



<https://revistaagrocienza.wordpress.com/>

DOI:10.5281/zenodo.10975265

Artículo de investigación

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

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

Flores-Molina JA¹; Leiva-Cruz ME¹; Tejada-Mejía RW¹; Solano-Melara NS²; Palacios-Hernández DJ²

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo durante los meses de mayo a noviembre de 2018 en la Universidad de El Salvador del municipio de San Salvador, El Salvador, C.A. Se utilizó un diseño experimental completo al azar con arreglo factorial de 3x3 con dos factores, factor A: volúmenes de vinaza y factor B: deshidratadores solares. Los deshidratadores solares fueron deshidratador sin cobertura (DSC), deshidratador con cobertura de plástico (DCP), y deshidratador con cobertura de vidrio (DCV), estos tuvieron una dimensión de un metro cuadrado cada uno, en los que se evaluaron tres volúmenes de vinaza cruda: 3 litros, 5 litros y 10 litros, haciendo un total de 36 unidades experimentales, para lo cual se escogieron 18 unidades a las que se analizaron 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 DCP y DCV), lamina evaporada (para el DSC) (mm), radiación solar (W/m²), humedad relativa del ambiente (%), nubosidad (%) y velocidad de viento (km/h), los cuales tuvieron incidencia en la eficiencia de cada deshidratador solar, la eficiencia determinó el número de horas necesarias para deshidratar un volumen de 72 L de vinaza cruda; se utilizó un análisis costo/efectividad obteniendo para el deshidratador sin cobertura 59.41% de eficiencia, el deshidratador con cobertura de plástico 27.61% de eficiencia y el deshidratador con cobertura de vidrio con 73.54% de eficiencia. Resultando con la mayor eficiencia el DCV deshidratando los 72 L en un menor tiempo. La metodología estadística empleada consistió en un análisis de varianzas, donde los resultados mostraron que el mejor tratamiento para las variables ambientales estudiadas fue el DCV-5L por obtener la menor variabilidad en los resultados respecto a los demás tratamientos. Los resultados físico químicos presentaron una disminución en la demanda química de oxígeno de la vinaza cruda en 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 presentó demanda. Según los valores de N, P, K, DQO y pH, la vinaza cruda y el condensado de vinaza no pueden ser vertidas a cuerpos receptores. En la vinaza deshidratada, los promedios fueron N con 2.13 %, P con 0.16 % y K con 14.46%, por lo que se considera a la vinaza deshidratada como abono orgánico.

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

2 Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Palabras clave: deshidratación de vinaza, deshidratadores solares, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), análisis fisicoquímicos, vinaza, octales.

ABSTRACT

The research was carried out from May to November 2018 at the University of El Salvador, municipality of San Salvador, El Salvador, C.A. A complete randomized experimental design with a 3x3 factorial arrangement with two factors was used. Factor A: vinasse volumes and factor B: solar dehydrators. The solar dehydrators were dehydrator without cover (DSC), dehydrator with plastic cover (DCP), and dehydrator with glass cover (DCV). These had a dimension of one square meter each, in which three volumes of raw vinasse were evaluated: 3 liters, 5 liters and 10 liters, making a total of 36 experimental units. Eighteen units were chosen to which physical chemical properties were analyzed: chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (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) (for DCP and DCV), evaporated sheet (for DSC) (mm), solar radiation (W / m²), humidity relative environment (%), cloudiness (%) and wind speed (km / h). These parameters had an impact on the efficiency of each solar dehydrator, the efficiency determined the number of hours necessary to dehydrate a volume of 72 L of raw vinasse; A cost / effectiveness analysis was used, obtaining for the dehydrator without coverage 59.41% efficiency, the dehydrator with plastic cover 27.61% efficiency and the dehydrator with glass cover with 73.54% efficiency. Resulting with the highest efficiency the DCV dehydrating the 72 L in a shorter time. The statistical methodology used consisted of an analysis of variances, where the results showed that the best treatment for the environmental variables studied was the DCV-5L because it obtained the least variability in the results compared to the other treatments. The physical-chemical results showed a decrease in the chemical oxygen demand of the raw vinasse in 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 did not present a demand. According to the values of N, P, K, COD and pH, the raw vinasse and the vinasse condensate cannot be discharged into receiving bodies. In dehydrated vinasse, the averages were N with 2.13%, P with 0.16% and K with 14.46%, for which reason dehydrated vinasse is considered organic fertilizer.

