

***ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LAS VINAZAS DE
DESTILERÍA. EXPERIENCIAS NACIONALES E
INTERNACIONALES***

***ALTERNATIVES FOR TREATMENT OF THE DESTILLERY VINASSE.
NATIONAL AND INTERNATIONAL EXPERIENCES***

Juana M. Chanfón Curbelo^{1} y Yaniris Lorenzo Acosta¹*

¹ Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA. Vía Blanca # 804
esq. Carretera Central, CP 11 000, La Habana, Cuba

Recibido: Marzo 24, 2014; Revisado: Abril 14, 2014; Aceptado: Abril 24, 2014

RESUMEN

Los impactos ambientales de la industria azucarera 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 asentamientos. Esto es provocado principalmente por el atraso tecnológico de la industria y la escasa educación ambiental de los colectivos laborales y de la población en general.

La agroindustria azucarera tiene la particularidad que al diversificarse para la obtención de energía y derivados produce residuos secundarios, siendo las vinazas de destilería el de mayor impacto. Por lo mismo en este trabajo se muestran las principales alternativas de solución para las vinazas de destilería, como es el caso de la producción de biogás o la producción de levadura forrajera *Torula*, donde se propone que los efluentes de estas producciones sean utilizados para el fertirriego como opción de “cierre de ciclo” evitando así la contaminación del medio ambiente.

En el presente trabajo se realiza el análisis de datos, a partir de la revisión de fuentes bibliográficas nacionales e internacionales, con el objetivo de presentar las alternativas de uso y reúso de los principales efluentes y subproductos de la agroindustria azucarera, en especial las vinazas de destilerías, como un elemento de especial importancia en la gestión ambiental empresarial.

Palabras clave: fertirriego, torula, vinazas

Copyright © 2014. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Juana M. Chanfón, Email: juana.chanfon@icidca.edu.cu

ABSTRACT

The environmental impacts of the sugar industry cause a direct incidence in the population, either for the emission of particles, polluting gases and liquids or solids residues that hinder the environmental reparation of the establishments due to the technological backwardness of the industry and the scarce of environmental education at the labor communities and general population. Due to the former information, is necessary to take into account a great interest in decrease the environmental impact from the agricultural stage to the industrial one. The diversified sugar cane industry develops a group of new residues and the vinasse appears to be the one that produces the higher environmental impact. However the efficient management of this residues can produce significant benefits if we decided to produce Biogas or Fodder Yeast where the final effluents streams can be used as irrigation water like a closing cycle option, avoiding in this way the environmental pollution. With this work we wanted to show how the man can handle the industrial waste in order to decrease the environmental impact in the most friendly way.

The present work is carried out through the analysis of data, starting from the revision of national and international bibliographical sources. It has the objective of presenting the use and reuse alternatives of the main effluents and by-products of the sugar agroindustry, especially the vinasses of stills, as an element of special importance in the managerial environmental administration.

Key words: fertile irrigation, torula yeast, vinasse

1. INTRODUCCIÓN

La dimensión ambiental debe analizarse en un sentido amplio, tanto en sus aspectos naturales (flora, fauna) como desde el punto de vista de la posible contaminación (aire, agua y suelo), y sus efectos e implicación sobre la salud humana y ambiental.

El tratamiento de aguas residuales es un área de trascendental importancia para la conservación del medio ambiente. De hecho la gestión eficiente de las aguas residuales y efluentes industriales líquidos se han convertido en uno de los principales problemas de contaminación a resolver a nivel internacional.

En los últimos años el incremento del conocimiento en esta área ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos para un mejor tratamiento de los efluentes líquidos.

La agroindustria azucarera y de derivados produce residuos secundarios y efluentes, a los que hay que darle tratamiento ó un adecuado uso para evitar la contaminación del medio ambiente.

En la tabla 1 se muestran diferentes parámetros de interés ambiental de la producción de azúcar, alcohol y levadura para la alimentación animal.

