



**IV CONFERENCIA INTERNACIONAL DE DESARROLLO
ENERGETICO SOSTENIBLE
CIDES 2025**

Título

**Alternativas para la gestión sostenible de residuos en la industria
azucarera. Un enfoque ambiental.**

Title

***Alternatives for sustainable waste management in the sugar industry. An
environmental approach.***

**Yohana de la Hoz-Izquierdo*, Yaima Izquierdo-González, Georgina Michelena,
Orly M. López-Delgado**

- 1- Yohana de la Hoz-Izquierdo. ICIDCA, Cuba. yohana.delahoz@icidca.azcuba.cu
- 2- Yaima Izquierdo-González, ICIDCA, Cuba. Yaima.izquierdo@icidca.azcuba.cu
- 3- Georgina Michelena, ICIDCA, Cuba, Georgina.michelena@icidca.azcuba.cu
- 4- Orly M. López-Delgado, ICIDCA, Cuba. Orly.lopez@icidca.azcuba.cu

Resumen:

Este trabajo se realizó en la Planta de Levadura Torula Alfredo Pérez, en la provincia de Ciego de Ávila, para contribuir a la reducción de la carga contaminante que se vierte al medio ambiente. Se evaluó la información brindada por la empresa sobre su sistema de tratamiento de los residuales. Se determinó que sus aguas residuales no cumplen con las especificaciones para su vertimiento en aguas receptoras, pues superan los límites permisibles. Se requiere algún tipo de tratamiento para su disposición. Además, se realizó su caracterización completa en el laboratorio LAGUAZUR, certificado según la norma NC ISO/IEC17025: 2017. A partir de esa caracterización para que cumpla con las regulaciones ambientales establecidas en el país, se propone una planta de producción de



biogás para ser utilizado en el secador de Torula. Esto ahorra un 43% del combustible fósil y permite reutilizar los residuales líquidos de la industria.

Abstract:

This work was carried out at the Torula Alfredo Pérez Yeast Plant in the province of Ciego de Ávila, to contribute to reducing the pollution load discharged into the environment. The information provided by the company regarding its wastewater treatment system was evaluated. It was determined that its wastewater does not meet specifications for discharge into receiving waters, as it exceeds permissible limits. Some type of treatment is required for its disposal. Furthermore, its complete characterization was carried out at the LAGUAZUR laboratory, certified according to the NC ISO/IEC17025:2017 standard. Based on this characterization, to ensure compliance with the country's environmental regulations, a biogas production plant is proposed for use in the Torula dryer. This saves 43% of fossil fuels and allows the reuse of liquid waste from the industry.

Palabras Clave: Aguas residuales; Biogás; Medio ambiente; Torula.

Keywords: Wastewater; Biogas; Environment; Torula.

1. Introducción

El avance de la industria azucarera y sus derivados a partir de la caña de azúcar, es una de las fuentes de más impacto en la contaminación debido a la generación de altos volúmenes de residuales líquidos de alto poder contaminante (Gálvez, 2000). En Cuba, la producción de derivados a partir de la caña de azúcar tiene un significado importante para el desarrollo del país; entre esos derivados se destaca la levadura Torula (proteína que se desarrolla a partir de mieles y aguas residuales de la producción de alcoholes) (De la hoz, 2003) (Borrero, 2023).

La producción de levadura Torula genera aguas residuales (RLT) que, por su contenido de materia orgánica constituyen una fuente de contaminación cuando se vierten al medio (Izquierdo, 2022). Para evitar esas contaminaciones es necesario obtener información, medios y mecanismos que permitan utilizarlos y lograr beneficios económicos y sociales (Gómez, 1980).



Los residuales que genera la industria en su mayoría son vertidos hacia la cuenca norte, mezclándose con los albañales de la población. Debido a los años de explotación estos canales sufrieron deterioros que provocaron obstrucciones y por tanto el desbordamiento de los residuales dentro de la zona urbana. Esto ha conllevado a que surjan restricciones cada vez más severas con relación al vertimiento de los efluentes industriales, por lo que deben ser tratados adecuadamente a fin de reducir la contaminación ambiental (Gálvez, 2000).