Keywords: vinasse dehydration, solar dehydrators, chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), physico-chemical analysis, vinasse, octal.

INTRODUCCIÓN

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 y Rojas 2005). Según Korndorfer *et al.* (2010), la composición de la vinaza es muy variable y 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 demanda química de oxígeno (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 dosis que se aplica es de 100 metros cúbicos de vinaza por cada 700 metros cuadrados de tierra (Monje 2017).

Un estudio realizado por Alfaro y Ocampo (s.f.), utilizaron a la vinaza como aporte de sales solubles al suelo, la cual presentó una alta salinidad, afectando al cultivo y su productividad. Además, mostró valores de conductividad eléctrica de 0.4 mS/cm (microSiemens/centímetro), con esto se demostró el poder de salinización que presenta la vinaza y que obliga a tomar medidas, cuando se aplican altas y continuas cantidades de vinaza en el cultivo.

Por su elevado contenido de materia orgánica, la vinaza constituye un material altamente

contaminante, si se dispone directamente, ya que los valores de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (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, 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. Además, Plaster (2000) menciona que los 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 agrícolas.

Otra alternativa para darle tratamiento a la vinaza, 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 creando dentro un efecto 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 Huezo 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 que 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 aproximadamente entre los 13° y 14° 30' latitud norte, recibe grandes cantidades de energía solar durante el año, que son óptimas para el funcionamiento de los equipos deshidratadores; observando que para el mes de diciembre, enero y febrero, la incidencia de los rayos solares se encuentra orientada hacia el sur. 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 de la Universidad de El Salvador: 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.

MATERIALES Y MÉTODOS

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, con coordenadas: 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.

Materiales y equipos

Equipo de la Estación Meteorológica del Sistema de Estudios Territoriales (SNET), ubicado en la estación meteorología de la UES, utilizado para la toma de datos ambientales: radiación solar, humedad relativa, temperatura ambiente y velocidad del viento, que es un ordenador que almacena los datos.

Termómetro digital para medir las temperaturas internas de los deshidratadores con cobertura.

Dos prototipos de deshidratadores solares de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que tenían un metro cuadrado cada uno y pileta de cerámica negra, con cobertura de dos aguas.

Regla graduada transparente para la medición de la lámina evaporada en el deshidratador sin cobertura.

Vinaza cruda, obtenida directamente de los pozos de oxidación del ingenio cañero La Cabaña.

Adecuación de los deshidratadores

En el deshidratador de dos vertientes con cobertura de plástico (DCP), se reemplazó la cobertura total, sustituyendo el vidrio por plástico. En el deshidratador solar de dos vertientes con cobertura de vidrio (DCV), 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.

Metodología de campo

En la investigación se contó con tres deshidratadores solares, por lo que se diseñó un modelo de campo basado en el diseño estadístico. Donde se tomaron en cuenta las cuatro repeticiones durante el experimento, y cada repetición con tres periodos (haciendo en total 12), y un periodo a su vez contenía tres unidades experimentales (haciendo en total 36).

Periodos

Se denominó periodo al rango de horas/día (ocho horas/día) que tardaron los tres deshidratadores solares en transformar la vinaza cruda en condensado de vinaza y vinaza deshidratada. 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 finalizó el periodo una vez que los tres equipos terminaron el proceso de deshidratación (Cuadro 1).

Preparación y colocación de la muestra en los deshidratadores

La muestra se homogenizó agitando por diez minutos con ayuda de una vara de madera limpia. Para luego ser colocadas 15 minutos antes de las 8:00 a.m. con ayuda de recipientes plásticos con capacidad de un litro, según cada tratamiento en el periodo correspondiente.

Cuadro 1. Periodos en las repeticiones en campo

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

Toma de datos

Los datos meteorológicos se recolectaron de maneras diferentes:

Por el equipo de la estación meteorológica: se obtuvieron los datos de radiación solar (W/m^2), temperatura ambiente ($^{\circ}C$), velocidad del viento (Km/h) y humedad relativa (%). La toma de datos se realizó 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 debido a que este método empírico clasifica la cantidad de nubes presentes en la bóveda celeste: 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%).