Tabla 1. Composición de diferentes corrientes de la Industria Azucarera y derivados (Martínez, 2006)

<i>Parámetro</i>	<i>Residuales</i>		
	<i>Azúcar</i>	<i>Alcohol</i>	<i>Levadura</i>
DQO (mg/l)	5000	60000	10000
Temperatura (°C)	38	77	35
pH	6,1	4,0	5,0
S Totales (mg/l)	4360	35400	9224
S Disueltos (mg/l)	3750	57040	2396
S Fijos (mg/l)	1120	14370	2416
S Volátiles (mg/l)	3550	47090	6808
Sólidos sedimentables (ml/l)	28	442	42
Nitrógeno (mg/l)	50	900	105
Fósforo (mg/l)	75	320	130
Índice	0,5 m ³ /t	1,6 m ³ /hl	80 m ³ /t

En la tabla 1 se aprecia que las vinazas de destilerías son los efluentes líquidos más contaminantes de este sector, por su gran volumen de generación, alta carga orgánica, color oscuro, lo que hace muy difícil su degradación. De ahí la necesidad de un adecuado tratamiento y disposición final.

Entre las acciones, tomadas por el grupo empresarial AZCUBA para disminuir el impacto ambiental de los residuales de la industria azucarera están: medidas internas dentro de la industria para disminuir y prevenir estos efluentes, la reutilización del agua, mantenimiento de los sistemas de tratamiento, mitigación de los riesgos ambientales y tecnológicos, el incremento de la superficie boscosa y el aumento de la efectividad de los pronósticos climáticos.

2. DESARROLLO

2.1. Vinazas y su impacto ambiental

Proveer en esta sección suficiente grado de detalle para reproducir el trabajo. Las Las vinazas de destilería son los efluentes líquidos que se derivan de la fermentación alcohólica de las mieles de caña de azúcar; constituye un serio problema medio ambiental por el gran volumen en que son generadas (de 15 a 18 veces mayor que el alcohol producido), por su alta carga orgánica (valores de DQO de hasta 100 000 mgL⁻¹ y por el color marrón oscuro que las caracteriza (Satyanali y Balakrishnan, 2008). El color se debe a la presencia de varios compuestos como melanoidinas, fenoles (ácido tánico y húmico), caramelos y derivados furánicos.

Las melanoidinas se forman por la reacción del grupo carbonilo de los azúcares y el amino de los aminoácidos y proteínas y pueden llegar a constituir el 2% de las vinazas. conocida como reacción de Maillard. Son polímeros de estructura compleja, tóxicos para muchos organismos y resistentes a la degradación. Se plantea que su composición química y características espectroscópicas son similares a la del ácido húmico, por lo que han sido llamadas el “humus acuoso”.

En dependencia de los sustratos utilizados para la producción de alcohol va a variar las concentraciones de los diferentes componentes de las vinazas generadas (Tabla 2).

Tabla 2. Composición media de los residuales de alcohol a partir de diferentes sustratos; CENGMA, informe interno (2005)

<i>Determinación</i>	<i>Vinaza Mielles</i>	<i>Vinaza Jugos</i>
DQO (g/l)	71,20	35,06
DBO (g/l)	30,00	18,00
pH	4,47	3,78
ST (g/l)	52,67	24,86
STF (g/l)	12,61	4,20
STV (g/l)	40,06	20,66
Sulfatos (g/l)	2,9	1,56
Nitrógeno (g/l)	0,21	0,38
Potasio (g/l)	2,5-4,3	0,13-1,5
Fósforo (g/l)	0,21	0,27
Calcio (g/l)	0,55	0,59
STV/ST(g/l)	0,75	0,83
Volumen (m ³ / t)	1,2	1,2

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.