Por estas razones consideramos como objetivo, realizar el análisis integral de los residuales de la empresa de esa caracterización; verificar que cumpla con las regulaciones ambientales establecidas en el país y se propone una planta de producción de biogás para ser utilizado en el secador de Torula para lograr una solución definitiva a los problemas ambientales de la empresa.

2. Metodología

El caso de estudio es la planta de producción de Levadura Torula "Alfredo Pérez" la cual se encuentra anexada al central "Ciro Redondo", ambas constituyen una fuente importante generadora de aguas residuales.

Según datos históricos se reporta que el ingenio genera un volumen residuales de 6393 m³/d y la fábrica de levadura torula un volumen de 1370 m³/d para un total de 1 200 990 m³ al año. Actualmente se reportan índices de consumos de agua de 0.75 m³ /t de caña molida y de 92 m³/t de levadura torula (Almazán, 1972) (Pay, 2023).

Por estas razones y con el objetivo de disminuir la contaminación de la comunidad y el manto freático, al infiltrarse éstos en cavernas subterráneas, se trabajó en el desvío de aproximadamente el 70% de los residuales del ingenio hacia la cuenca sur, lográndose unir los mismos con los residuales de la torula y el resto de los residuales del ingenio.

En el análisis integral de los residuales de la empresa, la caracterización de las aguas se realizó en el laboratorio LAGUAZUR, perteneciente al Centro Nacional de Gestión de Medio Ambiente (CENGMA) ambos creados por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), para el desarrollo de estudios de tratamientos y/o disposición de los residuales dela industria azucarera y los derivados (Obaya, 2003). El laboratorio desarrolla procedimientos analíticos para el control de los



sistemas de tratamiento de residuales de la industria azucarera y los derivados así como de otras industrias que soliciten sus servicios) (APHA-APWA, 2000) (ICIDCA, 2018). Tiene implementado el Sistema de Gestión de la Calidad, según la norma NC ISO/IEC17025: 2017 y se encuentra acreditado.

3. Resultados y discusión

Residuales líquidos

Central- planta de Fitomás – Bioeléctrica: Se generan corrientes residuales debido a los procesos productivos que se descargan a zanjas que se unen los residuales del central, de la fábrica de Fitomás y de la bioeléctrica y de ahí pasan al sistema de tratamiento que consta de dos embalses homogeneizadores.

Planta de Torula:

- Agua de las limpiezas de los tanques de almacenamiento en el área de recepción y preparación de materias primas (miel). El sistema de limpieza de estos tanques es con agua caliente y vapor cada 21 días.

Solución: Estas aguas se enviarán al tanque de efluentes de 1500m³.

- Agua de limpieza de equipos en el área de fermentación y desemeulsión la limpieza se realiza con vapor y se consumen de 20 a 25 m³ de agua cada 6 meses.

Solución: Estas aguas se enviarán al reservorio de agua residual de 1500 m³.

- Efluente producto del lavado de equipos (tanque de balance, centrífugas y filtros) en el *área de separación y lavado*.

Solución: Esta agua se enviará al reservorio de 1500 m³, para su uso posterior tratamiento.

- Efluente producto del lavado de equipos (tanque de 200 m³ de colección de la crema de levadura) en el área de *termólisis y concentración*.

Solución: Esta agua se enviará al reservorio de 1500 m³.

- Agua pluvial. Es enviada al sistema de alcantarillado.

- Efluente resultante de la mezcla de los efluentes de lavado de los equipos (1370m³/día con DQO 14 kg/ m³) que son enviados al tanque de los efluentes de 1500 m³ de capacidad y de este es bombeado al sistema de tratamiento mediante membranas de ultrafiltración y



para la planta de producción de biogás. El lavado del tanque es efectuado con agua caliente. Se tiene también la adición de ácido sulfúrico para el control del pH.

Solución: Los efluentes son bombeados al tanque de 1500 m³ de capacidad y de este es bombeado al sistema de tratamiento mediante membranas de ultrafiltración y para la planta de producción de biogás, por dos bombas centrifugas.

Las características físico-químico de los residuales de la planta de Torula Alfredo Pérez desde el punto de contaminación ambiental se muestran en la tabla.

