

Caracterización fisico-química de vinazas de destilerías

Physicochemical characterization of distillery vinasse

Ing. Roberto Ibarra-Camacho, MSc. Leandro León-Duharte, Lic. Aylin Osoria-Leyva

roberto@ronsantiagodecuba.co.cu

Corporación Cuba Ron S.A., Ronera Santiago de Cuba, Cuba.

Recibido: 23 de octubre de 2017

Aprobado: 27 de octubre de 2018

Resumen

Se realizó la caracterización fisicoquímica de las vinazas obtenidas en el proceso de producción de alcohol a partir de miel final, en las Destilería “Argeo Martínez” y “Arquímedes Colina” de las Provincias Guantánamo y Granma respectivamente. Fueron determinados parámetros físico-químicos clásicos para evaluar el poder contaminante de la vinaza, y se compararon con la Norma Cubana 521:2007. Los resultados obtenidos muestran que los parámetros: DQO, conductividad eléctrica, pH, temperatura, nitrógeno total y contenido de hierro se encuentran por encima de los límites máximos permisibles. Se demuestra el efecto contaminante de las vinazas estudiadas, corroborándose que es inadecuada la disposición final de este residual a las aguas terrestres y marítimas sin un tratamiento previo.

Palabras clave: destilería, vinaza, caracterización.

Abstract

Was carried out the physicochemical characterization of the obtained vinasses in the process of alcohol production from final honey in the Argeo Martínez and Arquímedes Distillery Hill of the Guantánamo and Granma Provinces. Representative chemical-physical parameters were determined for evaluate the polluting power of the vinasse, and were compared with the Cuban Standard 521: 2007. The obtained results show that the parameters: DQO, electrical conductivity, pH, temperature, total nitrogen and iron content are above the maximum permissible limits. It's demonstrated the contaminating effect of the studied vinasses, corroborating that the final disposal of this residual to the terrestrial and maritime waters without prior treatment is inadequate.

Keywords: distillery, vinasse, characterization.

Introducción

Los impactos ambientales de la industria provocan una incidencia directa en la población, ya sea por la emisión de partículas, gases contaminantes y residuales sólidos o líquidos que dificultan el saneamiento ambiental de los ecosistemas. En el proceso de obtención industrial de alcohol etílico por fermentación, usando la miel final de caña de azúcar como fuente de carbono, se obtiene un residual que se conoce con el nombre de vinaza o mosto de destilería. Este es uno de los residuales orgánicos de la industria azucarera de mayor efecto contaminante sobre la flora y fauna, debido a su disposición final inadecuada [1].

El tipo de vinaza depende directamente del proceso de obtención de alcohol y del tratamiento que se realice para separar el alcohol de la melaza ya fermentada. Este residuo proveniente de la destilería, puede variar de acuerdo con la materia prima utilizada para la fermentación y pueden ser almidones, cereales, melazas, jugo de caña, en fin, productos que contengan unidades de glucosa, de ahí la importancia de su caracterización. Algunos estudios realizados han demostrado que presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica, potasio y calcio, así como cantidades moderadas de nitrógeno y fósforo [1, 2]. 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 jugo y melaza

Toda actividad productiva genera residuos (sólidos, líquidos, gaseosos o una combinación de estos), que deben ser tratados y dispuestos de manera que su impacto negativo a la salud humana y al medio ambiente sea el menor posible. Debido al crecimiento de la demanda de alcohol, la cual es superior a las posibilidades de oferta, se impone el incremento de sus niveles de producción con el fin de satisfacer dicha demanda, generando volúmenes de vinaza que la convierte en un problema crítico, que precisa darle solución. Por cada litro de etanol producido a partir de miel final, se obtienen de 12 a 15 L de vinaza como residual, con una demanda química de oxígeno (DQO) entre 60 y 70 g/L, lo que hace muy difícil su degradación y provoca serios problemas ambientales en los recursos hídricos donde se descarga [3, 4].

El presente estudio tiene como objetivo la caracterización de las vinazas residuales de las destilerías “Argeo Martínez” y “Arquímedes Colina” mediante la determinación de parámetros físico-químicos, su comparación con la vinaza de la Destilería Hatuey de Santiago de Cuba y con la legislación cubana vigente.