2.2. Manejo integral de las vinazas

En la Figura 1 se muestra las alternativas para la utilización de las vinazas sometidas a un pre tratamiento. Las mismas pueden ser utilizadas en la producción de levadura torula como alimento animal, en la producción de biogás como fuente de energía y así minimizar los costos. Otra alternativa de tratamiento de la vinaza es su concentración lo

que permite su uso como alimento animal o enmienda orgánica. La producción de compost es uno de los tratamientos utilizados como portador de nutrientes y agua, en la descomposición aeróbica de otros residuos sólidos. En la figura 1 se puede apreciar como cada una de las alternativas puede “cerrar el ciclo” con la utilización de todos los subproductos como enmienda orgánica, lo que permite obtener “0 residuos” (CENGMA, 2005)

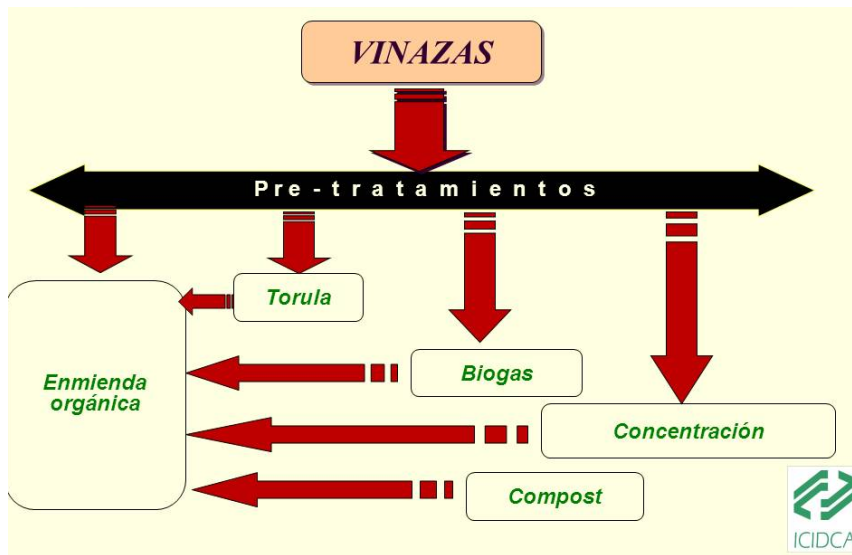


Figura 1. Alternativas para el manejo y utilización de las vinazas

En Cuba la agroindustria azucarera tiene como principio de cierre de ciclo reutilizar todos sus efluentes líquidos y sólidos para generar un producto de valor económico y de bajo impacto ambiental. Las vinazas de destilería tienen como propuestas de solución: la producción de biogás y la producción de levadura torula. Sus efluentes se disponen en los campos de caña como opción final de tratamiento, solución que contribuye a no utilizar fertilizantes químicos ni agua de riego (Figura 2).



Figura 2. Alternativas para el manejo y utilización de los efluentes de la agroindustria azucarera cubana

2.3. Tratamientos más empleados a nivel internacional para las vinazas de destilerías

Entre los métodos de tratamiento más estudiados y empleados a nivel internacional está la: incineración, ultrafiltración; evaporación, producción de proteína unicelular, compost y alimento animal; con la desventaja de poseer altos costos de producción, altos costos energéticos (como la evaporación y la producción de proteína unicelular), largos períodos de producción o la no posibilidad del empleo de toda la vinaza generada. Todas estas desventajas han conducido a que estas alternativas no sean las más generalizadas (Pérez y Garrido, 2006; Satyawali and Balakrishnan, 2008; España-Gamboa *et al.* 2011; Cabrera, 2013).

Es informado por España-Gamboa *et al.*, (2011), Rodríguez *et al.*, (2012) y Kassaba *et al.*, (2011) que la combinación de diferentes alternativas de tratamiento cuando el primero es un proceso anaeróbico, seguido principalmente por procesos aeróbicos o físicos químicos, dan mejores resultados en la remoción de la carga orgánica y el color de las vinazas; cumpliéndose así con los estándares de vertimiento.

2.4. Fertirriego

El fertirriego es un proceso mediante el cual los efluentes a regar son los suministradores de nutrientes, por lo que en muchos casos no es necesario una suplementación química para satisfacer las necesidades de N, P; K de los suelos y cultivos; ello es posible por la frecuencia del riego que está en dependencia de las características del efluente que se utilice para este fin.

