

# Evaluación de microorganismos eficientes para el tratamiento de residuales líquidos de la industria azucarera

Rocío Aguila-Michelena\*, Georgina Michelena-Álvarez, Evelyn Faife-Pérez, Orly M. López-Delgado, Karen Rodríguez-Jorge, Jéssica de la C. Bello-Céspedes

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)  
Vía Blanca, No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba

\* [rocio.aguila@icidca.azcuba.cu](mailto:rocio.aguila@icidca.azcuba.cu)

## RESUMEN

**Introducción.** Las aguas residuales de la industria azucarera constituyen una fuente de contaminantes en Cuba, debido a su elevada demanda química de oxígeno y los volúmenes de residuales que se emiten al medioambiente, de ahí la necesidad de tratarlos. Una de las alternativas para reducir la contaminación es la inclusión de microorganismos eficientes en esos residuales.

**Objetivo.** Evaluar la aplicación del LEBAME®, un bioproducto compuesto por microorganismos eficientes, en dos muestras de residuales de dos centrales azucareros: Antonio Sánchez y 14 de Julio.

**Materiales y Métodos.** Las muestras de los centrales Antonio Sánchez y 14 de Julio fueron caracterizadas al inicio y, posteriormente estudiadas, a partir de un diseño experimental factorial que integró 3 tratamientos: 0.5; 1.0 y 1.5 mL del LEBAME®/ L de agua residual; en tiempos de retención: 20, 40 y 60 días.

**Resultados y Discusión.** Las caracterizaciones mostraron elevados índices de contaminación, superiores a los 21 000 mg/L. Se determinaron la mejor dosis de aplicación y el tiempo de retención, que maximizan la remoción de la materia orgánica. En el Antonio Sánchez se obtuvo una remoción del 95 % y en el 14 de Julio del 60, lo que muestra la efectividad del LEBAME® en los residuales líquidos de ambos centrales, a los 60 días de tratamiento.

**Conclusiones.** La aplicación del tratamiento apropiado, en función de las características de los efluentes, permite que el residual pueda disminuir los niveles de contaminación y acercarse a los requisitos exigidos por la normativa ambiental.

**Palabras clave.** Aguas residuales, contaminación, tratamiento, microorganismos eficientes, LEBAME®.

## ABSTRACT

**Introduction.** Wastewater from the sugar industry is a source of pollutants in Cuba due to its high chemical oxygen demand (COD) and the volume of wastewater released into the environment, hence the need to treat it. One of the alternatives to reduce pollution is the inclusion of efficient microorganisms in said wastewater.

**Objective.** To evaluate the application of LEBAME®, a bioproduct composed of efficient microorganisms, in two waste samples from two sugar mills: "Antonio Sánchez" and 14 de Julio.

**Materials and Methods.** The samples from Antonio Sánchez and 14 de Julio were initially characterized and subsequently studied using a factorial experimental design that integrated 3 treatments: 0.5; 1.0 and 1.5 mL LEBAME®/L of wastewater; at retention times: 20, 40 and 60 days.

**Results and Discussion.** The characterizations showed high levels of contamination, over 21,000 mg/L. The best application dose and retention time that maximize the removal of organic matter was determined. In Antonio Sánchez a removal of 95 % was obtained and for 14 de Julio 60 %, in both cases the effectiveness of LEBAME® in the liquid waste of both plants is shown after 60 days of treatment.

**Conclusions.** The application of an appropriate treatment based on the characteristics of the effluents

allows the residual to reduce pollution levels and approach the requirements demanded by environmental regulations to be used for other purposes.

**Keywords.** Wastewater, pollution, treatment, efficient microorganisms, LEBAME®.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso imprescindible para la vida de todos los seres vivos, en especial para el hombre. Ella cubre más del 70 % de la superficie del planeta, distribuida en océanos, lagos, ríos, glaciales, en el aire y en el suelo, pero la cantidad de agua dulce disponible para uso industrial, agrícola, doméstico y de algún otro tipo, es limitada, pues es sólo del 0.003 % (1). El agua empleada para consumo industrial no siempre ha sido usada de forma racional y esto ha provocado, en los últimos años, un aumento considerable de los volúmenes de residuales, que atenta contra la disponibilidad del recurso hídrico y el equilibrio natural de los ecosistemas.

En la actualidad, las ciudades vierten aguas residuales parcialmente tratadas y no tratadas en las aguas superficiales y subterráneas de las inmediaciones; a ello se suman los vertidos de procesos industriales, más la infiltración de los residuos de fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura, desechos domésticos y otros, que aumentan la carga contaminante (2, 3).

