

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DIRECCION DE INVESTIGACION

NOMBRE DE LA INVESTIGACION.

Evaluación de tres deshidratadores solares para el tratamiento de la vinaza de caña de azúcar y análisis físico químico de los productos resultantes.

TITULO A OBTENER.

Ingeniero agrónomo.

AUTORES.

Nombres, apellidos	Institución y dirección	Teléfono y E-mail	Firma
Estudiantes			
Juan Antonio Flores Molina	UES, Residencial AltaVista pasaje 22, block L casa 50, Ilopango, SS	jaf23_10@hotmail.com 7418-8492	
María Eva Leiva Cruz	UES, Col. Llanos de la Chacra, final pasaje E, casa número 5, S.S	maeva.leiva@gmail.com 7480-1724	
Ricardo Walberto Tejada Mejia	UES, Urb. Montes de San Bartolo IV, Polígono 21, Pasaje 15, Casa 33, Soyapango.	ricardo.tejada.mejia@gmail.com 7879-6421	
Docentes directores			
Lic. M. Sc. Norbis Salvador Solano Melara	Departamento de Química Agrícola de la Universidad de El Salvador	norbis_21@yahoo.es 7547-9634	
Lic. Daniel de Jesús Palacios	Departamento de recursos naturales y medio ambiente de la Universidad de El Salvador	daniel.palacios@ues.edu.sv 7864-3651	

Visto bueno:

Coordinador General de Procesos de Graduación del Departamento de Química Agrícola: Ing. Agr. M. Sc. Juan Milton Flores Tensos	Firma: _____
Director General de Procesos de Graduación de la Facultad de Ciencias Agronómicas: Ing. Agr. Enrique Alonso Alas García	Firma: _____
Jefe del Departamento de Química Agrícola: Lic. M. Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada.	Firma: _____
Sello:	
Lugar y fecha: Ciudad Universitaria, 3 de febrero de 2019	

NOMBRE DE LA INVESTIGACION.

Evaluación de tres deshidratadores solares para el tratamiento de la vinaza de caña de azúcar y análisis físico químico de los productos resultantes.

AUTORES. Flores-Molina J A¹, Leiva-Cruz M E¹, Tejada-Mejía R W¹, Solano-Melara N S², Palacios-Castillo D J²

RESUMEN.

La investigación se llevó a cabo durante los meses de mayo a noviembre de 2018 en el municipio de San Salvador, en la Universidad de El Salvador. Para ello se utilizaron tres deshidratadores solares con dimensiones de 1m cuadrado cada uno, de los cuales, uno fue elaborado con cobertura de vidrio (DCV), y otro con cobertura de plástico (DCP) y uno sin cobertura (DSC), se evaluaron tres volúmenes en cada deshidratador: 3 litros, 5 litros y 10 litros de vinaza, repitiendo esto en tiempo haciendo un total de 36 unidades experimentales, de los cuales se tomaron 18 muestras líquidas como sólidas en las cuales se analizaron diferentes 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) (para los deshidratadores con cobertura), lamina evaporada (mm), radiación solar (W/m²), humedad relativa del ambiente (%), nubosidad (%) y velocidad de viento (km/h), los cuales fueron factores independientes en el estudio de los deshidratadores, que determinó el rendimiento en horas necesarias en deshidratar toda la muestra; dando como resultados en el rendimiento, 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 %. Mientras que los resultados físico químicos presentaron una disminución en la demanda química de oxígeno de 50,700 mg/L a 9,623 mg/L comparada con el líquido resultante de la deshidratación; mientras que, para la demanda biológica de oxígeno, la vinaza contenida al inicio fue 2,106 mg/L y el líquido resultante fue de 0.00 mg/L. En la vinaza deshidratada, las cantidades en promedio de Nitrógeno 2.13 %, Fósforo 0.16 % y Potasio de 14.46 %. Por lo que se puede considerar como un buen abono ó material prima para la elaboración de abono orgánico.

Palabras clave: Deshidratación de vinaza, Deshidratadores Solares, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Análisis Físicoquímicos, Vinaza, Octales.