Metodología de laboratorio

Recolección de muestras

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 substituyó por uno vacío, el frasco lleno se trasladó al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas para realizar los análisis correspondientes

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 contenía aproximadamente 0.50 mm de espesor; este remanente con humedad sirvió para recolectar toda la muestra presente en la pileta, luego con la ayuda de una espátula de acero inoxidable se recolectó en bolsas plásticas con cierre hermético los sólidos, para ser transferidos al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Pesado y secado de vinaza deshidratada en estufa: la muestra obtenida se pesó y se llevaron a estufa de aire circulante por un promedio de 24 horas a 60-70 $^{\circ}C$ hasta lograr peso constante.

Preparación de las muestras

La vinaza cruda, se clarificó con carbón activado,

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

Análisis físico-químicos

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).

Análisis de datos

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 volúmenes de vinaza cruda: tres litros (3L), cinco litros (5L), y diez litros (10L). El factor “B” con tres tipos 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.

Variables estudiadas

Variables para determinar la eficiencia de los deshidratadores solares

Número de horas para transformar la vinaza cruda en productos resultantes: condensado de vinaza y vinaza deshidratada.

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 las variables ambientales y dos parámetros.

Parámetro 1: temperatura interna en °C

Parámetro 2: lámina evaporada en mm

Variables ambientales

Radiación solar en Watt/metros cuadrado (W/m²);

Temperatura ambiente en grados centígrados (°C);

Humedad relativa del ambiente en porcentaje (%);

Velocidad del viento en kilómetro/hora (Km/h);

Nubosidad en porcentaje (%)

Análisis efectuados

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

Se realizó un ordenamiento de datos en el programa Excel® versión 2016 de Microsoft Corporation™. Con el programa InfoStat® versión estudiantil 2018, se efectuó el análisis de varianza con prueba de Tukey; análisis paramétrico para obtener el contraste entre los resultados, con base en 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.)

Tabulación y representación gráfica de los análisis físicos químicos

Para el ordenamiento, observación y graficado de los análisis físicos químicos, se realizó un promedio de los datos obtenidos, usando el programa Excel® versión 2016 de Microsoft Corporation™. Los nueve tratamientos se repitieron cuatro veces; de estos, se escogió la mitad para los respectivos análisis, y así garantizar un análisis por duplicado de cada tratamiento. Donde se obtuvieron dos tipos de muestras denominados: condensado de vinaza y vinaza deshidratada, además, se analizó la vinaza cruda al inicio y a la finalización del ensayo, de los parámetros de DBO_5 y DQO, observando de esta forma los cambios en el tiempo de las propiedades.

Metodología económica

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 condensado de vinaza y vinaza deshidratada.

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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficiencia en horas de deshidratación

La eficiencia en horas para cada tratamiento se muestran en la Figura 1, donde se observa gráficamente que el menor número de horas de deshidratación lo obtuvo el DSC-3L con un promedio 5.00 horas, con un coeficiente de variación (CV) de 40% y una desviación estándar (DE) de ± 2.00 horas. Sin embargo, el DCV-5L con un promedio de 6.16 horas, con un coeficiente de variación (CV) de 8.47% y una desviación estándar (DE) de ± 0.52 horas; demostró que, siendo uno de los

tres menores promedios en horas de deshidratación, es estadísticamente aceptable, ya que obtuvo una menor variabilidad en los resultados.

Los promedios obtenidos en los tratamientos donde se utilizó la cobertura de plástico fueron mayores con relación a los sin cobertura y con cobertura de vidrio (Figura 1). Lo que concuerda con Bhardwaj *et al.* citado por Gonzales (2014), indicando 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.