La industria azucarera se considera entre las más antiguas tanto en el país como en el mundo. En sus inicios, esta industria se proyectó y construyó sin tener en cuenta el volumen y el impacto de sus residuales líquidos, caracterizados por ser agresivos y tóxicos (4), esto ha causado enormes daños al medioambiente, en muchos casos, irreversibles (5).

El volumen de residual de la industria azucarera representa, aproximadamente, el 80 % del total de la contaminación que aportan las industrias en el país (6, 7). Estas aguas, si se descargan sin un tratamiento previo, contaminan tanto los ecosistemas acuáticos como los terrestres (6).

En Cuba, a través de la ley No.120:2016, se penalizan las empresas que vierten aguas residuales contaminadas a diversos cuerpos receptores; aunque el nivel de penalización es bajo, la ley en sí activa una alarma que no debe pasar inadvertida (8, 11), es por ello que la industria azucarera cubana debe adoptar acciones urgentes para disminuir los impuestos derivados de la situación de vertimientos, según las regulaciones vigentes (12).

En la actualidad existen varias técnicas y métodos que se pueden emplear para el saneamiento de las aguas residuales; pero, en la mayoría de los casos, se buscan alternativas que sean económicamente viables, eficientes y autónomas (13), como los tratamientos biológicos que garantizan el aprovechamiento de las altas concentraciones de materia orgánica, presentes en este tipo de aguas.

Entre los tratamientos biológicos más utilizados se encuentran los microorganismos eficientes (ME) que, mediante un proceso de fermentación, aceleran la descomposición natural de los compuestos orgánicos y eliminan los microorganismos patógenos que promueven la putrefacción y la producción de gases nocivos, los cuales contaminan el agua y producen malos olores.

Los ME han mostrado efectos beneficiosos para el tratamiento de aguas negras (14-18): reducción de malos olores, en la producción de alimentos libres de agroquímicos, el manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la producción agropecuaria, la industria de procesamiento de alimentos, fábricas de papel, mataderos, entre otros (2). Por otra parte, en el sector agrícola, promueven la germinación de semillas, favorecen la floración, el crecimiento y desarrollo de los frutos y permiten una reproducción más exitosa en las plantas. Adicionalmente, se ha demostrado que mejoran la estructura física de los suelos, incrementan su fertilidad química y suprimen varios agentes fitopatógenos causantes de enfermedades en numerosos cultivos (19). También, desde el punto de vista fisiológico se ha determinado que incrementan la capacidad fotosintética de los culti-

vos, así como su capacidad para absorber agua y nutrientes (20 - 23), mejoran la calidad y reducen los tiempos de maduración de abonos orgánicos, en particular, el composteo (24 - 26).

En este estudio se realizó la evaluación del bioproducto LEBAME® a muestras de aguas residuales de la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) 14 de Julio y del central azucarero Antonio Sánchez, ambos ubicados en la provincia de Cienfuegos.

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar la aplicación de los ME en el tratamiento de efluentes de la industria azucarera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experimentación se llevó a cabo en el laboratorio LAGUAZUR, perteneciente al Centro Nacional de Gestión del Medio Ambiente (CENGMA), del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). La muestra del Antonio Sánchez fue recolectada a la entrada de la primera laguna y a la salida de la segunda, se tomaron 5 L del agua residual (AR); mientras que para el muestreo del residual de la EAA 14 de Julio se realizó una toma de muestra de 5 L en la salida de la segunda laguna de oxidación anaerobia.

A partir de la toma de la muestra se procedió a realizar la caracterización del agua residual, con la finalidad de determinar las cargas contaminantes iniciales. Se empleó la metodología para la caracterización de las aguas y de las aguas residuales de la industria azucarera y los procedimientos estandarizados, con los métodos analíticos:

- demanda Química de Oxígeno, con el empleo de la modificación rápida del *Standard Methods* (27)
- demanda Bioquímica de Oxígeno con el empleo del equipo Oxitop de la WTW (Alemania) (28)
- pH, a partir de la medición por electrodos (28)
- nitrógeno total, por el método *Kjeldahl*, después de digestión en medio ácido (28)
- fósforo por determinación colorimétrica, después de digestión en medio ácido (29)
- todos los tipos de sólidos por desecación, en la estufa a 110 °C y en la mufla, a temperatura de 600 °C hasta llegar a una masa constante, según los métodos estándares (30)

En el experimento se emplearon tres dosis diferentes del bioproducto LEBAME®, en tres tiempos de retención, con el propósito de determinar la mejor dosis de aplicación para estas aguas, la cual maximizará la remoción de la DQO y garantizará mayor eficiencia para el tratamiento biológico.

