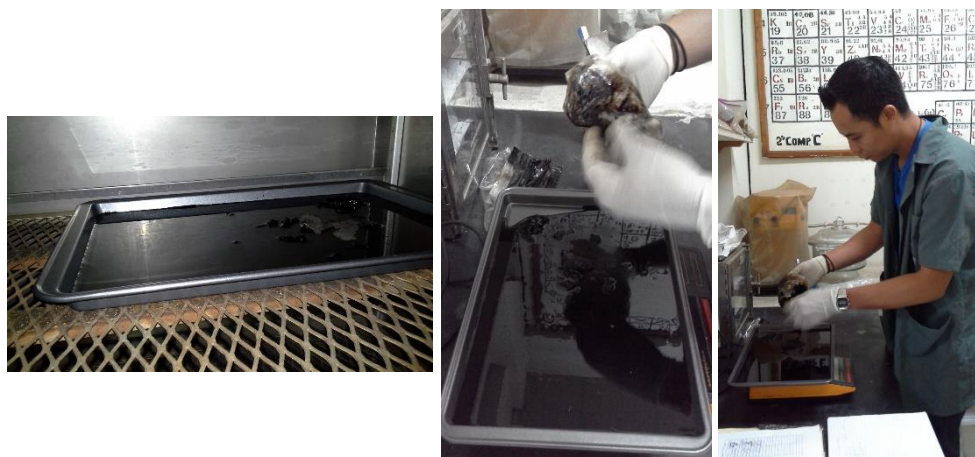


Figura A-18. Preparación de las muestras de vinaza deshidratada para colocación en estufas de secado.



Figura A-19. Lavado de las piletas de los deshidratadores

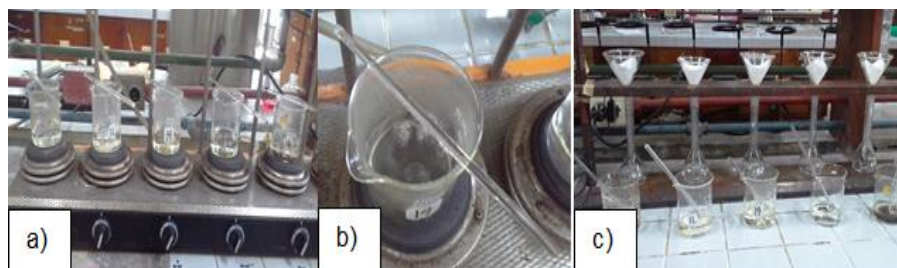


Figura A-20. Preparación de muestras de condensado de vinaza:

a) muestra más HCl, b) muestra en hot-plate, c) filtración y recibimiento de muestras en balones volumétricos.



Figura A-21. Preparación de muestras de vinaza deshidratada:

a) muestra en estufa, b) molido en mortero, c) tamizado, d) y e) bolsas plásticas identificadas y puestas en desecador.

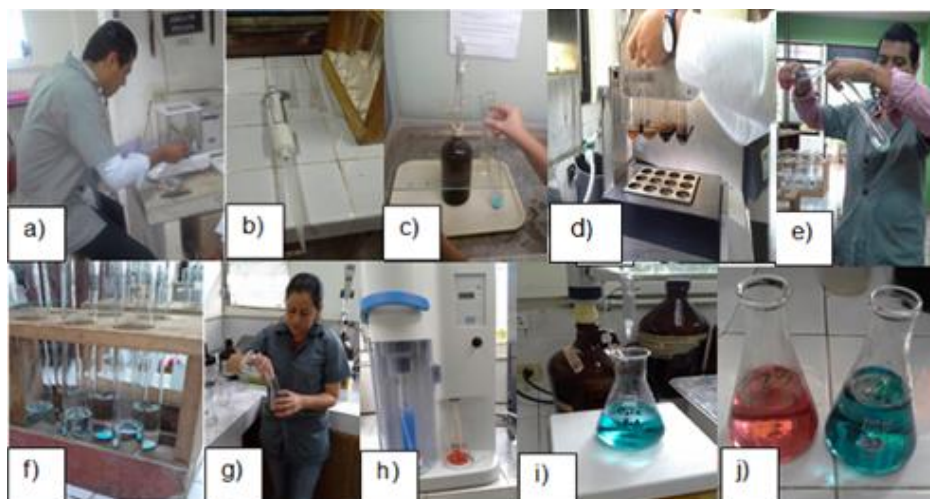


Figura A-22. Determinación de nitrógeno:

Método Micro-Kjeldahl; a) pesado de las muestras de vinaza deshidratada, b) pesado de las muestras de condensado de vinaza, c) adición de catalizador y ácido d) muestras listas para la primera digestión e) adición de agua destilada f) muestras en tubos Tecator, g) adición de ácido bórico más colorante h) segunda digestión i) titulación con ácido clorhídrico j) comparación de giro de color.

