

Evaluación de la vinaza de destilería de la UEB “Arquímedes Colina” para la síntesis de materiales carbonosos

Evaluation of distillery vinasse from “Arquímedes Colina” for the synthesis
of carbonaceous materials

Norberto Rodríguez-Suárez¹<https://orcid.org/0000-0003-1960-9943>

Omaida Quesada-González^{1*}<https://orcid.org/0000-0001-8878-4628>

Roberto Machado-García¹<https://orcid.org/0000-0003-3347-9524>

Manuel Ángel Cantos-Macías²<https://orcid.org/0000-0001-7589-0210>

Dileinys Suárez-Salazar

¹Departamento de Química. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Oriente, Cuba

²Universidad Técnica de Manabí, República de Ecuador

*Autor para la correspondencia: oquesada@uo.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se realizó la caracterización físico-química de la vinaza de destilería de la UEB “Arquímedes Colina”. Se evaluaron los parámetros que determinan la carga contaminante del residual, como es el caso del pH, conductividad eléctrica, temperatura y cenizas. También, por la utilidad que se le pretende dar a este residual, se evaluó el contenido de azúcares reductores, carbón fijo y análisis elemental e inmediato. Los resultados obtenidos indican que, según la Norma Cubana 27:2012, el residual posee

una alta carga contaminante debido, fundamentalmente, a su bajo pH (4,4), su alta temperatura (99°C) y al elevado contenido de sólidos disueltos (40,10 g/L). El contenido de reductores y la polarización (Pol) son 0,20 % y 0,12 %, respectivamente, lo que indica un contenido bajo de azúcares en el residual líquido. El carbón fijo es 6,5 g/L; esto demuestra que la materia orgánica presente es relativamente volátil.

Palabras clave: vinaza de destilería; caracterización; fuente de carbono.

ABSTRACT

In this work, the physicochemical characterization of the distillery stillage from the UEB “Arquímedes Colina” was carried out. The parameters that determine the pollutant load of the residual were evaluated, such as pH, electrical conductivity, temperature and ash. Also, due to the intended use of this residual, the content of reducing sugars, fixed carbon and elemental and immediate analysis were evaluated. The results obtained indicate that according to Cuban Standard 27: 2012 the residual has a high pollutant load due mainly to its low pH (4,4), high temperature (99 °C) and high content of dissolved solids (40,10 g/L). The reductant content and Pol are 0,20 % and 0,12 %, respectively; indicating a low sugar content in the liquid residual. Fixed carbon is 6,5 g/L indicating that the organic matter present is relatively volatile.

Keywords: vinassedestill; characterization; carbon source.

Recibido: 3/10/2022

Aprobado: 20/11/2022

Introducción

El uso indiscriminado de los combustibles fósiles ha provocado un impacto negativo al medio ambiente, debido a la emisión de gases que provocan el efecto invernadero. Además, sus reservas a escala mundial están disminuyendo más rápido de lo que se esperaba. Esta situación ha conllevado a la búsqueda de fuentes de energía alternativas,

amigables con el medio ambiente y sustentables a largo plazo, como es el caso de las fuentes renovables de energía.

Dichas fuentes requieren para su óptimo funcionamiento, de dispositivos que almacenen la energía producida en los picos de generación, para ser usadas en momentos de mayor demanda. En este sentido, las baterías de iones litio y los condensadores electroquímicos, son dispositivos que permiten almacenar la energía eléctrica proveniente de fuentes renovables de energía. En este campo de investigación, existe un creciente interés por el estudio de materiales carbonosos desordenados alternativos al grafito, adecuados para ambas aplicaciones.⁽¹⁾

En la actualidad, existen investigaciones ^(2,3,4) enfocadas en la síntesis de nuevos materiales carbonosos con características eléctricas comparables a los utilizados en baterías para teléfonos móviles, pero obtenidos de precursores asociados a fuentes renovables y más económicas, como es el caso de algunos residuos industriales.