Métodos experimentales

La experimentación se realizó en los laboratorios del Departamento de Química, de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas y el laboratorio de agua de la Empresa Geominera Oriente “Elio Trincado”, en el período comprendido entre Enero y Junio del año 2017.

- Toma de muestras y tratamiento preliminar

Las muestras fueron tomadas a la salida del proceso de destilación de las empresas mencionadas, por un periodo de tres meses, seleccionando aleatoriamente 3 días en cada mes. Fueron embasadas en frascos de 1 L, limpios y esterilizados, midiéndose la temperatura de la vinaza, en el momento de la toma de muestra. Las mismas fueron transportadas inmediatamente al laboratorio, fueron homogenizadas y una vez filtradas, el residuo sólido y el líquido fueron guardados en refrigerador a 4 °C hasta su posterior análisis.

- Parámetros químico-físicos determinados y métodos analíticos empleados

Se realizaron análisis característicos para este tipo de residual. Los parámetros determinados en las muestras fueron: Temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (λ), densidad, índice de refracción, % de ceniza, sólidos totales (ST), sólidos totales fijos (STF), sólidos totales volátiles (STV), viscosidad relativa, demanda química de oxígeno (DQO), sodio (Na^+), potasio (K^+), nitrógeno y además se determinaron contenidos de metales pesados.

El pH se midió potenciométricamente y la conductividad eléctrica mediante el método conductimétrico. A través de gravimetría se determinó el porcentaje de cenizas, sólidos totales y sólidos totales fijos. El nitrógeno orgánico total, se precisó por el método kjedahl tradicional; la demanda química de oxígeno (DQO) mediante el método espectrofotométrico. El contenido de sodio y potasio mediante fometría de llama. Los contenidos de metales se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica con llama, con un espectrofotómetro Varian Spectra 20 plus. [5-9].

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros de caracterización para las vinazas de los Complejos Agroindustriales objeto de análisis, reportándose el valor medio y coeficiente de variación obtenidos.

TABLA 1. COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS VINAZAS

Parámetros	U/M	CAI Argeo Martínez		CAI Arquímedes Colina.	
		Promedio	C _v (%)	Promedio	C _v (%)
Temperatura	°C	98,3	-	98,5	-
pH	U	3,95	0,15	4,35	0,14
Conductividad Eléctrica	ms/m	1 686,53	0,66	1 560,04	0,51
Densidad	g/cm ³	1,015 2	0,03	1,018 2	0,06
Índice de Refracción	u	1,340 1	0,03	1,341 6	0,03
% Cenizas	%	0,93	0,5	0,69	1,4
Sólidos Totales (ST)	mg/L	42 877,5	0,5	47 600,0	1,7
Sólidos Totales Fijos (STF)	mg/L	9 432,5	1,04	6 685,0	0,51
Sólidos Totales Volátiles (STV)	mg/L	33 430,0	1,62	40 957,5	1,63
Viscosidad	cP	1,08	0,10	1,19	0,42
DQO	g/L	51,53	5,77	54,25	2,90
Nitrógeno total	%	0,73	11,1	0,63	12,8

Todas las muestras de vinazas analizadas presentaron un pH ácido, por lo que el vertido de este desecho directamente al suelo sin control alguno, puede ocasionar el deterioro del mismo o de cuerpos de agua.

Un parámetro importante para medir el grado de contaminación de un desecho es la demanda química de oxígeno (DQO), parámetro que también presentó valores elevados y concordantes con la literatura consultada [3, 4]. La temperatura alta está condicionada por las características del proceso industrial que tiene lugar. Se observan además valores altos de conductividad eléctrica, lo que indica que las vinazas tienen altos contenidos de sales solubles. La mayor parte de los sólidos totales corresponden a los sólidos totales volátiles que tienen naturaleza orgánica. Cabe añadir que los resultados obtenidos de sólidos totales fijos deben corresponderse a compuestos inorgánicos presentes en la biomasa. Estos factores unidos a la acidez y la temperatura a la cual se descargan las vinazas de destilerías, provocan su alto poder corrosivo.