Entre las ventajas de este proceso están:

- Incrementos en la producción de caña.
- Mejora en las condiciones físicas del suelo.
- Incremento de las cantidades regulares de N, P, K, así como de S y Fe.
- Mejora de las propiedades químicas de los suelos de media y baja fertilidad.
- Incrementos de tenores de micro-nutrientes en el suelo.

Las desventajas que posee esta alternativa es la disciplina tecnológica de implementar un muestreo y aplicación que cumpla Norma de Fertirriego.

Haciendo un análisis comparativo entre la alternativa del biogás y el fertirriego se plantea que la mejor es el Biogás por las utilidades económicas.

Las aguas residuales deben de cumplir una serie de parámetros para su utilización en los suelos como son la baja conductividad, baja concentración de sales y un pH cercano a neutro Tabla 5.

Para evaluar los análisis de suelo y determinar la influencia de los residuales sobre ellos, pueden utilizarse los siguientes criterios:

Valores de pH

En aguas más adecuadas para el cultivo de la caña están comprendidos entre 6 y 7.

La influencia beneficiosa o perjudicial del residual dependerá del valor de pH inicial que tenga. Todo residual que disminuya el pH a valores menores que 6 ó lo aumente

sobre 7, se considerará como perjudicial. Todo residual que aumente el pH a 6 ó lo disminuya hasta 7 se considerará con efecto beneficioso.

Acidez hidrolítica

Los aumentos de la acidez hidrolítica siempre se considerarán perjudiciales y las disminuciones se estimarán como beneficiosas.

Sales solubles totales

El aumento de las sales solubles totales por el efecto de los riegos o residuales siempre se valoran como preocupante y se hará el siguiente análisis:

En todos los casos se consideran efectos desfavorables si las sales solubles totales (SST) adquieren valores superiores a 1500 ppm.

Cuando los aumentos de las SST sean inferiores a 1500 ppm se considerarán beneficiosas si se deben a los aumentos de Ca, Mg y K y se evaluarán como perjudiciales cuando hayan sido provocadas por los aumentos de Na, HCO₃ y cloruros.

Potasio

El aumento de los contenidos de K se evaluará como beneficioso, pero en los casos en que se utilicen residuales de la producción de alcohol o levadura torula, los aumentos que se obtengan pueden ser excesivos y perjudiciales para el cultivo, especialmente en suelos con bajos contenidos de Ca y Mg.

En los años 70', esta alternativa es informada por varios autores (Cortez *et al.*, 1998; Pérez y Garrido, 2006; Satyawali and Balakrishnan, 2008; Santos *et al.*, 2008) como la opción de tratamiento principal empleada en el cultivo de la caña de azúcar, con la consecuente reducción del uso de fertilizantes químicos inorgánicos, siendo Brasil el país de mayor aplicación de esta alternativa (PROQUIP, S.A e INESCO, 1979; Cortez *et al.*, 1998; Wesley y Barbosa, 2000; Pérez y Garrido, 2006; Satyawali and Balakrishnan, 2008). En ese entonces, la alternativa fue impulsada, principalmente por las exigencias internacionales establecidas en el Protocolo de Montreal y los tratados de Estocolmo sobre la suspensión de pesticidas y fertilizantes químicos empleados en la agricultura. Siendo así, esta alternativa prometía resolver dos problemas: el uso de residuos industriales y el no consumo de sustancias agrícolas prohibidas (Santos *et al.*, 2008).

En la actualidad es informado por varios autores (Mohana *et al.*, 2009; Satyawali and Balakrishnan, 2008; España-Gamboa *et al.*, 2011) que la disposición directa de vinazas en la agricultura puede contaminar los suelos, mantos acuíferos subterráneos y ser tóxica para algunos cultivos debido a su alto volumen orgánico, sólidos disueltos, conductividad eléctrica y bajo pH. Esta desventaja, junto a condiciones geológica, tipo de suelo y climas desfavorable han limitado esta alternativa. Para contrarrestar esta deficiencia, es práctica, diluir este efluente con agua común, mezclar con otros residuales menos agresivo o emplear esta alternativa como pos-tratamiento y cierre de ciclo de otros tratamientos (Pérez y Garrido, 2006; NC ISO: 855: 2011, lo que favorece el aumento de los ciclos de aplicación para el cultivo de la caña de azúcar con la

desventaja de que aumentan los costos de disposición por conceptos de bombeo o transporte.