Un precursor con un alto potencial es la vinaza de destilería, debido al gran contenido de materia orgánica ^(5,6), que no se ha evaluado para estos fines. Residuo líquido generado por las industrias licoreras durante el proceso de destilación, para la obtención de alcohol.⁽⁷⁾ Se caracteriza por su gran contenido de sólidos en suspensión, de color marrón y olor a miel final.^(7,8) En promedio, se generan de diez a quince litros de vinaza por cada litro de alcohol producido.⁽⁹⁾ Su alto potencial contaminante es, aproximadamente, cien veces mayor que el de aguas residuales domésticas, principalmente debido a su pH tan bajo (pH: 3,5–5), la alta DBO (10 a 65 g/L) y DQO mayor a 13g/L.^(8,9) Adicionalmente, las sales de potasio, calcio y magnesio que contiene, causan permanentes y costosos problemas de incrustación en equipos de transferencia de calor.⁽¹⁰⁾

Para su tratamiento, y con la finalidad de eliminar su alta carga contaminante, se hicieron ensayos de métodos fisicoquímicos, químicos y biológicos; siendo estos últimos los más apropiados por la gran cantidad de compuestos orgánicos biodegradables que presentan en su composición.^(11,12) Sin embargo, hasta el momento no se ha valorado su aprovechamiento para la obtención de materiales carbonosos, lo que reduciría su impacto ambiental, además de conferirle valor agregado.

El tipo de vinaza depende directamente del proceso de obtención de alcohol, y del tratamiento que se realiza para separarla de la melaza ya fermentada. Su composición puede variar de acuerdo con la materia prima utilizada para la fermentación, y

puedenser cereales, melazas, jugo de caña, entre otros productos que contengan unidades de glucosa, de ahí la importancia de su caracterización.

Cuando el alcohol se elabora a partir de la melaza, se genera vinaza con mayores contenidos de materia orgánica, que cuando procede de jugo o de la mezcla de este con melaza⁽¹³⁾, como es el caso de la vinaza utilizada en este estudio, proveniente de la destilería “Arquímedes Colina”, situada en la localidad de Mabay, provincia Granma. Esta entidad utiliza miel final del central azucarero “Arquímedes Colina”, y en menor medida de otros centrales de la región, por lo que se puede esperar ligeras variaciones en su composición, según la procedencia de la miel. Una parte de la vinaza generada en esta empresase emplea en la producción de levadura torula, pero la mayor parte es vertida a las lagunas de oxidación.

Sobre la base de lo antes expuesto, el objetivo de este trabajo es la caracterización de la vinaza de destilería procedente de la UEB “Arquímedes Colina”, para evaluar sus propiedades como precursor de materiales carbonosos.

Materiales y métodos

Los análisis se realizaron en el Departamento de Química, de la Universidad de Oriente, y el laboratorio de análisis químico del central azucarero “Paquito Rosales”. El equipamiento utilizado se presenta en la tabla 1.

Tabla 1-Equipos utilizados para la realización de los análisis químicos

Equipo	Marca	País de origen
Balanza analítica digital	Sartorius	Alemania
pH-metro	FISHER	USA
Estufa	VENTICEL	España
Mufla	YUDIAN	Shanghái
Agitador magnético	IKA	China

Muestreo

Las muestras fueron tomadas a la salida del proceso de destilación en el periodo comprendido entre diciembre de 2020 y enero de 2021, seleccionando tres días cada mes, para un total de seis muestras. La vinaza fue almacenada bajo refrigeración, y una vez concluido el muestreo, se homogenizo y se tomó un volumen de cinco litros para los ensayos.

Parámetros químico-físicos evaluados

La conductividad eléctrica, el pH, la viscosidad, porcentaje de cenizas, sólidos totales, sólidos totales fijos y materia volátiles, se determinaron utilizando la metodología sugerida en *Standards Methods for Examination of Water and Wastewater*.⁽¹⁴⁾ A continuación se describen las técnicas más importantes:

Materia volátil

En un crisol tarado, se pesa 0,5 g de la muestra seca, se tapa y se lleva a una mufla a 950°C durante 7 min; luego se deja enfriar en desecadora, y se pesa hasta masa constante. Para el cálculo se utiliza la expresión (1).

$$\% MV = \left[\frac{c - d}{c} * 100 \right] - \% Humedad \quad (1)$$

donde

c: peso inicial, g de muestra utilizados

d: peso final, g de muestra después del calentamiento

Cenizas

En un crisol tarado se pesa 0,5 g de la muestra seca, y se lleva a una mufla a 650°C durante 3h; luego se deja enfriar en desecadora, y se pesa hasta masa constante. Para el cálculo se utiliza la expresión (2).