En la tabla 2 se muestran los valores de la concentración de los metales analizados. Los valores más altos encontrados, con respecto al resto de los metales analizados, corresponden al contenido de sodio y potasio, lo que es lógico por ser macronutrientes. Cabe destacar que el contenido de hierro encontrado para ambas vinazas se encuentra en el orden de los macronutrientes, fenómeno poco usual, que ha sido reportado por otros autores y puede estar asociado al poder corrosivo de la vinaza [1, 10, 11].

TABLA 2. ANÁLISIS DE METALES DE LAS VINAZAS ESTUDIADAS

Metales (mg/L)	CAI Argeo Martínez	CAI Arquímedes Colina
Sodio	45,61	48,25
Potasio	67,91	69,02
Cobalto	0,045	0,063
Cobre	0,567	1,213
Hierro	33,790	33,982
Manganeso	2,232	2,174
Molibdato	0,011	0,215
Níquel	0,208	0,142
Vanadio	0,028	0,100
Cinc	0,591	0,764

Se realizó la comparación estadística entre los resultados obtenidos de las vinazas de las dos destilerías, mediante una comparación de muestras pareadas, demostrándose que existen diferencias significativas entre ellas con un 95 % de confiabilidad. Estas diferencias pueden estar vinculadas a la calidad de las materias primas, cepas empleadas, diferencias en los procesos tecnológicos, condiciones climáticas, tipos de suelo, entre otras, las cuales influyen en la composición química de las vinazas

Comparación de las vinazas de destilería objeto de estudio, con vinazas de destilerías cubanas y extranjeras partiendo de miel final de caña

Como se puede observar, en la tabla 3 se muestran los rangos de valores promedios de varios parámetros analizados para este tipo de residual y se comparan con los reportados en literatura para 12 destilerías cubanas y extranjeras, manteniendo siempre como característica principal que la materia prima utilizada es la caña de azúcar y la modalidad de producción sea similar a la de Cuba.

TABLA 3. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE VARIAS VINAZAS OBTENIDAS A PARTIR DE MIELES FINALES DE CAÑA [10, 11, 12]

Análisis	Unidad	CAI Argeo Martínez	CAI Arquímedes Colina.	Destilerías Cubanas	Destilerías Extranjeras
pH	U	3,95	4,35	4,2-4,4	4,1-5,1
Nitrógeno Total	%	0,73	0,63	0,73-0,83	0,24-0,25
Sólidos Totales	%	4,22	4,67	7,1-9,5	11,5-11,9
Cenizas	%	0,93	0,70	1,3-2,3	2,2-3,9
DQO	g/L	51,53	54,25	35,06-71,20	-

Note que las vinazas estudiadas presentan un menor valor de sólidos totales y de cenizas, que otras destilerías. Esto puede deberse, principalmente a la composición y tipo de la materia prima utilizada, ya que hay que tener presente que al ser un residual

no va a tener un valor fijo para cada parámetro en su composición química, sino que va a variar en un rango, debido a que depende de la materia prima que se utilice, de las condiciones climáticas, del suelo y del proceso de elaboración del alcohol [13].

Los valores reportados muestran que las dos vinazas en estudio presentan variabilidad en su composición, pero se encuentran dentro de los límites reportados para este tipo de residual, tanto en nuestro país, como en el mundo, tomando como parámetros cruciales para su futuro aprovechamiento el contenido de nitrógeno, DQO, pH, los cuales se encuentran dentro de los rangos reportados. Por lo que, de forma general, las vinazas de destilerías a partir de mieles de cañas estudiadas son estables, de ahí su importancia, ya que cualquier tratamiento o aprovechamiento de la misma serviría para cualquiera de las 12 destilerías del país.

Comparación de los parámetros fisicoquímicos con las normativas vigentes

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros de mayor interés de las vinazas estudiadas y los valores de los límites máximos permisibles (LMP) reportados por la norma cubana de vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas NC 521:2007 [14].

TABLA 4. COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUÍMICO-FÍSICOS CON LA NC 521:2007 PARA VERTIMIENTO DE RESIDUALES LÍQUIDOS

Parámetros	UM	LMP*	CAI Argeo Martínez	CAI Arquímedes Colina
pH	U	5.5-9.0	3,9	4,3
Temperatura	°C	40	98,3	98,5
DQO	mg/L	190	51 530	54 250
Nitrógeno Total	mg/L	20	7 377,4	6 448,3
Cobre	mg/L	2,000	0,567	1,213
Hierro	mg/L	10,000	33,790	33,982
Níquel	mg/L	4,000	0,208	0,142
Zinc	mg/L	10,000	0,591	0,764

*LMP: Límite Máximo Permisible.