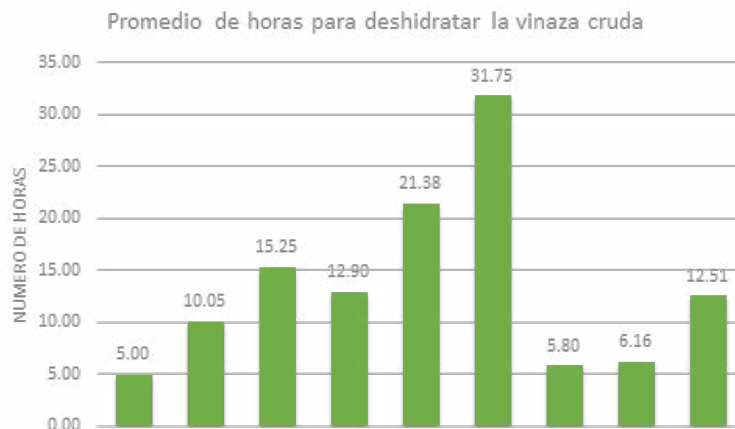
Eficiencia en volumen de condensado de vinaza

La figura 2 muestra los promedios en porcentaje de volumen de condensado de vinaza en litros (L) para los seis 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.

La cantidad de líquido contenido en una muestra de vinaza dependerá de la dilución a la que esté sujeta, por lo que según ECURED (2010), la vinaza utilizada en la investigación se clasifica según su cantidad de líquido contenido, como una vinaza diluida, al contener entre del 92.00 a 90.00%.

Eficiencia en gramos de vinaza deshidratada

La figura 3 muestra los porcentajes promedios de los gramos de vinaza deshidratada para los nueve 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



	DSC-3L	DSC-5L	DSC-10L	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DCV-3L	DCV-5L	DCV-10L
H	5.00	10.05	15.25	12.90	21.38	31.75	5.80	6.16	12.51
CV	40.00	37.07	14.54	6.23	30.88	42.75	36.28	8.47	19.58
DE	2.00	3.73	2.22	0.80	6.60	13.57	2.10	0.52	2.45

Figura 1. Promedio de horas de deshidratación

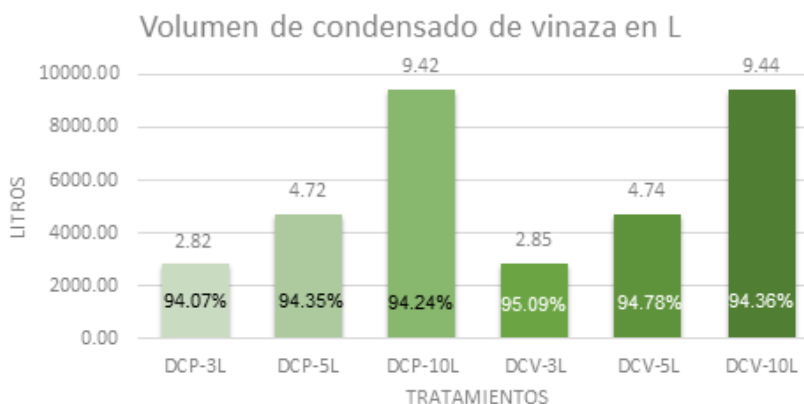


Figura 2. Volumen de condensado de vinaza

de la vinaza deshidratada obtenido en el proceso de deshidratación.

Lo anterior se sustenta con los datos obtenidos por García y Rojas (2015), quienes demostraron 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.

Parámetros: lámina evaporada y temperaturas internas con relación a las variables ambientales

Se observó en los datos recolectados que las variables ambientales evaluadas, tienen una relación directa en el aumento de las temperaturas internas y la lámina evaporada. Para cada tipo de deshidratador, uno de los tres volúmenes se comportó de una manera más estable, presentando en el Cuadro 2, los resultados estadísticos de los tipos de deshidratadores. Para el deshidratador sin cobertura, el tratamiento DSC-10

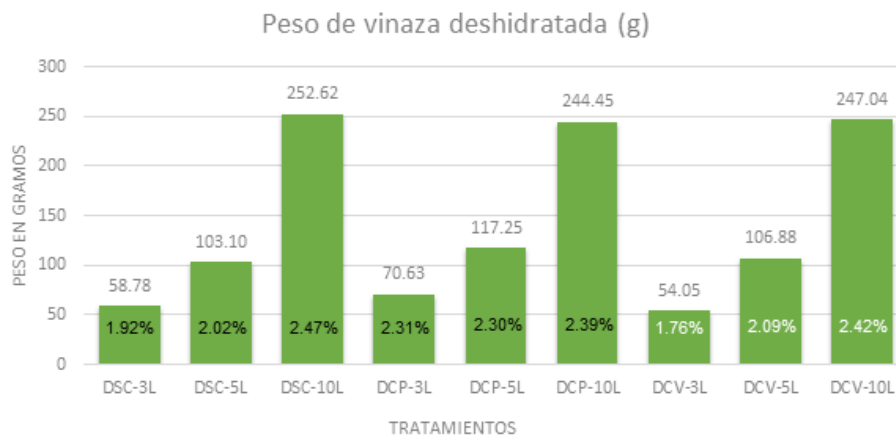


Figura 3. Gramos de vinaza deshidratada

L, para el deshidratador con cobertura de plástico el tratamiento DCP-3 L, y para el deshidratador con cobertura de vidrio el tratamiento DCV-5 L.