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{E}{F} \cdot 100 \quad (2)$$

donde

F: peso muestra inicial, gr de muestra

E: peso final, gr de muestra después del calentamiento

Carbón fijo

Los valores de carbón fijo se obtienen a partir de los resultados de la determinación de humedad, cenizas y materia volátil.⁽¹⁵⁾ Para el cálculo se utiliza la expresión (3).

$$\% \text{ carbono fijo} = 100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ materia volátil}) \quad (3)$$

Azúcares reductores por el método de Eynon y Lane

Es un método volumétrico en el que se usan dos disoluciones de iones cobre 2+, las cuales reciben el nombre de Fehling A y B. La valoración incluye dos etapas; una inicial, donde se calienta por seis minutos la mezcla de sales de cobre con un volumen de analito cercano al necesario para reducir todo el cobre presente, y una segunda etapa, donde se añade el indicador (azul de metileno). El punto final se debe lograr antes de que transcurra un minuto.⁽¹⁶⁾

Por ciento de Pol

Este método consiste en medir el grado de desviación de la luz polarizada. El punto 100 de la escala está definido por la rotación de la luz polarizada de 26 000 g de sacarosa pura, pesada bajo condiciones atmosféricas normales, y disuelta en un volumen de 100,00 cm³ de agua destilada a 20 °C. La medición se realiza en un tubo de 200 mm y una longitud de onda de 543,23 nm.

Análisis elemental

Se calcula de manera preliminar la composición elemental de la biomasa, partiendo de diferentes correlaciones (4-6)⁽¹⁷⁾, empleando los datos obtenidos experimentalmente en el análisis inmediato. El error absoluto promedio del cálculo es de 3,21%; 4,79%; 3,4% con respecto a los valores medidos de C, H y O, respectivamente:

$$C = 0,637CF + 0,455MV \text{ (wt \%)}(4)$$

$$H = 0,052CF + 0,062MV \text{ (wt \%)}(5)$$

$$O = 0,304CF + 0,476MV \text{ (wt \%)}(6)$$

Los intervalos en los que deben oscilar los valores experimentales de materia volátil (MV) y carbón fijo (CF), utilizados para el cálculo y los contenidos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) en la biomasa, se muestran a continuación:

$$57,2\% \leq MV \leq 90,6\% \text{ y } 4,7\% \leq CF \leq 38,4\%$$

$$36,2\% \leq C \leq 53,1\%; 4,36\% \leq H \leq 8,3\% \text{ y } 31,37\% \leq O \leq 49,5\%$$

Evaluación de la estabilidad

Con el objetivo de estudiar la estabilidad de la vinaza en un determinado espacio de tiempo, se tomaron cinco porciones de 120 mL de la vinaza homogenizada, obtenida en el proceso de muestreo, las que fueron cerradas herméticamente en frascos de vidrio de color ámbar, y guardadas sin refrigeración por un período de tres meses. Al cabo de este tiempo, se evaluaron algunos de los parámetros de importancia y se compararon con los obtenidos en la vinaza fresca.

Resultados y discusión

Caracterización químico-física de la vinaza del “Arquímedes Colina”

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos durante la caracterización de la vinaza de destilería objeto de estudio (Promedio 1).

La temperatura corresponde al momento en que se tomó la muestra en la destilería, la cual es alta, debido a que la vinaza se recoge inmediatamente después de concluido el

proceso de destilación. Se evalúa en estas condiciones porque se vierte caliente a las lagunas de oxidación, y esto aumenta su poder de contaminación.

Tabla2- Resultados de la caracterización físico-química de la vinaza (Promedio 1) y comparación con los resultados de Ibarra (Promedio 2) ⁽¹³⁾

Parámetros	U/M	UEB“Arquímedes Colina”		
		Promedio 1	Promedio2	P-valor
Temperatura	°C	99	98,5	0,008
pH	U	4,40	4,35	0,0007
Índice de refracción	u	1,34	1,34	0,3910
Densidad	g/cm ³	1,01	1,01	0,5418
Viscosidad	cP	0,99	1,19	0,0002
Conductividad eléctrica	ms/m	1 620,04	1 560,04	0,0012
Pol	%	0,12	-	-
Azúcares reductores	%	0,20	-	-
% de sólidos solubles (Brix)	%	4,70	-	-
Sólidos sedimentables	mL/L	12,66	-	-

El pH es bajo debido a la acidificación con sulfúrico que recibe el mosto para lograr las condiciones óptimas de fermentación, además porque se generan ácidos orgánicos durante el proceso. Según la NC 27:2012 ⁽¹⁸⁾, el pH de líquidos residuales debe estar entre 6,0-9,0 para poder ser vertido al medio ambiente, por lo que la vinaza está fuera de norma, es decir, no se debe verter directamente, de ahí la necesidad de aprovecharla.