NAME OF RESEARCH.

Evaluation of three solar dehydrators for the treatment of sugarcane vinasse and chemical physical analysis of the resulting products.

AUTHORS. Flores-Molina JA¹, Leiva-Cruz ME¹, Tejada-Mejía RW¹, Solano-Melara NS², Palacios-Castillo DJ²

¹Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola, Estudiantes Tesistas

²Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Docentes Asesor

ABSTRACT.

The research was carried out during the months of May to November 2018 in the municipality of San Salvador, at the University of El Salvador. For this, three solar dehydrators with dimensions of 1 m square each were used, of which one was made with glass cover (DCV), and another with plastic cover (DCP) and one without cover (DSC). Three volumes in each dehydrator were evaluated: 3.00 liters, 5.00 liters and 10.00 liters of vinasse, repeating this in time making a total of 36 experimental units, of which 18 liquid samples were taken as solids samples (dehydrated vinasse); in which different chemical physical properties were analyzed: Chemical oxygen demand (COD), Biological oxygen demand (BOD₅), Total dissolved solid, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, pH, Electrical conductivity and organic matter. In addition, different environmental factors were measured ambient temperature (°C), Internal temperature (°C) (for dehydrators with cover), Evaporated laminate (mm), Solar radiation (W/m²), Relative ambient humidity (%), Cloudiness (%) and speed of wind (km/h), which were independent factors in the study of dehydrators, and determined the performance in hours needed to dehydrate the entire sample, resulting in performance, For dehydrator without coverage 73.54 % while the physical chemical results showed a decrease in chemical oxygen demand from 50,700 mg/L and the resulting liquid was 0.00 mg/L. In dehydrated vinasse, the average amounts of Nitrogen 2.13 %, Phosphorus 0.16% and Potassium of 14.46 %. So it can be considered as a good fertilizer or raw material for the preparation of organic fertilizer.

Keywords: Vinasse dehydration, Solar dehydrators, Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), Physicochemical Analysis, Vinasse, octal.

1. INTRODUCCION.

La vinaza de destilería, se deriva de la fermentación alcohólica de las mieles de caña de azúcar y su contenido representa más del 90% de agua y el resto es materia seca con diferentes contenidos de levaduras, proteínas, enzimas, compuestos inorgánicos, etc. (García A. y Rojas C. 2005). 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; lo que 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 varios compuestos como melanoidinas, fenoles (ácido tánico y húmico), caramelos y derivados furánicos. (Chanfón y Lorenzo 2014).

En El Salvador la fertirrigación con vinaza en suelos cañeros es más frecuentemente utilizada, debido a los elementos contenidos como el potasio y fósforo; 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 tierra (Monje J. 2017). 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, 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; generando malos olores como consecuencia de la putrefacción de los restos orgánicos. (Christofolletti *et al.* 2013).

Un estudio realizado por Alfaro y Ocampo (s.f.), utilizaron a la vinaza como aporte de sales solubles al suelo la cual presento una alta salinidad, afectando al cultivo y su productividad. Además, presentó valores de conductividad eléctrica de 0.4 mS/cm, con esto se demostró 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.

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 % equivalente a 116,000 y 41,200 ppm respectivamente. Por lo cual se hace necesario su tratamiento antes de ser eliminada. (Chanfón y Lorenzo 2014).

Pero existen alternativas de uso de la vinaza, como solución nutritiva, en la cual, estudios realizados por Dos Santos *et al.* (2012), utilizando el método de decantación de vinaza, se consiguió un residuo más claro, con un olor ligeramente endulzado y un pH que varía entre 5.3 a 6.0. El volumen de materia sólida y orgánica eliminado de la solución fue de aproximadamente un 90 %. Después de la filtración, se conservó 0.2 % de la materia orgánica y sólida remanente. Al realizarle un análisis químico a la vinaza tratada demostró que el nivel de potasio aumentó, mientras que los otros nutrientes como cloruro, sulfato, sodio, calcio, fosfatos, hierro, manganeso y zinc disminuyeron, de esta manera se obtuvo resultados aceptables en el uso de la vinaza tratada utilizándola como abono orgánico en plantas como lechuga y berro. Además, Plaster (2000) menciona que, de los trece elementos principales presentes en la vinaza, el nitrógeno impulsa un crecimiento carnosos rápido. El fósforo proporciona un crecimiento temprano de la raíz y del florecimiento y una resistencia a las plagas y a los daños climatológicos. Por otro lado, el potasio confiere fuerza, dureza y resistencia a las plagas.