Tabla. Caracterización de la salida integral de los residuales de la planta de Torula Alfredo Pérez.

Ensayos (Unidad)	1er Separador	2do Separador	Unión de todos los puntos	NC 27: 2012
DQO (mg.L-1)	15086	25011	14689	160
DBO5 (mg.L-1)	4081	10833	5000	60
pH	3.79	4.36	4.16	6-9
Temperatura (oC)	24.4	24.4	23.9	
CE (mS.cm-1)	3.12	3.86	2.14	2.0
Temperatura (oC)	24.4	24.4	23.9	
Pt (mg.L-1)	31.02	-	-	5

Donde: CE: conductividad eléctrica y Pt: fósforo.

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el residual resultante de la unión de todos los puntos posee una DQO elevada del orden de los 14700 mg.L⁻¹, tomando en cuenta que la DQO promedio de un ingenio con una política adecuada de uso y reuso del agua es de aproximadamente de 2000-5000 mg.L⁻¹, por lo que se evidencia que contiene altos contenidos de materia orgánica como azúcares no recuperados y componentes no fermentables de las mieles.

La relación de DBO/DQO en el punto de unión de las muestras analizadas fue de 0.34, indicando que aproximadamente el 34% de la materia orgánica es biodegradable, posiblemente por la presencia de azúcares que no fueron aprovechados durante la fermentación u otros q no son fermentables. Las concentraciones de fósforo de las muestras analizadas son altas.



El pH de las muestras analizadas fue ácidas debido a la descomposición de la materia orgánica que produce ácidos grasos volátiles. La conductividad eléctrica de las muestras analizadas es ligeramente elevada debido posiblemente a la presencia de altos contenidos de iones inorgánicos como potasio y sulfatos provenientes de las vinazas de la destilería.

Concepción general de la solución integral de residuales:

Conductora – embalses homogeneizadores – fertirriego: para los residuales del central, de la fábrica de Fitomás y de la bioeléctrica.

Se propone la ejecución de una conductora desde el foso mezclador donde se unen las corrientes residuales de la planta de Fitomás, Central Azucarero y la planta de Torula hasta un punto donde existe una tubería que conduce residuales y que pasa fuera de los límites del área definida para la Bioeléctrica.

Con la construcción de la conductora a presión hasta los embalses, se logra la conducción de los residuales de manera cerrada y no a cielo abierto lo cual contribuye a generar un impacto positivo sobre el medio ambiente, reduciendo los malos olores y la posible contaminación del medio ambiente.

Como disposición final del efluente se propone su uso como fertilizante en plantaciones de caña de azúcar. El valor fertilizante de la corriente integral permite que pueda ser utilizada como enmienda orgánica, en las dosis y frecuencias adecuadas, según el tipo de suelo.

En este caso se propone un primer embalse con tiempo de retención de 1 a 2 días, de manera que se produzca la homogeneización y enfriamiento del residual antes de su aplicación, sin que exista degradación de la materia orgánica. Un segundo embalse que evite el vertimiento de esta agua a un curso receptor, cuando no sea posible su riego regular.

La estación de bombeo de estas aguas para el riego deberá estar conectada de tal forma que permita evacuar los residuales desde el primer embalse, en forma regular, o desde el segundo, cuando las condiciones lo demanden.

Residuales de la producción de Torula: mediante la producción de biogás membranas.

Primera etapa de tratamiento: Planta de producción de biogás de 3400 m³/d para ser utilizado en el secador de Torula.



La proyección actual de la Industria de los Derivados indica una tendencia a encontrar métodos de tratamientos que den mayor aprovechamiento a los residuales con la obtención de subproductos de mayor utilidad, tanto para la industria como para la sociedad.

De acuerdo a los residuales generados y la estimación del DQO ($1370 \text{ m}^3/\text{día}$ con DQO 14 kg/m^3 , considerando 50% de remoción del DQO y una conversión de $0,35 \text{ m}^3/\text{kg DQO}$ reducido, se estima una producción de biogás de $3400 \text{ m}^3/\text{día}$ equivalentes a un consumo de 2,5 t/d de petróleo. Considerando que el índice de consumo de petróleo es 0,38 t/t de levadura, sería necesario 5,7t/d de petróleo, por lo que con esta solución se reduce el 43% del consumo de petróleo en el secador spray para concentrar la crema termolizada de levadura y llevarla a polvo seco de levadura, además de producir un efluente con menor carga orgánica contaminante.