Cuando se utilice como precursor de materiales carbonosos, como se propone en este artículo, su elevada acidez puede propiciar la activación química del carbón obtenido, con las consiguientes mejoras en las propiedades del sólido que este proceso ocasiona, evitando así el consumo de ácidos para este fin. Este parámetro también es importante cuando los carbones obtenidos se utilicen en procesos de adsorción. Es conocido que el pH del medio puede tener una influencia importante en los mismos. En general, si el pH del medio es mayor que el pH del punto de carga cero del adsorbente, se tiene un predominio de las cargas negativas en la superficie del carbón, favoreciéndose la adsorción de cationes, en caso contrario se obtiene una superficie cargada positivamente y se adsorben aniones. ^(19,20)

Los valores de densidad y viscosidad son bajos por lo que se puede plantear que no tienen un peso importante en la carga contaminante del residual y tampoco ofrecen

mucha información para la evaluación de la vinaza como precursor de materiales carbonos.

La vinaza posee un elevado contenido de sales minerales, esto se refleja en los altos valores de conductividad eléctrica, lo que coincide con lo planteado por otros autores que reportan concentraciones de iones hierro, sodio y potasio de 45,61; 67,91; 33,79 mg/L, respectivamente.⁽¹³⁾

La Pol y los reductores son determinaciones que cuantifican el contenido de azúcares en la muestra, en este caso ambos parámetros son bajos, lo cual indica que el proceso de fermentación fue eficiente. Para la aplicación que se pretende con la vinaza, es deseable que este parámetro alcance mayores valores, pues es conocido que los carbonos de azúcares tienen buenas propiedades eléctricas.

El *brix* es un indicativo de la cantidad de sólidos disueltos, y es utilizado en los laboratorios de control de la calidad en las destilerías. El valor obtenido para la vinaza estudiada está dentro del rango que se considera normal (4,5-5,0°*Brix*) en las destilerías cubanas.

Los sólidos sedimentables son altos comparados con la NC 27: 2012⁽⁸⁾, la cual establece un máximo de 5 mL/L. Este tipo de sólidos forma lodos que contribuyen a la saturación de las lagunas de oxidación, acelerando su impacto ambiental negativo. Por otra parte, deben ser eliminados antes de realizar la síntesis, ya que por su tamaño mayor no entran en las cavidades de la plantilla, y por tanto, conducen a un carbón con una morfología diferente y un tamaño de partícula mayor.

En cuanto al análisis estadístico (ver tabla 2), cuando se comparan los resultados obtenidos en esta investigación (Promedio 1), con los reportados por Ibarra (Promedio 2), se puede apreciar que solo el índice de refracción y la densidad son estadísticamente iguales, con un grado de significación del 95 %. Esto puede estar influenciado por la utilización de sustratos con distinta composición, pues las mieles finales que se emplean en la entidad, no tienen la misma procedencia, ni la misma calidad, entre otros factores.

Análisis inmediato y elemental

En la tabla 3 se muestran los resultados del análisis elemental e inmediato de la vinaza estudiada. Su alto porcentaje de humedad hace que no se pueda pirolizar directamente, por lo que se decide concentrar y utilizar como fuente de carbón durante la síntesis de materiales carbonosos, utilizando plantillas nanométricas.

Tabla 3-Resultados del análisis elemental e inmediato en la vinaza y en el sólido producto de su evaporación a sequedad

Parámetro	Vinaza integral	En el sólido
Sólidos totales (%)	4,01	99,05
Sólidos totales fijos (%)	1,58	39,40
Materia volátil (%)	2,43	60,60
Humedad (%)	96,00	0,50
Cenizas (%)	0,91	22,69
CF (%)	0,65	16,21
C (%)	1,52	37,90
H (%)	0,18	4,60
O (%)	1,35	33,77

En la literatura se reporta, que el contenido elevado de cenizas en materiales carbonosos limita su capacidad de adsorción, debido a que ocupa posibles sitios activos y aumenta la resistividad del material, por la baja conductividad que presentan las sales en estado sólido, por tanto, es un factor que atenta contra la calidad de la vinaza, como fuente de carbón. El alto contenido de sales minerales en la vinaza fue verificado por su elevada conductividad eléctrica, y también se refleja en el contenido de cenizas, tanto en el líquido, como en el sólido.