Brasil, luego de ser el principal país donde se aplicó el fertirriego de vinazas de destilerías en el cultivo de la caña de azúcar, a finales del los 70' ya comenzó a publicar el impacto del uso de esta técnica (PROQUIP S.A e INESCO, 1979) y en el año 1998, investigadores de la escuela de Ingeniería Agrícola de Campinas, (Cortez *et al.*, 1998) informaron que “aunque este método produce buenos resultados en la producción total agrícola, no alcanza a resolver todos los problemas asociados, en particular en las destilerías, donde se acumulan grandes cantidades de vinazas en excedente” informando también que la producción de biogás a gran escala, particularmente en Brasil, parecía muy prometedora por esos años (Cortez *et al.* 1998). En el 2013 el Ministerio de Desarrollo, Industria y Comercio Exterior de Brasil (CERES, 2013) publicó el estudio técnico económico de las principales tecnologías de tratamiento de residuales implementadas y evaluadas a escala comercial en la industria sucroenergética (procesamiento de caña-producción de azúcar-etanol). El estudio mostró que este país se había alejado completamente del uso de las vinazas puras para riego, utilizando solo la tecnología del fertirriego como alternativa de pos-tratamiento y cierre de ciclo de plantas de biogás, luego del uso del mismo para generar electricidad y/o como combustible alternativo en motores *flex* diesel. Además, el documento evidenció que todas las alternativas de tratamiento de las vinazas estaban encaminadas a generar energía, por proporcionar mayor valor agregado a la solución ambiental.

Según informa la asociación de proyectos e ingeniería industrial de Brasil (PROQUIP) (PROQUIP, S.A e INESCO, 1979) y Pérez y Garrido (2006) la aplicación de vinaza diluida en el fertirriego de la caña de azúcar incrementan el 74% la producción promedia de cinco cortes con resultados positivos incluso en otros cultivos como fríjol, algodón y millo. Es informado también por esta asociación brasileña de proyectos (PROQUIP S.A e INESCO, 1979) que aún utilizando vinaza diluida, estas posee propiedades fertilizante tales como: sales minerales equivalentes a 2,6 kg de urea (46% de N), 0,3 kg de superfosfato triple (45% P₂O₅) y 15,7 kg de cloruro de potasio (50% K₂O) en 1 m³ de vinaza diluida.

Países como Argentina con gran producción cañera y alcoholera también advirtieron desde los años 2000, los riesgos que podía acarrear la técnica del uso de vinazas directa como fertilizante; recomendando, la comunidad científica de la Universidad del Valle, el uso de mezclas de 30 partes de agua por una de vinaza. Este grupo de trabajo, también informó que la principal desventaja de esta aplicación es que la vinaza contenía 87% de agua, lo que dificultaba su transporte (Arana, 2001).

Autores como Mohana *et al.* (2009) estudiaron el uso de vinazas pos-tratadas anaeróbicamente como agua de riego, obteniendo resultados positivos en el cultivo de la caña de azúcar. Otros estudios fueron realizados diez años antes por investigadores de la Universidad Autónoma de México (Bautista-Súñiga *et al.*, 1998), evaluando la respuesta del empleo de vinazas crudas y tratadas biológicamente en suelos cañeros. Los resultados de estos investigadores también mostraron que las vinazas tratadas biológicamente dieron mejores resultados que las vinazas crudas, principalmente por la asimilación de las formas químicas del carbono (moléculas con propiedades coloidales)

que mejoran las propiedades físicas-químicas y biológicas de los suelos. Informaron además, que es necesario el monitoreo de los suelos, para cualquier alternativa de riego de vinazas, debido a la alta conductividad eléctrica de este residual.