Para ello, se aplicó un diseño experimental factorial multinivel 32, en el cual se definieron tres niveles y dos factores de experimentación (concentración y tiempo de retención) (tabla 1). Cada condición se realizó por duplicado.

**Tabla 1.** Diseño experimental para 1 000 L de AR por condición experimental

| Factores                                     | Niveles |            |      |
|--|---------|------------|------|
|  | Bajo    | Intermedio | Alto |
|  | -1      | 0          | 1    |
| Concentración<br>(L LEBAME® / 1 000 L de AR) | 0.5     | 1          | 1.5  |
| Tiempo de retención (días)                   | 20      | 40         | 60   |

## Seguimiento y control

Pasados los primeros 20 días se monitorean las primeras muestras, se analizan con la misma metodología utilizada para la caracterización inicial de las aguas residuales y se realizan solo los ensayos correspondientes de DQO y pH (31). Se procede de igual forma para los 40 y 60 días.

La eficiencia del tratamiento se puede determinar mediante el cálculo del porcentaje de remoción de la DQO; de este modo, el porcentaje de remoción se calcula mediante la ecuación 1.

$$\% \text{ de remoción} = \frac{(\text{DQO inicial} - \text{DQO final})}{\text{DQO inicial}} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la caracterización inicial de los residuales líquidos de los centrales se reportan en la tabla 2. La comparación de los resultados de la caracterización con los límites permisibles de contaminación de las aguas residuales, se ha realizado teniendo en cuenta las regulaciones de la NC-27:2012 para el vertimiento de los residuales a cuerpos receptores. Los residuales azucareros se pueden verter en acuíferos de uso no humano, en suelo y en zona no saturada de 5 m, se clasifican como clase (C): verter a embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas residuales para el riego agrícola.

**Tabla 2.** Resultados de la caracterización inicial de los residuales

| Parámetros  | Unidades | Residual Antonio Sánchez | Residual 14 de Julio | LMP NC -27:2012 | NC -855:2011 |
|-------------|----------|--------------------------|----------------------|-----------------|--------------|
| DQO         | mg/L     | 21 546                   | 22 914               | 250             | -            |
| DBO         | mg/L     | 14 375                   | 15 000               | 100             | -            |
| Nitrógeno   | mg/L     | 0.056                    | 0.50                 | 15              | -            |
| Fósforo     | mg/L     | 0.137                    | 0.31                 | 10              | -            |
| pH          | -        | 3.55                     | 4.39                 | 6 – 10          | 6-7          |
| Temperatura | °C       | 25                       | 26.2                 | 50              | -            |

Los resultados de las caracterizaciones de ambos residuales mostraron valores de pH ácido, lo que implica el no cumplimiento de las normas cubanas: NC: 27-2012 y NC: 855-2011.

Los valores de temperatura, el contenido de fósforo y de nitrógeno se encuentran por debajo del límite máximo permisible en la NC: 27-2012, lo que implica el cumplimiento de la legislación.

Los valores de DQO y DBO no cumplen con la legislación debido a los elevados valores que presentan. El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO, debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse química pero no biológicamente. La relación DBO/DQO se denomina índice de biodegradabilidad.

El índice de biodegradabilidad para la muestra de la EAA 14 de Julio es de 0.66 y la del central Antonio Sánchez es de 0.67, ambas superiores a 0.5; lo cual indica la posibilidad de emplear sistemas biológicos para su tratamiento, por lo que el LEBAME® resulta una alternativa eficaz de tratamiento para eliminar la contaminación ambiental.

Los resultados obtenidos en la caracterización demostraron la necesidad de aplicar un tratamiento a ambos residuales, con el fin de disminuir la contaminación presente en estos.

En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados del estudio de aplicación del LEBAME®, como método de tratamiento de los residuales, según el diseño de experimentos y se promedian los valores de las muestras con la réplica.