Otra alternativa para darle tratamiento a las vinazas es por medio de la deshidratación en equipos solares, cuyo funcionamiento descrito por Ruiz (s.f.) consiste en que una superficie de color negro, con una cubierta con un material transparente y expuesta a los rayos solares 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; en el cual se aprovecha el efecto denominado de invernadero. De lo anterior Según Larsson y Tengberg (2014), menciona que la deshidratación se utiliza para concentrar la vinaza, proceso que logró eliminar al menos un 70 % de la cantidad de líquido presente. Por esta característica es una forma de reducir el impacto medioambiental de este producto de desecho.

Existen diferentes tipos de deshidratadores, pero los más utilizados según Huevo y Morán (2012), son el deshidratador solar tipo pileta: bandeja de color oscuro sin ninguna protección o equipo de almacenamiento de energía y Deshidratador solar de dos vertientes o tipo caseta consta de un tejado de material transparente (vidrio o plástico). La radiación del sol evapora el agua, luego se condensa en el panel transparente, se desliza por los lados y precipita a un depósito situado bajo la bandeja.

El Salvador, por estar ubicado entre los 13° y 14° 30' latitud norte aproximadamente, recibe grandes cantidades de energía solar durante el año, que son óptimas para el funcionamiento de los equipos deshidratadores; observando que, en el mes 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, la radiación solar es más directa que en las otras épocas del año. En el transcurso de la época lluviosa de mayo a octubre existe abundante nubosidad que obstaculiza el paso de los rayos solares principalmente en los meses de junio y septiembre que son los más lluviosos, no obstante, debido a la alta humedad relativa en el ambiente junto con las temperaturas predominantes en ese periodo, estas pueden ser productivas para la realización de la deshidratación. (Huezo y Morán 2012).

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, Sólidos 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 supone 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 investigaciones en el área, como evaluación de comportamiento en aguas superficiales y suelos de estos productos.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 UBICACIÓN Y DURACIÓN

El estudio se desarrolló en el periodo comprendido de mayo a noviembre de 2018 en la Universidad de El Salvador, sede central, San Salvador. Específicamente 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 % de humedad relativa anual. El terreno donde está ubicada la estación posee una topografía plana.

2.2 GESTIÓN DE PERMISOS Y EQUIPOS

Fue necesario la gestión de:

- Permiso de uso del espacio físico de la Estación Meteorológica
- Permiso para uso del equipo de la Estación Meteorológica concerniente del Sistema de Estudios Territoriales (SNET).
- Permiso de uso de dos prototipos de deshidratadores solares de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

2.3 ADECUACION DE LOS DESHIDRATADORES

En el deshidratador de dos vertientes con cobertura de plástico (DCP), con dimensión de un metro cuadrado y pileta de cerámica negra, 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, se reemplazó una de las placas de vidrio que se encontraba quebrada y toda la tubería interna con PVC. Y se preparó un tercer deshidratador solar sin cobertura (DSC), con un tamaño de un metro cuadrado y pileta de cerámica negra.

