

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

Carlos Esteban Aristizábal Alzate
Ingeniero Químico UNAL
cearistizabala@unal.edu.co

(Tipo de Artículo: Investigación. Recibido el 20/05/2015. Aprobado el 19/07/2015)

Resumen. El presente artículo tiene como propósito ilustrar los resultados de la caracterización físico-química de unas vinazas resultantes de la producción de etanol en una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar. Parámetros importantes son presentados para la determinación de la calidad y la evaluación de alternativas de tratamiento para este subproducto, como lo son la temperatura de ebullición, la densidad, entre otros, y parámetros de importancia para el tema de vertimientos líquidos, según la legislación colombiana, como lo son su pH y su curva de titulación.

Palabras clave. Vinaza, Etanol, Caña de Azúcar, Caracterización Físico-Química.

Physicochemical characterization of a stillage resulting of alcohol production through the use of sugar cane in a liquor industry

Abstract. This paper aims to illustrate the results of the physico-chemical characterization of vinasses resulting of the alcohol production in a liquor industry through sugar cane. Important parameters are presented for determining the quality and evaluation of treatment options for this subproduct, such as the boiling point, density, among others, and parameters relevant to the issue of liquid discharges, under Colombian law, such as pH and titration curve.

Keywords. Stillage, Vinasses, Ethanol, Sugar Cane, Physico-Chemical Characterization.

1. INTRODUCCIÓN

Las Vinazas son el residuo líquido generado por las industrias licoreras durante el proceso de destilación del mosto fermentado, para la obtención de alcohol [1], [2], tales como el brandy, el ron, la cachaza y el bioetanol [3]. Este residuo o subproducto, se caracteriza por ser un líquido con un gran contenido de sólidos suspendidos, de color marrón o café oscuro, sabor a malta y olor a miel final [1], [4] (Ver Figura 1). En promedio se generan de 10 a 15 litros de vinaza por cada litro de alcohol producido, dependiendo de los equipos disponibles en la destilería [4]–[6].

Su alto potencial contaminante es de aproximadamente 100 veces mayor que la de las aguas residuales domésticas, principalmente debido a su pH tan bajo (pH: 3.5–5) y la alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), variando este contenido entre 10 y 65 g/L [4]–[6]. Además, de altas concentraciones de potasio y sulfatos [7].



Fig. 1. Muestra de Vinaza

La vinaza tiene también un gran valor como fertilizante, debido a su alto contenido de materia orgánica y de micronutrientes, y a menudo se reutiliza en fertirrigación en los cultivos de caña de azúcar [3], [6]. Sin embargo, cuando se usa en grandes cantidades, las vinazas pueden saturar el suelo y contaminar las fuentes de agua [2], [5],

ya que la aplicación indiscriminada de vinaza está relacionada con la salinización del suelo y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas [3]. Es por esta razón, que la presente investigación tiene como propósito determinar las características fisicoquímicas de las vinazas, con el fin de encontrar, evaluar y simular la alternativa de tratamiento físico, químico o biológico más viable, y de esta manera, disminuir el impacto ambiental negativo que generan los vertimientos de este tipo de sustancias en los cuerpos de agua y en la tierra.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Inicialmente, se tomará una muestra de vinaza de alrededor de 500 ml (Ver Figura 2), una vez el proceso de destilación se encuentre estabilizado. Esta vinaza será bien agitada y homogeneizada, con el fin de garantizar que las muestras obtenidas a partir de esta tengan las mismas características y por ende haya uniformidad en los análisis realizados.



Fig. 2. Muestra de Vinaza colectada para análisis y determinación de propiedades físico-químicas

De estos 500 ml de vinaza que sale del punto de muestreo a una temperatura aproximada a los 64 °C, se tomarán muestras de 15 ml cada una. Inicialmente, a estas se les medirán las propiedades que varíen con la temperatura, por ejemplo la densidad, con el fin

de determinar su dependencia con la temperatura. El procedimiento anterior se realiza hasta el punto en que la vinaza alcance la temperatura ambiente. Una vez las muestras alcancen su temperatura mínima (T ambiente), se procederá al análisis y medición de propiedades que no dependen de la temperatura, como lo es la concentración de azúcares, sólidos totales, humedad etc.