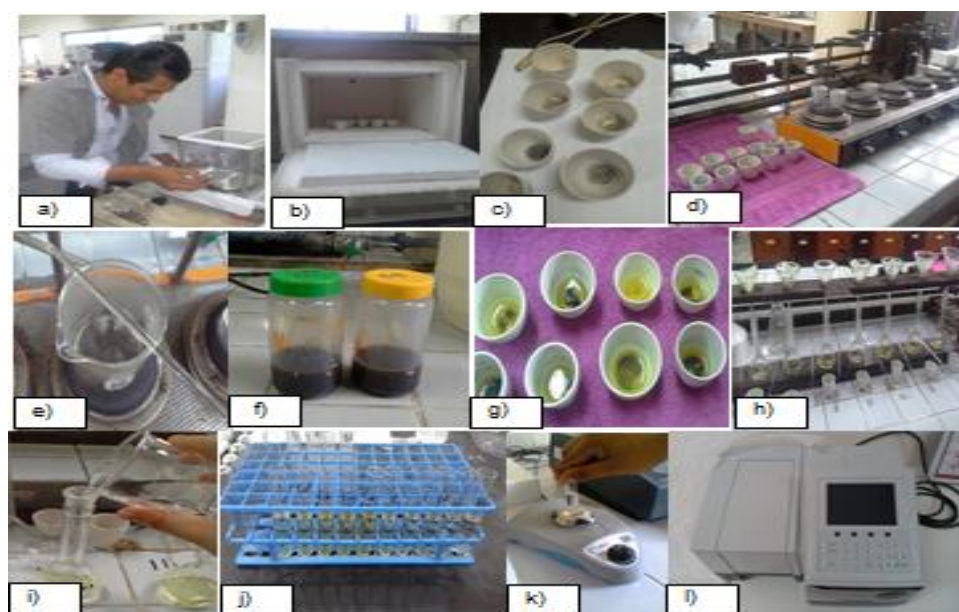


Figura A-23. Determinación de fósforo, Método Colorimétrico:

a) pesaje de las muestras de vinaza deshidratada, b) incineración de muestras de vinaza deshidratada en mufla c) cenizas de muestras de vinaza deshidratada, d) y e) digestión de muestras de vinaza deshidratada y condensado de vinaza, f) clarificación de la vinaza cruda con carbón activado g) muestras a filtrar, h) filtración i) aforrado, j) coloración de muestras, k) agitación con Vortex, l) lectura en fotómetro



Figura A-24. Determinación de potasio, Método fotometría de llama:

a) pesaje de las muestras de vinaza deshidratada, b) incineración de muestras de vinaza deshidratada en mufla c) digestión de cenizas de muestras de vinaza deshidratada y condensado de vinaza en hot-plate, d) filtración de muestras de vinaza deshidratada e) filtración de muestra de vinaza deshidratada, f) filtración de muestras de condensado de vinaza g) aforo en balones volumétricos i) lectura en fotómetro de llama.

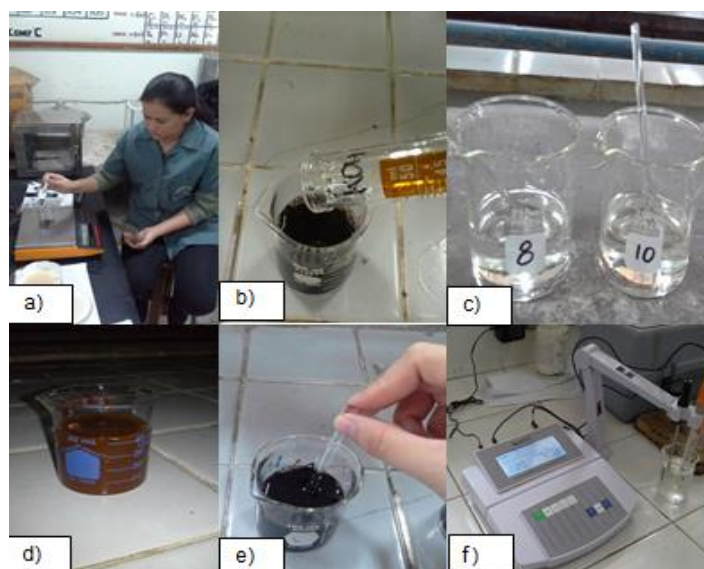


Figura A-25. Determinación de pH:

a) peso de la vinaza deshidrada en beaker b) adición de agua destilada a muestra c) muestra de condensado de vinaza homogenizada en beaker d) vinaza cruda en beaker e) agitación de muestras f) lecturas de muestras en pH-metro.