2.4 METODOLOGIA DE CAMPO

2.4.1 ORDENAMIENTO DE LOS PERIODOS PARA CADA REPETICION

Se denominó periodo al rango de horas/día (ocho horas/día) que tardaron los tres deshidratadores solares en transformar la vinaza cruda en productos resultantes. El periodo inició una vez puesta la vinaza cruda (15 minutos antes de las ocho de la mañana), y terminó hasta finalizar la deshidratación. El rango de horas/día varió para cada equipo; pero se concluyó el periodo una vez que los tres equipos terminaron el proceso de deshidratación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Periodos de las repeticiones

Primera repetición	Segunda repetición
Periodo 1: DSC-3 L; DCP-5 L; DCV-10 L	Periodo 4: DSC-5 L; DCP-5 L; DCV-10 L
Periodo 2: DSC-5 L; DCP-10 L; DCV-3 L	Periodo 5: DSC-10 L; DCP-10 L; DCV-3 L
Periodo 3: DSC-10 L; DCP-3 L; DCV-5 L	Periodo 6: DSC-3 L; DCP-3 L; DCV-5 L
Tercera repetición	Cuarta repetición
Periodo 7: DSC-5 L; DCP-10 L; DCV-10 L	Periodo 10: DSC-3 L; DCP-5 L; DCV-10 L
Periodo 8: DSC-10 L; DCP-3 L; DCV-3 L	Periodo 11: DSC-10 L; DCP-3 L; DCV-5 L
Periodo 9: DSC-3 L; DCP-5 L; DCV-5 L	Periodo 12: DSC-5 L; DCP-10 L; DCV-3 L

2.4.2 COLOCACION DE LA MUESTRA EN LOS DESHIDRATADORES

Las muestras se homogenizaron con ayuda de una vara de madera limpia, se agitó por diez minutos. 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 de líquido condensado en los frascos de recolección con capacidad 1.2 litros.

2.4.3 TOMA DE DATOS

Los datos meteorológicos se recolectaron de maneras diferentes:

- Por el equipo de la estación meteorológica: radiación solar (W/m^2), temperatura ambiente ($^{\circ}C$), velocidad del viento (Km/h) y humedad relativa (%). La toma de datos se hizo cada hora (8:00 am a 4:00 pm).
- Datos medidos y observados en campo:
la temperatura interna ($^{\circ}C$) 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, hasta que concluyó la deshidratación. La nubosidad se midió para los tres deshidratadores solares, en octales 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 %).

- 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. Para sus análisis respectivos

2.4.4 RECOLECCION DE MUESTRAS

2.4.4.1 CONDENSADO DE VINAZA

Al momento de colocar la vinaza cruda en cada periodo, se montaron frascos plásticos de 1.2 L, donde se recolectó el condensado. 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. Para realizar los análisis correspondientes

2.4.4.2 VINAZA DESHIDRATADA

Cuando la cantidad de condensado de vinaza alcanzó un aproximado de 94.00 % recolectado, es decir, alrededor de 9.40 L para un volumen de 10.00 L; 4.70 L para un volumen de 5.00 L y 2.82 L para el volumen de 3.00 L, determinando visualmente, cuando la lámina de vinaza tuvo aproximadamente 0.50 mm de espesor; este remanente con humedad sirvió para recolectar toda la muestra contenida en la pileta, luego con la ayuda de una espátula de acero inoxidable se recolectó en bolsas plásticas tipo Ziploc los sólidos, y luego se llevó 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 introdujo en la estufa de aire circulante por un promedio de 24 horas a 60-70 °C hasta lograr peso constante.

2.4.4.3 LIMPIEZA DE LAS PILETAS DE CERÁMICA

Se realizó al finalizar cada periodo, utilizando agua, cepillo y esponja, para eliminar cualquier resto de vinaza deshidratada.

2.5 METODOLOGIA ESTADISTICA

2.5.1 DISEÑO ESTADISTICO 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 (3 L), cinco litros (5 L), y diez litros (10 L). 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. Se realizaron cuatro repeticiones (R1, R2, R3, R4) de estos nueve tratamientos, obteniendo en total de 36 unidades experimentales.