2.1 Temperatura de Ebullición

La determinación de la temperatura de ebullición se realiza poniendo una muestra de vinaza (100ml) en un beaker de vidrio y adicionándole calor por la acción de una estufa eléctrica (Ver Figura 3), hasta que se observe la aparición de burbujas en la muestra. Una vez se dé la aparición de burbujas, se introduce el termómetro y se anota la medida arrojada por este.



Fig. 3. Montaje experimental para la determinación del punto de ebullición

El valor de este parámetro, así como las condiciones medioambientales a las que fue medido, se observan en la Tabla 1.

**TABLA 1
Datos con la temperatura de ebullición de la vinaza y las condiciones medioambientales**

T. de ebullición (°C) a 85 Kpa	T. de Bulbo húmedo (°C)	T. de bulbo seco (°C)
97	23,5	25

2.2 Densidad

Esta propiedad es la relación de la masa con el volumen de una sustancia, para este cálculo se procederá a utilizar un densímetro electrónico portátil marca DENSITO 30PX REF: 395000 (Ver Figura 4). Esta medición se realizará a medida que vaya disminuyendo la temperatura de la vinaza.



Fig. 4. Densímetro utilizado. DENSITO 30PX
Los datos de esta propiedad física junto con su variación respecto a la temperatura, se ilustran en la Tabla 2.

TABLA 2
Datos de la dependencia de la densidad de la vinaza con la temperatura

Temperatura (°C)	Densidad (g/cm ³)
60,5	1,0197
57	1,0222
41	1,0375
40	1,0371
39	1,0369
38	1,0367
37	1,0360
36	1,0370
35	1,0370
34	1,0372
32	1,0383
30	1,0390
29	1,0404
27,5	1,0405

2.3 Capacidad calorífica

Debido a que no se cuenta en el laboratorio con un equipo idóneo que determine esta propiedad, se procede a calcular los grados Brix de la vinaza (utilizando el densímetro, el cual también da esta medida) y con la ayuda de un algoritmo se calcula esta propiedad. El algoritmo es presentado en la página web: <http://www.sugartech.co.za/heatcapacity/index.php>. Los grados Brix a condiciones normales de esta Vinaza, son presentados en

la Tabla 3 y los resultados arrojados por este algoritmo en la Figura 5.

TABLA 3
Grados Brix de la vinaza tomada con el densímetro

Grados Brix	Temperatura (°C)
10,769	25

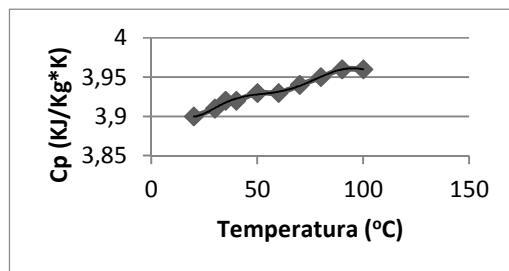


Fig. 5. Capacidad calorífica de la vinaza

2.4 Humedad y sólidos totales presentes en la vinaza

Para el cálculo de este dato, se procede a tomar un beaker, el cual es pesado sin contenido alguno. Luego, se introduce en este un volumen de vinaza de 15 ml y se procede a pesar el contenedor de vidrio junto con la vinaza. La muestra se lleva al horno a una temperatura de 110°C hasta que se elimine toda el agua presente en la muestra. Posterior a esto, se pesa el contenedor de vidrio junto con el material seco presente en este y se procede a restar de este valor el peso del recipiente vacío, para calcular los sólidos totales. La humedad se calcula restando del peso inicial de la Vinaza el contenido de sólidos totales y ese valor se divide por el peso inicial de esta sustancia. Estos valores se pueden visualizar en la Tabla 4.

TABLA 4
Humedad y sólidos totales de la vinaza. Muestra de 10 ml

Peso de la muestra	11,281 g
Peso final de la muestra (seca)	1,057 g
Agua	10,224 g
Humedad	90,63%
Sólidos Totales	0,093 g Materia seca/g de vinaza

2.5 Determinación da la curva de titulación de la vinaza

Esta información es muy importante, pues debido a la complejidad de la vinaza, analíticamente no se puede saber exactamente a qué se debe su acidez, por lo que se hace necesario realizar este experimento. Además, dice cuanto debe ser la cantidad de base

(NaOH) que debe ser agregada para neutralizar, aumentar PH en este caso (Ver figura 6).