**Tabla 3.** Resultados, según diseño de experimentos para el tratamiento del residual líquido de la EAA 14 de Julio, con el bioproducto LEBAME®

| No. de corrida | Tiempo (días) | Concentración (mL de LEBAME® / L de residual) | DQO (mg/L) | pH   |
|----------------|---------------|---|------------|------|
| 1              | 20            | 0.5   | 15 419     | 4.72 |
| 2              | 40            | 0.5   | 13 095     | 4.95 |
| 3              | 60            | 0.5   | 11 863     | 4.97 |
| 4              | 20            | 1.0   | 14 683     | 5.15 |
| 5              | 40            | 1.0   | 12 296     | 5.17 |
| 6              | 60            | 1.0   | 10 896     | 5.18 |
| 7              | 20            | 1.5   | 13 160     | 5.16 |
| 8              | 40            | 1.5   | 10 611     | 5.15 |
| 9              | 60            | 1.5   | 9 287      | 5.20 |

**Tabla 4.** Resultados, según diseño de experimentos para el tratamiento del residual líquido del central Antonio Sánchez, con el bioproducto LEBAME®

| No. de corrida | Tiempo (días) | Concentración (mL de LEBAME® / L de residual) | DQO (mg/L) | pH   |
|----------------|---------------|---|------------|------|
| 1              | 20            | 0.5   | 6054       | 6.16 |
| 2              | 40            | 0.5   | 3771       | 7.77 |
| 3              | 60            | 0.5   | 1896       | 8.25 |
| 4              | 20            | 1.0   | 4675       | 5.66 |
| 5              | 40            | 1.0   | 2693       | 7.88 |
| 6              | 60            | 1.0   | 1163       | 8.52 |
| 7              | 20            | 1.5   | 5063       | 5.63 |
| 8              | 40            | 1.5   | 2930       | 7.78 |
| 9              | 60            | 1.5   | 1454       | 8.49 |

**Tabla 5.** Porcentaje de remoción de DQO en cada corrida

| Muestras        | Porcentaje de remoción de DQO por corridas |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| Antonio Sánchez | 71.9                                       | 82.5 | 91.2 | 78.3 | 87.5 | 94.6 | 76.5 | 86.4 | 93.3 |
| 14 de Julio     | 32.7                                       | 42.8 | 48.2 | 35.9 | 46.3 | 52.4 | 42.5 | 53.7 | 59.5 |

A pesar de lograrse cerca del 60 % de la remoción de la materia orgánica presente en el residual de la EAA 14 de Julio, no se alcanzó el límite de DQO permisible en la NC:27-2012. La aplicación de los ME provocó una disminución de la DQO a través del tiempo de estudio hasta el día 60. Los ensayos indicaron que la inoculación con ME, en los primeros 60 días, hizo disminuir la DQO en casi 60 %.

Con respecto al pH, los resultados indican que el residual líquido, cuando es tratado con ME, tiende a un ligero ascenso, en la medida que la dosis aumenta. Este hallazgo es compatible con los estándares de calidad declarados por el ICIDCA, con un valor de pH cercano a 4.

Para el residual del central azucarero Antonio Sánchez se obtuvo la mayor remoción de materia orgánica a los 60 días y una concentración del LEBAME® de 1.0 mL/L de residual para un 95 % de eliminación de la materia orgánica, lo que demuestra la alta efectividad del tratamiento con el bio-producto en los residuales líquidos del Antonio Sánchez.

Los resultados de pH indican que la aplicación de ME a las aguas residuales del central contribuye al incremento del nivel de pH de las muestras en el transcurso del tiempo, lo que resulta favorable debido a que se neutraliza la marcada acidez que caracteriza a este tipo de aguas industriales y garantiza, a su vez, el cumplimiento con las normas de descarga, respecto a los valores de pH (6-10).

El efecto de disminución de la contaminación en aguas residuales, debido a este tratamiento, puede deberse al consorcio de microorganismos que descomponen la materia orgánica, a través de un proceso biológico que permite que los microorganismos transformen la materia orgánica en sustancias más simples, que constituyen nutrientes y, en este proceso, obtienen materia y energía que utilizan para su crecimiento.

## CONCLUSIONES

1. La utilización del LEBAME® en los residuales de la industria azucarera permite la remoción de la contaminación orgánica.
2. En este estudio la remoción alcanzó valores entre un 60 y 95 %, para los centrales azucareros Antonio Sánchez y 14 de Julio, a los 60 días de tratamiento, con la utilización de dosis entre 1-1.5 mL/L de residual.
3. El pH de los resultados, con el tratamiento, tiende a un ligero ascenso, en la medida en que la dosis y la degradación orgánica aumentan.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Junior Lorenzo Llanes OMA, Oscar Jiménez Cabezas, Alain Pérez González Integración de la red de agua en la producción de azúcar crudo. Centro Azúcar. 2017;44.
2. Romero, T., D. VM. Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. Ingeniería Hidráulica y Ambiental 2017;XXXVIII:88-100.
3. Rodríguez G. CM. Evaluación ambiental de la aplicación de microorganismos eficientes (ME-Agroambiental) en el tratamiento de residuales líquidos Profoma de Tesis de Diploma. 2020.
4. Gonzales AB. Propuesta de un procedimiento de gestión ambiental en la UEB Central Azucarero Jesús Rabí. Monografías 2019(c). Universidad de Matanzas 2019.
5. Hernández A, Reinoso, M., & Hernández, F. Emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de centrales azucareros Granmenses. Revista Granmense de Desarrollo Local (REDEL) 2018;2:46-55.
6. Cruz VSDL. Tratamiento de un agua residual azucarera utilizando un sistema híbrido (digestión anaerobia-humedal construido) [Maestría]: Veracruz, México; 2020.
7. Iznaga DV. Propuesta de un sistema no convencional como complemento para el tratamiento de agua residual en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. 2016.
8. Normalización OND. Normas Sobre Gestión Ambiental. La Habana 2000.