2.5.2 VARIABLES ESTUDIADAS

2.5.2.1 VARIABLES PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LOS DESHIDRATADORES SOLARES Y VARIABLES AMBIENTALES

- 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.
- 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/m²;
- Temperatura ambiente en °C;
- Humedad relativa del ambiente en %;
- Velocidad del viento en Km/h;
- Nubosidad en %

2.5.3 ANÁLISIS EFECTUADOS

2.5.3.1 PRUEBAS REALIZADAS EN LAS VARIABLES PARA DETERMINAR EFICIENCIA DE LOS DESHIDRATADORES SOLARES Y PARA LAS VARIABLES AMBIENTALES

Se realizó un ordenamiento de datos en el programa Excel® versión 2016 de Microsoft Corporation™. Para luego se tabuladas y graficadas; una vez terminado se procedió con el programa InfoStat® versión estudiantil 2018: 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.)

2.5.3.2 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

Los nueve tratamientos se repitieron cuatro veces, para los respectivos análisis se tomó la mitad, para garantizar el análisis por duplicado de cada tratamiento. Dentro de estos tratamientos seleccionados (DCP, DCV Y DSC), se obtuvo dos tipos de muestras denominados: condensado de vinaza y vinaza deshidratada, además, se analizó la vinaza cruda al inicio y finalización del ensayo, de los parámetros de DBO₅ y DQO, de esta manera observar los cambios en el tiempo de sus propiedades. Para el ordenamiento y observación de los análisis físicos químicos, se realizó un promedio de los datos obtenidos, usando el programa Excel® versión 2016 de Microsoft Corporation™

2.6 METODOLOGIA DE LABORATORIO

2.6.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

La vinaza cruda, se clarificó con carbón activado, se filtró y guardo en balones volumétricos. Para el condensado de vinaza se realizó una digestión en húmedo la muestra con 5 ml HCl, se filtró y guardo en balones volumétricos. Y la vinaza deshidratada se secó en estufa a 50 – 70 ° C/ 24 horas, se molió, se tamizó y se guardó en desecador.

2.6.2 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS EFECTUADOS

- Determinación de Nitrógeno, Método Micro-Kjeldahl.
- Determinación de Fósforo, Método Colorimétrico.
- Determinación de Potasio, Método de espectrofotometría de llama.
- Determinación de pH, Método Potenciométrico.
- Salinidad, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Disueltos y Temperatura, Método Potenciométrico.
- Determinación de Materia Orgánica.
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).

2.7 METODOLOGIA ECONOMICA

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. Los resultados son las horas que fueron necesarias para deshidratar la vinaza cruda y transformarla en productos resultantes.

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.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 EFICIENCIA EN HORAS DE DESHIDRATACIÓN

El deshidratador más eficiente en horas, es el DCV-5 L, demostró que lo largo de la fase de campo un promedio en horas más bajo en comparación a los otros equipos. Con una media de 6 horas, desviación estándar de 0.52 horas y coeficiente de variación de 8 %. de esta manera se determinó, que es en promedio 47 % más rápido en realizar su labor en horas comparado con el otro deshidratador con cobertura de plástico con la misma lamina; y 61 % más rápido en realizar su labor en horas comparado con el otro deshidratador sin cobertura con la misma lamina (Figura 1). Lo que concuerda con Bhardwaj *et al.* citado por Gonzales (2014), este indicó que los deshidratadores con cobertura de vidrio son alrededor del 60 % más eficientes respecto a los deshidratadores con cobertura de plástico. Esto debido a las propiedades de transmitancia de los materiales