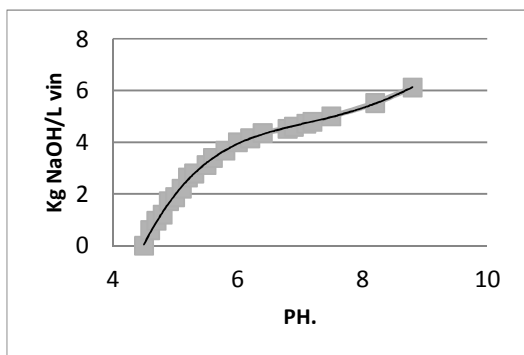


Fig. 6. Curva de titulación de la vinaza

Este proceso se hace necesario si se desea tratar este efluente para cumplir con la normatividad colombiana en el tema de vertimientos líquidos o sé si quisiera darle un tratamiento a la vinaza por métodos biológicos, ya que estos son lo más recomendados por los altos costos energéticos y de separación que conllevan los tratamientos físicos (Evaporación/Concentración) y químicos [3]. A continuación, se describe el procedimiento para la determinación de esta curva y en la Figura 7, se ilustra el montaje experimental implementado para este propósito.

1. Vierta en la bureta, utilizando el embudo, la solución de NaOH (aq) 1,0 M.
2. Deje caer solución de la bureta hasta eliminar las burbujas de aire que pudieran estar en el extremo inferior de la misma.
3. En un beaker coloque 100 ml de la vinaza, tomado con pipeta.
4. Coloque dentro del erlenmeyer el electrodo del PH-metro. Luego encienda el PH-metro.
5. Mida el pH inicial de la vinaza mirando la pantalla del PH-metro. (Ver Figura 8)
6. Deje caer hidróxido de sodio hasta observar hasta observar cambio en el PH.
7. Grafique el pH medido en función de los mililitros de base agregados.

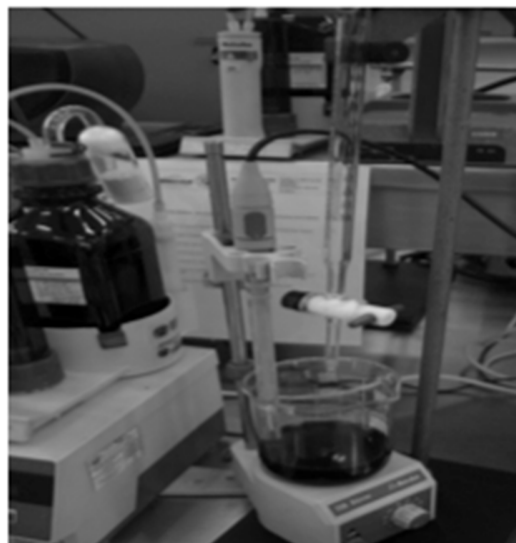


Fig. 7. Montaje experimental para la curva de titulación de la vinaza



Fig. 8. pH-metro utilizado

Los resultados de este procedimiento o titulación, son presentados en la Tabla 5.

TABLA 5
Datos para la construcción de la curva de
titulación de la vinaza

PH	NaOH requerido (ml) 1N (1 mol/L)	Moles de NaOH requerida /L de vinaza	Kg de NaOH requerido /L de vinaza	Cantidad de NaOH requerido comercial (49%p/p) Kg/L vinaza
4,5	0,0	0,000	0,00000	0,000000
4,6	1,5	0,015	0,00060	0,001224
4,7	2,4	0,024	0,00096	0,001959
4,8	3,0	0,030	0,00120	0,002449
4,9	4,3	0,043	0,00172	0,003510
5,0	4,7	0,047	0,00188	0,003837
5,1	5,5	0,055	0,00220	0,004490
5,2	6,6	0,066	0,00264	0,005388
5,3	7,0	0,070	0,00280	0,005714
5,5	7,8	0,078	0,00312	0,006367
5,6	8,5	0,085	0,00340	0,006939
5,8	9,2	0,092	0,00368	0,007510
6,0	10,0	0,100	0,00400	0,008163
6,2	10,4	0,104	0,00416	0,008490
6,4	10,9	0,109	0,00436	0,008898
6,8	11,3	0,113	0,00452	0,009224
6,9	11,5	0,115	0,00460	0,009388
7,1	11,8	0,118	0,00472	0,009633
7,2	12,0	0,120	0,00480	0,009796
7,5	12,5	0,125	0,00500	0,010204
8,2	13,8	0,138	0,00552	0,011265
8,8	15,3	0,153	0,00612	0,012490

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las propiedades determinadas para la Vinaza presentadas en las Tablas 1 y 2, y en la Figura 5, las cuales son respectivamente la Temperatura de Ebullición, la Densidad y la Capacidad Calorífica, se asemejan mucho a las propiedades del Agua líquida a condiciones normales. Esto se debe al alto contenido de agua o Humedad que posee la Vinaza, cerca de un 91%, y al bajo contenido de Sólidos Totales en la muestra (Ver Tabla 4).