Como se evidencia en este acápite, con relación al fertirriego de vinazas, es necesario tener en cuenta que su aplicación, exige una dosis adecuada para evitar la salinidad de los suelos y sus cambios microbianos adversos, así como para evitar malos olores y contaminación de acuíferos subterráneos. Teniendo en cuenta los resultados y recomendaciones internacionales, en Cuba, existe una normativa de riego, que rige, que las vinazas para ser empleada en la agricultura es necesaria diluirlas a razón de 1:6 y hasta 1:10 a razón de 4000–5000 m³/ha.año) y monitorear los suelos para evitar su contaminación y la de los acuíferos subterráneos (NC ISO: 855: 2011)

La búsqueda de fuentes energéticas renovables, es hoy día, un reto científico-técnico, de ahí que el tratamiento anaerobio de las vinazas de destilería, constituya un potencial para resolver dos de los grandes desafíos de la humanidad: la preservación del medio ambiente y la generación y consumo de energías renovables. De ahí que desde los años 90' ha comenzado una oleada internacional para el desarrollo de investigaciones encaminadas a incrementar el rendimiento de la producción de biogás, pues ha sido probada desde los 70', que la digestión anaerobia es la opción más sustentable para el tratamiento de efluentes de altas cargas orgánicas como las vinazas de destilerías (Rajeshwari et al., 2000; Feroso, 2009; España-Gamboa *et al.* 2011; Cabrera, 2013), aunque se requiere de un pos-tratamiento para el cumplimiento de los estándares de vertimiento. En este sentido es informado por Bezerra (2000) y CERES (2013) que la solución de fertirriego, como alternativa de pos-tratamiento de efluentes de plantas de biogás a partir de vinazas de destilería es la alternativa más empleada en países como Brasil.

2.5. Tratamientos de vinazas de destilerías en Cuba.

En Cuba existen 16 destilerías, de las cuales 11 pertenecen al Grupo empresarial AZCUBA y las cinco restantes pertenecen a la Industria Alimenticia.

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 (tabla 1) que luego son dispuestas en lagunas de oxidación mal operadas y otras vierten directamente a zanjas.

El fertirriego del cultivo de la caña de azúcar a partir de vinazas a pesar de obtenerse mejoras en los rendimientos cañeros, su uso ha estado limitado en Cuba entre otros factores, al tipo de suelo, al bajo pH de las vinazas, a la saturación de potasio, y a la normativa de diluir las mismas para su uso (NC: ISO 855: 2011) lo que ha restringido su generalización, quedando parte de la vinaza sin ser tratadas y dispuestas directamente a cuerpos receptores como ríos y mares, sin cumplir con las normas cubanas de vertimiento (NC 27: 2012 y NC 521: 2007).

En el centro del país, en la región de Villa Clara, es operada una planta industrial para el tratamiento, por digestión anaerobia, de las vinazas generadas en el complejo agroindustrial Heriberto Duquezne; única de su tipo en Cuba. Las mismas son tratadas

en tres reactores anaerobios de 1300 m³ cada uno. Estos reactores de cama de lodo de flujo ascendente (UASB), por sus siglas en inglés, logrando remover el 70% de la DQO, (CENGMA-LAGUAZUR, 2013).

2.6. Producción de Biogás

El biogás es una mezcla de gases compuesta por CH₄, H₂S, CO₂ que se obtiene de la digestión anaerobia de la materia orgánica por parte de una microbiota diversa en estas condiciones.

El tratamiento anaeróbico de las vinazas con la obtención de biogás, lodo fertilizante y agua tratada reduce el 70% de la carga orgánica del residual. En este proceso se obtiene aproximadamente 20m³ de biogás/m³ de vinaza tratada. La inversión de la planta está entre 3700-3800 USD/m³ de vinaza.