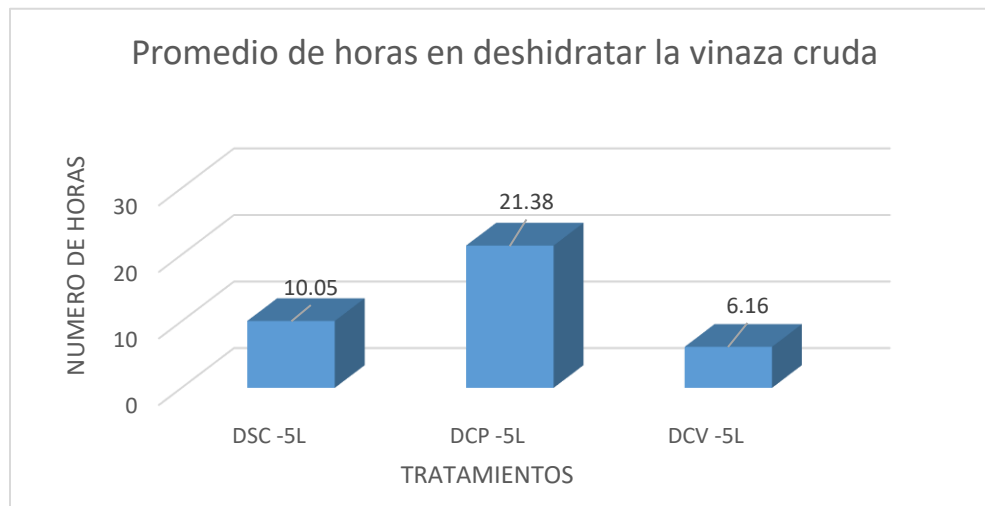


Figura 1. Promedio de horas de deshidratación

3.2 EFICIENCIA EN VOLUMEN DE CONDENSADO DE VINAZA Y GRAMOS DE VINAZA DESHIDRATADA

Para el volumen de condensado de vinaza el mayor promedio lo presento el DCV-10 L con un porcentaje promedio de 94.36 %, con desviación estándar de 3.70 L, y coeficiente de variación de 0.39 % y el menor porcentaje lo presento el DCP-3 L con 94.07 % (Figura 2), 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. Mientras que para el deshidratado de vinaza el mayor promedio lo presentó el DSC-10 L con un porcentaje de 2.47 %, con una desviación estándar de 15.78 g y un coeficiente de variación de 6.39 % y el menor fue el DCV-3 L con un porcentaje de 1.76 % (Figura 3), 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.

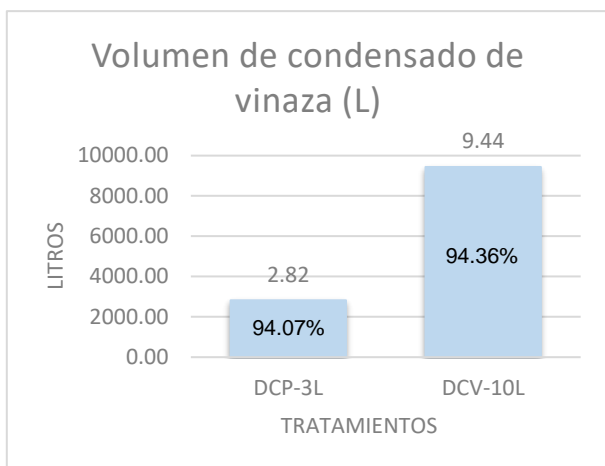


Figura 2. Volumen de condensado de vinaza

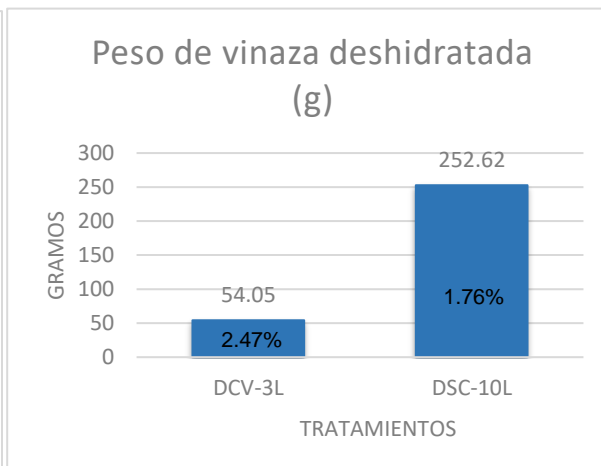


Figura 3. Peso de vinaza deshidratada

3.3 LAMINA EVAPORADA, TEMPERATURAS INTERNAS Y VARIABLES AMBIENTALES

Se observó en los datos recolectados que, las variables ambientales evaluadas tiene una relación directa en el aumento de las temperaturas internas y de evaporación de la lámina, siendo los datos cuyas variables climáticas fueron más estables para el deshidratador con cobertura de plástico el tratamiento DCP-3 L, para el deshidratador sin cobertura el tratamiento DSC-10 L y el deshidratador con cobertura de vidrio el tratamiento DCV-5 L, obtuvo los mejores resultados y 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 %, 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 °C/hora, con una desviación estándar de 2.67 °C y un coeficiente de variación de 4.45 %, considerándose a este tratamiento como el mejor bajo esas variables climáticas evaluadas (Cuadro 2).