9. Normalización ONd. Requisitos como orientación para su uso. Especificaciones. La Habana. 2015.
10. Normalización ONd. Sistema de Gestión Ambiental. Directrices generales sobre la implementación. La Habana. 2016.
11. Normalización ONd. Sistema de Gestión Ambiental. Directrices para la incorporación del eco-diseño. La Habana. 2012.
12. de la Hoz I. Y. Diagnóstico y propuesta de acciones para la reducción de la carga contaminante de los residuales líquidos del Central "Boris Luis Santa Coloma" durante las zafras 2016-2022 [Memoria escrita presentada en opción al título académico de Máster en Ciencia de la Gestión Ambiental]. La Habana, Cuba. 2022.
13. Rojas JED. Influencia de los microorganismos efíacos (Em agua) en los parámetros físico-químicos y microbiológicos del afuentes del bioreactor en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Concepción-2018. Huncayo: Universidad Continental. 2019.
14. Oscar Fernando Herrera EJC. Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2013;11:57-67.
15. Acuña N, Huamaní N, M, Toribio F, M. Evaluación de la remoción de materia orgánica por medio de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales. Universidad y Sociedad. 2022;14(S1):417-27.
16. Fernández F, Seghezzi L. Tratamiento de aguas grises de lavandería por medio de un reactor de flujo ascendente con manto de lodos(UASB) híbrido. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial. 2015.
17. Canales H, O, Sevilla A, A. Evaluación del uso de microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes domésticas residuales del distrito de Pátapo. Lambayeque: Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo". 2016.
18. Bazán M, F, Nureña J, P. Efecto del tiempo y dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales de las pozas de oxidación de Covicorti - Trujillo. Universidad César Vallejo. 2019.
19. EMRO. Manual de usos de microorganismos eficaces para el agua residual. Bogotá. Colombia. 2014.
20. Carabeo Pérez, V. Estudio del tratamiento de aguas residuales Seminario Final de Metodología de la Investigación Científica. 2021.
21. ICIDCA. Experiencias en la producción del bioproducto Lebame®, su transferencia tecnológica a varias unidades productivas y su aplicación agropecuaria y ambiental propuesta al premio nacional a la innovación tecnológica 2022. 2022.
22. Díaz de Villegas M, Delgado G, Michelena G, Bell A, Guevara CA, Suárez C, et al. LEBAME: Un bioproducto para el enfrentamiento al cambio climático 4to. Encuentro Técnico ATAM - ATAC. 2018.
23. ICIDCA, Barnes N, Martínez Hernández JL. Microorganismos eficientes: Producción y aplicación en la agricultura, postcosecha y cría de animales. Reporte Final. 2019.
24. Tanya Morocho M, Leiva-Mora M. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. Centro Agrícola. 2019;46.
25. Al Safady MY. Role of Microorganisms on Wastewater Treatment. 2011.
26. M. S, Matta ME. Environmental applications of Effective Microorganisms: a review of current knowledge and recommendations for future directions. Journal of Engineering and Applied Science. 2021;68.
27. Conde, J.; Bartós, J.; Reyes, A. Determinación rápida de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar. 12 (3), 1978.

28. APHA A, WPCF. Métodos normalizados para el examen de las aguas residuales. 15<sup>ta</sup> edición ed. Washington. 1980.
29. ICIDCA. Compendio de los Derivados de la Caña de Azúcar. Instituto de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), ISBN. La Habana. 2008.
30. ATAM-ATAC tET. LEBAME: Un bioproducto para el enfrentamiento al cambio climático. ICIDCA. 2018.
31. ICIDCA. Experiencias en la producción del bioproducto Lebame®, su transferencia tecnológica a varias unidades productivas y su aplicación agropecuaria y ambiental ICIDCA sobre los derivados de la caña de la azúcar. 2022:34-47.