Las variables ambientales descritas tuvieron relación directa con la temperatura interna del tratamiento DCV-5 L, realizada en esta investigación, este presentó resultados promedios de 59.98°C, lo cual se asemeja a los descritos en la investigación realizada en Argentina por Zurlo *et al.* (s.f), el cual realizó 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, por la disminución de la temperatura interna de la cubierta de vidrio y plástico, la cual favorece con una mayor condensación, aseguró 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 de 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.

Parámetros físico-químicos

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

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

Tratamiento	Lámina evaporada (mm)			Humedad relativa %		
	Temperatura interna (°C)					
	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

Cuadro 3. Promedios de análisis físicos químicos, Norma Salvadoreña NSO-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	-	-

agrícola, según Castellanos *et al.* (2000), con 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.), clasificando 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. El pH de la vinaza deshidratada es ligeramente ácido, por lo cual no puede ser utilizada, porque sobrepasa la NSO 13.49.01:09 y la conductividad (CONACYT

2009).

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 reportados 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 considerarse 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	-

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

CONCLUSIONES

Se observó que el mejor resultado de eficiencia en cuanto a la variable horas de deshidratación, lo obtuvo el tratamiento DCV-5L, con 6.16 horas, presentando la menor variabilidad en los resultados estadísticos.

Relación costo / efectividad

El deshidratador con cobertura de vidrio (DCV) obtuvo una relación costo/efectividad de 4.24 USD\$/h, es decir, que en cada hora se deshidrató 0.74 L a un costo de USD\$4.24 con una eficiencia del 73.54%. Esto significa que el deshidratador de vidrio alcanzó el mayor costo, pero, deshidrató los 72 litros en menos tiempo, logrando de esta manera la mayor eficiencia (Cuadro 5). Lo que representa un corto tiempo de deshidratación y una mayor eficiencia comparado con el deshidratador con cobertura de plástico (DCP) que es más barato pero menos eficiente y tarda más tiempo en deshidratar la misma cantidad.

Al utilizar el deshidratador con mayor relación costo/efectividad, se podría obtener el retorno del costo de inversión en menor tiempo y se obtendrían ganancias al vender los productos o utilizar el condensado de vinaza como agua de riego y la vinaza deshidratada como fertilizante, en el mismo ingenio para reducir los gastos en compras externas de fertilizantes.

Se demostró que a mayor volumen de vinaza cruda, mayor es el condensado (Vol.), obtenido con el deshidratador con cobertura de plástico en un 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, existiendo una diferencia en 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 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, porque sobrepasa la NSO 13.49.01:09 y la conductividad.

La mejor relación costo/efectividad, fue para 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.

BIBLIOGRAFÍA

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. 2019. Disponible en: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:r_RTVZQDRXUJ:https://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet%3F%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

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. p.48-49.

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

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. Disponibl: en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recreat/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. p.12-13.
- Gonzales Castro, E. 2014.** Alternativa al modelo hídrico actual de Menorca: cubierta captadora de lluvia, roció y destilación. Tesis. Ing. Msc. Hidrología. Cataluña. España. Universidad Politécnica de Cataluña. p.52, 54.
- 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. 2019. Disponible en: http://www.tecnica.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. p.2-11.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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; 50p.
- Zurlo, HD; Spotorno R; Rodríguez, DA; Figueredo GR. (s.f).** Estudio comparativo de superficies colectoras y cubiertas transparentes (en línea). Argentina. 3, 4p. Consultado 6 may. 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266287033_ESTUDIO_COMPARATIVO_DE_SUPERFICIES_COLECTORAS_Y_CUBIERTAS_TRANSPARENTES