En la vinaza, la materia volátil representa la mayor parte de los sólidos disueltos, lo cual concuerda con el hecho de que contiene compuestos orgánicos polifuncionales, en donde no predominan los azúcares, a partir de los datos de la Pol y los reductores. Este resultado también está en concordancia con lo planteado por Ibarra ⁽¹³⁾, donde la materia volátil es mucho mayor que los sólidos fijos 40,9 g/L y 6,7 g/L, respectivamente. Al contrastar el resultado de estos tres análisis, se obtiene diferencia estadística significativa con un 95 % de confiabilidad, lo que demuestra que la composición de la vinaza es variable.

El contenido de sólidos totales es menor al obtenido por Ibarra ⁽¹³⁾, que fue de 4,76 g/L, lo cual está determinado por variaciones de composición en el mosto. Una parte importante de estos sólidos se debe a compuestos no volátiles provenientes del caldo de

fermentación (sustancias no fermentables, compuestos fenólicos, polifenólicos y azúcares residuales).^(21,22)

En la tabla 3 se exponen también los resultados de los análisis realizados a un sólido obtenido al evaporar a sequedad; una fracción de la vinaza objeto de estudio. Es apreciable un aumento del valor de los parámetros al pasar de la vinaza al sólido, debido a la disminución de volumen que experimenta la muestra.

El contenido de carbón fijo presente en la vinaza parece bajo comparado con otras fuentes de carbono ^(15,23,24), aunque es importante destacar que representa el 41,13 % de los sólidos fijos presentes en la vinaza. Sin embargo, el porcentaje CF en el sólido de 16,21 % es mayor que el de bagazo de caña sin modificar 1,29 ⁽²⁵⁾ y 7,6 ⁽²⁶⁾, y similar a las maderas ecuatorianas Teca y Guachapelí, con valores de 17,68 y 14,56, respectivamente.⁽²⁷⁾

En el análisis inmediato del sólido, la materia volátil es el mayor valor, corroborando el predominio de materia orgánica que caracteriza la biomasa residual. El método de síntesis que se empleará se basa sobre la utilización de una plantilla nanométrica, la cual adsorbe la materia orgánica ^(1,28), y luego ocurre la pirólisis. De esta forma, se logra la conversión de parte de los compuestos volátiles en carbón, con lo cual aumenta el rendimiento y favorece que el producto de la síntesis sea nanoestructurado.^(29,30,31)

El contenido de carbono, hidrógeno y oxígeno elemental parece bajo en la vinaza, pero en el sólido es comparable, aunque ligeramente menor a otras biomásas residuales como aserrín, bagazo de caña, entre otros.⁽²⁶⁾ Hay que resaltar que casi la mitad del carbono elemental se convierte en carbón fijo, lo que indica que puede ser una fuente de carbono atractiva.

Evaluación de la estabilidad de la vinaza en el tiempo

Se puede apreciar en la tabla 4, que los parámetros evaluados no experimentan un cambio significativo al cabo de tres meses, asumiendo un alfa de 0,05.

Tabla 4- Resultados de la caracterización de 4 muestras de vinaza conservadas por tres meses

Parámetros	U/M	Valor promedio	P-valor
pH	U	4,3	0,061
Densidad	g/cm ³	1,01	0,353
Viscosidad	cP	0,99	0,101
Por ciento decenizas	%	0,93	0,218
Conductividad eléctrica	ms/m	1 670,80	0,001
Sólidos totales	mg/L	40 095,2	0,072
Sólidos totales fijos	mg/L	15 750,7	0,069
Materia volátil	mg/L	24 344,5	0,054
Carbón fijo	g/L	6,60	0,085

Sólo en el caso de la conductividad eléctrica se aprecian diferencias. La comparación se realizó con los valores obtenidos en esta investigación para la vinaza fresca, reportados en la tabla 1.

Es importante señalar que en una de las muestras se observó un crecimiento microbiano que provocó una disminución del contenido de sólidos totales y un ligero aumento del pH, por lo que es importante evitar la contaminación biológica de la vinaza.