Todas las muestras de vinazas analizadas presentaron un pH ácido, comportamiento similar a lo declarado en otros estudios realizados en las destilerías cubanas. Esta característica es común en vinazas obtenidas de caña de azúcar, (pH 4,2). Lo anterior se debe a la acidificación del mosto con ácido sulfúrico y a la presencia de ácidos orgánicos. Según la bibliografía consultada [4], todo residual que disminuya el pH a valores menores que 6 o lo aumente sobre 7, se considerará como perjudicial para el medioambiente.

La conductividad eléctrica está entre 15 mS/cm y 17 mS/cm. Son valores de conductividad específica relativamente altos, lo que indica que la vinaza contiene una concentración relativamente alta de sales solubles, debido a la gran cantidad de minerales disueltos, fundamentalmente sodio, potasio y hierro.

Los valores obtenidos de DQO para las vinazas fueron muy superiores a los permitidos para desechos líquidos vertidos directa o indirectamente a cuerpos de agua, los cuales no deben exceder los 190 mg/L. El vertido de este desecho, sin tratamiento previo, en fuentes de agua de la zona aledaña a la destilería, causaría un deterioro en la calidad de la misma. Este parámetro está estrechamente relacionado de forma inversa con la concentración de oxígeno disuelto en las aguas, siendo un factor muy importante para indicar contaminación. Los valores dependen del contenido de materia orgánica y de algunas sustancias inorgánicas en las aguas debido a actividades físicas, químicas y bioquímicas [15]. Lo anterior evidencia la contaminación por compuestos orgánicos que genera este residual, por lo que constituye una fuente importante de contaminación de aguas superficiales y del medio ambiente en general.

La relación STV/ST para ambas vinazas es de 0,78 y 0,86 respectivamente, lo que indica que la mayor parte de los sólidos va estar asociado a los sólidos totales volátiles, corroborando el gran contenido de materia orgánica del residual [10].

El nitrógeno total incluye todos los productos naturales, como las proteínas, péptidos, y aminoácidos, entre otros. El valor máximo permisible de nitrógeno total para el vertido de desechos líquidos al agua, según la NC 521:2007 es 20 mg/L. El contenido de nitrógeno total para los dos tipos de vinaza analizados se encuentra por encima del LMP, que establece la norma según el cuerpo receptor, por lo que una disposición inadecuada de este desecho podría causar un gran impacto ambiental. La importancia de la determinación de este parámetro radica en la posibilidad del uso de la vinaza como materia prima en la elaboración de compost o de alimentos para animales

Entre los contenidos catiónicos analizados resalta el hierro cuyos valores para las dos vinazas estudiadas se encuentran por encima de los LMP establecidos en la norma. Estos podrían aprovecharse, conjuntamente con los de sodio y potasio, si estas vinazas pudieran utilizarse con otros fines y no verterse al suelo y cuerpos de agua.

En resumen, los parámetros pH, temperatura, DQO, contenido de nitrógeno total y hierro se encuentran por encima de los LMP establecidos por la norma, indicando el

poder contaminante de la vinaza obtenida como resultado del proceso de destilación de alcohol.

No obstante, uno de los aspectos que más incrementa el impacto contaminante de la vinaza en suelos y cuerpos hídricos son precisamente los grandes volúmenes que se generan de este residual, incrementando la carga contaminante por día. No solo basta con la comparación de los parámetros con los Límites Máximos Permisibles sin tener en cuenta el volumen de residual generado, debido a que la cuantificación de la carga contaminante diaria permite tener una idea más precisa del efecto contaminante del residual analizado y que su evaluación se encuentra en la norma NC 521:2007.

La tabla 5 muestra los límites de carga contaminante diaria en g/d que reporta la NC 521:2007 para clasificar este residual líquido como fuente contaminante o no, de acuerdo a las características del cuerpo receptor. Los valores de carga contaminante en g/d calculados a partir de los valores obtenidos de los parámetros en la caracterización fisicoquímica fueron deducidos tomando en cuenta el volumen promedio de vinaza que aportan las destilerías y considerando la capacidad de producción diaria.