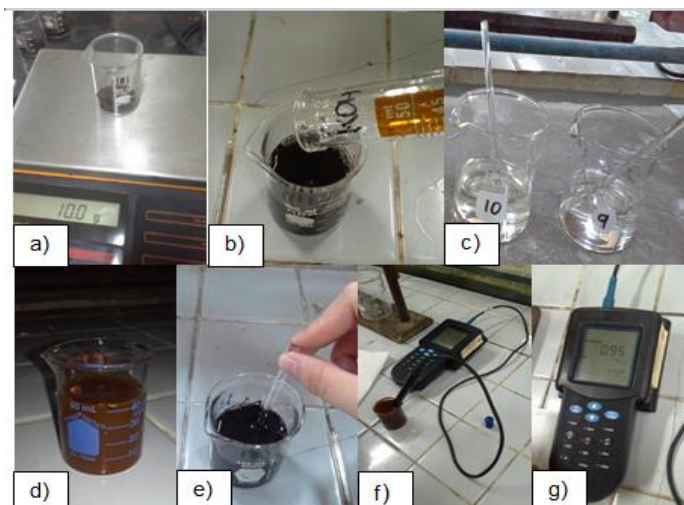


Figura A-26. Salinidad, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Diluidos, y Temperatura:

a) peso de muestra de vinaza deshidratada en beaker, b) adición de agua destilada a muestra de vinaza deshidratada, c) muestras de condensado de vinaza homogenizada en beaker, d) vinaza cruda en beaker, e) agitación de muestras, f) lecturas en equipo Sonda Multi-parámetro, g) Sonda Multi-parámetro.



Figura A-27. Determinación de Materia Orgánica:

a) pesaje de muestras de vinaza deshidratada en bandejas cerámicas, b) bandejas cerámicas con muestras de vinaza deshidratada. c) adición de HCl a muestras de vinaza deshidratada, d) secado en estufa de muestras de vinaza deshidratada, e) muestras de condensado de vinaza y muestra de vinaza cruda, f) introducción de muestras de condensado de vinaza y vinaza cruda al TOC, g) introducción de muestras de vinaza deshidratada al TOC, h) lecturas en computadora del equipo TOC.

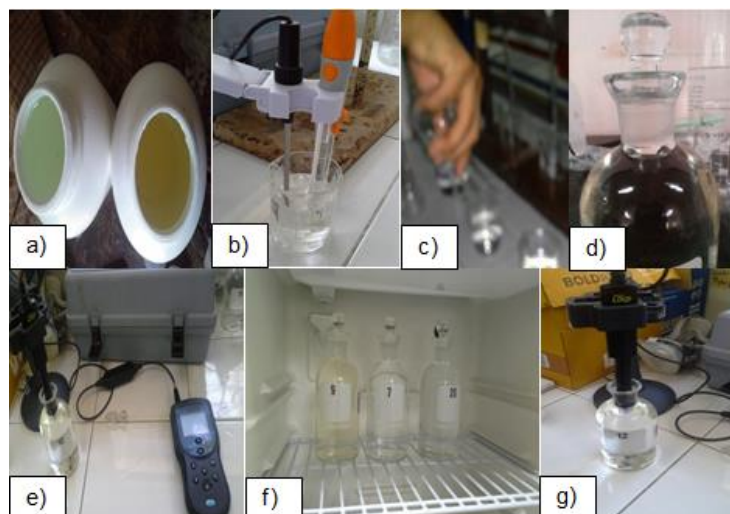


Figura A-28. Demanda Biológica de Oxígeno:

a) muestras de condensado de vinaza, b) medición de pH, c) ajuste de pH, d) llenado de botellas Winkler, e) lectura de OD, f) incubación por 5 días, g) lectura de OD a los 5 días.