Las variables ambientales descritas tuvieron relación directa con la temperatura interna del tratamiento DCV-5 L, 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 5 mm de espesor, bajo condiciones ambientales propias de la época, obteniendo datos promedio de 65.80 °C.

Por otra parte Al-Hinai *et al.* (2002), planteó que la velocidad del viento es un factor que influye en la deshidratación, debido a que, disminuye la temperatura interna de la cubierta de vidrio y

plástico, que favorece a una mayor condensación, aseguro también que, este es más influyente si la velocidad del viento 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 para DCV-5.00 L 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 registró velocidades de viento promedio de 5.40 Km/h, el cual generó una productividad de deshidratación del 13.00 %, al mismo tiempo señala que incluso a bajas velocidades de viento (<1.00 m/s), se generó deshidratación en comparación a condiciones sin viento.

Para el caso del deshidratador sin cobertura, la influencia de los parámetros ambientales afecta en el factor de evaporación, debido a que no presenta un área de cobertura para condensación. Lucio (2015), mencionó 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.

Cuadro 2. Promedios de parámetros y variables ambientales para los tres deshidratadores mejor evaluados

Tratamiento	Lámina evaporada (mm) Temperatura interna (°C)			Humedad relativa %		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
DCP-3 L	53.00 °C	3.56	6.72	60.38	3.68	6.10
DCV-5 L	59.98°C	2.67	4.45	60.24	3.96	6.57
DSC-10 L	0.54mm	0.09	16.65	59.05	4.44	7.52
Tratamiento	Temperatura ambiente (°C)			Nubosidad %		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
DCP-3 L	28.01	0.28	1.01	48.74	25.1	51.51
DCV-5 L	28.04	0.33	1.17	42.42	26.64	62.80
DSC-10 L	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	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
DCP-3 L	832.89	64.38	7.73	2.05	0.49	23.84
DCV-5 L	816.65	58.51	7.16	2.01	0.45	22.25
DSC-10 L	842.41	43.08	5.11	2.41	0.49	20.43

3.4 PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS

3.4.1 VINAZA CRUDA Y CONDENSADO DE VINAZA

La vinaza cruda sin tratar y el condensado de vinaza no pueden ser vertidas a cuerpos receptores; ya que, se encuentran fuera de los valores permisibles para los parámetros de: Nitrógeno, Fósforo, pH y DQO (Cuadro 3), por lo que, si se estima al condensado de vinaza obtenido como agua de riego, este debe ser evaluado y medida la calidad de agua para uso agrícola, según Castellanos *et al.* (2000), en base a la conductividad eléctrica la vinaza cruda tiene restricción de uso, mientras que el condensado de vinaza puede ser aplicada sin ningún riesgo de uso. Lo que concuerda con los rangos de calidad de agua para irrigación según la FAO, s.f. y se clasifica a la vinaza cruda como una sustancia de muy alto riesgo de salinidad o reducción de la permeabilidad y el condensado de vinaza con bajo riesgo de salinidad.