TABLA 5. COMPARACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LAS VINAZAS EVALUADAS CON LA NC 521:2007

Contaminante	Carga Contaminante media diaria g/d NC 521:2007	Carga Contaminante g/d de Argeo Martínez	Carga Contaminante g/d de Arquímedes Colina
pH	Menor de 5,5 o mayor de 9,0	Menor de 5,5	Menor de 5,5
Temperatura	Superior a 40 °C	Superior a 40°C	Superior a 40 °C
DQO	10 200	6 697 600	7 052 500
Cobre	16	73,71	157,69
Hierro	16	4 392,7	4 417,66
Níquel	1,60	27,04	18,46
Nitrógeno Total	850	959 010	838 240
Zinc	16	76,83	99,32

De la tabla puede inferirse que las vinazas estudiadas tienen un alto poder contaminante, lo que se refleja en los parámetros fuera de norma ya explicados y porque a pesar que existen parámetros que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles normados, debido a los altos volúmenes que se generan de este residual se convierten en parámetros que indican contaminación debido a la carga contaminante diaria. Como

parámetros fundamentales de interés se tienen la DQO, el contenido de nitrógeno, hierro y el pH.

La gestión no eficiente de las vinazas trae una serie de consecuencias negativas entre las que se encuentran: Las emisiones de CH₄, H₂S, CO₂, y de compuestos volátiles provenientes de procesos de tratamiento, la contaminación de los suelos y/o subsuelo. Por otro lado, la calidad de los cuerpos receptos puede verse afectada en actividades específicas de importancia económica como el cultivo de peces y mariscos. Con respecto a la flora y fauna pueden existir también alteraciones, en el primero de los casos con el deterioro de la calidad de las especies vegetales circundantes en el área y en el segundo con la reproducción y alimentación de vectores en los sitios de deposición no controlada. Otras afectaciones están relacionadas con el medio socioeconómico e urbanístico con alteraciones en la infraestructura y los servicios, el paisaje, la población, la destrucción accidental de los recursos culturales (sitios arqueológicos u otros) y las molestias e impactos estéticos adversos, percibidos o reales, en las cercanías de las instalaciones de generación [4].

Propuesta de alternativas de utilización de las vinazas en estudio

Teniendo en cuenta la caracterización físico química y el análisis bibliográfico, las vinazas de destilerías son efluentes líquidos contaminantes, por su gran volumen de generación (de 15 a 18 veces mayor que el alcohol producido), alta carga orgánica, lo que hace muy difícil su degradación y constituyen un serio problema medio ambiental. De ahí la necesidad de un adecuado tratamiento y disposición final.

En Cuba existen 16 destilerías en funcionamiento actualmente, de las cuales 11 pertenecen al Grupo empresarial AZCUBA y las cinco restantes pertenecen a la Industria Alimenticia. De estas, solo la destilería de Santa Cruz del Norte vierte sus residuales al mar, las restantes al encontrarse cerca de los centrales azucareros vierten en lagunas de oxidación. De las destilerías existentes, en cuatro utilizan las vinazas como materia prima en la producción de levadura unicelular, comúnmente llamada levadura torula. Este tratamiento degrada aproximadamente entre el 50 y 60 % de la materia orgánica que luego son dispuestas en lagunas de oxidación mal operadas y otras vierten directamente a zanjas [16].

Entre las alternativas para la utilización de las vinazas de destilería sometidas a un pre tratamiento se encuentran: la producción de levadura torula como alimento animal y la producción de biogás como fuente de energía. Otra alternativa puede ser después de su

concentración, su uso como alimento animal o enmienda orgánica. La producción de compost es uno de los tratamientos utilizados como portador de nutrientes y agua, y también puede ser utilizada para el fertirriego [17].