Segunda etapa de tratamiento: Se propone una tecnología de filtración por membranas al efluente de la producción de biogás para la remoción de la carga contaminante residual ($1370 \text{ m}^3/\text{día}$ con DQO estimada de 7 kg/m^3). Esta tecnología no ha sido aplicada industrialmente para el tratamiento de las aguas residuales de Torula. A nivel de investigación, la microfiltración y ultrafiltración han sido estudiadas para la remoción de carga contaminante de aguas residuales de la industria de levaduras. Esta alternativa brinda la posibilidad de la reutilización del permeado líquido en el proceso industrial y un concentrado como fertilizante.

Estudios de estas tecnologías de membranas como alternativas para el manejo de las vinazas de destilerías, han mostrado que se logra concentrar vinazas con el empleo de membranas de cerámica de 1 y 15 kDa y con variaciones de la presión transmembrana entre 0,1-0,7 MPa. Los mejores resultados se obtuvieron con la membrana de 1 kDa, la cual permitió remover el 58% de los sólidos totales, el 70% de la materia orgánica (MO), el 92% de la turbidez y el 82% del color.

Se estima un área de filtración de 45 m^2 , para un ciclo de trabajo de 20 horas y 4 horas de limpieza.

El permeado de la filtración por membranas puede evaluarse como agua de proceso para la fermentación de la levadura y/o reutilizarla como agua en la industria, lo cual cerraría un ciclo de tratamiento.



4. Conclusiones

Los residuales líquidos de la de la planta de Torula Alfredo Pérez no cumplen con las normas de vertimientos al superar los límites permisibles de materias orgánicas, fósforo y a la presencia de altos contenidos de iones inorgánicos como potasio y sulfatos provenientes de las vinazas de la destilería.

Estudios de las tecnologías de membranas como alternativas para el manejo de las vinazas de destilerías, han mostrado que se logra concentrar vinazas con el empleo de membranas de cerámica de 1 y 15 kDa y con variaciones de la presión transmembrana entre 0,1-0,7 MPa.

5. Referencias bibliográficas

1. Almazán, O; Sáez, A (1972). "Comparación de sistemas de doble y simple etapa en la producción de levadura Torula en mieles finales de caña". *ICIDCA*, Vol VI, No. 3, 3.
2. APHA y APWA. Standard Methods for Examination of Water and Wastewaters, Ed 2000, p 460-465, 14th Edition, New York.
3. Borrero-Neninger, J. C., Oliva-Merencio, D., & Arzola-Ruiz, J. (2023). Diseño de planta para la codigestión anaerobia de residuales vinaza-cachaza de la industria azucarera. *Minería y Geología*, 39(4), 252-266.
4. De la Hoz, Y (2003). Nueva planta de levadura Torula". *CubaAzúcar*, Vol XXXI, No. Especial, Marzo.
5. Gálvez, L. O (2000). "Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar". Tercera Edición. ICIDCA, Ciudad Habana.
6. Gómez, R (1980). "Levadura Forrajera". *La industria de los Derivados de la caña de azúcar*. Editorial Científico Técnica.
7. ICIDCA (2018) Manual de Procedimiento Normalizados de los ensayos del laboratorio Laguazur.
8. Izquierdo, Y., Michelena, G., de la Hoz Y. (2022) Tratamiento de aguas residuales de una planta de levadura, a partir de filtración por membranas Revista ICIDCA Vol. 56 No. 3



9. Obaya, M.C., Valdés, E., Eng, F. (2003) Metodologías para la caracterización de las aguas y aguas residuales para su calidad de agua para el riego. Editorial ICIDCA, 2003. Monografía. Compendio de los derivados.
10. Pay, A. P., de Cárdenas, L. Z., & Ones, O. P. (2023). Evaluación de tecnologías para la obtención de productos químicos de alto valor agregado y biocombustibles. *Universidad y Sociedad*, 15(4), 138-153.