De este experimento se desprende que la vinaza puede ser guardada a temperatura ambiente hasta tres meses, sin que se modifiquen sus principales parámetros químico-físicos, lo que facilita las condiciones de almacenamiento.

Conclusiones

La vinaza de destilería tiene un alto potencial contaminante, debido a la gran cantidad de sólidos disueltos, bajo pH y alta temperatura, por lo que debe aprovecharse para obtener materiales carbonosos, o en otros usos que reduzcan ese impacto. Su alto contenido de sales minerales se verificó por la elevada conductividad eléctrica y en el contenido de cenizas, tanto en la vinaza, como en su sólido.

El contenido de carbono, hidrógeno y oxígeno elemental parece bajo en la vinaza, pero en el sólido es comparable, aunque ligeramente menor a otras biomásas residuales. Su contenido de azúcares bajo respecto al total de sólidos disueltos, sin embargo, la mitad del carbono elemental se convierte en carbón fijo en el sólido, demostrando que la

misma puede ser una fuente de carbono atractiva. Su alta acidez puede favorecer las propiedades del carbón obtenido. La vinazano varía su composición fuera de refrigeración por un período de tres meses, siempre y cuando no sufra algún tipo de contaminación biológica.

Referencias bibliográficas

1. ÁLVAREZ, E. D. *et al.* "Síntesis de materiales carbonaceos nanoestructurados". Revista *CENIC. Ciencias Químicas*. 2010, **41** 1-9. ISSN: 1015-8553.
2. YOON, S. H. *et al.* "Novel carbon nanofibers of high graphitization as anodic materials for lithium ion secondary batteries". *Carbon*. 2004, **42**(1), 21-32. ISSN: 0008-6223.
3. WANG, Q. *et al.* "Novel spherical microporous carbon as anode material for Li-ion batteries". *Solid State Ionics*. 2002, **152** 43-50. ISSN: 0167-2738.
4. WANG, Y. *et al.* "Preparation and characterization of carbon nanospheres as anode materials in lithium-ion secondary batteries". *Industrial & engineering chemistry research*. 2008, **47**(7), 2294-2300. ISSN: 0888-5885.
5. MADEJÓN, E. *et al.* "Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain)". *Agriculture, ecosystems & environment*. 2001, **84**(1), 55-65. ISSN: 0167-8809.
6. NANDY, T.; SHASTRY, S.; KAUL, S. "Wastewater management in a cane molasses distillery involving bioresource recovery". *Journal of Environmental Management*. 2002, **65**(1), 25-38. ISSN: 0301-4797.
7. CERÓN, V. Z.; AYERBE, M. A. G. "Caracterización ambiental de las vinazas de residuos de caña de azúcar resultantes de la producción de etanol". *Dyna*. 2013, **80**(177), 124-131. ISSN: 2346-2183.
8. CHRISTOFOLETTI, C. A. *et al.* "Sugarcane vinasse: environmental implications of its use". *Wastemanagement*. 2013, **33**(12), 2752-2761. ISSN: 0956-053X.
9. MORAES, B. S. *et al.* "Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental and economic perspectives: Profit or expense?". *Applied Energy*. 2014, **113**, 825-835. ISSN: 0306-2619.