La composición de biogás comprende: metano: 54 – 70 %; dióxido de carbono: 27 – 45 %; hidrógeno: 1 - 10 %; nitrógeno: 0,5 – 3 % y ácido sulfhídrico: 0,1 %.

El consumo de los diferentes compuestos utilizados en la producción de Biogás se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Índices de consumo en la producción de biogás

ÍNDICES DE CONSUMO		
Vinazas	92,59	(m ³ /t)
H ₂ SO ₄ (98%):	50,00	(kg/t)
NH ₄ SO ₄	350,00	(kg/t)
(NH ₄) ₂ HPO ₄	110,00	(kg/t)
Nutriente lev.	4,00	(kg/t)
Antiespumante :	15,00	(kg/t)

El biogás tiene como ventaja que aporta energía renovable que sustituye las fuentes de fósiles en la generación de vapor industrial, electricidad, cocción para los alimentos generando utilidades económicas, además la eliminación de la contaminación ambiental en 75% en termino de de DQO (Demanda química de oxígeno). La desventaja es que requiere de una inversión más costosa con respecto a las restantes alternativas descritas anteriormente.

2.7. Producción de Levadura a partir de vinazas de destilería

La tecnología para la obtención de levadura forrajera permite reducir la carga orgánica de las vinazas hasta un 70 % de remoción.

La levadura es un producto de alto valor nutricional muy utilizado en la alimentación animal y en diferentes campos dentro de la industria farmacéutica y química (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje de los componentes de la levadura obtenida de la melaza, vinaza de melaza y vinaza de jugo de caña

% Componentes	Levadura de melaza	Levadura de vinaza (melaza)	Levadura de vinaza (jugo de caña)
Proteína bruta (N* 6.25)	47,0	45,0	46,0

Fósforo (P ₂ O ₅)	3,5-4,0	3,0-3,3	3,0-3,3
Cenizas	6-8	8-11	5-8
Fibra bruta	0,57	0,63	0,70
Aminoácidos			
Isoleucina	2,00	1,95	1,87
Leucina	4,06	3,90	3,87
Lisinaa	4,05	4,07	4,00
Metionina+ cistina	0,99	1,08	0,95
Treonina	2,13	2,19	2,21
Triptófano	1,12	1,07	ND
Valina	2,17	2,29	2,15

La inversión de una planta de torula donde se utilice 800 m³/d de vinaza es de 1,5 millones USD/m³ de vinaza.

Como se evidencia, es de vital importancia en el sector alcoholero cubano, contar con un sistema eficiente de gestión de los residuales, principalmente las vinazas de destilerías, bajo los principios de prevención de la contaminación, teniendo en cuenta los elementos de Producción Más Limpia (PML), para cerrar el ciclo de los residuales desde la generación (producción de alcohol) hasta el tratamiento y disposición final y disminuir así el impacto ambiental de estos efluentes y por consiguiente de la producción de etanol. En este sentido, la estrategia trazada por el grupo empresarial Azcuba es el uso de las vinazas como materias primas en otras producciones, como es el caso de la obtención de levadura forrajera o biogás. Esta estrategia está encaminada a no solo disminuir el valor contaminante de las vinazas sino a aumentar su valor agregado y como alternativa de cierre de ciclo, el uso de esta agua tratadas para el fertirriego del cultivo de la caña de azúcar, logrando así “0” residuos líquidos.

4. CONCLUSIONES

1. Las vinazas provocan impactos negativos sobre el medio ambiente cuando no son tratadas o dispuestas adecuadamente. Los principales daños se evidencian en la calidad del agua, la flora y fauna de los cuerpos receptores, así como en la atmosfera y la población, sin embargo, pueden ser empleadas como energía renovable (Biogás), alimento animal (Torula) y sustitución de fertilizantes como agua de riego.
2. Entre las alternativas industriales de tratamiento de vinazas de destilerías, la mejor solución desde el punto de vista técnico y económico es el sistema integrado por la digestión anaerobia de la materia orgánica y como consecuencia la generación de una fuente renovable de energía (Biogás) y la disposición final de los efluentes líquidos y sólidos (Lodos) generados en el proceso como agua de riego y enmienda orgánica respectivamente, en el cultivo de la caña de azúcar, cerrando de esta forma el ciclo de los residuales.