Cuadro 3. Promedios de análisis físicos químicos, Norma Salvadoreña NS0-13.49.01:09, parámetros de calidad de agua de riego agrícola e irrigación

	Vinaza cruda	Condensado de vinaza	Valor máximo de la Norma Salvadoreña para aguas residuales	Parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola	Calidad de agua para irrigación
N (%)	0.12	0.0114	0.0050	-	-
P (%)	1.67	0.0003	0.0015	-	-
K (%)	0.70	0.0003	No especifica	-	-
pH	4.97	3.45	5.50-9.00	-	-
Ce- mS/cm	14.90	0.50	-	0.70-3.00	0.75-3.00
DBO ₅ (mg/L)	2,106	0	3,000	-	-
DQO (mg/L)	50,700	9,623	3.500	-	-

3.4.2 VINAZA CRUDA Y VINAZA DESHIDRATADA

La vinaza deshidratada obtenida en la investigación se consideró como abono orgánico, con un pH ligeramente ácido, ya que según los rangos reportados por Soto y Meléndez (2004), en cuanto a los parámetros de Nitrógeno y Fósforo está en los niveles óptimos permitidos (Cuadro 4). La Materia orgánica obtenida presentó un porcentaje similar a los presentados por Orozco y Muñoz (2012), donde el compost presentó 13.80 % y el lombricompost de 34.40 %, también Quintanilla *et al.* (2013), obtuvo para el bocachi 15.17 % de materia orgánica y la gallinaza con 43.25 %, por lo que para este parámetro puede considerársele a la vinaza un abono orgánico comparado con los abonos de uso común.

Cuadro 4. Promedios de análisis físicos químicos y niveles óptimos para abonos orgánicos

	Vinaza deshidratada	Niveles óptimos para clasificación de abonos orgánicos
N (%)	2.13	> 2.00
P (%)	0.16	0.15 - 1.50
K (%)	0.61	No especifica
pH	6.91	-
MO (%)	47.16	-

3.5 RELACIÓN COSTO/EFFECTIVIDAD

El deshidratador con cobertura de vidrio (DCV) obtuvo una relación costo/efectividad de 4.24 \$/h, es decir que en cada hora se deshidrató 0.74 L a un costo de \$4.24 con una eficiencia del 73.54 %. Es decir que el deshidratador de vidrio alcanzó el mayor costo, sin embargo, deshidrató un volumen específico en menor tiempo, logrando de esta manera la mayor eficiencia (Cuadro 5).

Cuadro 5. Relación costo/efectividad por deshidratador

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

4. CONCLUSIONES

Se observó el mejor resultado de eficiencia en cuanto a la variable horas de deshidratación, lo obtuvo el deshidratador (DCV-5L), con 6.16 horas y una eficiencia del 81.17 %, sobre los otros equipos evaluados.

Se demostró que a mayor volumen de vinaza cruda, mayor es el condensado (Vol.) el cual se obtuvo con el deshidratador con cobertura de plástico con volumen de 10.00 litros de vinaza (DCP-10L), con 94.24 % equivalente a 9.42 L, por lo que el volumen de condensado y gramos fueron similares en (DCP y DCV) es decir que estas variables son independientes al tipo de deshidratador a utilizar, sin embargo, existió una diferencia en cuanto la variable gramos de vinaza deshidratada, siendo mejor el deshidratador con cobertura de vidrio con volumen de 10.00 L de vinaza (DCV- 10 L), con un 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.

La vinaza cruda y el condensado de vinaza no pueden ser descargadas a cuerpos receptores por sobrepasar los valores máximos permisibles de la Norma Salvadoreña Obligatoria para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. Así mismo, 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, por lo cual no puede ser utilizada ya que sobrepasa la NSO 13.49.01:09 y la conductividad.

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

5. 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 y en base a la disponibilidad de materiales para su construcción.

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.

6. BIBLIOGRAFÍAS

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>.

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.

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
- 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
- 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. Disponibl: en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reccat/laderas/protec/6.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
- 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.
- 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.
- 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) Tecnicaña. 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.
- 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.
- Monje J. 2017.** Tratamiento de la vinaza. Ingenio la cabaña. San Salvador. El Salvador.
- 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.
- Plaster EJ. (2000).** La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Parainfo. España.

- Quintanilla Menjivar, 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.
- 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.
- Yavara Chavez, W. 2013.** Estudio de dos tipos de destiladores solares pasivos para el tratamiento de aguas del río camaña 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