Conclusiones

A partir de las características fisicoquímicas de las vinazas estudiadas se corrobora el poder contaminante de este residual líquido, encontrándose que los parámetros evaluados: Temperatura, DQO, conductividad eléctrica, pH, nitrógeno total y contenido de hierro no cumplen con los límites máximos permisibles de esta norma. Se demuestra que la disposición inadecuada de este residual a las aguas terrestres y marítimas sin un tratamiento previo, convierte a la producción de alcohol en un proceso ambientalmente no sustentable. Las potencialidades de este residual como materia prima para la producción biogás, de alimento animal, compost, y su valorización a través de procesos de concentración y combustión deben ser estudiadas con vistas a su aprovechamiento.

Referencias bibliográficas

- 1.- LARRAHONDO, J. “La vinaza: Caracterización de la vinaza, usos y aprovechamientos potenciales” Memorias Seminario internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar, Tecnicaña. Cali, Colombia, pp. 69 – 90, Noviembre 2009.
- 2.- BERMÚDEZ, R.; HOYOS, J.; RODRÍGUEZ, S. “Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por ensayo anaeróbico”. *Revista Internacional de contaminación ambiental*. 2000, **16**, 103-107. ISSN: 0188-4999
- 3.- DÁVILA, J.; MACHUCA, F.; MARRIANGA, N. “Reducción de demanda química de oxígeno, carbono orgánico total y sólidos totales en vinazas mediante electroflotación/oxidación”. *Revista Ingeniería e Investigación*. 2009, **29**, 35-38. ISSN: 0120-5609
- 4.- CHANFÓN, J.; LORENZO, Y. “Alternatives for treatment of the distillery vinasse. National and international experiences”. *Revista Centro Azúcar*. 2014, **41** (2), 56-67. ISSN: 2223-4861.
- 5.- CLESCERI, L. “Standards Methods for Examination of Water and Wastewater”. 17^{ma} edición. APHA – AWWA - WPCF. Washington, 1989.

- 6.- OROZCO, C. *et al.* “Contaminación ambiental: una visión desde la Química”. 1ra Edición. Ed. Paraninfo S. A. España. 2004, pp. 590
- 7.- MATISSEK, R.; SCHNEPEL, F.; STEINER G. “Análisis de los alimentos. Fundamentos, métodos y aplicaciones”. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España, 1998. ISBN: 978-84-200-0850-9
- 8.- SKOOG, D.; HOLLER, F.G.; NICMAN., “Principios del Análisis Instrumental”. 5^a Edición. Ed. McGraw Hill. USA, 2005. ISBN: 978-84-481-2775-6
- 9.- LANZA, J.; GREGORIO, J.; CHURION, P.; GOMEZ, N. “Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos”. *Revista Saber*. 2016, 28, (2), 245-249. ISSN: 2343-6468.
- 10.- LEZCANO, P.; MORA, P. “Las vinazas de destilería de alcohol. Contaminación ambiental o tratamiento para evitarlo”. Instituto de Ciencia Animal, Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba. 2006. [15/02/17]. Disponible en: avpa.ula.ve/eventos/viii_encuentro_monogastricos/memorias/conferencia-7.pdf.
- 11.- LEAL, G. *et al.* “Caracterización físicoquímica de la vinaza del Agave cocui y su posible uso agroindustrial”. *Revista Multiciencias*, 2003, 3 (2), 83-88. ISSN: 1317-2255
- 12.- ICIDCA.3 “Manual de los Derivados de la Industria Azucarera”. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba, 2000. [07/01/17] Disponible en: https://www.academia.edu/10912163/MANUAL_DE_LOS_DERIVADOS_DE_LA_CAÑA.
- 13.- RODELLA, A.; PARAZZI, C.; CARDOSO, A. “A composição da Vinhaca”. *Brasil Açucareiro*. 1981, 97, (1), 25-33.
- 14.- NC 521: 2007 “Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones”. 1. Edición ICS: 13.060.30
- 15.- MANAHAN, S. “Fundamentals of Environmental Chemistry”. CRC Press, 2^{da} Edición, USA, 2001. ISBN: 1-56670-491-X
- 16.- SAURA, G. *et al.* “Tecnología de producción de levadura utilizando las vinazas de destilería como fuente mayoritaria de carbono y energía”. *Instituto Cubano de*

Investigaciones del los Derivados de la caña de azúcar (ICIDCA). 2002, **36** (2), 20.
ISSN: 0138-6204

17.- BASANTA, R. *et al.* “Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión”. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 2007, **5**, 293-305.
ISSN 1135-8122