REFERENCIAS

- Arana, R., La vinaza, de contaminante a fertilizante., Agencia Universitaria de Periodismo Científico, AUPEC 17/11/2001. [en línea]. (Consulta: 18 ene: 2010).
- Bautista-Súñiga, F., Durán-De-Basúa, Ma.C., Análisis del beneficio y riesgo potenciales de la aplicación al suelo de vinazas crudas y tratadas biológicamente., *Rev. Int. Contam. Ambient.* Vol14, No. 1, 1998, pp.13-19.
- Bezerra, V., Anaerobic treatment of vinasse in a UASB reactor under thermophilic conditions (55°C) and submitted to progressive organic loadings., Tesis en opción al título de Máster en Hidráulica y Saneamiento, Escuela de Ingeniería de Sao Carlos, Sao Paulo, <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-26032007-125625/es.php>, 2006.
- Cabrera, A., Tratamiento de vinazas en un filtro anaerobio empacado de flujo ascendente., Tesis en opción al grado de Máster en Ingeniería Ambiental, ISPJAE, La Habana, Cuba, 2013.
- CERES., Ministerio do Desenvolvimento, Indústria e Comércio e trata Exterior., Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica de um Grupo Selecionado de Tecnologias Inovadoras Relacionadas à Cadeia Sucroenergética, 2013.
- España-Gamboa, E., Mijangos-Cortes, J., Barahona-Perez, L., Dominguez-Maldonado, J. Hernández-Zarate, G., Alzate-Gaviria, L., Vinasses: characterization and treatments, *Waste Management & Research*, Vol. 29, No 12, 2011, pp. 1235–1250.
- Fermoso, F.G., Bartaceka, J., Jansenc, J., Lens, P., Metal supplementation to UASB bioreactors: from cell-metal interactions to full-scale application., *Cience of the total environment*, Vol 407, 2009, pp. 3652-3667.
- Kassaba, G., Halalsheha, M., Klapwijk, A., Fayyada, M., Liere, J.B., Sequential anaerobic-aerobic treatment for domestic wastewater. A review., *Bioresource Technology*, Vol. 101, No. 10, 2010, pp. 3299–3310.
- Martínez, J.A; Otero M.A., Workshop for Soil and water remediation PNUD. Guanajuato, Mexico. 2006.
- Mohana, S., Acharya B. K., Madamwar, D., Distillery spent wash: Treatment technologies and potential applications., *Journal of Hazardous Materials*, Vol.163, 2009, pp.12–25.
- NC 27: 2012, Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado-Especificaciones. 2. Edición. ICS: 13.060.30.
- NC 521: 2007, Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas-Especificaciones. 1. Edición ICS: 13.060.30.
- Pérez Bermúdez, I. y Garrido Carraler, N. Aprovechamiento integral de vinazas de destilerías. Una revisión actual., *Revista Ingeniería Química*, Abril, 2006, pp. 129-133.
- PROQUIP, S.A e INESCO. Estudio preliminar para la concentración de vinazas y producción de levadura seca., INESCO Cali, Colombia y PROQUIP, S.A (Proyectos e engenharia industrial, Sao Paulo, Brasil), 1979.
- Rajeshwari, K.V., Balakrishnan, M., Kansal, A., Kusum, L., Kishore, V.V.N., State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 4, 2000, pp. 135-156.
- Rodríguez, E., Lopes. A., Fdz.-Polanco, M., Stams A., García-Encina, P. A., Molecular analysis of the biomass of a fluidized bed reactor treating synthetic vinasse at anaerobic and micro-aerobic conditions., *Appl Microbiol Biotechnol*, Vol. 93, 2012, pp. 2181–2191.
- Satyanali, Y; Balakrishnan, M J., *Environ. Management*, Vol. 86, 2008, pp. 481-497.