Con respecto a la curva de titulación de la Vinaza presentada en la Tabla 5 y en la Figura 6, se puede decir que a pesar de la similitud de algunas de las propiedades fisicoquímicas de la Vinaza con el agua presentadas en el artículo, este aspecto es completamente

diferente, ya que el pH característico de una Vinaza está en un valor que ronda los 4,5 y el agua generalmente se toma como 7. Por lo que, se le debe adicionar cerca de 4,6g de Hidróxido de Sodio (NaOH) puro para que un litro de Vinaza alcance el valor del pH del agua (Ver Tabla 5).

Por lo tanto, si se necesita de propiedades de esta sustancia que no se hallen en la literatura o en el estado del arte, tales como la viscosidad, conductividad térmica, entre otras, para diseñar o estudiar un tratamiento en especial, se puede hacer uso de las propiedades del agua y así lograr una aproximación inicial. Sin embargo, si el tratamiento involucra procesos que dependen del pH, se debe tener precaución y hacer uso de la información plasmada en la Tabla 5 y en la Figura 6.

4. CONCLUSIONES

Las propiedades fisicoquímicas determinadas y calculadas en el presente artículo, se convierten en una aporte al estado del arte y de la técnica en lo que se refiere a vinazas procedentes del aprovechamiento de la caña de azúcar y/o derivados en una industria licorera, ya que permiten conocer aspectos importantes a tener en cuenta si se desean utilizar tratamientos biológicos, de oxidación química y/o físicos (Evaporación/Concentración), que disminuyan el impacto ambiental negativo y potencial de contaminación que tienen las vinazas.

Este trabajo se puede convertir en complemento de otros trabajos similares, ya que aporta datos importantes, que pueden ser utilizados e implementados en una simulación y/o un diseño previo de los tratamientos seleccionados, para que de esta forma se realice un análisis numérico que posibilite tomar la mejor decisión y escoger el tratamiento de las vinazas adecuado.

5. REFERENCIAS

- [1] V. Cerón Zúñiga, "Caracterización Ambiental De Las Vinazas De Residuos De Caña De Azúcar Resultantes De La Producción De Etanol," *Dyna*, vol. 177, pp. 124–131, 2013.
- [2] M. a S. Da Silva, N. P. Griebeler, and L. C. Borges, "Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático\nUse of stillage and its impact on soil properties and groundwater," *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.*, vol. 11, no. 1, pp. 108–114, 2007.
- [3] C. R. Campos, V. A. Mesquita, C. F. Silva, and R. F. Schwan, "Efficiency of physicochemical and biological

- treatments of vinasse and their influence on indigenous microbiota for disposal into the environment," *Waste Manag.*, vol. 34, no. 11, pp. 2036–2046, 2014.
- [4] C. A. Christofolletti, J. P. Escher, J. E. Correia, J. F. U. Marinho, and C. S. Fontanetti, "Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use," *Waste Manag.*, vol. 33, no. 12, pp. 2752–2761, 2013.
- [5] J. Fernanda, U. Marinho, J. E. Correia, A. Claudia, D. C. Marcato, J. Pedro-escher, and C. Silvia, "Ecotoxicology and Environmental Safety Sugar cane vinasse in water bodies : Impact assessed by liver histopathology in tilapia," vol. 110, pp. 239–245, 2014.
- [6] B. S. Moraes, T. L. Junqueira, L. G. Pavanello, O. Cavalett, P. E. Mantelatto, A. Bonomi, and M. Zaiat, "Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense?," *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 825–835, 2014.
- [7] Y. Cobos Becerra and R. Sierra Ordoñez, "Evaluación del Potencial de la Producción de Biogas a partir de Vianzas en un Biodigestor Anaerobio," p. 63, 2007.