San Salvador, 11 de mayo de 2018

N° de Solicitud SA0984	N° de Reporte: RA3750
Datos del cliente	
Empresa:	Universidad de El Salvador Facultad de Ciencias Agronómicas.
Responsable:	Juan Antonio Flores
Dirección:	Universidad de El Salvador, San Salvador.
Teléfono:	7418-8492
E-mail:	ja23_10@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Agua Residual, Vinaza.
Fecha de ingreso:	26/04/2018
Hora de ingreso:	04:45 p.m.
Fecha de análisis:	26/04/2018
Recolectado por:	Cliente

REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	NORMA PARA AGUAS RESIDUALES NSO 13.49.01:09**	METODO***	DICTAMEN
Demanda Química de Oxígeno* (DQO) mg/L.	50,700	150	Standard Methods for the examination of water and wastewater: American Public health Association, American Water Works association, Water Environment Federation 5220-D, 22 nd. Edition 2012	RECHAZADO

*Análisis Acreditado por OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación)

**Norma Salvadoreña Obligatoria. Tabla 1. Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario, para descargar sin cuerpo receptor.

***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th. Edition, 2012
mg/L. Miligramos por Litros

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Muestra de aspecto turbio, color café oscuro, olor fermentado, con sedimento. Recibida en frasco plástico.

OBSERVACIÓN: El resultado no cumple con el valor establecido por la norma de referencia.

La muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.

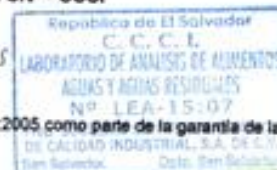
Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada. Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total de este reporte debe ser autorizada por el cliente; el Centro de Control de Calidad Industrial no autoriza la copia parcial del reporte.

Atentamente,

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI

Su firma
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas
Directora Ejecutiva

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes.



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,
San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfonos: (503) 2284-0888; (503) 2284-0223
E-mail: ccci@navegante.com.sv, ventas@ccci.com.sv
Página Web: ccci.com.sv



Página 1 de 1

Figura A-29: Hoja de resultado de análisis de DQO, muestra de vinaza cruda.

San Salvador, 20 de julio de 2018

N° de Solicitud SA1534	N° de Reporte: RA6187
Datos del cliente	
Empresa:	Universidad de El Salvador.
Responsable:	Ricardo Walberto Tejada Mejía
Dirección:	Universidad de El Salvador, San Salvador.
Teléfono:	2829-6421
E-mail:	ricardo.wtm@gmail.com

R31, D2L3

Datos Muestra	
Naturaleza	Muestra de plástico de un volumen de 10ml
Fecha de ingreso:	12/07/2018
Hora de ingreso:	03:20 p.m.
Fecha de análisis:	13/07/2018
Recolectado por:	Cliente

REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	NORMA PARA AGUAS RESIDUALES NSO 13.49.01-09*	NORMA ANDA AGUAS RESIDUALES**	METODO***	DICTAMEN
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L	6,680	600	1,000	Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public health Association, American Water Works association, Water Environment Federation 5220-D, 22 nd. Edition 2012.	RECHAZADO

*Norma Salvadoreña Obligatoria. Tabla 2. Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor por tipo de actividad. Numeral 2. Productos del reino vegetal. Sección 4. Fábricas y Refinerías de azúcar.

**Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. ANDA

***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 th. Edición. 2012
mg/L. Miligramos por Litros

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Muestra de aspecto traslúcida, incolora, sin sedimentos, sin sólidos en suspensión, olor dulce y a degradación. Recibida en frasco plástico.

OBSERVACIÓN: El resultado no cumple con el valor establecido por las normas de referencia.

Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.

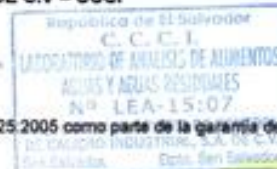
Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada. Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total de este reporte debe ser autorizada por el cliente; el Centro de Control de Calidad Industrial no autoriza la copia parcial del reporte.

Atentamente,

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI

Sulma Yanira Reyes de Serpas
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas
Directora Ejecutiva

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes.



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

CENTRO DE CONTROL
DE CALIDAD INDUSTRIAL

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lieboe #35,
San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfonos: (503) 2284-0886, (503) 2284-0223
E-mail: ccci@navigante.com.sv, ventas@ccci.com.sv
Página Web: ccci.com.sv



Página 1 de 1

1-1 Hx=10

Figura A-30: Hoja de resultado de análisis de DQO, muestra del condensado tratamiento DCP-3L.