10. ALZATE, C. E. A. "Caracterización físico-química de una vinaza resultante de la producción de alcohol de una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar". *Ingenierías USB Med.* 2015, **6**(2), 36-41. ISSN: 2027-5846.
11. SHEEHAN, G.; GREENFIELD, P. "Utilisation, treatment and disposal of distillery wastewater". *Water Research.* 1980, **14**(3), 257-277. ISSN: 0043-1354.
12. BERMÚDEZ, R. C.; HOYOS, J. A.; RODRÍGUEZ, S. "Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por tratamiento anaerobio". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 2000, **16**(3), 103-107. ISSN: 0188-4999.
13. IBARRA CAMACHO, R.; LEÓN DUHARTE, L.; OSORIA LEYVA, A. "Caracterización físico-química de vinazas de destilerías". *Revista Cubana de Química.* 2019, **31**(2), 246-257. ISSN: 2224-5421.
14. CLESCERI, L. *Standards Methods for Examination of Water and Wastewater.* 17ma. Edición. APHA – AWWA - WPCF. 1989.
15. CHAMORRO, M. V. *et al.* "Estudio de la combustión de carbones beneficiados provenientes de intercalaciones de las minas de la Jagua de Ibirico-Cesar mediante análisis termogravimétrico". *Prospectiva.* 2008, **6**(1), 55-62. ISSN: 1692-8261.
16. DOS SANTOS, G. L.; GEMMER, R. E.; OLIVEIRA, E. C. "Análise de açúcares totais, redutores e não-redutores em refrigerantes pelo método titulométrico de Eynon-Lane". *Revista Destaques Acadêmicos.* 2016, **8**(4), ISSN: 2176-3070.
17. PARIKH, J.; CHANNIWALA, S.; GHOSAL, G. "A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials". *Fuel.* 2007, **86**(12-13), 1710-1719. ISSN: 0016-2361.
18. N.C 27: 2012. *Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.* 2da. Edición. ICS: 13.060.30.
19. PINZÓN BEDOYA, M. L.; TAMAYO, A. M. C. "Influencia del pH en la bioadsorción de Cr (III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo". *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas.* 2010, **8**(1), ISSN: 0120-4211.
20. RODRÍGUEZ, P.; GIRALDO, L.; MORENO, J. C. "Influencia del pH sobre la adsorción en carbón activado de Cd (II) y Ni (II) desde soluciones acuosas". *Revista Colombiana de Química.* 2010, **39**(3), 401-412. ISSN: 0120-2804.

21. SANGAVE, P. C.; GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. "Combination of ozonation with conventional aerobic oxidation for distillery wastewater treatment". *Chemosphere*. 2007, **68**(1), 32-41. ISSN: 0045-6535.
22. ROBLES GONZÁLEZ, V. *et al.* "Treatment of mezcal vinasses: A review". *Journal of biotechnology*. 2012, **157**(4), 524-546. ISSN: 0168-1656.
23. CARRILLO PARRA, A.; FOROUGHBAKHCH POURNAVAB, R.; BUSTAMANTE GARCÍA, V. "Calidad del carbón de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) MC Johnst. y *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & JW Grimes elaborado en horno tipo fosa". *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2013, **4**(17), 62-71. ISSN: 2007-1132.
24. MALAGUTI, G. "Investigaciones sobre la patogénesis del carbón del maíz, del carbón del sorgo y del carbón del arroz". *Agronomía Tropical*. 2003, **53**(4), 70-77. ISSN: 0002-192X.
25. GUERRERO HABER, J. R. *et al.* "Estudio preliminar de la pirolisis de bagazo de caña con catálisis *in situ*". *Revista Tecnología Química*. 2021, **41**(3), 580-594. ISSN: 2224-6185.
26. PRIMERA PEDROZO, O. *et al.* "Carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo". *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 2011, **35**(136), 387-396. ISSN: 0370-3908.
27. QUESADA GONZÁLEZ, O. *et al.* "Efecto de la velocidad de calentamiento y la biomasa en la cinética de su pirólisis". *Revista Cubana de Química*. 2019, **31**(3), 478-497. ISSN: 2224-5421.
28. LIU, G. *et al.* "Characterization of the porous carbon prepared by using halloysite as template and its application to EDLC". *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2006, **67**(5-6), 1186-1189. ISSN: 0022-3697.
29. SANDI, G. *et al.* "Carbons for lithium battery applications prepared using sepiolite as inorganic template". *Journal of the Electrochemical Society*. 1999, **146**(10), 3644. ISSN: 1945-7111.
30. SANDI, G.; JOACHIN, H.; LU, W. "Comparison of the electrochemical performance of carbon produced from sepiolite with different surface characteristics". *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*. 2003, **6**(2), 75-80. ISSN: 1480-2422.

31. HERNADI, K. *et al.* "Catalytic synthesis of carbon nanotubes using zeolite support". *Zeolites*. 1996, **5**(17), 416-423. ISSN: 0144-2449.

Conflicto de interés

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

Contribución de los autores

Norberto Rodríguez Suárez: concepción y diseño metodológico de la investigación; realización de la parte experimental, discusión de los resultados y escritura del artículo. Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

Omaida Quesada González: concepción y diseño metodológico de la investigación; discusión de los resultados, revisión y aprobación de la versión final del artículo.

Roberto Machado García: colaboración en la discusión de los resultados, revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

Dileinys Suárez Salazar: toma de la muestra y realización de parte experimental.

Manuel Ángel Cantos Macías: Colaboración en la discusión de los resultados, revisión y aprobación de la versión final del trabajo.